Р. Ә. ҺҮСЕЈНОВ

ФИЗИКА-РИЈАЗИЈЈАТ ЕЛМЛӘРИ ДОКТОРУ, ПРОФЕССОР

АСТРОНОМИЈА

Али мәктәбләр үчүн дәрслик

Азәрбајҹан Республикасы Тәһсил Назирлији тәрәфиндән төвсијә едилмишдир.

«МААРИФ» НӘШРИЈЈАТЫ

Бакы—1997

22. 6
һ 95

52
һ 95

Әсәрин әлјазмасына Космик Тәдгигатлар Елм-истеһсалат Бирлијинин баш директору, т. е. д. професор Т. К. Исмајылов вә баш елми ишчи А. Ј. Меһдијев рә'ј вермишләр.

Научная
Библиотека
БГУ

Р. Ә. Һусејнов.

һ 95 Астрономија. Али мәктәбләр үчүн дәрслик. Бакы: «Маариф» нәшријјаты, 1997. 468 сәһ., шәкилли.

Дәрслик университетдә физика ихтисасы үзрә «Астрономија», педагожи институтларда физика-астрономија ихтисасы үзрә «Үмуми астрономија», педагожи университетләрдә физика, ријазијјат ихтисаслары үзрә «Астрономија», програмларына ујғун олараг али мәктәб тәләбәләри үчүн јазылмышдыр.

$\frac{1605000000-38}{М\ 652-97}$ 6—90 22. 6

© «Маариф» нәшријјаты, 1997.

ӨН СӨЗ

Астрономија ән гәдим тәбиәт елми олса да о, һәмишә чаван елмдир. Бунун сәбәби астрономијанын даим инкишаф етмәси, јени елм саһәләринин јаранмасында әһәмијјәтли јер тутмасыдыр. Һәлә гәдим астрономија һесаб, чәбр, һәндәсә вә тригонометријанын јараныб инкишаф етмәсиндә һәлледичи рол ојнамышдыр.

Коперникин һелиосентрик системи кәшф етмәси, Енкелсин тә'биринчә десәк, тәкчә астрономијада дејил, бүтүн тәбиәтшүнаслыгда ингилаб олду.

Кеплер ганунларынын мејдана чыхмасы илә, Галилејин әталәт гануну, Нјутонун механика ганунлары вә үмумдүнја чазибә гануну илә механика елминин тәмәли гојулду. Бунлар али ријазијјатын инкишафына көмәк етди. Һесабламалар јолу илә Нептун адландырылан јени бөјүк планетин Леверје вә Адамс тәрәфиндән кәшф едилмәси көј механикасы үсулларынын там камиллијинә јени сүбут олду.

Астрономијанын јени тәдгигат саһәсинин—астрофизиканын јаранмасы илә көј чисимләринин, үмумијјәтлә, Каинат објектләринин физики бахымдан өјрәнилмәси башланды.

Астрофизикада ишләнән техника тәкмилләшдикчә, јени тәдгигат үсуллары јарандыгча астрофизика саһәсиндәки кәшфләр дә чохалды. Дүнјада илк оптик телескопун ихтира олунмасы астрономија техникасында биринчи, радиотелескопун ихтира олунмасы исә икинчи ингилаб һесаб едилир.

Јерин вә Күнәш системинин дикәр чисимләринин сүн'и пејкләриндән, планетләрарасы автомат стансијалардан вә дикәр космик техникадан истифадә имканлары астрономија елми вә техникасында јени ингилаба сәбәб олду. Радиотелескоплар вә космик техника електромагнит шүаланмасынын бүтүн далғаларында чох кичик вә чох бөјүк енержиләр интервалында астрономик мүшаһидәләр апармаг имканы јаратды. Беләликлә, әлдә едилән зәнкин мә'луматлар бөјүк кәшфләрә кәтирди.

Мүасир астрономија о гәдәр чохшахәли елмдир ки, бир китабда бу елми там кенишлији илә әһатә етмәк мүмкүн дејилдир.

Тәгдим олунан бу дәрсликдә тәкрар сүбута еһтијачы олмајан мүшаһидә дәлилләринә, онларын физики изаһына, фундаментал нәтичә вә ганунлара әсас јер верилмиш вә бу заман али мәктәбләрин астрономија курсу програмларында нәзәрдә тутулан материалын даһа кениш әһатә олунмасына чалышылмышдыр.

Бу бахымдан китаб астрофизика вә физика—астрономија үзрә ихтисаслашан али мәктәб тәләбәләри үчүн фајдалы, орта мәктәбләрин физика вә астрономија мүәллимләри, астрономијаја јахын саһәләрдә чалышан мүтәхәссисләр вә нәһајәт даһа кениш охучу күтләси үчүн мараглы ола биләр.

Мүәллиф, али мәктәбләрин астрономиjа мүәллимләриндән, астрономиjа вә она jахын елмләр саһәсиндә чалышан алимләрдән вә охучулардан китаб һаггында өз фикирләрини билдирмәjи хаһиш едир. Бүтүн фаjдалы тәклифләр мүәллиф тәрәфиндән миннәтдарлыгла гаршыланачаг вә кәләчәкдә һәмин тәклифләр нәзәрә алыначагдыр.

Китаб нәшрә һазырланаркән зәрури дүзәлишләр етмәк вә фаjдалы мәсләһәтләр вермәклә онун кеjфиjjәтинин jахшылашмасы үчүн диггәт вә әмәкләрини әсиркәмәjән Сары Әзимова, Рәһим Зеjналова, Әзиз Бабаjевә, Теjмур Еминзадәjә вә Огтаj Һүсеjнова мүәллиф өз дәрин миннәтдарлығыны билдирир.

КИРИШ

§ 1. АСТРОНОМИЈА ФӘННИ

Јунанча «астрон»—көј чисми, улдуз, «номос»—ганун, елм демәкдир. *Беләликлә һәрфи мә'нада астрономија көј чисимләри, улдузлар, кениш мә'нада исә Каинат објектләри вә бүтөвлүкдә Каинат һаггында елмдир.*

Јер, Ај, башга бөјүк планетләр вә онларын пејкләри, кометләр, кичик планетләр, метеорлар вә метеоритләр, планетләрарасы космик фәза, Күнәш, улдузлар вә онларын системләри, галактикалар, улдузлар-арасы вә галактикаларарасы мүһит, мүхтәлиф релјативист објектләр... Каинат објектләридир. Бу објектләрин бүтөв чохлуғу исә Каинатдыр.

Елми-техники тәрәгги илә әлагәдар олараг әсримизин икинчи јарысы астрономија елми үчүн, хүсусилә, уғурлу олмушдур. Радиотелескопларын кениш тәтбиги нәтичәсиндә радиогалактикалар, квазарлар, реликтив радиошүаланма, пулсарлар кәшф едилди, космик техника рентген мәнбәләр, гамма шүаланмасы мәнбәләри кәшф етмәјә, узаг ултрабәнөвшәји шүаларда мүшаһидәләр апармаға имканлар јаратды; инфрагырмызы шүаларда мүшаһидәләр кенишләнди. *Беләликлә, астрономијада гамма шүаланмасындан радиодалғалара гәдәр елертомагнинт шүаланмасынын бүтүн диапазонларында мүшаһидәләр апармаг имканы әлдә едилди.* Бә'зи көј чисимләринин тәбиәти космик техниканын көмәји илә билаваситә өјрәнилмәјә башланды; Јерин космосдан тәдгиги имканлары әлдә едилди—«тәрс астрономија» вә бунунла бәрабәр атмосферләнкәнар астрономија јаранды. Беләликлә *мүасир астрономија* тәкчә мүшаһидә елми дејил, һәм дә сүр'әтлә инкишаф едән *тәчрүби елм олду.*

Ајдындыр ки, али вә орта мәктәбләрдә тәдрис олунан мүасир астрономија фәнниндә бу елмин бүтүн саһәләрини һәртәрәфли вә ејни кенишликлә әһатә етмәк мүмкүн дејил. Дедикләримиз бу дәрслијә дә аиддир. Бунунла белә бурада мүасир астрономијанын бүтүн әсас саһәләри һаггында мүмкүн гәдәр јығчам шәкилдә мә'луматлар верилмишдир.

§ 2. АСТРОНОМИЈАНЫН БӨЛМӘЛӘРИ ВӘ БУ БӨЛМӘЛӘРДӘ ӨЈРӘНИЛӘН ӘСАС МӘСӘЛӘЛӘР

Астрономијада өјрәнилән објектләрин бир тәрәфдән, чох сајда, фәргли вә бә'зән дә там бәнзәрсиз олмасы, дикәр тәрәфдән дә тәдгигат истигамәтләринин вә онлары өјрәнмәк үсулларынын чох мүхтәлиф

олмасы нәтичәсиндә бу елм бир нечә бөлмәдән ибарәтдир. Бунлар ашағыдакылардыр:

I Астрометрија, нәзәри астрономија вә көј механикасы.

II Астрофизика вә улдуз астрономијасы.

III Космогонија.

IV Космолокија.

Классик астрономија адланан астрометрија, нәзәри астрономија вә көј механикасында бахылан мәсәләләрлә таныш олаг.

1. Астрометрија. «Астрон», билдијиниз кими, көј чисми, улдуз, «метрик» исә өлчмәк демәкдир. *Астрометрија заман вә мәканын өлчүлмәси һаггында елмдир.*

Астрометрија өзү үч һиссәдән—*сферик астрономија, фундаментал астрометрија вә практик астрономијадан* ибарәтдир.

а) *Сферик астрономијада* мүхтәлиф астрономик координат системләри, бу системләрдә көј чисимләринин вә сүн'и пејкләрин координатларынын тә'јини вә бу координатларын замандан асылы олараг дәјишмәси илә әлагәдар мәсәләләрин ријази һәлли үсуллары, вахтын һесабланмасынын нәзәри әсаслары өјрәнилир.

б) *Фундаментал астрометријада* сечилмиш (фундаментал) парлаг улдузларын екваториал координатларыны мүмкүн гәдәр дәгиг тә'јин етмәклә онларын каталоглары тәртиб едилир, фундаментал астрономија сабитләринин (пресессија, нутасија, аберрасија, иллик параллаксын) әдәди гијмәтләрини нәзәрә алмагла бу улдузларын мәхсуси һәрәкәтләри өјрәнилир.

Координатларын эталәт системини гурмаг астрометријанын чох мүһүм мәсәләләриндәндир.

в) *Практик астрономијада* астрометрија мүшаһидә чиһазларынын нәзәријјәси, мүшаһидәләрин апарылмасы вә мүшаһидә нәтичәләринин ишләнмәси үсуллары, вахт хидмәти, чоғрафи координатларын вә азимутун тә'јини, дәнизчилик вә тәјјарәчилик навигасијаларына, космик навигасијаја вә кеодезијаја астрономијанын тәтбиги илә әлагәдар мәсәләләр өјрәнилир.

2. Нәзәри астрономија вә көј механикасы. Әслиндә бу ики истигамәт бир-бирилә сых әлагәдә өјрәнилир. Бә'зи әдәбијјатларда көј механикасы нәзәри астрономијанын бир һиссәси, бә'зи әдәбијјатда исә бунун әкси гәбул едилир.

Нәзәри астрономијада бахылан мәсәләләрә мисал олараг ашағыдакылары көстәрмәк олар:

Јерин фырланма нәзәријјәси; Ај вә планетләрин һәрәкәтинин камил нәзәријјәләри; гоша вә мисилли улдуз системләриндә мадди нөгтә һесаб едилән улдузларын һәрәкәти нәзәријјәси; сарсыдычы гүввәләрин тә'сири илә ики чисим мәсәләсиндән кәнара чыхан һәрәкәт, jә'ни сарсынан һәрәкәт нәзәријјәси; бөјүк планетләрин, кичик планетләрин, Ајын, тәбии вә сүн'и пејкләрин, кометләрин һәрәкәтләрини өјрәнмәк үчүн хүсуси үсулларын ишләнмәси; көј чисимләринин фигурлары вә онларын һәрәкәтә тә'сирини нәзәрә алмаг үсуллары; орбит елементләринә көрә көрүнән вәзијјәтин тә'јини (ефемеридин һесабланмасы) вә

әксинә минимум мүшаһидәләрә көрә илк орбит елементләринин тә'јини (орбитин һесабланмасы); космик објектләрин күтлә, өлчү вә фигурларыны сәчијјәләндирән константларын тә'јини вә башга мәсәләләр.

Бу мәсәләләрин һәллинә әлбәттә, көј механикасынын тәдгигат үсуллары да тәтбиг едилир. Бунунла јанашы билаваситә *көј механикасында* өјрәнилән мәсәләләрә мисал олараг ашағыдакылары көстәрә биләрик: Билаваситә Нјутонун үмумдүнја чазибә ганунуна бағлы астрономија мәсәләләри; чазибә нәзәријјәси, јә'ни тәрпәнмәз чисимләрин гравитасија саһәси һаггында тә'лим; *n* чисим мәсәләси, јә'ни бир-бирини Нјутонун үмумдүнја чазибә гануну илә чәзб едән *n* мадди нөгтәнин һәрәкәти, биринчи јахынлашма һесаб едилән бу нәзәријјәдән Ејнштејнин гравитасија нәзәријјәси әсасында *n* чисмин һәрәкәтинин релјативист нәзәријјәси вә с.

Гејд етмәк лазымдыр ки, јухарыдакы үч бөлмәни өзүндә чәмләшдирән «классик астрономија» термини мүасир сәсләнмир. Доғрудан да мүасир астрометријада радиоастрономија кими чох күчлү үсул тәтбиг едилир вә бу үсулла Каинат објектләринин координатлары даһа дәгиг тә'јин олунур; радиолокасија вә лазерләрин тәтбиги јахын көј чисимләринә гәдәр мәсафәләри чох бөјүк дәгигликлә тә'јин етмәк имканлары ачмышдыр; нәзәри астрономија вә көј механикасы өзүнүн икинчи чаванлыг дөврүнү кечирир; сүн'и көј чисимләринин оптимал учуш трајекторијаларыны һесабламаг, онларын кинематика вә динамикасы проблемләрини өјрәнмәк нәзәри астрономија вә көј механикасынын мүасир проблемләриндәндир. Бу проблемләр *астродинамика* адланан һиссәдә өјрәнилир. *Астродинамика һәм дә космонавтиканын һиссәсидир.*

Астрономијанын икинчи елми истигамәтини *астрофизика* вә *улдузлар астрономијасы* бөлмәләриндә бахылан мәсәләләр тәшкил едир.

1. Астрофизика. Мүасир астрономијанын ән бөјүк вә сүр'әтлә инкишаф едән бөлмәсидир. Астрофизика *практик астрофизика* вә *нәзәри астрофизика* адланан ики һиссәдән ибарәтдир.

Практик астрофизикада өјрәнилән әсас мәсәләләр ашағыдакылардыр: астрофизика техникасы нәзәријјәси; астрофизика техникасындан истифадә методикасы; алынан мүшаһидә материалларынын ишләнмәси методикасы; јердә вә космосда ишләтмәк үчүн јени техниканын јарадылмасы проблемләри; радиоелектроника, һесаблама техникасы, автоматлашдырма вә мүасир техниканын башга имканларындан истифадә проблемләри.

Нәзәри *астрофизикада* өјрәнилән әсас мәсәләләр ашағыдакылардыр: астрофизика мәсәләләринин гојулмасы; мүшаһидә материаллары әсасында Каинат објектләринин физики тәбиәтинин өјрәнилмәси; бу објектләрдә кедән физики просесләрин ашкара чыхарылмасы вә онларын интерпретасијасы, Каинат објектләринин кимјәви тәркибинин тә'јини; Каинат објектләринин мүмкүн гаршылыглы әлагә вә тә'сири проблемләри.

Јени мүшаһидә үсулларынын јаранмасы вә инкишафы мүасир астрофизикада јени тәдгигат саһәләринин јаранмасына сәбәб олмушдур.

Бу саһәләрдән ән бөјүјү сүр'әтлә инкишаф етмәкдә олан *радиоастрономијадыр. Гамма вә рентген астрономија, ултрабәнөвшәји астрономија, инфрагырмызы астрономија, нејтрино астрономијасы* даһа кениш тәшәккүл тапмагда олан тәдгигат саһәләридир.

2. Улдуз астромијасы. Улдузларын, улдуз системләринин, улдузларарасы мүһитин фәза пајланмасы, һәрәкәти, бурадакы гануна-ујғунлугларын кинематик, динамик вә физики бахымдан ашкара чыхарылмасы бу бөлмәнин әсас мәсәләләридир. Бизим Галактикадан кәнарда мөвчуд олан улдуз системләри—башга галактикалар да бу бөлмәдә өјрәнилир. Бөлмәнин бу һиссәси *галактикаданкәнар астрономија* адланыр.

Үчүнчү әсас елми истигамәт олан космогонијада Күнәш системинин, улдуз системләринин вә улдузларын мәншәји вә тәкамүлү проблемләри тәдгиг олунур. Әввәлләр Күнәш системинин мәншәји мәсәләләринә көј механикасында бахылырды. Инди һәм бу мәсәләләр, һәм дә үмумијјәтлә, космогонија көј механикасы, астрофизика вә улдузлар астрономијасынын ортаг проблемләридир.

Дөрдүнчү әсас елми истигамәт олан космолокијада Каинатын гурулушу, онун бүтөв бир објект кими физикасы, мәншәји, тәкамүлү вә ондакы үмуми ганунаујғунлуглар өјрәнилир.

Космолокија проблемләрини һәлл етмәк үчүн нисбилик нәзәријјәси вә мүрәккәб ријази әмәлијјатлар тәтбиг етмәклә астрофизика, улдузлар астрономијасы вә о чүмләдән, галактикаданкәнар астрономијанын мүәјјән нәтичәләриндән кениш истифадә олунур. Нисбилик нәзәријјәсини тәтбиг етмәклә астрофизика проблемләрини өјрәнән елм саһәси *релјативист астрофизика* адланыр вә мүасир астрономијанын бу саһәси космолокија илә сыхы әлагәдардыр.

Дөрд елми истигамәтин әһатә етдији проблемләрдән көрүнүр ки, бу истигамәтләр бир-бириндән ајрылмаздыр, бир проблемин һәлли башга проблемләрин һәллиндән асылыдыр.

§ 3. АСТРОНОМИЈАНЫН ГЫСА ТАРИХИНДӘН

Астраномија ән гәдим тәбиәт елмидир. Бу елмин илк рүшејими гәдим инсанларын әмәли еһтијачларындан јаранмышдыр: көчәриләрин чәһәтләри билмәјә олан еһтијачлары онлары көј чисимләринә истинад етмәјә мәчбур етмишди. Әкинчиликлә мәшғул олан әчдадларымызы исти вә сојуг, гураглыг вә јағмурлу дөврләр вә бунларын тәкрарланмасы хүсусијјәтләри марагландырмышдыр. Һәлә ерамыздан үч мин ил әввәл мисирлиләр көјүн шәрг тәрәфиндә сәһәрә јахын күнәш доғандан әввәл парлаг Сириус улдузунун илк дәфә көрүнмәси илә билирдиләр ки, Нил чајы дашачаг, бол сују, мүнбит лили илә гуру Мисир сәһраларыны дојдурачагдыр. Онлар бу һадисәнин тәкрарланмасына тәгрибән 360 сутка лазым олдуғуну мүәјјән етмишдиләр ки, бу да күнәш илиндәки суткаларын сајына јахындыр. Ерамыздан ики мин ил әввәл Чиндә Ај вә Күнәшин тутулмасыны габагчадан хәбәр верә билирди-

ләр. Чинлиләр бир күнәш илиндә 366 сутка олдуғуну гәбул етмәклә һәгигәтә даһа да јахынлашмышдылар.

Ерамыздан әввәлки дөврләрдә Һиндистанда да астрономија јараныб инкишаф етмишдир. Илк дәгиг күнәш тәгвимини гәдим һиндлиләр тәртиб етмишләр.

Гәдим јунанлар даһа ирәли кедәрәк асрономик һадисәләрин сәбәбләрини арашдырмаға башладылар. Илк дәфә онлар Јерин фырланан күрә олдуғуну сөјләмиш (ерамыздан әввәл V әсрдә—Филолај), онун радиусуну һесабламышлар (ерамыздан әввәл III әсрдә—Ератосфен). Ерамыздан әввәл II әсрдә Һиппарх минә гәдәр улдузун каталогуну дүзәлтди, *пресессија һадисәсини кәшф етди, иллик пресессијанын* гијмәтини тапды. Ерамызын II әсриндә Птолемеј кеосентрик дүнја системинин һәндәси нәзәријјәсини верди. Птолемејин кеосентрик системи көкүндән сәһв олса да планетләрин мүшаһидәләри илә бу системә әсасән, һесаблама нәтичәләринин мүгајисәси әсрләр боју давам етмиш, бу мүшаһидә вә һесабламалар арасындакы артан ујғунсузлуглар вә јаранан шүбһәләрријазијјатын, астрономијанын инкишафына көмәк етмишдир. (Ахы абсурд—мә'насыз вә јалныш мүддәаларын өзү дә бә'зән һәгиги елмин инкишафына тәкан верир).

Орта әсрләрдә феодализмин һаким олдуғу гәрбдә Птолемеј системи тохунулмаз һесаб едилирди. Бу дөврләрдә шәргдә астрономија вәријазијјат чох бөјүк сүр'әтлә инкишаф етмәјә башлајыр. Әл Бәттани (850—929) Ај орбитинин бөјүк охунун (буна апсид хәтти дејилир) һәрәкәт етдијини тапды. Әбу—әл—Вәфа (940—998) Ајын һәрәкәтиндә үчүнчү ән бөјүк бәрабәрсизлији тапды (буна Ајын вариасијасы дејилир). Мәшһур Харәзм астроному Бируни (973—1048) астрономијаја аид ганунлар мәчмуәси—трактатлар јазды. Бунлардан бириндә о гејд етмишдир ки, Јерин фырланмасы астрономијанын һеч бир мүддәасына зидд дејилдир.

Белә бир фикри бөјүк алим Нәсирәддин Туси (1201—1274) дә сөјләмишдир. Нәсирәддин Туси чәнуби Азәрбајчанда Мараға шәһәри јахынлығында мәшһур Мараға рәсәдханасынын јарадычысы вә бөјүк кәшфләр мүәллифидир. Һәмин рәсәдхана вә ондакы бир чох чиһазлар Нәсирәддин Тусинин рәһбәрлији вә иштиракы илә јаранмышдыр. Рәсәдханада он аләт гурулмушду. Мараға рәсәдханасы јаранана гәдәр мә'лум олан вә бу рәсәдханада гурулан аләтләр бунлар олмушдур: бөјүк дивар квадранты, армилјар сфера; еклиптиканын мејлини тә'јин едән аләт, тутулма фазаларыны тә'јин едән аләт; бәрабәрликләр анларыны тә'јин едән аләт. Бу рәсәдханада јарадылан вә гурулан јени беш аләт исә бунлар олмушдур: көј чисимләринин үфиги координатларыны тә'јин едән аләт, Күнәшин меридианда һүндүрлүјүнү тә'јин едән аләт, јер вә көј глобуслары вә нәһајәт мүасир универсал аләтин ибтидаиси олан фырланан квадрант. Мараға рәсәдханасында 1273-чү илдә һазырланан улдуз глобусу һазырда Алманијанын Дрезен шәһәриндәки Дөвләт рәсм галерејасынынријазијјат — физика салонунда сахланыр. Нәсирәддин Тусинин вә онун рәһбәрлик етдији Мараға рәсәдханасы алимләринин XIII әсрдә астрономијанын үмуми инкишафында бөјүк хидмәтләри олмушдур. Бу рә-

сәдхананын бир сыра елми аләтләринин моделләри әсасында Пекин, Улуг Бәјин Сәмәргәнд вә Тихо Браһенин Копанһакен рәсәдханаларында елми аваданлыг гурулмушдур. Рәсәдханада астрономија, әдәдләр нәзәријјәси, һәндәсә вә тригонометријаја аид елми әсәрләр јазылмышдыр. Евклидин «Башланғыч», «Феноменләр», «Оптика» әсәрләри, Архимедин «Күрә вә силиндр һаггында», «Даирәнин өлчүлмәси һаггында», Птолемејин «Алмакест», («Әлмәчәсти»), Аполонун «Коник кәсикләр», Феодесинин «Сферика», Ибн Синанын «Ишарәләр» әсәри кениш вә бә'зән һәтта тәнгиди шәрһләрлә Н. Туси тәрәфиндән тәрчүмә едилиб чап олунмушдур. Н. Туси Евклидин «Башланғыч» вә Птолемејин «Алмакест»ини демәк олар ки, јенидән ишләмишдир. Онун «Тәһрири Әглидис» («Евклидин шәрһи») әсәри 1594-чү илдә Ромада әрәбчә, 1657-чи илдә Лондонда латынча чап олунмушдур. Бу китабда Евклидин ријазијјата аид ишләринин шәрһи илә јанашы Тусинин ады илә бағлы олан сферик тригонометријаја аид ишләр дә верилмишдир. Туси һесаблајычылар вә астрономлар үчүн ајрыча там әдәдләр һесабы, кәсрләр һесабы үсулларыны ишләмишдир. Нәсирәддин Тусинин вә үмумијјәтлә, Марага рәсәдханасынын астрономијаја аид ән гијмәтли иши «Елхан чәдвәлләри» әсәридир. Бу әсәр дөрд китабдан ибарәтдир. Биринчи китабда Чин, ујғур, јәһуди вә әрәб тәгвимләринин әсаслары вә бир тәгвимдән дикәринә кечмәк үсуллары шәрһ олунур; икинчи китабда планетләрин вә Күнәшин һәрәкәтләри тәсвир олунур, Күнәш диски мәркәзинин Марага меридианында һәгиги күнорта вахты мүәјјән тарихләрдә еклиптик узунлуғу, планетләрин орта суткалыг һәрәкәтинин дәгигләшдирилмиш гијмәтләри верилир; Үчүнчү китабда вахтын тә'јини үсулу шәрһ олунмушдур; нәһајәт дөрдүнчү китабда астрономија һаггында мүхтәлиф мә'луматлар верилмишдир. «Елхан чәдвәлләри»ндә планетләрин ефемеридләри чәдвәлләри дә верилмишдир. Марс, Јупитер вә Сатурнун бу чәдвәлләрдә верилән кеосентрик узунлугларынын гијмәтләри мүасир гијмәтләрдән чох аз—гөвс санијәсинин миндә бири гәдәр фәргләнирләр. Н. Туси планетләрин кеосентрик енликләрини бир гөвс санијәси дәгиглијилә тә'јин етмишдир. Н. Туси иллик пресессијанын гијмәтини хејли дәгигләшдирмишдир. Марага рәсәдханасы күман ки, Тусинин вәфатындан сонра сүгут етмәјә башламыш вә фәалијјәтини XIII әсрин ахырында дајандырмышдыр. Н. Тусинин вә онун Марага рәсәдханасынын јарадычыларынын ирсини әбәдиләшдирмәк үчүн мүәјјән тәдбирләр көрүлүр. Инди Азәрбајчан Елмләр Академијасы Шамахы Астрофизика Рәсәдханасы Нәсирәддин Тусинин адыны дашыјыр.

Азәрбајчанда астрономијанын өзүнәмәхсус тарихи вардыр. Чәнуби Азәрбајчанда Марага рәсәдханасы орта әсрләрдә дүнја астрономија елминдә, бу елмин инкишафында шәрәфли јер тутдуғу кими, Азәрбајчанын шимал һиссәсиндә дә (Азәрбајчан Республикасында да) астрономијаја бөјүк мараг олмушдур. XIX јүзилликдә Мир Мөһсүн Нәвваб астрономија елминин биличиси олмуш вә һәтта Сатурнун һалгасы илә бирликдә јүксәк дәрәчәдә елми макетини дүзәлтмишдир. Бу дөврдә бөјүк мүтәфәккир алим, философ, јазычы—шаир вә ичтимаи

хадим Аббасгулу Аға Бакыхановун астрономија елминдә, хүсусилә астрономијанын јүксәк елми сәвијјәдә шәрһиндә мүстәсна дәрәчәдә тәгдирәлајиг јери вардыр. О, 1840-чы илдә фарс дилиндә астрономијаја аид «Әсрар—л—Мәлакут» («Каинатын сирри») адлы әсәр јазмыш, өзү әсәри әрәбчәјә тәрчүмә етмиш, сонралар түркчәјә тәрчүмә олунмушдур. Бу китаб Азәрбајчан Елмләр Академијасынын «Елм» нәшријјаты тәрәфиндән 1985-чи илдә Азәрбајчан дилиндә чапдан бурахылмышдыр.

Өрта әср шәрг астрономлары ичәрисиндә бөјүк өзбәк алими Улуг Бәји (1394—1449) хүсуси илә гејд етмәк лазымдыр. Онун Сәмәргәнддә јаратдығы вә сонралар Улуг Бәј рәсәдханасы ады илә мәшһур олан рәсәдханада астрономијаја аид чох бөјүк ишләр көрүлмүшдүр. Улуг Бәјин билаваситә иштиракы илә планетләрин даһа дәгиг ефемерид чәдвәлләри, 1019 улдузу әһатә едән каталог тәртиб едилмиш, иллик пресессијанын гијмәти даһа да дәгигләшдирилмиш вә с.

Астрономијанын сонракы инкишафы бөјүк Полша алими Николај Коперникин (1473—1543) ады илә бағлыдыр. 1543-чү илдә, јә'ни алимин вәфат етдији илдә онун «Көј сфераларынын доланмалары һаггында» әсәри чапдан чыхмышдыр. Бу әсәриндә о, һәр шејдән әввәл өзүнүн һелисентрик системини шәрһ етмишдир. Бу системә әсасән дүнјанын мәркәзиндә тәрпәнмәз Јер дејил, өз оху әтрафында фырланан Күнәш јерләшир, Јер башга планетләр кими Күнәшин әтрафында һәрләнир вә ејни заманда өз оху әтрафында фырланыр.

Коперник тә'лиминин тәбиәтшүнаслыгда ингилаби әһәмијјәти олду. Јер вә көј фәрги арадан галдырылды, Јер ади планетләр сырасына дахил едилди. Јерин тохунулмазлығына вә мүгәддәслијинә зидд олан, әһкамлара гаршы чыхан Коперник тә'лиминин мүдафиәчиләри гәрбдә тә'гиб олунурдулар. Бөјүк италјан алими Чордано Бруно бу тә'гибин гурбаны олду, 1600-чы илдә Ромада одда јандырылды, даһи алим Галилео Галилеј 1633-чү илдә мүһакимә олунду. Лакин елмин дүзкүн јолла инкишафынын гаршысыны алмаг мүмкүн олмадығындан һелиосентризмин әсасында астрономијада ирәлиләмә давам етди. Иоһанн Кеплер (1571—1630) 1609—1618-чи илләрдә планетләрин һәрәкәтинә аид өзүнүн мәшһур үч ганунуну, механика елминин баниләриндән олан Галилео Галилеј (1564—1642) исә әталәт ганунуну кәшф етди. Рәггас үзәриндә тәчрүбә, сәрбәст дүшмә тә'чилинин дүшән чисмин чәкисиндән асылы олмамасы нәтичәсинә кәтирән тәчрүбә васитәсилә Галилеј көстәрди ки, бәрабәрсүр'әтли дүзхәтли һәрәкәтин сахланмасы үчүн гүввәнин даим тә'сир етмәси һеч дә мәчбури дејил. Беләликлә Галилеј 2000 ил елм тарихиндә һөкүм сүрән Аристотел консепсијасынын көкүндән јанлыш олдуғуну гәти сүбут етди. Бу консепсијаја көрә чисим өз һәрәкәтини она гүввә тә'сир едәнәдәк давам етдирә биләр, гүввәнин тә'сири көтүрүләндә һәрәкәт дә дајанмалыдыр. Јухарыда гејд етдијимиз кими, Галилеј бу консепсијанын көкүндән јанлыш олдуғуну гәти сүбут етди. Лакин Кеплер вә Галилејин кәшфләриндән сонра белә бир суал лап јеринә дүшдү: планети дүзхәтли вә бәрабәрсүр'әтли һәрәкәтиндән чыхарараг ону орбитдә сахлајан гүввә һансы гүввәдир. Һүјкенс даирәви һәрәкәти өјрәнди вә мәркәздәнгачма гүв-

вәси анлајышыны верди. Һук вә башгалары XVII јүзиллијин икинчи јарысында белә бир фикир сөјләдиләр ки, Кеплер ганунлары мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасиб олан чәзбедичи гүввә илә әлагәдар ола биләрләр. Лакин онлар буну сүбут едә билмәдиләр.

Планетләрин вә башга чисимләрин Күнәш әтрафында һәрәкәт динамикасынын һәлли даһи алим Исаак Нјутона (1643—1727) мүјәссәр олду. Көј механикасынын тә'мәли дә мәһз о вахтдан гојулду. Нјутон тәрәфиндән механиканын үч гануну шәрһ вә үмумдүнја чазибә ганунуну кәшф едилдикдән сонра јаранан көј механикасында XVIII јүзиллик вә XIX јүзиллијин биринчи јарысында бөјүк кәшфләр олду. Ејлер (1707—1783), Клеро (1713—1765), Лагранж (1736—1813) вә Лаплас (1749—1827) Күнәш системи чисимләринин һәрәкәтини изаһ едән мәсәләләр һәлл етдиләр. Бир гәдәр сонра Бессел Сириус вә Проспонун пејкләрини, Леверје (1811—1877) вә Адамс (1819—1892) исә һесабламалар јолу илә Нептун адландырылан планети кәшф етдиләр. Бу, көј механикасынын камил елм олдуғуна сүбут иди.

1609-чу илдә Галилеј тәрәфиндән телескопун кәшфи астрономија техникасы тарихиндә ингилаби һадисә олду. XIX јүзиллијин орталарында фотографија вә спектрал анализин кәшфи астрономијада принсипчә јени тәдгигатларын башланғычы, астрономијанын инди ән бөјүк саһәси олан астрофизиканын мејдана чыхмасы демәк иди. Она гәдәр исә һәлә XVIII јүзиллијин ахырларында бөјүк алим Вилјам Һершел (1738—1822) улдуз астрономијасынын бүнөврәсини гојмушду, Күнәш системинин дахил олдуғу вә бизим Галактика адланан улдузлар системинин гурулушуну өјрәнмәјә башламышдыр. Бу дөврләр Кант вә Лаплас планетләрин мәншәјинә аид илк һипотезләр јаратдылар. XIX јүзиллијин биринчи јарысында исә В. Струве (Русија), Бессел (Алманија), Һендерсон (Инкилтәрә) бир-биринин ардынча елм тарихиндә илк дәфә олараг бир нечә улдуза гәдәр мәсафәни тә'јин етдиләр.

Улдуз астрономијасы вә сонра астрофизиканын јарандығы дөврләрдән башлајараг астрономијанын бу јени истигамәтләри бөјүк сүр'әтлә инкишаф етди, галактикадан кәнар астрономија, космогонијанын јени мәсәләләри, космолокија, радиоастрономија, астродинамика, атмосфердәнкәнар астрономија, релјативист астрофизика јаранды. XX јүзиллијин астрономијасы өзүнүн бөјүк тарихини јазмагдадыр.

§ 4. АСТРОНОМИЈАНЫН ЕЛМИ-ТЕХНИКИ ТӘРӘГГИДӘ ТУТДУҒУ ЈЕР

Мүасир елми-техники тәрәггини астрономијасыз тәсәввүр етмәк чәтиндир. Космосун фәтһи вә космик учушлардан динч мәгсәдләр үчүн истифадә проблемләри мүасир елми-техники тәрәггинин мүһүм проблемләридир. Бу проблемләрин һәллиндә исә астрономија вачиб јерләрдән бирини тутур. Сүн'и пејкләрин, планетләрарасы автомат стансијаларын вә башга космик гурғуларын оптимал учуш трајекторијалары көј механикасы үсуллары илә һесабланыр. Бу мәсәләнин һәлли исә өз нөвбәсиндә һесаблама техникасы вә тәтбиги ријазијјат гаршысын-

да јени мәсәләләр гојур вә бунунла онларын инкишафына көмәк едир. Оптимал учуш трајекторијасы өзү космик учуш техникасы гаршысында елә проблемләр гојур ки, онларын һәлли космик учуш техникасынын инкишафына тәкан верир.

Јерин космосдан комплекс тәдгиги астрономија үсуллары илә апарылыр. Јердә фајдалы јатагларын вә онларын еһтијатларынын ашкар едилмәси, јерүстү тәбии сәрвәтләрин (сујун, торпағын, мешәнин, мүхтәлиф әкин саһәләринин, атмосферин, биосферин вә с.) өјрәнилмәси, онларын горунуб сахланмасы, онлардан сәмәрәли истифадә проблемләри бу комплексә дахилдир. Классик кеодезија, топографија, картографија, навигасија проблемләри кими космик кеодезија, космик топографија вә картографија, космик навигасија проблемләри дә классик вә мүасир астрономија үсулларынын тәтбиги илә һәлл едилир. Бу проблемләрә ашағыдакылар дахилдир: Јерин фырланмасы вә өлчүләринин тә'јини, ҹоғрафи координатларын тә'јини, ҹоғрафи вә топографик хәритәләрин тәртиби, дәниз вә тәјјарә навигасијалары вә с.

Кәләҹәкдә чох сајда адамын узун мүддәт космосда фәалијјәт көстәрмәси нәзәрдә тутулур. Бу проблемин һәллиндә астрономијанын бөјүк јери вардыр. Јерәтрафы радиасија гуршагларыны, онлардакы дәјишмәләри вә ганунаујғунлуглары, ҹанлы организм вә елми ҹиһазлар үчүн тәһлүкәли олан космик шүаларын, сәрт ултрабәнөвшәји вә ренткен шүаларын мәнбәји олан Күнәши дәриндән өјрәнмәдән бу проблемләри һәлл етмәк олмаз. Бүтүн бу шүаларын дозасы Күнәшдә баш верән мүәјјән физики просесләрдән асылыдыр. Бу просесләрин прогнозуну вермәклә тәһлүкәнин прогнозуну верә биләрик. Бунун үчүн исә Күнәши, Күнәш—Јер әлагәләрини даһа мүкәммәл өјрәнмәлијик. Бу исә өз нөвбәсиндә мүасир физика, хүсусилә, плазма физикасы, нүвә физикасы, елементар зәррәҹикләр физикасы гаршысында јени проблемләр гојур. Һәмин проблемләрин һәлли исә өз нөвбәсиндә физиканын инкишафына көмәк едир. Физиканын инкишафына релјативист астрофизика вә үмумијјәтлә, астрофизиканын бир чох проблемләринин һәлли дә тәкан верир. Бир нечә конкрет мисала бахаг: һәлә әсримизин әввәлләриндә астрономлар (Шварстшилд, Милн, Саха вә б.) улдуз атмосферләрини өјрәнмәјә башламышлар. Бу тәдгигатлар әслиндә чох сонралар јаранан плазма физикасында атылан илк аддымлар иди. 1938-ҹи илдә мәшһур физик Бете Күнәшин дахили енержи мәнбәјинин һидрокенин һелиума чеврилмәси илә нәтиҹәләнән истилик нүвә синтез реаксијалары олдуғуну сүбут етди. Сонралар мә'лум олду ки, әксәр улдузларын дахили енержи мәнбәји онларын нүвәсиндәки температур вә сыхлыгдан асылы олараг мүхтәлиф нөв истилик нүвә синтез реаксијаларыдыр. Бу кәшф, истилик—нүвә реаксијалары бахымындан нүвә физикасынын инкишафына чох бөјүк тәкан верди. Чох исти плазманы узун мүддәт сахламаг үчүн јеканә васитәнин магнит саһәси олмасы фикри илк дәфә астрофизикада ирәли сүрүлмүшдүр. (Москва астрофизики И. С. Шкловски илк дәфә олараг белә бир фикир сөјләмишдир ки, Күнәш протуберансларыны узун мүддәт сахлајан васитә магнит саһәсидир). Бу, идарә олунан истилик-нүвә реаксијаларыны јаратмаг идејасынын илк рүшејми иди.

Јердәнкәнар лабораторија бахымындан исә астрономија (даһа доғрусу астрофизика) әвәзедилмәз имканлара маликдир. Каинат лабораторијасындакы физики шәраитләри јер лабораторијасында јаратмаг, бәлкә дә, һеч заман мүмкүн олмајачагдыр, амма маддәнин бу «әлчатмаз» һалыны өјрәнмәклә физика даһа кениш үфүгләрә нүфуз едә билир.

Бурада пулсарлары кәшф етмиш мәшһур инкилис алими Е. Хјуишин дедикләри јеринә дүшүр: «Лабораторија сәрһәдләриндән харичә чыхмыш физика нечә дә марағлы вә сәхавәтлидир. Һазырда астрофизик олмаг үчүн јахшы мәгамдыр».

Астрономијанын әсас елми истигамәтләриндән олан космолокија дүзкүн материалист дүнјакөрүшүнүн формалашмасында мүстәсна әһәмијјәтә маликдир. Каинатын гурулушуну, онун бүтөв бир објект кими физикасыны, мәншәјини, тәкамүлүнү вә ондакы үмуми ганунаујғунлуглары өјрәнмәклә материјанын, заман вә мәканын хүсусијјәтләрини даһа дәриндән өјрәнә билирик. Бөјүк мигјасда реал физики мәкан вә заманы, мәсәлән, Метагалактиканын мәкан вә заман бахымындан хүсусијјәтләрини јалныз космолокијада өјрәнмәк мүмкүндүр. Бу тәдгигатлар заманы алынан нәтичәләрин бир тәрәфдән астрономија вә физика үчүн, онларын ганунларыны дәгигләшдирмәк үчүн, дикәр тәрәфдән исә фәлсәфә үчүн, мадди дүнјанын ганунаујғунлугларыны фәлсәфи бахымдан үмумиләшдирмәк үчүн, ән јүксәк интеллектин инкишафы вә тәзаһүрү үчүн бөјүк, әвәзсиз әһәмијјәти вардыр.

Бурада Пјер Лапласын бир кәламы јеринә дүшәр: «Астрономија әјрәндији објектин мөһтәшәмлији вә нәзәријјәләринин камиллијинә көрә инсан зәкасынын ән көзәл абидәси вә ән јүксәк интеллектинин тәзаһүрүдүр».

I БӨЛМӘ

АСТРОМЕТРИЈАНЫН ӘСАСЛАРЫ

I ФӘСИЛ

СФЕРИК АСТРОНОМИЈА

§ 5. КӨЈ ГҮББӘСИ ВӘ КӨЈ СФЕРАСЫ. УЛДУЗ БҮРЧЛӘРИ. КӨЈ СФЕРАСЫНЫН ФЫРЛАНМАСЫ

Көј анлајышы јәгин ки, һамыја мә'лумдур: мүшаһидәчи Јерин һансы нөгтәсиндә олурса башы үзәриндә сфера сәтһи шәклиндә көј гүббәси көрүр. Бизә елә кәлир ки, бу гүббә онун ајағынын алтында—экс тәрәфдә там сфераја гәдәр тамамланыр вә о, бу сферанын мәркәзиндәдир. Бу сферанын һүдудсуз олдуғуну тәсәввүр етмәк чәтин дејил; бүтүн көј чисимләри көј гүббәсинин дахили сәтһинә пројексија олунмуш кими, ејни узаглыгда көрүнүрләр; көј чисми термини дә бурадан мејдана чыхыб. ***Беләликлә, мәркәзи, фәзанын истәнилән нөгтәсиндә, о чүмләдән, Јер сәтһинин истәнилән нөгтәсиндә олан ихтијари—ән узаг көј чисминә гәдәр мәсафәдән дә бөјүк радиуслу хәјали сфера көј сферасыдыр.***

Көј чисимләринин биздән ејни мәсафәдә көрүнмәси тәсәввүрү онларын Јерин өлчүләринә нисбәтән чох-чох узаг мәсафәләрдә олмасындан јараныр. (Јерә ән јахын көј чисми олан Ај јердән тәгрибән 60 јер радиусу гәдәр мәсафәдәдир). Күндүз көј мави рәнкдә көрүнүр. Бу исә Јер атмосферинин Күнәш шүаларына көстәрдији тә'сирин тәзаһүрүдүр: Күнәш шүаларынын јер атмосфери молекулларындан сәпилмәси нәзәријјәсиндән мә'лумдур ки, бу сәпилмә ишығын далға узунлуғунун дөрдүнчү дәрәчәси илә тәрс мүтәнасибдир (Релеј сәпилмәси); демәли, Күнәшин көрүнән спектриндә ән күчлү сәпилән бәнөвшәји шүалар олмалыдыр; лакин бир тәрәфдән Күнәшин шүаланма енержиси бәнөвшәји областда зәифдир, дикәр тәрәфдән дә көз бәнөвшәји шүалара аз һәссасдыр; көзүмүз јашыл шүалара даһа чох һәссас олса да, көј вә мави шүаларда сәпилмә даһа күчлү олдуғундан шәффаф көјү биз күндүз вахты мави рәнкдә көрүрүк.

Улдузлары мүшаһидә едәркән биздә елә тәсәввүр јараныр ки, онлар сајсыз-һесабсыздыр. Әслиндә исә ади көзлә бүтүн көјдә көрүнән улдузларын үмуми сајы тәгрибән 6000-дир. Бу улдузларын јарысы үфүгдән үстдәки гүббәдә, јарысы исә экс гүббәдәдир. Беләликлә, ејни вахтда көјдә тәгрибән 3000-ә гәдәр улдуз көрмәк мүмкүндүр.

Һәлә ерамыздан чох-чох әввәл билирдиләр ки, улдузларын гаршылыглы вәзијјәти замандан чох зәиф асылыдыр, улдуз көјүнүн шәкли мин илләр әрзиндә демәк олар дәјишилмәз галыр. Улдузлар васитәсилә вахты, фәсилләрин дәјишмәсини, сәмти тә'јин етмәк зәрурәти онлары ајры-ајры груплара ајырмаг фикринә кәтирмишдир. Һәлә гәдим инсанлар бу груплары *бүрчләр* шәклиндә низамламышлар.

Бизим ерадан әввәл III јүзилликдә јунан астрономлары улдуз бүрчләрини системләшдирмишләр. О вахтлар улдуз бүрчләринә гојулан адлар инди дә сахланылыр. Илк бүрчләр көрүнән улдузларын мүәјјән гисмини әһатә етмиш, әсасән асан сечилә билән вә ја парлаг улдузлары олан бүрчләр олмушдур. Бу бүрчләрә гәдим әсатирләрә бағлы адлар верилмишдир (Андромеда, Персеј, Кассиопеја вә с.). XVII јүзилликдә зәиф улдузлардан ибарәт чох да ајдын сечилмәјән улдузлар бүрчләрә ајрылмышдыр (Түлкү, Зүрафә вә с.). XVIII јүзилликдә анчаг Јерин чәнуб јарымкүрәсиндә мүшаһидә олунан улдузлар бүрчләрә ајрылмышдыр вә бунлара, әсасән техники адлар верилмишдир (Телескоп, Микроскоп, Насос вә с.).

1922-чи илдә Бејнәлхалг Астрономија Иттифагынын I гурултајында (бу бејнәлхалг тәшкилат 1919-чу илдә тәшкил едилмишдир) гәрарлашдырылмышдыр ки, улдуз бүрчләри улдуз групларыны дејил, улдуз көјүнүн ајры-ајры саһәләрини әһатә етсин. Бу гәрары вә бә'зи бүрчләрин бир нечә бүрчә ајрылмасы зәрурәтини нәзәрә алараг бүтүн улдуз көјү 88 бүрчдән ибарәт ајры-ајры саһәләрә бөлүнмүшдүр.

Улдуз бүрчләриндәки улдузларын ән парлаглары, адәтән, јунан һәрфләри илә ишарә олунур вә бүрчүн адындан әввәл јазылыр (мәсәлән, α Лира, β Персеј вә с.); сонралар зәиф улдузларын нөмрәләнмәси гәрарлашдырылмышдыр; бә'зи парлаг вә ја башга чәһәтдән сечилән улдузлара узаг кечмишләрдә адлар да верилмишдир; бу адларын чохуну әрәб астрономлары вериб; (мәсәлән, α Лира-Вега, α Арабачы-Капелла, β Персеј-Әлгул—(шејтан), α Орион—Бәтәлкејзе, вә с.). Сәмада ән парлаг көрүнән улдуз Сириусдур (α Бөјүк Көпәк)*. Парлаглығы бу улдузун парлаглығындан 15 дәфәдән чох олмајараг фәргләнән улдузлара парлаг улдузлар десәк, онларын сајы—20-јә чатар (әлбәттә ән парлаг көрүнән улдуз Күнәшдир, о, Сириусдан 10 милјард дәфә парлаг көрүнүр).

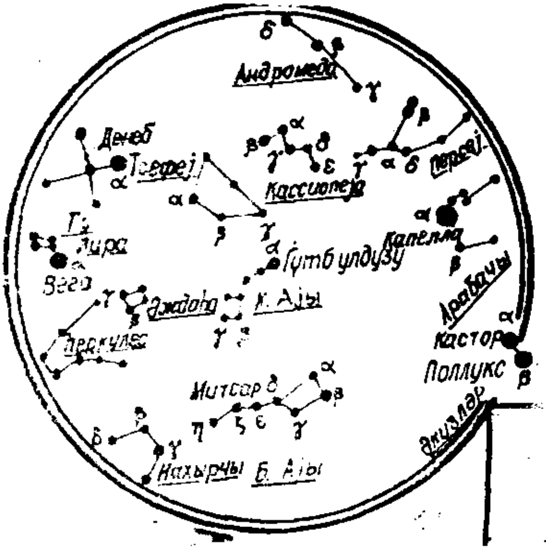
Китабын сонунда (I әлавә) парлаг улдузларын сијаһысы вә онлар һаггында, бә'зи мә'луматлар верилмишдир. Көј сферасы, шәргдән гәрбә доғру, јерини дәјишмәјән улдуза јөнәлмиш истигамәт әтрафында суткалыг дөврлә (бу вахт ваһиди § 21-дә дәгигләшдириләчәкдир) фырланыр. *Көј сферасынын фырланма охуна дүнјанын оху дејилир. Бу ох көј сферасыны ики нөг-*

---

* Азәрбајчан дилинин ганунларына ујғун олараг әслиндә белә олмалыдыр: Бөјүк Көпәјин α-сы, Персејин α-сы вә с. Лакин јығчам олмаг үчүн мәтндәки ишарәни мәгсәдәујғун һесаб етмишик.

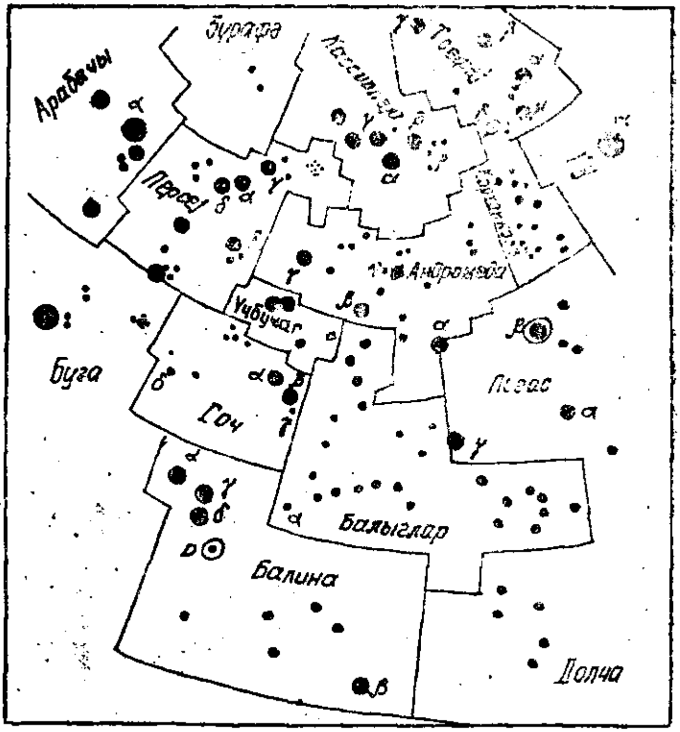
тәдә кәсир. Бунлар дүнјанын гүтбләри адланыр. Күнлүк јердәјишмәсини һисс етмәдијимиз улдуз дүнјанын шимал гүтбүндән чәми $\sim 1°$ аралыдыр. Бу улдуза *гүтб улдузу* дејилир (дүнјанын чәнуб гүтбүндә вә ја онун јахынлығында белә парлаг улдуз јохдур).

Улдуз көјү илә танышлыға мәһз Гүтб улдузунун јерини тапмагдан башламаг лазымдыр. Бунун үчүн әввәлчә Бөјүк Ајы бүрчүнү тапмаг мәсләһәтдир. Бизим енликләрдә үфүгүн шимал тәрәфиндә Үфүгдән тәгрибән 40° һүндүрлүк истигамәти әтрафында бу истигамәтдән 20°—30° бучаг мәсафәсиндә једди парлаг улдузу илә сечилән Бөјүк Ајы бүрчүнү тапмаг асандыр. Бу улдузларын дүзүлүшү чөмчәјә бәнзәр фигура охшајыр (бүрчүн өзү әтраф улдузлары да әһатә едир вә кечмишдә јунанлар буна Ајы шәкли, Казахлар Кичик Ајы бүрчү илә бирликдә Ат шәкли вермишләр). Бу улдузларын адлары әрәбчәдир: Дубхе (α), Мерак (β), Фекда (γ), Мегретс (δ), Алиот (ε), Митсар (ξ) вә Бенетнаш (η). Митсарын јахынлығында зәиф улдуз көрүнүр (бу улдузу көрән адам узағы јахшы көрүр), онун әрәбчә ады Әлкурдур. Бөјүк Ајы бүрчүнүн α вә β улдузлары арасындакы бучаг мәсафәси, 5°. 5-дир. Бу ики улдузу бирләшдирән дүз хәтт онларын арасындакы мәсафәнин беш мисли гәдәр (чөмчәнин гујруғунун габарығына тәрәф) узатсаг Гүтб улдузуна чатарыг. 1-чи шәкилдә Гүтб әтрафы бүрчләр верилмишдир. Бу бүрчләр бизим енликләрдә бүтүн ил боју батмыр, јә'ни һәмишә үфүгүн үзәриндә олур. Гүтб улдузу нисбәтән зәиф једди улдузу илә сечилән Кичик Ајы бүрчүнүн ән парлаг улдузудур (α Кичик Ајы). Бу улдуздан Бөјүк Ајы бүрчүнә нисбәтән әкс тәрәфдә Бөјүк вә Кичик Ајы бүрчләри арасындакы мәсафә гәдәр мәсафәдә М һәрфинә бәнзәр фигүтб улдузундан перпендикулјар кечирсәк онун бир тәрәфиндә ән парлаг



Шәкил 1. Гүтбәтрафы бүрчләр.

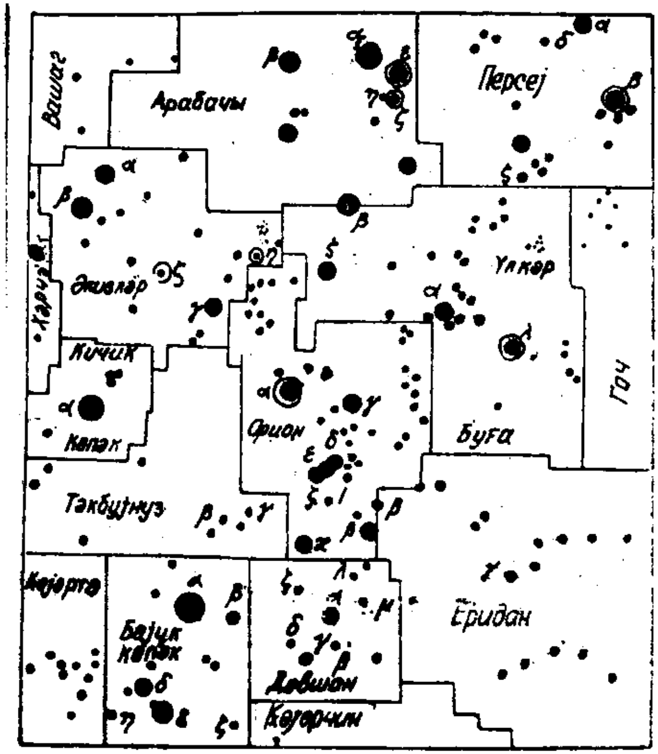
библио... БГУ



Шәкил 2. Пајыз ахшамында чәнуб көјүнүн бүрчләри

пеја бүрчү көрүнүр. Ондан бир гәдәр узагда Андромеда бүрчүнү көрүрүк. Бөјүк вә Кичик Ајы бүрчләринин арасында Әждаһа бүрчү јерләшмишдир. Бөјүк Ајы вә Кассиопеја бүрчләрини бирләшдирән хәттә гүтб улдузундан перпендикулјар кечирсәк онун бир тәрәфиндә ән парлаг улдузлардан олан Капелланы (α Арабачы), гүтб улдузундан елә бу мәсафәдә экс тәрәфдә исә чох парлаг Веганы (α Лира) көрмәк олар. Андромеда вә Арабачы бүрчләринин арасында кениш Персеј бүрчү көрүнүр. (Бу бүрч Қәһкәшанын фонундадыр). Гүтбәтрафы галан улдуз бүрчләрини тапмаг үчүн 1-чи шәкилдән истифадә етмәк олар. (2÷5)-чи шәкилләрдән истифадә етмәклә ујғун олараг пајыз, гыш, јаз вә јај фәсилләриндә шимал мүлајим гуршагда ахшамлар мүшаһидә олунан бүрчләри улдуз көјүндә тапмаг мүмкүндүр.

Улдуз көјүнүн шәклинин сутка әрзиндә дәјишмәси Јерин 24 саатлыг дөврлә фырланмасынын, ил әрзиндә дәјишмәси исә Јерин Күнәш әтрафында иллик дөврлә доланмасынын нәтиҹәсидир.



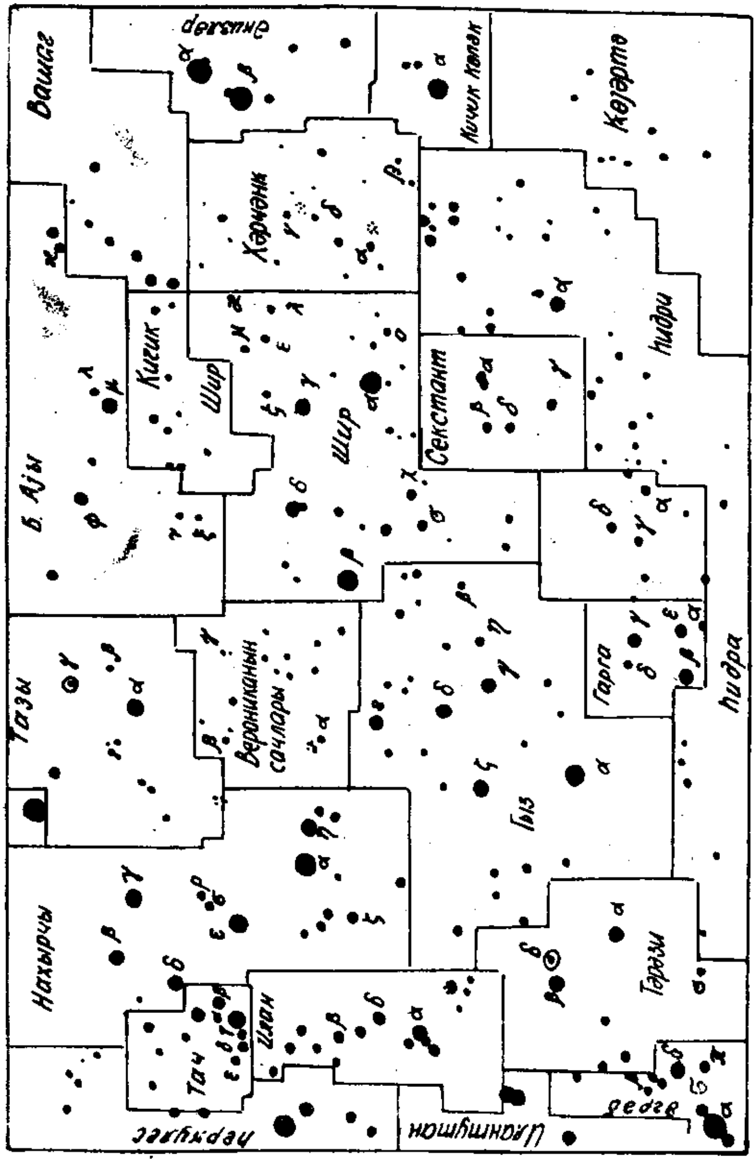
Шәкил 3. Гыш ахшамында чәнуб көјүнүн бүрчләри.

§ 6. КӨЈ СФЕРАСЫНЫН ӘСАС ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

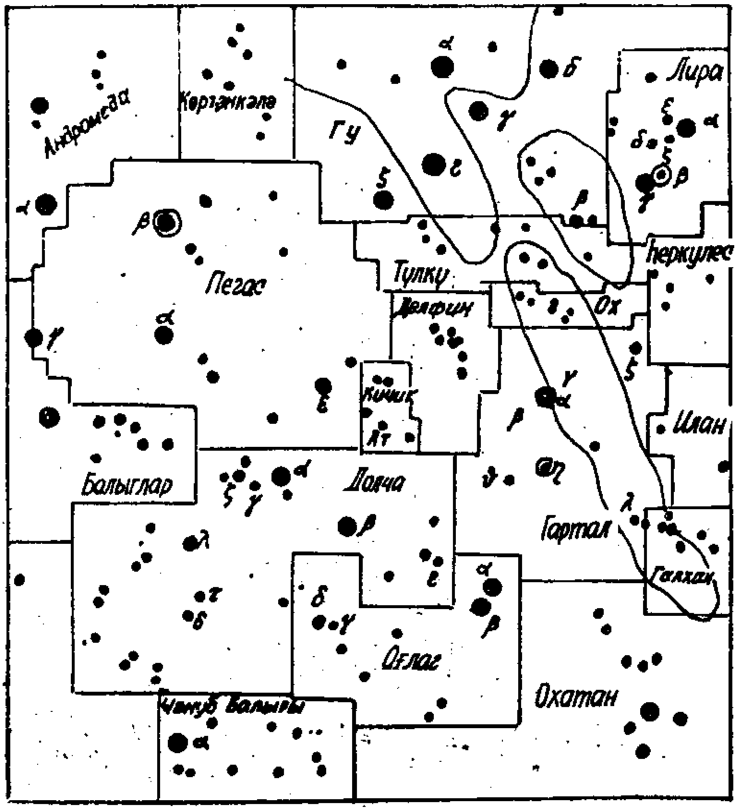
Көј чисимләринин вәзијјәти вә һәрәкәти илә бағлы олан бир сыра мәсәләләрин һәллиндә көј сферасындан кениш истифадә едилир.

Көј сферасынын әсас елементләри илә таныш олаг. Бу елементләр 6-чы шәкилдә верилмишдир.

Ағырлыг гүввәсинин истигамәти астрономијада әсас истигамәт һесаб олунур. Ағырлыг гүввәсинин истигамәти үзәринә дүшән хәттә *шагул хәтти дејилир.* Шагул хәтти көј сферасынын диаметрләриндән бири кими ону диаметрал әкс нөгтәләрдә кәсир. Мүшаһидәчинин дүз башы үзәриндәки көј сферасы нөгтәси *зенит* (Z), ајағынын алтындакы диаметрал әкс нөгтә исә *надир* (Z') адланыр. (Бу адлар әрәбләр тәрәфиндән верилмишдир). Астрономијанын бир чох мәсәләләриндә Јер бирчинсли күрә кими гәбул едилир. Одур ки, јер сәтһинин һәр бир нөгтәсиндә шагул хәттинин бу нөгтәдә Јерин радиусу үзәринә дүшдүјүнү гәбул едирик.

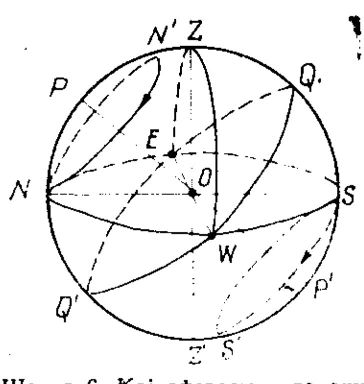


Шәкил 4. Јаз ахшамынын бүрҹләри.



Шәкил 5. Јај ахшамынын бүрҹләри.

Көј сферасынын мәркәзиндән кечән вә шагул хәттинә перпендикулјар олан мүстәви *һәгиги вә ја ријази үфүг мүстәвиси*, һәмин мүстәвинин көј сферасы илә кәсишмәсиндән алынан бөјүк даирә исә *һәгиги вә ја ријази үфүг* адланыр (6-чы шәкилдә *NESWN*). Бу үфүгдән фәргли «көрүнән» үфүг дә вар. «Көрүнән» үфүг «көјүн» јерлә «бирләшдији» хәјали хәтдир. Гуруда көрүнән үфүг һәгиги үфүгдән үстдә, алтда вә ја онун үзәриндә ола биләр, дәниздә исә көрүнән үфүг һәмишә һәгиги үфүгдән алтдадыр. Астрономијада үфүг дедикдә һәгиги (ријази) үфүгү нәзәрдә тутуруг. Ријази үфүг мүстәвиси мүшаһидә нөгтәсиндә Јерин сәтһинә то-



Шәкил 6. Көј сферасы вә онун әсас елементләри.

хунан мүстәвидир. Һәр бир бөјүк даирә кими һәгиги үфүг көј сферасыны ики јарымсферә бөлүр. Тәпәсиндә зенит дуран јарымсфер (*NZS*) мүшаһидә олунан, надир дуран јарымсфер (*NZ'S*) исә мүшаһидә олунмајандыр.

6-чы шәкилдә *PP'* дүнјанын оху, *P* вә *P'* дүнјанын гүтбләридир. Дүнјанын охундан вә шагул хәттиндән кечән мүстәвинин көј сферасы илә кәсишмәсиндән алынан бөјүк даирә *көј меридианы* адланыр. Ајдындыр ки, көј меридианы дүнјанын гүтбүндән (мәсәлән *P*-дән) вә зенитдән (*Z*) кечән бөјүк даирәдир (*PZZ'P'P*). Бу даирәнин мүстәвиси үфүг мүстәвиси илә *NS* хәтти бојунча кәсишир; *NS* хәттинә *күнорта хәтти* дејилир; Күнәш чәнуб тәрәфдә көј меридианында оланда (буна һәгиги күнорта дејилир) үфүгә шагули санчылан чубуғун көлкәси бу хәттин үзәринә дүшүр. *N* нөгтәси үфүгүн *шимал* (норд), *S* нөгтәси исә үфүгүн чәнуб (зүд) нөгтәси адланыр. Шимал нөгтәсинин үстүндәки *P* нөгтәси *дүнјанын шимал гүтбү*, диаметрал әкс нөгтә *P'* исә *дүнјанын чәнуб гүтбүдүр.*

Көј сферасынын мәркәзиндән кечән вә дүнјанын охуна перпендикулјар олан мүстәви *екватор мүстәвиси*, һәмин мүстәвинин көј сферасы илә кәсишмәсиндән алынан бөјүк даирә исә *көј екватору* адланыр (*QEQ'WQ*). *Көј* екватору көј сферасыны *шимал* (*QPQ'*) вә *чәнуб* (*QP'Q'*) јарымсферләринә бөлүр. Көј екватору ашағыдакы бүрчләрдән кечир: Балыглар, Балина, Орион, Тәкбујнуз, Секстан, Гыз, Илантутан, Илан, Гартал вә Долча. Көј екватор мүстәвиси һәгиги үфүг мүстәвиси илә көј сферасынын *WE* диаметри бојунча кәсишир. Ајдындыр ки, $WE \perp NS$-дир. *E* нөгтәси үфүгүн *шәрг* (ост), *W* исә *гәрб* (вест) нөгтәсидир.

Шәрг-гәрб хәттиндән кечән вә үфүг мүстәвисинә перпендикулјар олан мүстәви көј сферасыны *биринчи шагул* адланан бөјүк даирә бојунча кәсир (*WZE*). Ајдындыр ки, биринчи шагул мүстәвиси меридиан мүстәвисинә дә перпендикулјардыр.

Көј сферасынын суткалыг дөврлә фырланмасы нәтичәсиндә һәр бир көј чисми сутка әрзиндә көј екваторуна паралел даирә чызыр; бу, көј чисминин *суткалыг паралели* адланыр. Көј чисми көј екватору үзәриндә оларса, онун суткалыг паралели елә көј екваторунун өзү олар. Галан суткалыг паралелләр кичик даирәләрдир. 6-чы шәкилдә ики суткалыг паралел көстәрилмишдир (*NN'* вә *SS'*). Шәрг тәрәфдә көј чисминин һәгиги үфүгү кәсдији нөгтә онун *доғма нөгтәси*, гәрб тәрәфдә бу үфүгү кәсдији нөгтә исә *батма нөгтәси* адланыр. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, суткалыг паралелләри *NN'* илә дүнјанын шимал гүтбү (*P*) арасында јерләшән көј чисимләри верилмиш чоғрафи енликдәки мүшаһидәчи үчүн *батмајандыр* (§ 8-ә бах); бу чисимләр көј сферасынын суткалыг фырланмасы заманы һәмишә үфүгүн үстүндә олур. Әксинә, суткалыг паралелләри *SS'* илә дүнјанын чәнуб гүтбү (*P'*) арасында олан көј чисимләри исә һәмин енликдә *доғмајандыр.;* бу чисимләр көј сферасынын суткалыг фырланмасы заманы һәмишә үфүгүн алтында галыр. Нәһајәт, суткалыг паралелләри *NN'* вә *SS'* арасында олан, јә'ни суткалыг паралели ријази үфүгү кәсән көј чисимләри верилмиш енликдә һәм *доған*, һәм дә *батандыр.*

6-чы шәкилдән көрүнүр ки, һәр бир көј чисми суткада ики дәфә көј меридианындан кечир. Көј чисимләринин (вә ја көј сферасы нөгтәсинин) көј меридианында олмасына онун *кулминасијасы* дејилир. (латынча culmen—тәпә, зирвә демәкдир). Көј чисми көј меридианыны зенит (Z) олан $PZQSP'$ јарымсфериндә кәсирсә, о, јухары кулминасијада, надир (Z') олан $PNQ'Z'P'$ јарымсферндә кәсирсә, о, *ашағы кулминасијададыр* дејирләр (индичә дејиләнләрә әлавә кими § 12-јә бах). 6-чы шәкилдә NN' *суткалыг* паралелә малик олан көј чисми меридианын N' нөгтәсиндә оланда јухары кулминасијададыр, N нөгтәсиндә оланда исә ашағы кулминасијададыр, көј чисминин суткалыг параллели көј екваторудурса, онда о, Q нөгтәсиндә оланда јухары, Q'-дә оланда ашағы кулминасијададыр.

Јери кәлмишкән бир шәрти дә нәзәрә алмаг лазымдыр. Үзүнү дүнјанын шимал гүтбүнә тәрәф тутан мүшаһидәчијә көрә көј сферасы саат әгрәбинин әкси истигамәтдә фырланан кими көрүнүр. Анчаг астрономијада көј сферасы она харичдән бахан хәјали мүшаһидәчијә көрә тәсвир олунур. Белә мүшаһидәчијә көрә дүнјанын шимал гүтбү үстүндә көј сферасынын фырланмасы саат әгрәби истигамәтиндә оларды. Буна сәбәб, јерин шимал гүтбү үстүндәки мүшаһидәчијә көрә Јерин һәгиги фырланмасынын саат әгрәбинин әкси истигамәтдә олмасыдыр.

§ 7. КҮНӘШИН КӨРҮНӘН ИЛЛИК ҺӘРӘКӘТИ. ЕКЛИПТИКА

Бир ахшам улдуз көјүнү мүшаһидә едәрәк бүрчләри «нишанлајаг». Мүшаһидәни 1—2 ајдан сонра һәмин саатда тәкрар едәк. Бу ики мүшаһидәнин мүгајисәсиндән ашкар олар ки, әввәл көјүн чәнуб тәрәфиндә јүксәкдә көрүнән бүрчләр гәрбә тәрәф јерләрини дәјишмиш, һәмин саатда гәрбдә көрүнән бүрчләр даһа көрүнмүр, көјүн шәрг һиссәсиндә исә әввәл көрүнмәјән јени бүрчләр көрүнүр. Беләликлә, улдуз көјүнүн көрүнән мәнзәрәси шәргдән гәрбә тәрәф дәјишмишдир. Бу, улдузларын фонунда Күнәшин әкс тәрәфә, јә'ни гәрбдән шәргә тәрәф јерини дәјишмәси илә әлагәдар ола биләр. Бәс Күнәшин бу һәрәкәти онун һәгиги һәрәкәтидирми? Хејир, бу һәрәкәт заһирән көрүнән һәрәкәтдир: Күнәшин бу заһири јердәјишмәси Јерин Күнәш әтрафында гәрбдән шәргә һәгиги доланмасынын нәтичәсидир. Бу доланманын дөврү бир ил олдуғундан (бу дөврү кәләчәкдә дәгигләшдирәчәјик) Күнәшин көрүнән һәрәкәти дә иллик дөврә маликдир. Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәт јолу олан бөјүк даирә *еклиптика* адланыр («еклипсис» јунанча тутулма демәкдир—гәдимдән билирдиләр ки, Күнәшин вә Ајын тутулмасы Ајын еклиптикаја јахын олмасындан асылыдыр). Ајдындыр ки, еклиптика, Јерин орбит мүстәвисинин көј сферасы илә кәсишмәсиндән алынан бөјүк даирәдир. Күнәшин маридианда һүндүрлүјүнүн ил әрзиндә дәјишмәси көстәрир ки, еклиптика екватор үзәринә дүшмүр, јә'ни еклиптика екваторла мүәјјән бучаг тәшкил едир. Бу-

на еклиптиканын екватора мејли вә ја садәчә *ектиптиканын мејли* (ε) дејилир.

Планетләрин Јерә гравитасија тә'сири нәтичәсиндә еклиптика мүстәвиси (јерин орбит мүстәвиси) чох бөјүк дөвр вә чох кичик амплитуд илә фәзада өз вәзијјәтини дәјишдирир—рәгс едир, јелләнир. Бунун нәтичәсиндә еклиптиканын екватора мејли (ε) сабит галмыр: бу мејлин гијмәти чох ләнк—илдә 0″, 47 кичилир вә онун гијмәти ε=23°27′8″,26—0″,47(*t*—1900) дүстуру илә һесабланыр (*t*—1900-чу илдән сонракы илләрдир). Бир нечә мин илдән сонра еклиптиканын мејлинин кичилмәси онун бөјүмәси илә әвәз олуначагдыр (бах § 52 вә § 55). Еклиптиканын 1980-чи илин башланғычы үчүн мејли ε=23°26′30″, 26 олмуш, 1990-чы илин башланғычы үчүн исә ε=23° 26′25″,56-дир. Беләликлә һәлә азы јүз ил бундан сонра да ε≃23°26′ гәбул едә биләрик.

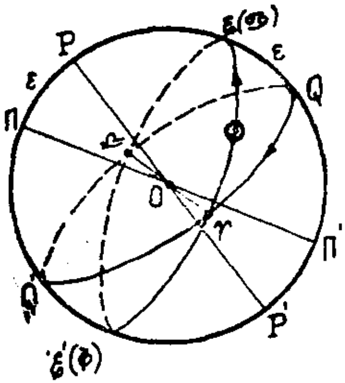
Һәр бириндә тәгрибән бир ај галмагла Күнәш ил әрзиндә 12 бүрчдән кечир. Бунлара *зодиак бүрчләри* дејилир («зодиак» јунанча һејван демәкдир—зодиак бүрчләринин јарыдан чохунун ады һејван адларыдыр). Ашағыда һәр бир фәсилдә Күнәшин олдуғу зодиак бүрчләри вә онларын ишарәләри верилир.

Јаз	Јај	Пајыз	Гыш
Балыглар ♓	Әкизләр ♊	Гыз ♍	Охатан ♐
Гоч ♈	Хәрчәнк ♋	Тәрәзи ♎	Оғлаг ♑
Буға ♉	Шир ♌	Әгрәб ♏	Долча ♒

Күнәшин олдуғу бүрчләр көрүнмүрләр (Күнәшлә бәрабәр чыхыб батырлар), Күнәшә нисбәтән еклиптиканын әкс тәрәфиндә оланлар исә даһа јахшы көрүнүрләр (Күнәш батандан сонра чыхырлар вә ја үфүгдән хејли јухарыда олурлар). Мәсәлән, сентјабр ајында Күнәш Гыз бүрчүндә олдуғундан о бүрч вә она јахын Шир вә Тәрәзи бүрчләри мүшаһидә олунмурлар. Бу заман Балыглар вә она јахын бүрчләр даһа јахшы көрүнүрләр.

Еклиптика вә екватор бөјүк даирәләр олдуғундан онлар ики диаметрал әкс нөгтәләрдә кәсишир (шәкил 7). Күнәш ♈ нөгтәсиндән кечәндә о, көјүн чәнуб јарымкүрәсиндән шимал јарымкүрәсинә кечир вә бу һалда Јерин шимал јарымкүрәсиндә *јаз* башлајыр (21 март) вә кечә илә күндүзүн узунлуғу бәрабәрләшир; бу нөгтәјә *јазбәрабәрлији нөгтәси* дејилир; Күнәш ♎ нөгтәсиндән кечәндә о, көјүн шимал јарымкүрәсиндән чәнуб јарымкүрәсинә кечир вә бу һалда Јерин шимал јарымкүрәсиндә *пајыз* башлајыр (23 сентјабр) вә јенә дә кечәнин узунлуғу күндүзүнкүнә бәрабәр олур; бу нөгтәјә *пајызбәрабәрлији нөгтәси* дејилир. Әслиндә кечә илә күндүзүн узунлугларынын бәрабәрләшмәси 21 мартдан бир нечә күн әввәл вә 23 сентјабрдан бир нечә күн сонра олур (бах: §§ 14, 15, 32, 33). Бәрабәрлик нөгтәләринин ишарәләри Гоч (♈) вә Тәрәзи (♎) бүрчләринин ишарәләридир. Еклиптика һаггында илк мә'луматлара бизим ерадан әввәлки јазыларда раст кәлирик. (Бизим ерадан 1100 ил әввәл һәтта еклиптиканын екватора мејлини һесабламаг үсулу мә'лум иди). О заманлар бәрабәрликләр нөгтәләри Гоч

(♈) вә Тәрәзи (♎) бүрҹләриндә олмуш вә бу ишарәләр бу күн дә сахланыр. Анҹаг әслиндә бизим епохада һәмин нөгтәләр ујғун оларағ Балыглар (♓) вә Гыз (♍) бүрҹүндәдирләр. 7-ҹи шәкилдә көј сферасы, дүнјанын оху (PP'), көј екватору (QQ'), еклиптика ($\mathscr{E}\mathscr{E}'$), көј сферасынын мәркәзиндән кечмәклә еклиптикаја перпендикулјар дүз хәтт ($ПП'$) чәкилмишдир. $ПП'$ *еклиптиканын оху* адланыр вә бу ох еклиптикадан 90° *бучаг* мәсафәсиндә көј сферасыны ики нөгтәдә кәсир. Бу нөгтәләрдән дүнјанын шимал гүтбүнә јахын оланы *еклиптиканын шимал (П)*, дүнјанын ҹәнуб гүтбүнә јахын оланы исә *еклиптиканын ҹәнуб гүтбу (П')* адланыр. ♈О ♎ хәтти, јә'ни еклиптика вә екватор мүстәвиләринин кәсишмә хәтти көј екваторунун *дүјүн хәтти, бәрабәрлик* нөгтәләри исә онун еклиптикада *дүјүн нөгтәләри* адланыр. 7-ҹи шәкилдә екватор үзәриндәки ох ишарәси көј сферасынын суткалыг фырланмасы истигамәтини, еклиптика үзәриндәки ох ишарәси исә Күнәшин (☉ Күнәшин астрономик ишарәсидир) көрүнән иллик һәрәкәт истигамәтини көстәрир.



Шәкил 7. Екватор вә еклиптика.

Биз адиҹә мәишәтдән билирик ки јај кирәндә (22 ијун) күнорта вахты күнәш үфүгдән үстдә ән бөјүк һүндүрлүкдә, гыш кирәндә (22 декабр) исә ән кичик һүндүрлүкдә олур (бах §§ 11, 12). Биринҹи һалда Күнәш еклиптиканын $\mathscr{E}$, икинҹи һалда исә $\mathscr{E}'$ нөгтәсиндә олур. $\mathscr{E}$(♋) вә $\mathscr{E}'$ (♑) нөгтәләринә ујғун оларағ *јај* вә *гыш күнәшдурушу нөгтәләри* дејилир.

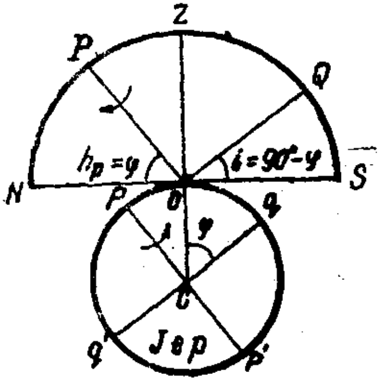
Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәтилә бағлы башга мәсәләләрдән, хүсусән илин фәсилләринин әмәлә кәлмәси сәбәбләриндән кәләҹәкдә бәһс едәҹәјик.

§ 8. ДҮНЈА ГҮТБҮНҮН ҮФҮГДӘН ОЛАН ҺҮНДҮРЛҮЈҮ ҺАГГЫНДА ТЕОРЕМ ВӘ КӨЈ СФЕРАСЫНЫН МҮХТӘЛИФ МӘҺӘЛЛӘРДӘ КӨРҮНҮШҮ

Теорем: Јерин һәр бир мәһәллиндә дүнјанын гүтбүнүн үфүгдән олан һүндүрлүјү бу мәһәллин ҹоғрафи енлијинә бәрабәрдир.

8-ҹи шәклин көмәји илә бу теореми асанлыгла исбат етмәк олар. Һәмин шәкилдә Јер күрәси, онун pp' фырланма оху (p-Јерин шимал, p'—ҹәнуб гүтбүдүр), Јер күрәсинин мәркәзиндән кечмәклә бу оха перпендикулјар олан јер екватору (qq'), О мәһәллиндә һәгиги үфүг (NS) вә буна нәзәрән көјүн үст јарымсфери, һәмин мәһәлдә зенитә (Z) вә дүнјанын шимал гүтбүнә (P) јөнәлмиш истигамәтләр (OZ вә OP), һәм-

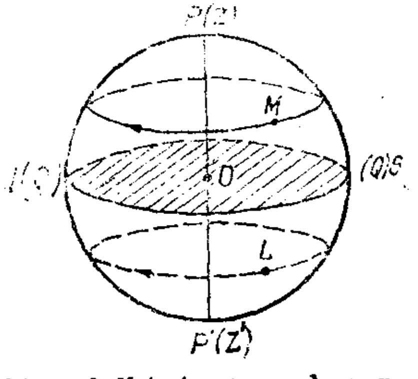
чинин көј екваторунун вәзијјәти (QQ') көстәрилмишдир. Охлар Јерин вә көј сферасынын фырланма истигамәтләрини көстәрир. Дүнјанын шимал гүтбүнүн һәгиги үфүгдән олан һүндүрлүјүнә h_p дејәк. Ајдындыр ки, $h_p = NP$ гөвсүдүр. Мәһәллин (О нөгтәсинин) чоғрафи енлији φ, Јерин екватору илә мәһәлдә Јер күрәсинин радиусу арасындакы бучагдыр, јә'ни $\varphi = qCO$-дур (бах § 16). 8-чи шәкилдә $\llcorner NOP$ вә $\llcorner qCO$-дан көрүнүр ки, $OP \perp Cq$ вә $ON \perp CO$-дур, јә'ни бахдығымыз бучагларын тәрәфләри гаршылыглы перпендикулјардыр. Одур ки, $h_p = \varphi$-дир, јә'ни доғрудан да Јерин *һәр бир мәһәллиндә дүнјанын гүтбүнүн үфүгдән олан һүндүрлүјү бу мәһәллин чоғрафи енлијинә бәрабәрдир.*



Шәкил 8. Гүтбүн үфүгдән олан һүндүрлүјүнүн чоғрафи енлијә бәрабәр олмасынын тәсвири.

Индичә исбат етдијимиз теоремә әсасән 8-чи шәкилдән көрүрүк ки, көј екваторунун һәгиги үфүгә мејли i илә мәһәллин φ чоғрафи енлији арасында $i = 90° - \varphi$ мүнасибәти вардыр. Бу мүнасибәтдән истифадә етмәклә јерин шимал гүтбүндә, екваторунда вә бунлар арасындакы мәһәлдә көј сферасынын нечә көрүнүшә малик олдуғуну асанлыгла тәсәввүр едә биләрик.

1. Јерин шимал гүтбүндә $\varphi = 90°$ олдуғундан дүнјанын оху (PP') шагул хәтти (ZZ') үзәринә дүшүр (башга сөзлә, дүнјанын шимал гүтбү (P) зенит (Z) үзәринә, чәнуб гүтбү (P') исә надир (Z') үзәринә дүшүр. Бу о демәкдир ки, Јерин гүтбүндә көј екватору (QQ') вә һәгиги үфүг (NS) үст-үстә дүшүр. Бу һалда чәһәтләр, меридиан, күнорта хәтти, кулминасија кими анлајышлар өз мә'наларыны итирирләр. Ајдындыр ки, Јерин гүтбүндәки мүшаһидәчијә көрә суткалыг паралелләр үфүгә паралел олур. Демәли, Јерин шимал гүтбүндәки мүшаһидәчијә көрә көјүн шимал јарымсфериндә јерләшән көј чисимләри һәмишә үфүгдән үстдә, чәнуб јарымсфериндә јерләшәнләр исә үфүгдән алтда олурлар; биринчиләр (M) *батмајан, икинчиләр* (L) исә доғмајан олур. Башга сөзлә, јерин шимал гүтбүндә анчаг көјүн шимал јарымсфериндәки көј чисимләри көрүнүр (шәкил 9).



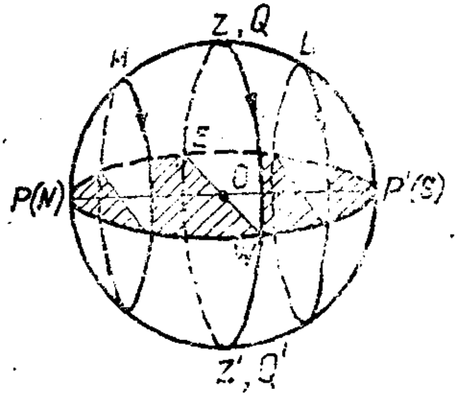
Шәкил 9. Көј сферасынын Јерин шимал гүтбүндә көрүнүшү.

Јерин чәнуб гүтбүндә ($\varphi = -90°$) көј сферасынын көрүнүшү јухарыдакына аналожи олар, лакин зенит дүнјанын чәнуб гүтбү илә үст-үстә дүшәр, чәнуб јарымсфериндәки көј чи-

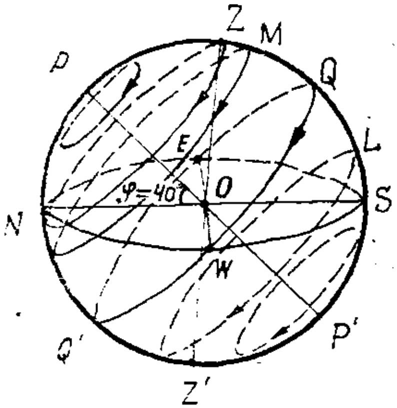
симләри батмајан, шимал јарымсфериндәкиләр исә доғмајан олур. Башга сөзлә, јерин ҹәнуб гүтбүндә анҹаг көјүн ҹәнуб јарымсфериндәки көј ҹисимләри көрүнүр.

2. Јерин екваторунда $\varphi=0°$ олдуғундан $i=90°$ олур, јә'ни көј екватору (QQ') һәгиги үфүгә (NS) перпендикулјар олур вә тән бөлүнүр (шәкил 10), башга сөзлә, дүнјанын оху (PP') күнорта хәттинин (NS) үзәринә дүшүр, јахуд үфүгүн шимал нөгтәси (N) дүнјанын шимал гүтбү (P) үзәринә, ҹәнуб нөгтәси (S) исә ҹәнуб гүтбү (P') үзәринә дүшүр. Ајдындыр ки, бу һалда суткалыг параллеләр һәгиги үфүгдә тән бөлүнмәклә она перпендикулјар олур. Демәли, көјүн һәр ики јарымсферинин көј ҹисимләри ејни шәраитдә көрүнүр: үфүгдән дик галхараг чыхыр, максимум һүндүрлүјә чатдыгдан сонра дик енәрәк батыр. Шимал јарымсферинин көј ҹисимләри зенитдән (Z) шималда (N), ҹәнуб јарымсферинин көј ҹисимләри исә зенитдән ҹәнубда (S) кулминасија едир.

3. Јерин екватору илә шимал гүтбү арасында $0°<\varphi<90°$ олдуғундан көј екваторунун (QQ') һәгиги үфүгә мејли $0°<i<90°$ интервалында дәјишир. 11-ҹи шәкилдә $\varphi=40°$ олан һалда (Азәрбајҹан әразиси јерләшән енликләрдәндир) көј сферасынын көрүнүшү көстәрилмишдир. Белә мәнзәрә һаггында 6-чы шәкилдә көј сфе-



Шәкил 10. Көј сферасынын Јерин екваторунда көрүнүшү.



Шәкил 11. Көј сферасынын Бакы енлијиндә көрүнүшү

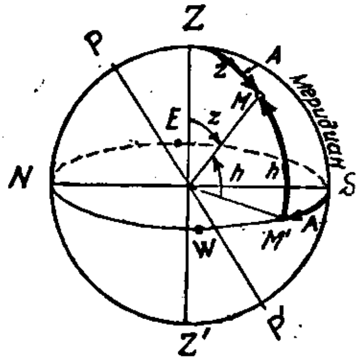
расынын әсас елементләриндән бәһс едәндә данышмышдыг. Бураја ону әлавә едә биләрик ки, үмумијјәтлә, Јер екваторундан онун гүтбүнә доғру һәрәкәт етдикҹә дүнјанын гүтбүнүн һәгиги үфүгдән олан һүндүрлүјү бөјүдүјүндән о, зенитә јахынлашыр, башга сөзлә көј екватору һәгиги үфүгә јахынлашыр, көјүн бу мүвафиг јарымсфериндә мүшаһидә олунан көј ҹисимләринин сајы даһа чох олур ,онларын суткалыг параллеләринин даһа бөјүк һиссәси үфүгдән үстдә олур. Бу мүвафиг јарымсфер, Јерин шимал јарымкүрәсиндә көјүн шимал јарымсфери, Јерин ҹәнуб јарымкүрәсиндә исә көјүн ҹәнуб јарымсферидир.

§ 9. АСТРОНОМИК КООРДИНАТ СИСТЕМЛӘРИ

Көј сферасында гурулан координат системи *астрономик координат системи*, јахуд *көј сферик координат системи* адланыр. Көј чисимләринин вә көј сферасы нөгтәләринин көрүнән вәзијјәти бу системдә ики сферик координатла тә'јин олунур. Астрономијада бир нечә көј сферик координат системи вардыр вә бунларын һәр бири мүәјјән мәсәләләрин һәллиндә тәтбиг едилир. Һәр бир астрономик координат системи әсас бөјүк даирә вә бу даирәнин гүтбләриндән вә координатлары ахтарылан көј чисминдән кечән јарымдаирә илә сәчијјәләнир. Әсас бөјүк даирәнин гүтбләри координат системинин гүбтләри, онлардан вә көј чисминдән кечән јарымдаирә исә јардымчы даирә адланыр. Һәр бир систем үчүн һесаблама башланғычы вә истигамәти вардыр. Астрономик координат системи әсас даирәнин ады илә адланыр.

Ашағыда үч астрономик координат системи һаггында мә'лумат верилир.

1. **Үфүги координат системи (шәкил 12).** Бу системдә әсас даирә һәгиги үфүг олдуғундан системин гүтбләри зенит (Z) вә надирдир (Z′), јардымчы даирә исә зенитдән вә надирдән, еләчә дә көј чисминдән кечир. Үфүги координат системиндә јардымчы даирә көј чисминин *һүндүрлүк даирәси вә ја шагули даирәси адланыр.* 12-чи шәкилдә *ZMZ′* үфүги координатлары илә марагландығымыз *M* нөгтәсинин һүндүрлүк даирәси, јахуд шагулудир.



Шәкил 12. Үфүги координат системи.

Үфүги координат системиндә координатлардан бири *азимут* (*A*), дикәри исә *һүндүрлүк* (*h*) вә ја чох заман ону *әвәз едән зенит мәсафәсидир* (z). *M* нөгтәсинин *азимуту* (*A*), тәпәси зенитдә (*Z*) олан вә меридианын чәнуб һиссәси илә бу нөгтәнин шагулу арасында галан бучагдыр; **башга сөзлә *M* нөгтәсинин *азимуту* (*A*)** меридианын чәнуб (*S*) нөгтәсиндән *M* нөгтәсинин шагулунун үфүгдә кәсишдији нөгтәјәдәк **олан үфүг даирәси гөвсүдүр (Z=SM′).** Астрономијада *азимут* чох вахт меридианын чәнуб (*S*) тәрәфиндән гәрбә (*W*) доғру өлчүлүр вә 0°-дән 360°-дәк гијмәтләр алыр. Бә'зән бу координат меридианын чәнуб (*S*) тәрәфиндән гәрбә (*W*) доғру мүсбәт, шәргә (*E*) доғру исә мәнфи олмагла 0°-дән 180°-дәк гијмәтләндирилир. (Кеодезијада азимут үфүгүн шимал тәрәфиндән шәргә доғру мүсбәт, гәрбә доғру исә мәнфи олмагла 0° илә±180° арасында гијмәтләндирилир). Бир шагул үзәриндә олан нөгтәләр *ејни азимута* маликдирләр.

M нөгтәсинин *һүндүрлүјү* (*h*) онун һүндүрлүк даирәси бојунча һәгиги үфүгдән олан бучаг мәсафәсидир (*h=M′M*). Һәгиги үфүгдән үстдә олан көј чисминин *һүндүрлүјү* мүсбәт, алтда оланынкы мәнфидир. Де-

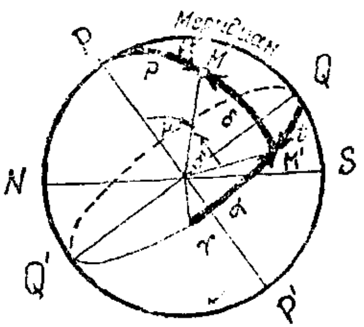
мәли зенитдә $h=90°$, надирдә исә $h=-90°$-дир. Үфүгдә $h=0°$-дир. Чох заман һүнүрлүк *зенит мәсафәси* илә әвәз олунур. *M* нөгтәсинин *зенит мәсафәси* (*z*) онун һүндүрлүк даирәси бојунча зенитдән бу нөгтәјә гәдәр олан гөвсдүр ($z=ZM$). *Зенит мәсафәси* (z) 0°-дән (зенитдә) 180°-дәк (надирдә) гијмәтләр алыр. Ајдындыр ки, $h+z=90°$-дир. Үфүгә паралел даирә үзәриндә олан нөгтәләр *ејни һүндүрлүјә* (вә ја *зенит мәсафәсинә*) маликдир. (9-чу шәкилдә M нөгтәсиндән кечән вә һәгиги үфүгә паралел олан даирә көстәрилмишдир; һәгиги үфүгә паралел даирә *әлмүкәнтарәд* адланыр).

Меридиан көј сферасынын фырланмасында иштирак етмәдијиндән көј чисминин *азимуту* даим дәјишир; Јерин гүтбләри мүстәсна олмагла (бах § 8) һәр мәһәлдәки мүшаһидәчи үчүн көј чисминин суткалыг паралели һәгиги үфүгә паралел олмадығындан онун *һүндүрлүјү* вә ја *зенит мәсафәси дә* даим дәјишир. (Бу, 12-чи шәкилдән ајдын көрүнүр). Үфүги координатлар даим дәјишдијиндән үфүгү кооринат системи улдуз хәритәләри вә улдуз каталоглары тәртиб етмәк үчүн јарамыр. Бу координат системиндән көј чисминин верилән ан үчүн вәзијјәтини тәјин едәркән истифадә олунур.

Улдуз хәритәләри вә улдуз каталоглары тәртиб едиләркән елә координат системи лазымдыр ки, орада координатлар көј сферасынын суткалыг фырланмасы нәтичәсиндә дәјишмәз галсын.

2. Екваториал координат системи. (Шәкил 13). Бу системдә әсас даирә көј екватору (QQ') олдуғундан системин гүтбләри дүнјанын гүтбләридир *P* вә *P'*. Демәли јардымчы даирә дүнјанын гүтбләриндән вә көј чисминдән кечир. Екваториал координат системиндә јардымчы даирә көј чисминин *саат даирәси* вә ја *мејл даирәси* адланыр. 13-чү шәкилдә *PMP'* екваториал координатлары илә марагландығымыз *M* нөгтәсинин мејл даирәси, јахуд саат даирәсидир. Ики нөв екваториал координат системи вардыр.

Биринчи екваториал координат системиндә координатлардан бири *M* нөгтәсинин саат бучағы (t), дикәри исә *мејлидир* (δ). *M* нөгтәсинин *саат бучағы* (*t*) тәпәси дүнјанын шимал гүтбүндә олан вә меридианын чәнуб тәрәфи илә бу нөгтәнин саат даирәси арасында галан бучагдыр; башга сөзлә, *саат бучағы чәнуб* (*S*) нөгтәсиндән *M* нөгтәсинин саат даирәсинин екваторла кәсишдији нөгтәјәдәк олан екватор гөвсүдүр ($t=QM'$). *Саат бучағы* меридианын чәнуб тәрәфиндән гәрбә (*W*) доғру, јә'ни көј сферасынын фырланмасы истигамәтдә 0° илә 360° арасында гијмәтләр алыр. Астрономијада *саат бучағы* (суткалыг фырланма илә әлагәси олдуғундан) адәтән, вахт ваһидләри ифадә олунур $24^h \Rightarrow 360°$, $1^h \Rightarrow 15°$, $4^m \Rightarrow 1°$, $1^m \Rightarrow 15'$, $4^s \Rightarrow 1'$, $1^s \Rightarrow 15''$.



Шәкил 13. Биринчи вә икинчи екваториал координат системи.

Бурада h-hour (саат), m-minute (дәгигә), s-second (санијә) инкилис сөзләринин баш һәрфләридир. Бир саат даирәси үзәриндә олан нөгтәләр ејни саат бучағына маликдир. Ајдындыр ки, көј чисминин *саат бучағы* сутка әрзиндә 24 саат дәјишир.

М нөгтәсинин *мејли* (δ) онун мејл даирәси бојунча көј екваторундан олан бучаг мәсафәсидир ($\delta = M'M$). Екватордан үстдә (јә'ни шимал јарымсфериндә) олан көј чисминин мејли мүсбәт, алтда (јә'ни чәнуб јарымсфериндә) оланынкы исә шәртн олараг мәнфи гәбул едилир. Демәли, шимал гүтбүндә $\delta = +90°$, чәнуб гүтбүндә исә $\delta = -90°$-дир. (екватор үзәриндә $\delta = 0°$-дир). Бә'зән мејл гүтб *мәсафәси* илә әвәз олунур. *М* нөгтәсинин *гүтб мәсафәси (р)* онун мејл даирәси бојунча дүнјанын шимал гүтбүндән һәмин нөгтәјә гәдәр гөвсүдүр *(P = PM)*. Гүтб мәсафәси 0°-дән (дүнјанын шимал гүтбүндә) 180°-дәк (дүнјанын чәнуб гүтбүндә) гијмәтләр алыр. Ајдындыр ки, $\delta + p = 90°$-дир. Бир суткалыг паралел үзәриндә олан нөгтәләр ејни *мејлә* (вә ја *гүтб мәсафәсинә)* маликдир.

Улдузларын вә башга узаг көј објектләрин мејли сутка әрзиндә дәјишмәз галыр. Лакин саат бучағы вахтла мүтәнасиб олараг арасыкәсилмәдән дәјишир вә көј сферасынын там фырланмасы мүддәтиндә бу дәјишмә 24 саат олур. Биринчи екваториал координат системи улдуз хәритәләри вә улдуз каталоглары тәртиб етмәк үчүн јарамыр. Чүнки саат бучағы даим дәјишир. Бунунла белә биринчи екваториал координат системи, даһа доғрусу саат бучағындан вахта аид мәсәләләрин һәллиндә чох кениш истифадә олунур (бах § 11, § 19—23).

Мејли (δ-ны) сахламагла, саат бучағыны көј сферасынын суткалыг фырланмасы нәтичәсиндә дәјишмәјән координатла әвәз етмәк лазым олдуғундан икинчи екваториал координат системи дахил едилмишдир. Бу системдә саат бучағы *дүз доғуш* адланан координатла әвәз едилир. *М нөгтәсинин дүз доғушу* (α) *тәпәси дүнјанын шимал гүтбүндә олан вә јазбәрабәрлији нөгтәсинин* (Υ) мејл даирәси (буна јазбәрабәрлији нөгтәсинин *колјуру* дејирләр) илә *М* нөгтәсинин мејл даирәси арасында галан бучагдыр; башга сөзлә, *дүз доғуш* јазбәрабәрлији нөгтәсиндән *М* нөгтәсинин мејл даирәсинин екватор илә кәсишдији нөгтәјәдәк олан екватор гөвсүдүр ($\Upsilon M' = \alpha$). *Дүз доғуш* јазбәрабәрлији нөгтәсиндән саат әгрәбинин һәрәкәт истигамәтинин әксинә, јә'ни Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәти истигамәтиндә (бах: шәкил 13) екватор үзрә өлчүлүр вә 0° илә 360° арасында гијмәтләр алыр. *Дүз доғуш* да саат бучағы кими, адәтән, вахт ваһидләри илә ифадә олунур.

Улдуз хәритәләри, улдуз каталоглары тәртиб едәркән вә үмумијјәтлә сферик координатлар ишләдилән бир чох астрономија мәсәләләринин һәллиндә екваториал координат системиндән истифадә олунур.

Көј чисминин *t саат бучағы* вә α *дүз доғушу* илә *t* саат бучағына ујғун ан арасында мүәјјән әлагә вардыр. Бу ан астрономијада *улдуз вахты* адланан вахтла ифадә олунур. *Улдуз вахты* јазбәрабәрлији нөгтәсинин саат бучағына бәрабәрдир. *Улдуз вахтыны t* илә, јазбәрабәрлији нөгтәсинин *саат бучағыны* исә t_Υ илә ишарә етсәк $s = t_\Upsilon$ јазарыг.

13-чү шәкилдән көрүрүк ки, *М* нөгтәсинин *t* саат бучағы вә α дүз доғушунун чәми екваторун ΥQ гөвсүнә бәрабәрдир, бу гөвс исә t_Υ,

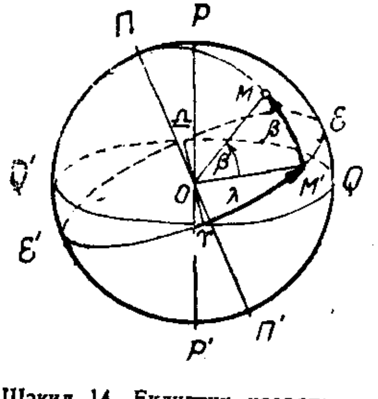
јә'ни s-дир. Беләликлә $s=\alpha+t$ јаза биләрик. Бу мүнасибәтдән көрүрүк ки, ихтијари көј чисминин верилән s анында t саат бучағы мә'лум оларса, онун дүз доғушуну вә ја мә'лум s вә α параметрләринә көрә t саат бучағыны тапа биләрик. Биз бу мүнасибәтдән § 11-дә истифадә едәчәјик.

3. Еклиптик координат системи (шәкил 14). Бу системдә әсас даирә еклиптика ($\mathcal{E}\mathcal{E}'$) олдуғундан системин гүтбләри еклиптиканын гүтбләридир (П вә П′). Демәли јардымчы даирә еклиптиканын гүтбләриндән кечир. Еклиптик координат системиндә јардымчы даирә көј чисмин (вә ја көј сферасы нөгтәсинин) *еклиптик енлик даирәси* адланыр. 14-чү шәкилдә ПМП′ еклиптик координатлары илә марагландығымыз М нөгтәсинин *еклиптик енлик даирәсидир.*

Еклиптик координат системиндә координатлардан бири көј чисминин *еклиптик узунлуғу* (λ), дикәри исә *еклиптик енлијидир* (β).

М нөгтәсинин *еклиптик узунлуғу* (β) тәпәси еклиптиканын шимал гүтбүндә олан вә јазбәрабәрлији нөгтәсинин (♈) енлик даирәси илә *М* нөгтәсинин енлик даирәси арасында галан бучагдыр; башга сөзлә, *еклиптик узунлуг* јазбәрабәрлији нөгтәсиндән *М* нөгтәсинин енлик даирәсинин еклиптика илә кәсишдији нөгтәјәдәк олан еклиптика гөвсүдүр (λ=♈M'). *Еклиптик узунлуг* јазбәрабәрлији нөгтәсиндән саат әгрәбинин һәрәкәтинин әкси истигамәтдә, јә'ни Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәти истигамәтиндә еклиптика үзрә өлчүлүр вә 0° илә 360° арасында гијмәтләр алыр. *Еклиптик узунлуг* да, адәтән, вахт ваһидләри илә ифадә олунур.

М нөгтәсинин *еклиптик енлији* (β) онун енлик даирәси бојунча еклиптикадан олан бучаг мәсафәсидир ($\beta=M'M$). Еклиптикадан үстдә (јә'ни еклиптикаја нәзәрән шимал јарымсфериндә) *еклиптик енлик* мүсбәт, алтда (јә'ни еклиптикаја нәзәрән чәнуб јарымсфериндә) мәнфидир. Демәли, еклиптиканын шимал гүтбүндә $\beta=+90°$, чәнуб гүтбүндә исә $\beta=-90°$-дир (еклиптика үзәриндә $\beta=0°$-дир).



Шәкил 14. Еклиптик координат системи

Еклиптик координат системиндән әсасән көј механикасында истифадә олунур. Бу систем Јерә нәзәрән гуруланда (јә'ни көј сферасынын мәркәзиндә јерин мәркәзи оланда) *кеосентрик* еклиптик координат системи, Күнәшә нәзәрән гуруланда (јә'ни, көј сферасынын мәркәзиндә Күнәшин мәркәзи оланда) һелиосентрик еклиптик координат системи адланыр.

Астрономик координат системләри адланан көј координат системләриндән башга астрономијада галактик координат системи дә вардыр (бах: § 131).

Астрномијанын бир сыра мәсәләләринин һәллиндә бир координат системиндән дикәринә кечмәк—координат системләрини чевирмәк лазым олур. Бу мәсәләни һәлл етмәк үчүн әввәлчә сферик тригонометријанын әсас дүстурлары илә таныш олаг.

§ 10. СФЕРИК ТРИГОНОМЕТРИЈАНЫН ӘСАС ДҮСТУРЛАРЫ

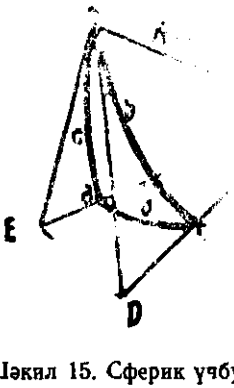
Тәрәфләри сферанын үч бөјүк даирәсинин гөвсләри олан фигур *сферик үчбучаг* адланыр. Сферик үзбучагларда бучаг вә тәрәфләр мүстәви үчбучагдакы кими ишарә олунур. (шәкил 15). *ABC* сферик үчбучағынын тәрәфләри бөјүк даирәләрин *a*, *в*, *c* гөвсләри олдуғундан онларын һәр бири үјғун мәркәзи бучагла өлчүлүр. Сферик үчбучағын һәр бир бучағы онун тәпәсиндән тәрәфләринә чәкилмиш тохунанлар арасындакы мүстәви бучагдыр.

Гејд едәк ки, сферик үчбучағын бучагларынын чәми $A+B+C>180°$-дир вә онун гијмәти $\measuredangle ABC$-нин саһәсиндән асылыдыр. Сферик үчбучағын саһәси исә $S=\sigma\,\frac{\pi R}{18}$ дүстуру илә тә'јин олунур (бурада R сферанын радиусудур, σ исә сферик галыг адланыр вә $\sigma=A+B+C-180°$-дир). Сферик үчбучағын дүзбучаглы олмасы онун бучагларындан биринин 90° олмасы демәкдир. Дүзбучаг гаршысындакы тәрәф мүстәви үчбучагда олдуғу кими һипотенуз, галан ики тәрәфи исә катетләр адланыр.

Сферик үчбучағын тәрәфләри илә бучаглары арасында бир сыра олагә дүстурлары вардыр; һәмин дүстурлардан астрономијада кениш истифадә олунур.

Әввәлчә сферик үчбучагларын *тәрәфләринин косинусу адланан дүстуру* чыхараг. 15-чи шәкилдән истифадә едәрәк ашағыдакы мүнасибәтләри јазаг:

$$\left.\begin{aligned} AD &= \operatorname{tg} b \qquad & OD &= \sec b \\ AE &= \operatorname{tg} c \qquad & OE &= \sec c \end{aligned}\right\} \qquad (1.1)$$



Шәкил 15. Сферик үчбучаг.

(1. 1)-дә сәтһиндә сферик үчбучаг гурулан сферанын радиусу ваһид гәбул олунмушдур. *DE тәрәфинин ADE* вә *ODE* мүстәви үчбучаглар үчүн ортаг олдуғуну нәзәрә алараг јазырыг:

$$AD^2+AE^2-2AD\cdot AE\cdot\cos A = \\ =OD^2+OE^2-2OD\cdot OE\cdot\cos a \quad (1.2)$$

(1. 1) мүнасибәтини (1. 2)-дә нәзәрә алсаг вә *OAD* вә *OAE* бучагларынын дүз бучаг олдуғуну биләрәк садәләш-

дирмә апардыгдан сонра ABC сферик үчбучағынын a тәрәфи үчүн истәдијимиз дүстуру аларыг:

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A. \tag{1.3}$$

Аналожи оларaг дикәр ики тәрәфин һәр бири үчүн тәрәфин косинусу дүстуруну јазмаг чәтин дејилдир. (1.3) дүстурундан көрүнүр ки, *сферик үчбучағын һәр һансы тәрәфинин косинусу дикәр ики тәрәфин косинуслары һасили илә һәмин тәрәфләрин синуслары вә онлар арасында галан бучағын косинусу һасилинин чәминә бәрабәрдир.*

Тәрәфин косинусу дүстурларындан истифадә етмәклә ади чәбри вә тригонометрик мүнасибәтләр вә чевирмәләр васитәсилә лазым олан дүстурлары чыхармаг олар.

Ашағыда һәмин дүстурлар һазыр шәкилдә јазылмышдыр:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \tag{1.4}$$

(1.4) —*синуслар теореми вә ја синуслар дүстуру адланыр.* Бу дүстурдан көрүнүр ки, *сферик үчбучағын тәрәфләринин синуслары гаршы бучагларын синуслары илә мүтәнасибдир; јахуд сферик үчбучағын тәрәфләринин синусларынын гаршы бучагларын синусларына нисбәти сабит кәмијјәтдир.*

$$\sin a \cdot \cos B = \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A \tag{1.5}$$

(1.5) дүстуру *беш елементин* (бу дүстурда үчбучағын беш елементи иштирак едир) *биринчи дүстуру* адланыр. Буна аналожи даһа беш дүстур јазмаг олар. (1.5)-дән көрүнүр ки, *сферик үчбучағын бир тәрәфинин синусу илә она битишик бучаглардан биринин косинусу һасили бу бучаг гаршысындакы тәрәфин косинусу вә үчүнчү тәрәфин синусу һасили илә бу бучаг гаршысындакы тәрәфин синусу, үчүнчү тәрәфин косинусу вә бу тәрәфләр арасындакы бучағын косинусу һасилиндән ибарәт олан ики һәддин фәргинә бәрабәрдир.*

Јухарыдакы үч әсас дүстуру дүзбучаглы сферик үчбучаға тәтбиг едәк. Фәрз едәк ки, $A = 90^\circ$-дир. Онда (1.3) — (1.5) дүстурларындан ујғун оларaг јазарыг:

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c; \tag{1.6}$$

$$\sin a \cdot \sin B = \sin b; \ \sin a \cdot \sin C = \sin c; \tag{1.7}$$

$$\sin a \cdot \cos B = \cos b \cdot \sin c. \tag{1.8}$$

(1.6)-дан көрүнүр ки, *дүзбучаглы сферик үчбучагда һипотенузун косинусу катетләрин косинуслары һасилинә бәрабәрдир;* (1.7)-дән көрүнүр ки, *дүзбучаглы сферик үчбучагда бир катетин синусу илә буна битишик бучаглардан биринин синусу һасили дикәр катетин синусуна бәрабәр-*

дир: нәһајәт, (1.8)-дән көрүнүр ки, *дүзбучаглы сферик үчбучагда һипотенузун синусу илә буна битишик бучаглардан биринин косинусу һасили бу бучаг гаршысындакы катетин косинусу илә икинчи катетин синусу һасилинә бәрабәрдир.* (1.8)-и (1.7)-дәки биринчи дүстура тәрәф-тәрәфә бөлсәк

$$\sin c = \operatorname{tg} b \cdot \operatorname{ctg} B \tag{1.9}$$

дүстуруну аларыг, јә'ни *бир катетин синусу дикәр катетин танкеси илә онун гаршысындакы бучағын катанкенси һасилинә бәрабәрдир.*

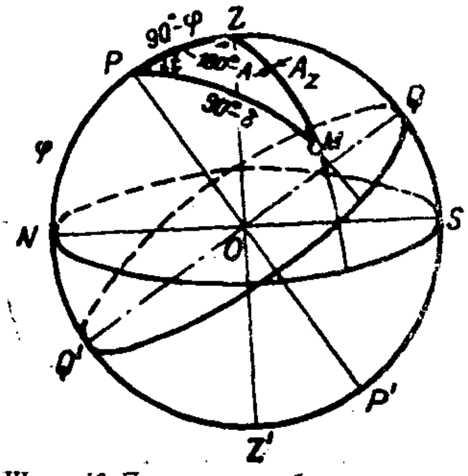
Сферик тригонометријанын таныш олдуғумуз әсас дүстурлары васитәсилә асанлыгла бир астрономик координат системиндән дикәринә кечмәк олур.

§ 11. АСТРОНОМИК КООРДИНАТЛАРЫН ЧЕВРИЛМӘСИ

Әввәлчә φ енлијиндәки мәһәлдә мүәјјән анда мә'лум (z,A) үфүги координатлардан (δ, t) биринчи екваториал координатлара кечәк; сонра исә тәрсинә, јә'ни (δ, t) $\Rightarrow$ (z, A) кечидини едәк.

Бунун үчүн параллактик үчбучаг адланан сферик үчбучагдан вә (1. 3)—(1.5) дүстурлардан истифадә олунмалыдыр. Параллактик үчбучаг көј сферасында меридиан даирәси, *M* көј чисминин һүндүрлүк вә саат даирәләринин кәсишмәсиндән алыныр (шәкил 16). Башга сөзлә, *тәпәләри зенитдә (Z), дүнјанын гүтбүндә (P) вә көј чисминдә (M) олан сферик үчбучаг параллактик үчбучагдыр* («параллакс» јунанча јердәјишмә, кәнара чыхма демәкдир). *ZPM* параллактик үчбучағынын *Z* вә P бучаглары вә үч тәрәфи үчүн јазарыг: $\angle Z = 180° - A$, $\angle P = t$,

$$PZ = 90° - \varphi,\ MZ = z,\ MP = 90° - \delta$$



Шәкил 16. Параллактик үчбучаг.

Јухарыдакы беш елементи илә характеризә олунан параллактик үчбучаға сферик үчбучағын (1.3)-(1.5) дүстурларыны тәтбиг едәрәк јазарыг:

$$\sin\delta = \sin\varphi\cdot\cos z - \cos\varphi\cdot\sin z\cdot\cos A \tag{1.10}$$

$$\cos\delta\cdot\sin t = \sin z\cdot\sin A \tag{1.11}$$

$$\cos\delta\cdot\cos t = \cos\varphi\cdot\cos z + \sin\varphi\cdot\sin z\cdot\cos A \tag{1.12}$$

δ-нын ишарәси $\sin\delta$-нын ишарәси илә тә'јин олунур. *A* координаты 0° вә 180°-јә јахын оланда *t*-ни (1.11) дүстуру илә, 90° вә 270°-јә јахын оланда исә (1.12) дүстуру илә һесабламаг әлверишлидир.

t-нин квадранты (1.11) вә (1.12) дүстурларында сағ тәрәфин ишарәләринә әсасән сечилир, чүнки һәмишә $\cos\delta > 0$-дыр. Беләликлә, $(Z,A) \Rightarrow (\delta,t)$ чеврилмәси (1.10), (1.11), (1.12) васитәсилә һәјата кечирилир.

Инди $(\delta,t) \Rightarrow (z,A)$ чеврилмәсини едәк. Бунун үчүн јенә дә параллактик үчбучагдан вә сферик үчбучағын (1.3)—(1.5) дүстурларындан истифадә олунур. Беләликлә **алырыг:**

$$\cos z = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos t \qquad (1.13)$$

$$\sin z \cdot \sin A = \cos\delta \cdot \sin t \qquad (1.14)$$

$$\sin Z \cdot \cos A = -\cos\varphi \cdot \sin t + \sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos t. \qquad (1.15)$$

z һәмишә мүсбәт олдуғундан (1.13) ифадәси z-и биргијмәтли тапмаг үчүн кифајәтдир. A-нын рүбү (1.14) вә (1.15) дүстурларында сағ тәрәфин ишарәләринә әсасән сечилир, чүнки һәмишә $\sin z > 0$-дыр. А-нын һесабланмасында һансы дүстурлардан истифадәнин әлверишли олмасы t-нин һесабланмасына аналожидир, јә'ни t координаты 0° илә 180°-јә јахын оланда A-ны (1.14) дүстуру, 90° вә 270°-јә јахын оланда исә (1.15) дүстуру илә һесабламаг мәсләһәтдир.

(A,z) үфүги координатлардан (α,δ) икинчи екваториал координатлара кечмәк үчүн әввәл $(A, z) \Rightarrow (\delta, t)$ чеврилмәси едилир, сонра исә верилән ан вә мә лум t-јә әсасән $\alpha = s - t$ тапылыр (бах § 9). Икинчи екваториал координатлардан үфүгү координатлара кечмәк үчүн, јә'ни $(\alpha,\delta) \Rightarrow (A, z)$ кечидини етмәк үчүн әввәлчә мә'лум α-ја вә үфүгү координатларыны тапмағымыз тәләб олунан ана ујғун $t = s - \alpha$ координатына кечилир (јенә дә бах § 9). Сонра исә $(\delta, t) \Rightarrow (A,z)$ кечид әмәлијјаты апарылыр.

Хүсусилә планетләрин ефемеридини һесаблајаркән (λ, β) еклиптик координатлардан (α,δ) екваториал координатлара кечмәк лазым олур. $(\lambda, \beta) \Rightarrow (\alpha, \delta)$ вә тәрс чевирмә етмәк үчүн астрономик үчбучаг адлы сферик үчбучагдан вә сферик үчбучағын (1.3)—(1.5) дүстурларындан истифадә етмәк лазымдыр. 17-чи шәкилдә астрономик үчбучаг көстәрилмишдир. Астрономик үчбучаг тәпәләри дүнјанын гүтбүндә (P), еклиптиканын гүтбүндә $(П)$ вә көј чисминдә (M) олан сферик үчбучагдыр. $ПPM$ астрономик үчбучағын P вә $П$ бучаглары вә үч тәрәфи үчүн јазарыг:

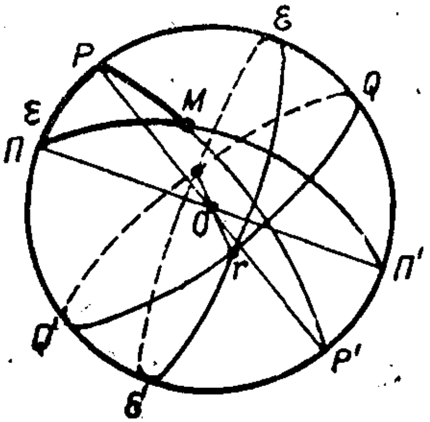
$$\angle P = 90° + \alpha, П = 90° - \lambda \quad ПP = \varepsilon, \; PM = 90° - \delta, \; ПM = 90° - \beta.$$

Бу беш елементи илә характеризә олунан астрономик үчбучаға (1.3)—(1.5) дүстурларыны тәтбиг етмәклә $(\lambda, \beta) \Rightarrow (\alpha, \delta)$ вә $(\alpha, \delta) \Rightarrow (\lambda, \beta)$ чеврилмәләрини едирләр.

Хүсуси һалда Күнәш үчүн $\beta = 0°$ олдуғундан Күнәшин еклиптик узунлуғу (λ) ашағыдакы дүстурлардан тапылыр:

$$\cos\lambda_{\odot} = \cos\alpha_{\odot} \cdot \cos\delta_{\odot}$$

$$\sin\lambda_{\odot} = \sin\delta_{\odot} \cdot \cos\delta_{\odot} \, \delta_{\odot} \cdot \sin\varepsilon \qquad (1.16)$$



Шәкил 17. Астрономик үчбучаг.

§ 12. КӨЈ ЧИСИМЛӘРИНИН КУЛМИНАСИЈАСЫ ВӘ БУ ЗАМАН ОНЛАРЫН ҺҮНДҮРЛҮЈҮ

Билирик ки, (бах § 5, 6) көј сферасынын фырланмасы заманы көј чисми суткада ики дәфә көј меридианындан кечир: бириндә о меридианы шимал гүтбүндән чәнуб тәрәфдә

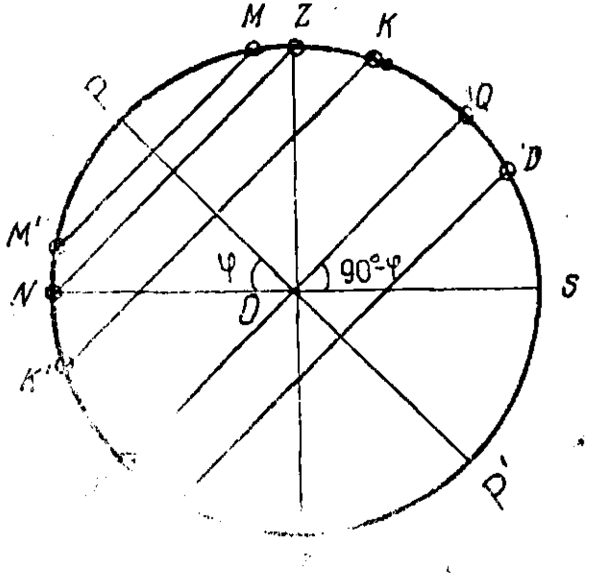
$$(t = 0^h = 0°)$$

дикәриндә исә (јарым суткадан сонра) шимал тәрәфдә

$$t = 12^h = 180°$$

кәсир. Биринчи һалда көј чисми јухары кулминасијада, икинчидә исә ашағы кулминасијададыр дејилир.

18-чи шәкилдә көј чисимләринин кулминасијалары көстәрилмишдир. Мәсәлән, көј чисми M нөгтәсиндә *јухары кулминасијада*, M' нөгтәсиндә исә ашағы кулминасијададыр. Јахуд көј чисми K нөгтәсиндә јухары кулминасијада, K' нөгтәсиндә исә ашағы кулминасијададыр вә с. Шәкилдән көрүнүр ки, бир груп көј чисми зенитдән шимала тәрәф (M), башга груп көј чисми исә зенитдән чәнуба тәрәф (K, D) јухары кулминасијада ола биләр; јухары кулминасијада чисим зенитин өзүндә дә ола биләр.



Шәкил 18. Көј чисимләринин кулминасијасы

Чоғрафи енлиjи φ олан мәһәлдә кулминасиjада олан көj чисминин зенит мәсафәси вә һүндүрлүjүнү үч характерик һал үчүн тапаг.

1. Көj чисми зенитдән шимала тәрәф jухары кулминасиjада (M) олсун. 18-чи шәкилдән көрүнүр ки, M нөгтәсинин зенит мәсафәси $z_1 = MZ = PZ - PM$-дир. Шәкилдән вә M көj чисминин мүвафиг астрономик координатларындан истифадә етсәк $PZ = 90° - \varphi$, $PM = 90° - \delta_1$, jазарыг (δ_1—бахылан көj чисминин меjлидир). Беләликлә, зенитдән шимал тәрәфә jухары кулминасиjада олан көj чисминин зенит мәсафәси

$$z_1 = \delta_1 - \varphi \tag{1.17}$$

дүстуру илә һесабланыр. $h + z = 90°$ мүнасибәтиндән истифадә етсәк көj чисминин һүндүрлүjү үчүн аларыг:

$$h_1 = 90° - \delta_1 + \varphi. \tag{1.18}$$

2. Көj чисми зенитдән чәнуба тәрәф jухары кулминасиjада (K) олсун. 18-чи шәкилдән көрүнүр ки, K нөгтәсинин зенит мәсафәси $z'_1 = KZ = QZ - QK$-дыр. Шәкилдән K көj чисминин мүвафиг координатларындан истифадә етсәк $QZ = \varphi$, $QK = \delta_1$ jазарыг. (δ_1—бахылан көj чисминин меjлидир). Беләликлә, зенитдән чәнуб тәрәфдә jухары кулминасиjада олан көj чисминин зенит мәсафәси

$$z_1' = \varphi - \delta_1'. \tag{1.19}$$

h вә z арасындакы мә'лум мүнасибәтә әсасән (1.19)-дан көj чисминин бахдығымыз вәзиjjәтиндә һүндүрлүjү үчүн алырыг:

$$h_1' = 90° - \varphi + \delta_1' \tag{1.20}$$

3. Көj чисми ашағы кулминасиjада (D') олсун. 18-чи шәкилдән көрүнүр ки, D' нөгтәсинин һүндүрлүjү $-h_2 = D'N = D'Q' + Q'N$. Шәкилдән вә D' көj чисминин мүвафиг координатларындан истифадә етсәк $D'Q' = -\delta_2$, $Q'N = 90° - \varphi$ jазарыг (δ_2—бахылан көj чисминин меjлидир). Беләликлә, $h + z = 90°$ олдуғуну нәзәрә алмагла ашағы кулминасиjада олан көj чисминин зенит мәсафәси

$$z_2 = 180° - (\varphi + \delta_2),$$

һүндүрлүjү исә

$$h_2 = \varphi + \delta_2 - 90° \tag{1.21}$$

дүстуру илә тә'jин олунур.

Инди хүсуси һалда фәрз едәк ки, көj чисми зенитдә jухары кулминасиjададыр. Онда $z = 0$ вә $\delta = \varphi$ олар. Демәли, верилмиш чоғрафи мәһәлдә о көj чисми зенитдә jухары кулминасиjада олур ки, онун меjли мәһәлин чоғрафи енлиjинә

бәрабәрдир. (1.18), (1.20) вә (1.21) дүстурларына әсасән әлавә олараг ашағыдакылары мүәјјән етмәк мүмкүндүр: ашағы кулминасијада көј ч смин н h, ндү л јү $h_2 \gg 0$ ола са, о, *батмајан* ола ; јухары кулминасијада көј чисминин һүндүрлүјү h_1 вә ја h'_1 / сыфы дан кичик ола са, о, *доғмајан* олар/бах § 6/. $h_1 < 0$ / вә ја $h'_1 < 0$ / вә $h_2 > 0$ бәрабәрсизликләрини һәлл етсәк аларыг ки, φ енлијиндә көј чисминин мејли $|\delta| \geqslant (90° - |\varphi|$ шәртини өдәјирсә, бу көј чисми һәмин чоғрафи мәһәлдә *батмајан*, $|\delta| \leqslant (\varphi - 90°)$ шәртини өдәјирсә *доғмајандыр*, $\delta < (90° - |\varphi|)$ шәртини өдәјән көј чисми исә *доғуб-батандыр*.

Әкәр чисим көј екваторундадырса, јә'ни онун мејли δ=0-дирсә, онда бу көј чисми д ү з ш ә р г н ө г т ә с и н д ә д о ғ а р, д ү з г ә р б н ө г т ә с и н д ә б а т а р.

Көј чисминин мејли $\delta > 0$ оларса, онда о, ш и м а л и - ш ә р г д ә д о ғ а р, ш и м а л и - г ә р б д ә б а т а р.

Көј чисминин мејли $\delta < 0$ оларса, онда о, ч ә н у б и - ш ә р г д ә д о ғ а р, ч ә н у б и - г ә р б д ә б а т а р.

§ 13. КҮНӘШИН КӨРҮНӘН ИЛЛИК ҺӘРӘКӘТИНИН ГЕЈРИ-МҮНТӘЗӘМ ОЛМАСЫ. СИДЕРИК ИЛ (УЛДУЗ ИЛИ) ВӘ ТРОПИК ИЛ

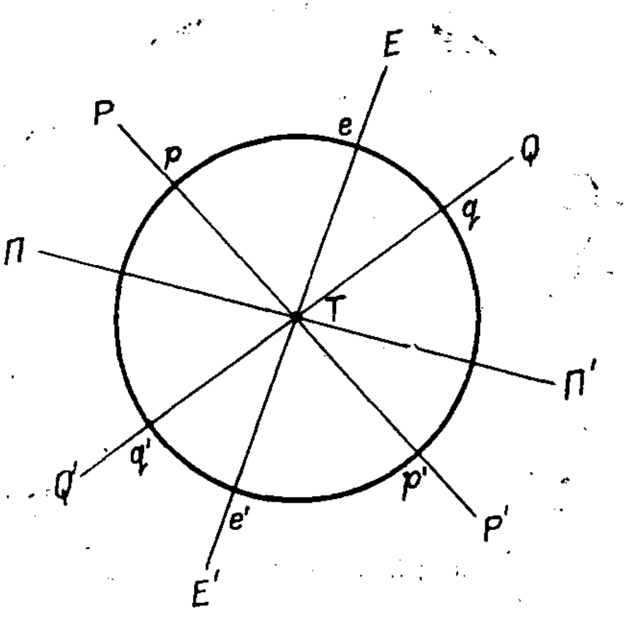
Зодиак бүрчләри улдузларынын јухары кулминасија анларынын мүшаһидәләриндән мүәјјән едилмишдир ки, Күнәш еклиптика үзрә бир там дөврүнү $T_* = 365,2564$ сутка $= 365^d 06^h 09^m 10^s$ müддәтдә баша вурур (*d* һәрфи инкилисчә сутка сөзү олан *day*-нин баш һәрфидир). *Күнәш диски мәркәзинин еклиптика үзрә көрүнән (заһири) там доланма дөврү олан бу вахт фасиләси (T_*) сидерик ил вә ја улдуз или адланыр* (латынча sidys-улдуз демәкдир).

Ајдындыр ки,

$$n = \frac{360°}{T_*} = \frac{360°}{365,2564} = 0°,986 \simeq 59'$$

Күнәшин көрүнән орта суткалыг јердәјишмәсидир. Әкәр Күнәшин еклиптик узунлуғу $\lambda_\odot$ -ны ил боју мүнтәзәм олараг тә'јин етсәк ((1.16)-ја бах) көрәрик ки, онун суткалыг јердәјишмәси ил әрзиндә сабит галмыр. Буну «бармагһесабы» да мүәјјән етмәк олар: Күнәшин јазбәрабәрлији нөгтәсиндән **чыхыб пајыз бәрабәрлији нөгтәсинә** чатмасы үчүн 186 сутка, пајыз бәрабәрлији нөгтәсиндән јазбәрабәрлији нөгтәсинә чатмасы үчүн исә 179 сутка лазымдыр. Демәли, пајыз-гыш дөврүнә нисбәтән јаз-јај дөврүндә Күнәш јерини еклиптика бојунча бир гәдәр ләнк дәјишир. Јанварын илк күнләриндә суткалыг јердәјишмә максимум (61′), ијулун илк күнләриндә исә минимум (57′) олур. Һазыркы епохада n_{max} 3-ү јанварда, n_{min} исә 4-ү ијулда олур. Үмумијјәтлә, бу тарихләр мин илләр әрзиндә ујғун олараг јанварын 2-си илә 5-и вә ијулун 1-и 5-и арасында дәјишир. Бунун сәбәби јерин орбит елементләринин кәнар чисимләр тәрәфиндән сарсынмасыдыр (бах § 52). Күнәш дискинин бучаг диаметрини ил әрзиндә вахташыры өлчмәклә тапмышлар ки, мәһз јанварын илк күнләриндә күнәш диски ән бөјүк (32′ 35″)

бучаг диаметринә, ијулун илк күнләриндә исә ән кичик (31′ 31″) бучаг диаметринә маликдир. Бу көстәрир ки, јанварын илк күнләриндә Күнәш Јерә ән јахын, ијулун илк күнләриндә исә ән узаг мәсафәдә олур. Јерә ән јахын вәзијјәтә перикеј, ән узаг вәзијјәтә исә апокеј дејилир (бу терминләр Јерин сүн'и пејкләринә дә аиддир); Јерин Күнәшә ән јахын вәзијјәти периһели, ән узаг вәзијјәти исә афели адланыр. Күнәшлә Јер арасындакы мәсафәнин ил әрзиндә дәјишмәсинин, Күнәшин орта суткалыг јердәјишмәсинин гејри-мүнтәзәм олмасынын сәбәбләрини, әлбәтдә јалныз Кеплерин мүвафиг ганунлары илә багламаг лазымдыр (бах § 40).



Шәкил 19. Јерин фырланма охунун фәза тәсвири

Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәтинин Јерин Күнәш әтрафында (улдуз илинә бәрабәр дөврлә) доланмасынын тәзаһүрү олдуғуну билирик. Билирик ки, еклиптика мүстәвиси елә Јерин Күнәш әтрафында орбит мүстәвисидир, башга сөзлә, бу мүстәвинин көј сферасы илә бөјүк даирә кәсији еклиптикадыр; дүнјанын оху исә Јерин фырланма охуна паралелдир, јахуд көј екватору јер екватору мүстәвисинин көј сферасы илә бөјүк даирә кәсијидир. 19-чу шәкилдә *pp′*—Јерин фырланма оху, *qq′*—Јерин екватору, *ee′*—Јерин орбит мүстәвисинин Јер күрәси илә кәсишмәсини сәчијјәләндирән хәтдир; PP′—дүнјанын оху, QQ′—көј екватору, *EE′* еклиптика, *ПП′* еклиптиканын охудур. Һәлә ерамыздан әввәл II јүзиллијин орталарында мәшһур Јунан алими Һиппарх кәшф ет-

мишдир ки, јазбәрабәрлији нөгтәси еклиптика үзрә Күнәшин иллик һәрәкәти истигамәтинин әксинә сүрүшүр. Буна пресессија ады верилмишдир (латынча preaecessio габагламаг демәкдир). Јазбәрабәрлији нөгтәсинин еклиптика үзрә ил әрзиндә сүрүшмәси һазырда 50″, 27 гәбул едилир вә буна иллик пресессија дејилир. Бу ад һадисәнин характеринә там ујғундур. Доғрудан да, јазбәрабәрлији нөгтәси еклиптика үзрә Күнәшин иллик һәрәкәтинин экси истигамәтдә сүрүшдүјүндән Күнәш, јазбәрабәрлији нөгтәсинә бир гәдәр тез чатыр—јазбәрабәрлији нөгтәси Күнәши габаглајыр. Бир гәдәр сонра (бах § 55) пресессија һадисәси илә даһа әтрафлы таныш олачағыг. Бурада ону демәклә кифајәтләнәк ки, јер вә көј екватору мүстәвиси пресессија нәтичәсиндә шәргдән гәрбә доғру чох кичик сүр'әтлә дөнүр. Бу заман көј екваторунун дүјүн хәтти дә онун учлары олан јаз вә пајызбәрабәрлији нөгтәләри кими еклиптика үзрә илдә 50″, 27 сүрүшүр (шәргдән гәрбә доғру—Күнәшин еклиптика үзрә һәрәкәтинин әкси истигамәтдә). Күнәш, иллик прессесијаја бәрабәр олан гөвсү

$$\tau = \frac{P}{n} = \frac{50''27}{0,°986\times3600} \text{ сутка} = 0{,}0142 \text{ сутка} = 20^m, 24$$

мүддәтдә кечир. Демәли, Күнәш диски мәркәзинин јазбәрабәрлији нөгтәсиндән ики ардычыл кечмә анлары арасындакы вахт фасиләси **(T)** улдуз илиндән τ гәдәр гыса олмалыдыр, јә'ни

$$T = T_* - \tau = 365^d, 2564 - 0^d, 0142 = 365^d2422,$$

јахуд

$$T = 365^d6^h09^m10^s - 20^m24^s = 365^d5^h48^m46^s .$$

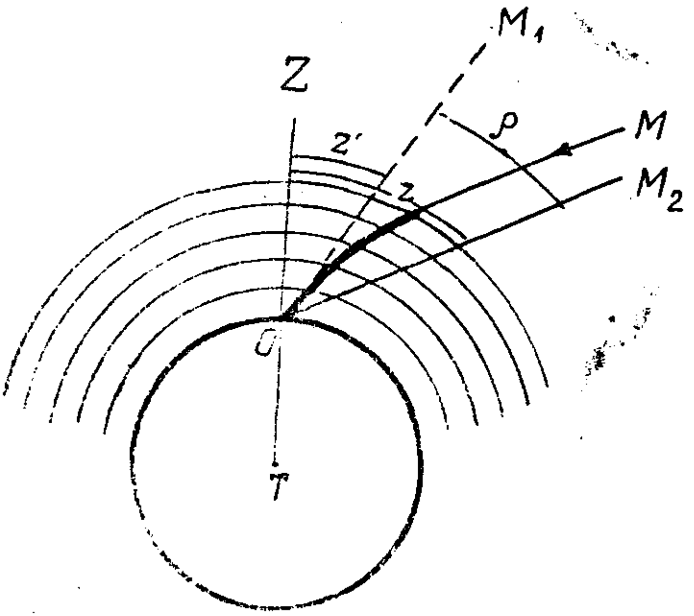
Күнәш диски мәркәзинин јазбәрабәрлији нөгтәсиндән ики ардычыл кечмә анлары арасындакы бу вахт фасиләси (T) тропик ил адланыр вә орта тәгвим или һесаб едилир. Гејд едәк ки, тропик илин башланғычы $\lambda_{\odot}=280°$-дән һесабланыр; $\lambda_{\odot}$ бу гијмәтә 1 јанвар вә ја ондан әввәлки күн—31 декабрда чатыр.

§ 14. АСТРОНОМИК РЕФРАКСИЈА

Јер атмосферинин сыхлығы ашағы гатлара доғру артыр. Бу сәбәбдән көј чисимләринин атмосферин харичи сәрһәддинә дүшән ишыг шүалары јер атмосфериндә тәкрарән сына-сына јерин сәтһинә чатыр. Бу сынма ашағы гатлара кечдикчә шүанын истигамәтини шагул хәттинә јахынлашдырыр. Нәтичәдә мүшаһидәчинин көзүнә дүшән шүанын истигамәти атмосферин сәрһәддинә дүшән шүа истигамәтинә паралел олмур, онунла мүәјјән бучаг әмәлә кәтирир. Бу бучаг рефраксија бучағы (ρ) адланыр. Јер атмосфериндә ишыг шүаларынын сынмасы һадисәсинин өзү исә астрономик рефраксија вә ја атмосфер рефраксијасы адланыр. 20-чи шәкилдә јер күрәси, онун сәтһиндә O мүшаһидә нөгтәси, бу нөгтәдә зенитә (Z-ә) јөнәлән *TOZ* истигамәти, *M* көј чисми вә

онун шуасынын консентрик сферик гатлардан ибарәт јер атмосфериндән кечдиҹи јол, OM_1 вә OM_2 истигамәтләри көстәрилмишдир. Шәкилдән көрүнүр ки, *астрономик рефраксија нәтиҹәсиндә көј ҹисминин мүшаһидә олунан z′ зенит мәсафәси һәгиги z зенит мәсафәсиндән кичик, јахуд мүшаһидә олунан h′ һүндүрлүјү һәгиги h һүндүрлүјүндән бөјүк олур. Зенит мәсафәсинин һәгиги вә мүшаһидә олунан гијмәтләри (вә ја һүндүрлүјүн мүшаһидә олунан вә һәгиги гијмәтләри) арасындакы фәрг астрономик рефраксијаны верир:*

$$\rho = z - z' = h' - h. \tag{1.22}$$



Шәкил 20. Астрономик рефраксија.

Ҹисим зенитдә олдугда рефраксијанын гијмәти сыфра бәрабәрдир. $z<70°$ оланда рефраксија $\rho<3'$-дир вә z бөјүдүкҹә, јә'ни көј ҹисми үфүгә јахынлашдыгҹа рефраксија бөјүјүр вә үфүгдә олдугда ән бөјүк гијмәт алыр.

$z<70°$ оланда рефраксијанын орта гијмәтини

$$\rho = 58'',2\,\mathrm{tg}\,z' \tag{1.23}$$

дүстуру илә һесаблајырлар. $z>70°$ оланда (1.23) дүстурунун хәтасы бөјүк олур вә бу хәта z бөјүдүкҹә сүр'әтлә артыр. Одур ки, z-ин 70°-дән бөјүк гијмәтләриндә рефрексијанын гијмәтини мүшаһидә вә нәзәријјә

әсасында тәртиб едилмиш хүсуси чәдвәлләрин көмәји илә тапырлар. (белә чәдвәлләрдән ән мәшһуру «Пулково рәсәдханасынын рефраксија чәдвәлләри»дир). Рефраксија јер атмосфериндә олан физики шәраитдән асылыдыр. Белә ки, һаванын тәзјиги артдыгча вә температуру кичилдикчә рефраксија бөјүјүр. $t=10°C$ вә $P=760$мм ч. сүт = 1013 һПа (һектопаскал) температур вә тәзјигдә рефраксија орта, истәнилән һава шәраитиндәки рефраксија исә һәгиги рефраксија адланыр. Һазырда истәнилән һава шәраитиндә вә зенит мәсафәсиндә астрономик рефраксијаны бөјүк дәгигликлә тә'јин етмәјин јени үсулу Пулково рәсәдханасында ишләнмиш вә «Пулково рәсәдханасынын рефраксија чәдвәлләри» ады илә мәшһур олан чәдвәлләрин јени нәшринә дахил едилмишдир. Рефраксијанын ән бөјүк гијмәти гүтб рајонларында олур вә үфүгдә 2°-јә чатыр. Мүлајим гуршагларда рефраксијанын үфүгдә орта гијмәти 35′-дир. *Рефраксија азимута тә'сир етмир, амма көј чисминин екваториал координатларыны дәјишдирир.*

Көј чисимләринин доғуб батма анларыны тә'јин едәндә, алагаранлығын (Күнәш доғмаздан әввәлки ишыгланманын) вә торанговушманын (Күнәш батандан сонракы ишыглығын) даваметмә мүддәтини, гүтб кечәләри вә бәјаз (ағ) кечәләрин баш вермә шәртләрини һесаблајанда астрономик рефраксијаны мүтләг нәзәрә алмаг лазымдыр. Бунлар һамысы онунла әлагәдардыр ки, астрономик рефраксија үфүгдә көј чисимләринин һүндүрлүјүнү рефраксија бучағы гәдәр артырыр, јә'ни көј чисмини рефраксијанын гијмәти гәдәр үфүгдән јухары «галдырыр». Бунун нәтичәсиндә рефраксијанын гијмәти гәдәр үфүгдән алтда олан көј чисми үфүгдә көрүнүр. Рефраксија үфүгдә Күнәши дә «галдырдығындан» күндүзүн узунлуғу артыр, кечәнин узунлуғу исә гысалыр (бах: § 15, 32, 33).

Нәһајәт, рефраксија Күнәш (вә долу—бәдирләнмиш Ај) дискинин үфүгә јахын кәнарыны әкс кәнарына нисбәтән 6′ чох јүксәлдир, сағ вә сол кәнарлара исә (үфүгә паралел диаметр әтрафындакы кәнарлара) тә'сир етмир. Бу сәбәбдән үфүг јахынлығында Күнәш (вә долу Ај) бөјүк диаметри үфүгә паралел олан овал шәклиндә көрүнүр.

§ 15. ИЛИН ФӘСИЛЛӘРИ ВӘ ИГЛИМ ГУРШАГЛАРЫ

Биринчи јахынлашмада гәбул едирик ки, Јерин Күнәш әтрафында дөврү заманы онун фырланма оху өз-өзүнә паралел галыр. Дүнјанын гүтбләринин ил әрзиндә көзә чарпачаг дәрәчәдә улдузлара нисбәтән өз јерләрини дәјишмәмәји буна сүбутдур. Даһа доғрусу буну улдузларын екваториал координатларынын ил әрзиндә демәк олар дәјишмәдијиндән көрүрүк.

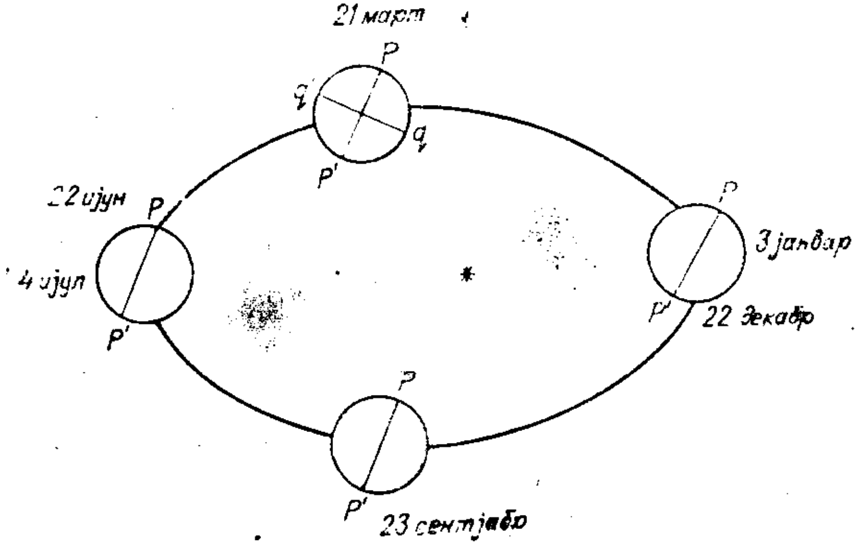
Фәсилләрин әмәлә кәлмәси үч ајрылмаз сәбәбин нәтичәсидир: 1) Јер Күнәш әтрафында дөврү доланыр; 2) Јерин фырланма оху онун орбит мүстәвисинә мејиллидир (перпендикулјар дејилдир); 3) Күнәш әтрафында доланма заманы Јерин фырланма оху өз-өзүнә паралел галыр (шәкил 21). Бу сәбәбләрдән дә Јер сәтһинин шимал вә чәнуб јарымкүрәләринин Күнәш тәрәфиндән ишыгланмасы вә онларын ваһид сәтһинин истилик енержиси алмасы шәраити дөврү олараг дәјишир.

Күнәш шүаларынын һәр бир чоғрафи мәһәлдә Јер сәтһинә дүшмә бу-чағы, Күнәшин Z_0 зенит мәсафәсинә бәрабәрдир. Одур ки, Күнәшдән Јер сәтһинә дүшән ишыг сели $\Phi = \Phi_0 cos z$, дүстуру илә һесабланыр (Φ_0—зенит мәсафәси $O°$ олан һалда шүаланма селидир). Бу сели һәр фәслин башланғычында мүхтәлиф мәһәлләрдә гијмәтләндирмәздән әввәл Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәтиндәки әсас анлара вә бу анларда онун екваториал вә еклиптик координатларына бахаг.

21 март: Күнәш диски мәркәзи јаз бәрабәрлији нөгтәсиндән кечир, шимал јарымкүрәсиндә *јаз* (чәнуб јарымкүрәсиндә пајыз) башлајыр.

22 ијун: Күнәш диски мәркәзи јај күнәшдурушу нөгтәсиндән кечир, шимал јарымкүрәсиндә *јај* (чәнуб јарымкүрәсиндә гыш) башлајыр.

23 сентјабр: Күнәш диски мәркәзи пајыз бәрабәрлији нөгтәсиндән кечир, шимал јарымкүрәсиндә *пајыз* (чәнуб јарымкүрәсиндә јаз) башлајыр.



Шәкил 21. Илин дөрд фәслинә ујғун Јерин Күнәш шүаларына нисбәтән вәзијјәти

22 декабр: Күнәш диски мәркәзи гыш күнәшдурушу нөгтәсиндән кечир, шимал јарымкүрәсиндә *гыш* (чәнуб јарымкүрәсиндә јај) башлајыр.

Бу анларда Күнәшин екваториал координатлары ($\alpha_\odot$, $\delta_\odot$), еклиптик узунлуғу ($\lambda_\odot$) вә һәмчинин φ енлијиндә онун јухары кулминасијада зенит мәсафәси ($z_\odot$) ашағыда верилир:

$\alpha_\odot$ $\delta_\odot$ $\lambda_\odot$ $z_\odot$

21 март	0^h вә ја 0°	0°	0^h вә ја 0°	φ
22 ијун	6^h вә ја 90°	+23°26′,5	6^h вә ја 90°	φ—23°26′5
23 сентјабр	12^h вә ја 180°	0°	12^h вә ја 180°	φ
22 декабр	18^h вә ја 270°	—23°26′5	18^h вә ја „270°	φ+23°26′,5

$\Phi=\Phi_0 \cos Z_{\odot}$ мүнасибәтини вә јухарыдакы чәдвәлдә $Z_{\odot}$ -ин φ-дән асылы гијмәтләрини нәзәрә алмагла φ енликли мәһәлдә бахдығымыз тарихләрдә јер сәтһинә дүшән Күнәш селинин мигдарыны нормал истигамәтдә дүшән селин мигдары ваһидләри илә (Φ_0-илә) ашағыдакы кими гијмәтләндирә биләрик:

$$21 \text{ март вә } 23 \text{ сентјабр}: \frac{\Phi_1}{\Phi_0} = \cos\varphi.$$

$$22 \text{ ијун}: \frac{\Phi_2}{\Phi_0} = \cos(\varphi - 23°26',5)$$

$$22 \text{ декабр}: \frac{\Phi_3}{\Phi_0} = \cos(\varphi + 23°26',5)$$

Бурадан көрүрүк ки, ејни мәһәлдә јајда јер сәтһинә дүшән Күнәш шүаларынын истилик енержиси ән бөјүк, гышда исә ән кичикдир, гүтбә доғру исә бу сел зәифләјир. 40°-лик енликдә (Бакы енлијиндә) Φ_2-2,1 дәфә, Φ_1 исә 1,3 дәфә, 55°-лик енликдә (Москва енлијиндә) исә Φ_2—4,6 дәфә, Φ_1 исә 3 дәфә Φ_3-дән бөјүкдүр. Бу о демәкдир ки, гүтбә јахынлашдыгча фәсилләрдән асылы олараг дүшән селләр фәрги бөјүјүр. Мә'лумдур ки, шүаланма сели мәнбәдән олан мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасибдир, Јерин Күнәш әтрафында доланма орбити исә даирәјә јахын олса да, һәр һалда еллипсдир, јә'ни Јерлә Күнәш арасындакы мәсафә ил әрзиндә аз да олса дәјишир (§ 40). Күнәшин апокеј вә перикеј мәсафәләри фәргинә әсасән апарылан һесабламалар көстәрир ки, Күнәш перикејдә оланда Јерә дүшән сел апокејдәкинә нисбәтән 7% чохдур. Күнәш перикејдән јанварын илк күнләриндә, јә'ни шимал јарымкүрәсиндә гыш фәсли оларкән, апокејдән исә ијулун илк күнләриндә, јә'ни чәнуб јарымкүрәсиндә гыш фәсли оларкән кечир. Бу сәбәбдән дә шимал јарымкүрәсиндә гыш оланда јер сәтһинә дүшән күнәш енержиси сели чәнуб јарымкүрәсиндә гыш оланда дүшән енержи селиндән бир гәдәр чох, јај оланда исә бир гәдәр аз олур. Шимал јарымкүрәсиндә гышын нисбәтән мүлајим, јајын исә нисбәтән сәрин кечмәси бунунла изаһ едилир.

Јерин иглим гуршаглары да Јерин фырланма охунун онун орбит мүстәвисинә мејилли олмасы илә әлагәдардыр.

Бакыханов Јерин иглим гуршагларындан бәһс едәркән мәһз еклиптиканын екватора мејилли олмасы дәлилини әсас көтүрмүш вә биз дә бу мүһакимә әсасында ашағыда бу гуршагларын тәснифатыны веририк.

Белә ки, Јерин екваторундан, еклиптиканын екватора мејл бучағы $\varepsilon = 23^\circ\ 26'$, 5 гәдәр шималдан кечән чоғрафи паралел *шимал тропик даирәси,* бу бучаг гәдәр чәнубдан кечән чоғрафи паралел исә *чәнуб тропик даирәсидир;* шимал вә чәнуб тропик даирәләри арасындакы јер гуршағы *исти вә ја тропик гуршагдыр;* Јерин шимал гүтбүндән ε гәдәр аралы кечән чоғрафи паралел, јә'ни $66^\circ\ 33'$, 5 енлијә малик паралел *шимал гүтб даирәси,* бу гәдәр чәнуб гүтбүндән аралы кечән паралел исә, јә'ни—$66^\circ\ 33'$ 5 енлијә малик паралел *чәнуб гүтб даирәсидир;* бу гүтб даирәсинин һәр бириндән мувафиг гүтбә тәрәф *сојуг гуршаг* јерләшир; шимал тропик даирәси илә шимал гүтб даирәси арасындакы гуршаг *шимал мүлајим гуршаг,* чәнуб тропик даирәси илә чәнуб гүтб даирәси арасындакы гуршаг исә *чәнуб мүлајим гуршагдыр.*

Инди һәр бир иглим гуршағында Күнәшин көрүнмә шәраити илә таныш олаг.

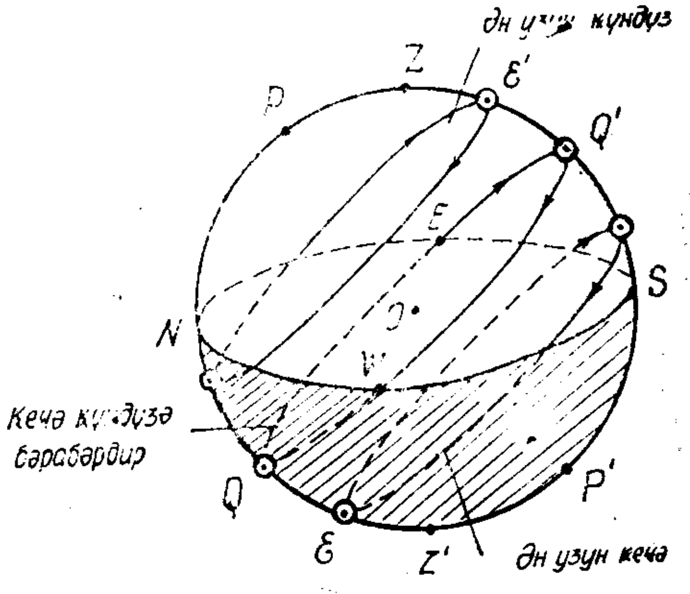
Јерин шимал гүтбүндә ($\varphi=90^\circ$). § 8-дән билирик ки, Јерин шимал гүтбүндәки мүшаһидәчи үчүн Јерин фырланма оху шагулун үзәринә дүшдүјүндән көј екватор мүстәвиси һәгиги үфүг мүстәвиси үзәринә дүшүр. Демәли, бу мәнтәгәдә мејли сыфырдан бөјүк олан көј чисимләри үфүгдән үстдә олачаг. Јазбәрабәрлији нөгтәсиндән пајызбәрабәрлији нөгтәсинә чатана гәдәр Күнәшин мејли мүсбәтдир. Бу о демәкдир ки, мартын 21-дән сентјабрын 23-нә кими Күнәш Јерин шимал гүтбүндә батмајан олур, јә'ни бу мүддәтдә орада күндүз олур. Әслиндә һадисә мартын 21-дән бир нечә күн тез башлајыр, сентјабрын 23-дән дә бир нечә күн кеч гуртарыр. Бунун әсас сәбәби астрономик рефраксијадыр (§ 14); бундан башга Күнәшин доғма вә батма анлары онун дискинин јухары кәнарынын ујғун олараг көрүнмәси вә көздән итмәси һаллары һесаб олунур (§ 32); нәһајәт алагаранлыг вә торанговушманы нәзәрә алсаг (бунларын мүддәти гүтбләрә доғру бөјүјүр), јә'ни нәзәрә алсаг ки, һава Күнәш доғмаздан әввәл ишыглашыр, батандан сонра исә һәлә бир мүддәт ишыг олур, күндүзүн узунлуғу даһа да бөјүјүр (§ 33). Беләликлә, илин јарыдан чоху бу вә ја дикәр гүтбдә күндүз олур. Бу дөврдә суткалыг һәрәкәт нәтичәсиндә Күнәш үфүг үзәриндә һәгиги үфүгә демәк олар паралел даирәләр чызыр, јај күнәшдурушуна гәдәр Күнәшин һүндүрлүјү тәдричән артыр, јај күнәшдурушунда максимум олур (23° 26. 5), сонра онун һүндүрлүјү тәдричән азалыр вә пајызбәрабәрлији нөгтәсиндә Күнәш үфүг үзәринә енир. Беләликлә, Күнәш, үфүгдән башлајараг әввәлчә галхан, мүәјјән вахтдан сонра исә енән спирал чызыр.

Јерин шимал гүтб даирәсиндә ($\varphi=66^\circ\ 33'$, 5); § 12-дә көрдүк ки, $|\delta| \geqslant (90^\circ - |\varphi|)$ оланда көј чисми батмајан, $|\delta| \leqslant (|\varphi| - 90^\circ)$ оланда исә доғмајан олур. Бу ифадәләрдә јалныз бәрабәрлик ишарәсини сахласаг, $\varphi=66^\circ\ 33'$, 5 енлик үчүн аларыг ки, Күнәшин мејли $\delta_\odot = +23^\circ\ 26'$, 5 оланда о, шимал гүтб даирәсиндә батмајан, $\delta_\odot = -23^\circ$ $26'$, 5 оланда исә доғмајандыр; Күнәш бу мејлләрә ујғун олараг 22 ијун вә 22 декабрда малик олур. Демәли, јерин шимал гүтб даирәсиндә Күнәш јај күнәшдурушунда оланда о, батмыр, кечә јарысы шималда үфүгә тохунур; гыш күнәшдурушунда исә Күнәш доғмур, чәнуб тәрәфдә күнорта вахты јалныз үфүгә тохунур. Чәнуб гүтб даирәсиндә дә буна

аналожи, лакин вахт чәһәтдән тәрсинә олур. Лакин рефраксија нәтичәсиндә гүтб даирәләриндә Күнәш әслиндә бир ај батмајан, олур, гүтб кечәләри исә олмур. Белә ки, гүтб даирәләриндә Күнәшин батмајан олмасы үчүн $|\delta_{☉}| \geq 22°,6$ олмалыдыр. Күнәшин мејлинин $|\delta_{☉}| = 22°,6$ гијмәтиндән максимума вә сонра да бу гијмәтә гајытмасы үчүн тәгрибән 30 сутка лазымдыр, јә'ни јај күнәшдурушуна 15 күн галмышдан шимал гүтб даирәсиндә о, батмајан олур вә јај күнәшдурушундан 15 күн сонрајадәк батмајан олараг галыр; алты ајдан сонра бу, чәнуб гүтб даирәсиндә олур. Рефраксија нәтичәсиндә гүтб кечәләри гүтбләрдән $|\varphi| = 67°,4$ енлијә гәдәр мәһәлләрдә олур.

Јерин екваторунда $|\varphi = 0°|$ бүтүн көј чисимләринин суткалыг паралелләри үфүгә перпендикулјар олмагла үфүгдә тән бөлүнчүкләриндән Күнәш дә сутканын јарысыны үфүгдән үстдә, јарысыны үфүгдән алтда олур, јә'ни кечә-күндүзә бәрабәр олур. Гејд едәк ки, екваторда алагаранлыг вә торанговушма демәк олар ки, баш вермир: сутканын ишыглы гисми гаранлыг гисминдән чәми 7 дәгигә узун олур. Јаз вә пајыз бәрабәрлији күнләриндә Күнәш јухары кулминасија заманы зенитдә олур. Күнәшин ән кичик күнорта һүндүрлүјү $h_{☉} = 90° - 23°26',5 = 66°33',5$ олур (22 ијунда зенитдән шимала, 22 декабрда зенитдән чәнуба меридианы кәсир) (бах § 12).

Шимал тропик даирәсиндә $(\varphi = +23°25',5)$ Күнәш јај күнәшдурушу күнүндә зенитдә олур (чәнуб тропик даирәсиндә, јә'ни $\varphi = -23°26',5$-дә Күнәш гыш күнәшдурушу күнүндә зенитдә олур).



Шәкил 22. Илин фәсилләринин башланғычында Күнәшин суткалыг јолу.

Шимал вә чәнуб тропикләри арасында Күнәш илдә ики дәфә (Күнәшин мејли $\delta_{\odot}$, мәһәлин чоғрафи енлији φ-јә бәрабәр оланда) зенитдә кулминасија едир.

Мулајим иглим гуршагларында Күнәш һеч вахт зенитдә олмур, һеч вахт доғмајан вә ја батмајан олмур; ән бөјүк күнорта һүндүрлүјү һәмишә 90°-дән кичик олан Күнәш һәр күн чыхыб-батыр (шәкил 22).

§ 16. ЈЕРИН ӨЛЧҮЛӘРИ ВӘ ФОРМАСЫ

1. Илк јахынлашмада Јер бирчинс күрә гәбул едилир. Бу һалда Јерин күтлә мәркәзи һәм дә онун һәндәси мәркәзи олар. Јер күрәсинин радиусуну тә'јин етмәк үчүн дәрәчә өлчмәләри үсулундан истифадә олунур. Бу өлчмәләр, адәтән, меридиан үзрә апарылыр. Мә'лумдур ки, *Јерин чоғрафи гүтбләриндән вә онун сәтһиндә верилән нөгтәдән кечән бөјүк даирәјә бу нөгтәнин чоғрафи меридианы дејилир.* Јери кәлмишкән гејд едәк ки, Бакыханов јер маридианына ашағыдакы тә'рифи вермәклә ону даһа да үмумиләшдирмишдир: *Јер күрәси үзәриндә һәр бир јердә гүтбдән-гүтбә узанмасы фәрз олунан хәттә меридиан дејилир.* Бакыхановун јер екваторуна вердији тә'риф дә мараглыдыр. *Јерин сәтһи үзәриндә меридианлары тән кәсән бөјүк даирә јер екваторудур.* Бу тә'риф—*јер екватору Јерин сәтһиндә елә бөјүк даирәдир ки, онун мүстәвиси Јерин фырланма охуна перпендикулјардыр* — тә'рифиндән јығчам вә анлашыглыдыр.

Дәрәчә өлчмәләри апармагдан өтрү Јерин сәтһиндә ејни меридиан үзәриндә чоғрафи енликләри φ_1 вә φ_2 олан ики нөгтә—мәнтәгә көтүрмәк лазымдыр. (шәкил 23). Сонра бу нөгтәләр арасындакы меридиан гөвсүнүн l узунлуғу өлчүлмәлидир. Онда бир дәрәчәјә ујғун меридиан гөвсүнүн узунлуғу

$$l_0 = \frac{l}{\varphi_2 - \varphi_1} = \frac{\pi R_\lambda}{180};$$

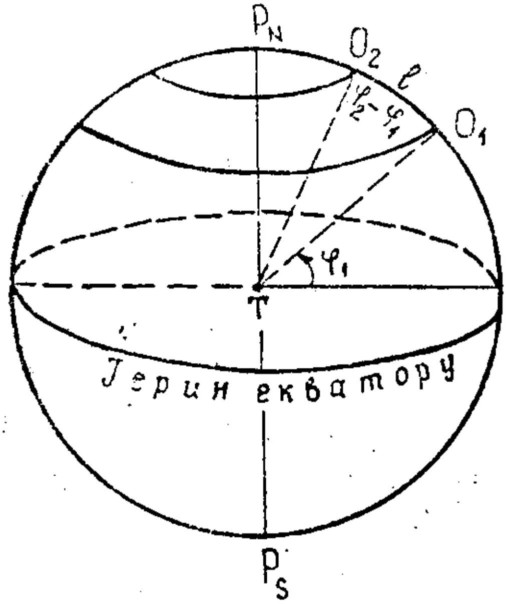
бурада R өлчүлән меридиан гөвсүнүн әјрилик радиусу, јахуд күрә гәбул олунмуш Јерин радиусудур:

$$R_\lambda = \frac{180}{\pi(\varphi_2 - \varphi_1)}\, l$$

φ_1, φ_2 вә l мә'лум оларса, R_λ-ны тапа биләрик. Верилмиш мәһәлдә меридианы тапмаг, һәмин мәһәлдә дүнја меридианынын вәзијјәтини тапмаг демәкдир; бу исә чәнуб нөгтәсинә јөнәлмиш истигамәти тапмагла һәјата кечирилир (бах § 34). Мәһәллин чоғрафи енлији да астрономик үсулла тапылыр (§ 34). R_λ-ны тапмаг үчүн ән чәтин иш l-ин тапылма-

һыдыр. Бу иш триангулјасија үсулу илә һәјата кечирилир (triangulum-латынча үчбучаг демәкдир).

Триангулјасија үсулунун маһијјәти беләдир. Узунлуғуну тә'јин етмәк истәдијимиз O_1 O_2 меридиан гөвсү сечилир (шәкил 24). Онун әтрафында бир-бириндән 20—30 км мәсафәдә бир нечә өлчмә мәнтәгәсиндә һүндүр вышкалар гурулур (дүз јерләрдә 20—25 м, мешәлик јерләрдә 40—45 һүндүрлүкдә). Бу мәнтәгәләр елә сечилир ки, онларын һәр бириндән һеч олмаса ики гоншу мәнтәгә көрүнсүн. Узунлуғуну тә'јин едәчәјимиз меридиан гөвсүнүн бир учунда (мәсәлән O_1-дә) дүзһамар бир јердә $O_1A=b$ парчасы сечилир. Бу парча базис һесаб олунур вә онун узунлуғу мүмкүн гәдәр дәгиг өлчүлүр. Әввәлләр базисин узунлуғуну истидән узанмасы чох кичик олан Fe вә Ni әринтисиндән һазырланан лент васитәсилә өлчүрдүләр; сон вахтлар бу мәсафәни ишыг локасијасы вә ја радиолокасијанын көмәји илә өлчүрләр.



Шәкил 23. Јердә дәрәчә өлчмәләри принсипи.

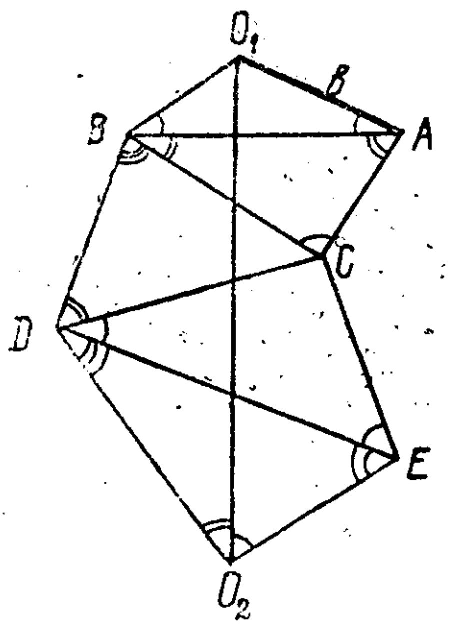
t_1—сигналын O_1-дән A-ја көндәрилмәси аны, t_2 исә A-дан O_1-ә гајытмасы анıдырса, онда сигналын O_1-дән A-ја вә əксинә гајытмасы үчүн $t_2—t_1$ гәдәр вахт фасиләси лазым олар ки, бунун да јарысы O_1A мәсафәсини гәт етмәјә сәрф едиләр. Беләликлә, $O_1A=b$ базиси

$$b = c\frac{t_2-t_1}{2}$$

үчүн ифадәсини јаза биләрик. Бурада c=299708000 м/сан јер атмосфериндә електромагнит далғаларынын јајылма сүр'әтидир. Бу үсулла өлчмә хәтасы 10 км-дә ± 2 мм-дир. Базисин узунлуғу, адәтән, 30 км-дән бөјүк олмур. Һазырда һәр бир өлчү мәнтәгәсиндә мүрәккәб радиолокасија чиһазлары илә тәчһиз олунмуш триангулјасија шәбәкәси јарадылыр. Бу өлчү мәнтәгәләринин кеодезија пејки илә (әкс етдиричиси олан хүсуси пејклә) радиолокасија әлагәси һәмин мәнтәгәләрдән пејкә гәдәр мәсафәни вә мәнтәгләр арасындакы мәсафәни тә'јин етмәјә, һәтта јер материкләринин һәрәкәтини өјрәнмәјә имкан верир (кеодезијада јерин форма вә өлчүләри өјрәнилир вә онун сәтһиндә өлчмә ишләри апарылыр).

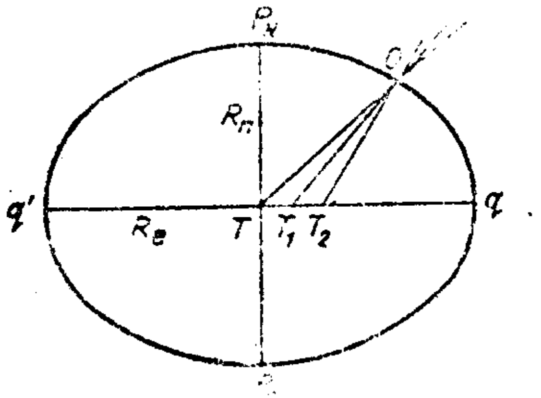
Һәр бир өлчмә мәнтәгәсиндән бучаг өлчән чиһаз (мәсәлән теодалит адланан чиһаз (бах:§ 34) васитәсилә мәнтәгәләрә јөнәлмиш исти-

гамәтләр арасындакы бучаглар өлчүлүр (0″,5-дән бөјүк олмајан хәта илә). O_1 вә O_2 учларында да гоншу мәнтәгәләрә јөнәлмиш истигамәтләр арасындакы бучаглар, јә'ни онларын азимутлары өлчүлүр. Мә'лум бучаглар вә O_1A базисинә әсасән үчбучагларын һәллиндән O_1ACEO_2 вә ја O_1BDO_2 сыныг хәттин узунлуғуну, сонра исә ахтардығымыз O_1O_2-нин — l меридиан гөвсүнүн узунлуғуну тапырыг. Нәзәрә алынмалыдыр ки, триангулјасија шәбәкәсинин үчбучаглары сферикдир.



Шәкил 24. Триангулјасија

Илк триангулјасија өлчмәләри 1617-чи илдә һолланд физики В. Снеллиус (1580—1626) тәрәфиндән апарылыб. Русијада Пулково рәсәдханасынын баниси В. Ј. Струвенин (1793—1864) рәһбәрлији илә Дунајын мәнсәбиндән ($\varphi=45°20'$) Шимал бузлу океанына ($\varphi=70°40'$) гәдәр 2800 км узунлугда меридиан гөвсүнүн узунлуғу өлчүлмүшдүр. Ән јахшы дәрәчә өлчмәләри Ф. Н. Красовскинин (1878 — 1948) рәһбәрлији илә 30-чу илләрдә апарылмышдыр. Чохсајлы дәрәчә өлчмәләри көстәрмишдир ки, бир дәрәчәјә ујғун меридиан гөвсүнүн узунлуғу l_0 екваторда ($\varphi=0°$) 110,576 км, $\varphi=45°$-дә—111,143 км, гүтбдә ($\varphi=90°$)—111,696 км-дир. Демәли Јерин екваторундан гүтбүнә доғру 1°-јә ујғун меридиан гөвсүнүн узунлуғу аз да олса бөјүјүр, башга сөзлә Јерин екваториал радиусу онун



Шәкил 25. Јер енликләринин мүхтәлифлији (әјанилик үчүн Јерин басыглығы сүн'и олараг бөјүдүлмүшдүр).

гүтб радиусундан бир гәдәр бөјүкдүр. Беләликлә, Јерә икинчи јахынлашмада сфероид, јә'ни күрәдән аз фәргләнән фигур, јахуд ики охлу еллипсоид кими баха биләрик. Јер сфероиди гејри-бирчинсдир—онун дахилиндә күтлә гејри-бәрабәр пајланыб. Јерә гејри-бирчинс сфероид кими бахдығымыздан үч чүр јер енлији анлајышы мөвчуддур (шәкил 25).

1. Јерин екватор мүстәвиси илә верилән нөгтәдә ағырлыг гүввәсинин истигамәти арасындакы бучаг ($<q\ T_1O$) мәһәллин астрономик (чоғрафи) енлијидир;

2. Јерин екватор мүстәвиси илә верилән О нөгтәсинин радиус-вектору арасындакы бучаг ($<qTO$) кеосентрик енликдир.

3. Јерин екватор мүстәвиси илә верилән нөгтәдә Јерин нормалы арасындакы бучаг ($<q\ T_2O$) кеодезик енликдир.

Биринчи вә икинчи нөв енликләр арасындакы фәрг, јә'ни чоғрафи вә кеосентрик енликләр арасындакы фәрг Јерин сфероид олмасынын нәтичәсидир; биринчи вә үчүнчү енликләр арасындакы фәрг исә, јә'ни чоғрафи вә кеодезик енликләр арасындакы фәрг—Јерин гејри-бирчинс олмасындан јараныр. Нормалла ағырлыг гүввәсинин истигамәтләри арасындакы бучаг адәтән 3″-дән кичик олур (гравитасија аномалијасы олан мәһәлләр мүстәсна олмагла—бах § 97). Астрономијада бу фәрг нәзәрә алынмыр, јә'ни астрономик вә кеодезик енликләр арасында фәрг гојулмур. Гравитасија аномалијасы олан јерләрдә ағырлыг гүввәси илә нормалын истигамәтләри чидди фәргләнир (Јерин сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин пајланмасыны өјрәнмәк вә өлчмәклә гравиметријада мәшғул олурлар вә кеофизики үсулла фајдалы газынтыларын кәшфи мәсәләсиндә гравиметрија әсас үсул һесаб едилир (бах § 97). Кеосентрик енлији тә'јин етмәк үчүн (мә'лум кеодезик енлијә әсасән) аналитик һәндәсә үсуллары тәтбиг олунур. Кеосентрик вә астрономик енликләр фәрги 12′-дән бөјүк олмур вә бу фәрг гүтбләрдә вә екваторда сыфырдыр. Јерин сүн'и пејкләри васитәсилә әлдә едилән нәтичәләрә әсасән 1976-чы илдә XVI Бејнәлхалг Астрономија Иттифагы гурултајынын гәрары илә ики охлу јер еллипсоидинин елементләринин гијмәтләри belә гәбул олунмушдур: Јерин екваторнал (ән бөјүк) радиусу $R_e = 6378,140$ км, Јерин гүтб (ән кичик) радиусу $R_n = 6356,755$ км. Бу радиусларын фәрги $R_e - R_n = 21,385$ км, Јерин басыглығы исә $\alpha = \frac{R_e - R_n}{R_e} = 1:298,257$-дир.

Јерин фигуруну өјрәнмәкдә Јерин сүн'и пејкләриндән кениш истифадә олунур.

Әслиндә Јер һеч бир аналитик ифадә илә тәсвир олунмајан фугурдур. Јерин сәтһи кеоид адланан сәтһ кими гәбул олунур. Кеоид сәтһ анлајышы таразлыг вә ја сәвијјә сәтһи адланан анлајыша әсасланыр. Таразлыг вә ја сәвијјә сәтһи елә сәтһдир ки, онун һәр бир нөгтәсиндә ағырлыг гүввәси илә нормал үст-үстә дүшүр. *Ачыг океанда сүкунәтдә олан сәрбәст су сәтһи илә үст-үстә дүшән таразлыг (сәвијјә) сәтһинә кеоид дејилир.* Кеоид илә Јер сфероидинин сәвијјәләри фәрги 200 метр-

дән бөјүк дејил, һалбуки, дәниз сәвијјәсиндән 8000 метр һүндүр дағлар вардыр.

Јерин орта радиусу R_0-ы гијмәтләндирәк. Јер сфероидинин һәчми $V=\frac{4}{3}\pi R_e^2 R_n$-дир. Орта R_0 радиуслу күрәнин бу һәчмә бәрабәр һәчми $V=\frac{4}{3}\pi R_0^3$ олдуғундан *Јерин орта радиусу үчүн* $R_0=(R_e^2\cdot R_n)^{\frac{1}{3}}=$ 6371 км аларыг.

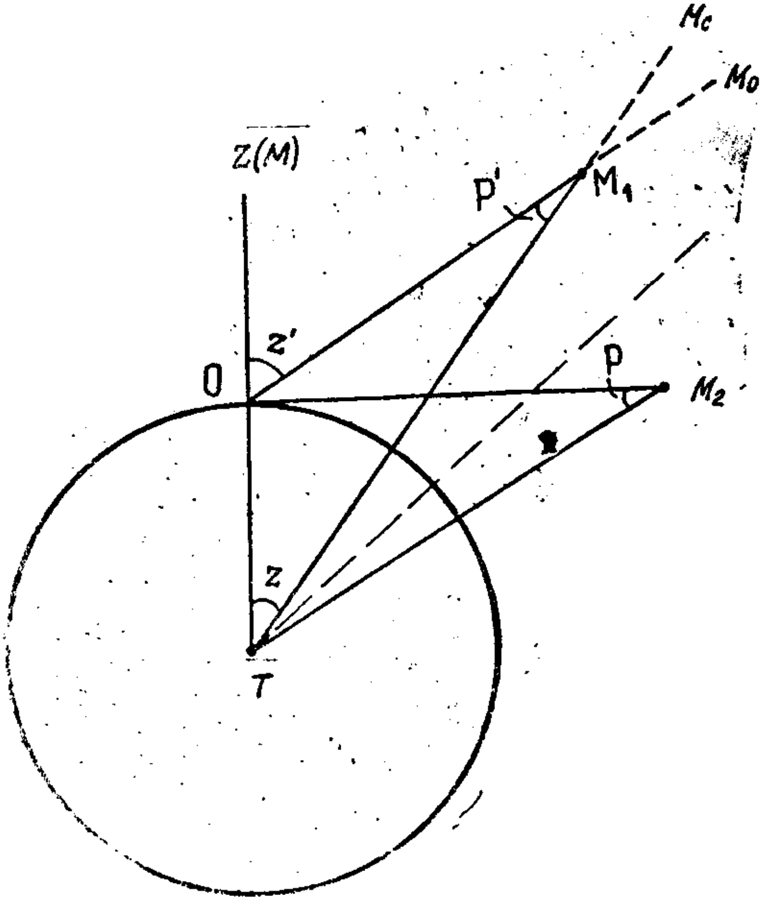
§ 17. СУТКАЛЫГ ПАРАЛЛАКС, ҮФҮГИ ПАРАЛЛАКС ВӘ КҮНӘШ СИСТЕМИ ЧИСИМЛӘРИНӘ ГӘДӘР КЕОСЕНТРИК МӘСАФӘНИН ТӘ'ЈИНИ. АСТРОНОМИК ВАҺИД ВӘ ОНУН ТӘ'ЈИНИ

Күнәш системинин чисимләринә гәдәр мәсафәләр Јерин радиусуна нисбәтән сонсуз бөјүк дејилләр: Јер сәтһинин һәр һансы бир нөгтәсиндән вә онун мәркәзиндән Күнәш системи чисминә јөнәлмиш истигамәтләр үст-үстә дүшмүр. Буну Күнәш системиндән харичдәки көј чисимләри, о чүмләдән, улдузлар үчүн демәк олмаз. Бу көј чисимләринә гәдәр мәсафәләр Јерин диаметринә нисбәтән мүгајисәсиз дәрәчәдә бөјүкдүр. Белә ки, мүшаһидә нөгтәсинин үфүгиндә олан ән јахын улдуздакы хәјали мүшаһидәчи Јерин радиусуну 0″,00004-дән кичик бучаг алтында көрәрди. 26-чы шәкилдә Јер күрәси, онун T мәркәзи, сәтһиндә O мүшаһидә нөгтәси, M көј чисминин ики вәзијјәтинә (M_1 вә M_2) јөнәлмиш истигамәт вә мүвафиг бучаглар көстәрилмишдир. TO радиусунун (O нөгтәсиндә ағырлыг гүввәсинин истигамәти бу радиус үзрәдир) јухарыја узантысы O нөгтәсиндә шагул хәттинин зенитә јөнәлмиш истигамәтидир, OM_1 вә TM_1 истигамәтләринин узантысы OM_1M_0 вә TM_1M_c верир, јә'ни бу истигамәтләр көј сферасы илә мүхтәлиф M_0 вә M_c нөгтәләриндә кәсишир. Бу о демәкдир ки, ејни көј чисминин јер сәтһинин һәр һансы нөгтәсиндән вә Јерин мәркәзиндән көрүнән вәзијјәтләри үст-үстә дүшмүр. OM_1M_0—топосентрик (јунанча «топос»-јер демәкдир), TM_1M_c исә кеосентрик истигамәт адланыр; ујғун олараг M_0 көј чисминин (M_1-ин) топосентрик, M_c исә кеосентрик вәзијјәтидир

Јерин T мәркәзиндән вә онун сәтһиндәки O нөгтәсиндән көј чисминә јөнәлмиш истигамәтләр арасында галан вә тәпәси бу көј чисминдә олан бучаға көј чисминин суткалыг параллаксы дејилир. (шәкилдә $\angle TM_1O=p$). Башга сөзлә суткалыг параллакс көј чисминдән Јерин радиусунун көрүнмә бучағыдыр. Шәкилдән көрүнүр ки, көј чисми O нөгтәсиндәки мүшаһидәчијә көрә зенитдә олсајды онун (M-ин) суткалыг параллаксы сыфыр, үфүгдә олсајды ән бөјүк оларды (шәкилдә $\angle TM_2O=p$).

O нөгтәсиндәки мүшаһидәчијә көрә үфүгдә олан көј чисминин суткалыг параллаксы онун үфүги параллаксы адланыр.

Јер сфероид гәбул едилдијиндән шәртләшдирилмишдир ки, көј чисминин үфүги параллаксы мүшаһидә нөгтәси јерин екваторунда олан һала аиддир.



Шәкил 26. Көј чисминин параллаксы.

Јерин екваториал радиусу R_e базис һесаб едилмәклә тапылан үфүги параллакса үфүги екваториал параллакс (p_0) дејилир.

Астрономија әдәбијјатларында Күнәш системи чисимләринин мәһз бу параллаксы верилир. Үфүги екваториал параллакс јалныз Күнәш системи чисимләринә аиддир (параграфын әввәлиндә гејд етдијимиз кими бу параллаксы узаг көј чисимләри үчүн сыфыр гәбул етмәк олар).

Ајдындыр ки, үфүги екваториал параллакс p_0, үфүги параллакс p, Јерин екваториал радиусу R_e вә мүшаһидә нөгтәсиндә Јер сфероидинин әјрилик радиусу R арасында ашағыдакы асылылыг вардыр: $p_0 = p\frac{R_e}{R}$.
26-чы шәкилдән көрүрүк ки, $\frac{OT}{TM_2}$ $= \sin p$-дир; бурада $OT = R$ Јерин радиусу, $TM_2 = r$ көј чисминин кеосентрик мәсафәсидир. Беләликлә,

$$\frac{R}{r} = \sin p. \qquad (1.24).$$

(1.24)-дән көрүнүр ки, көј чисимләринин үфүги екваториал параллаксы илә она гәдәр кеосентрик мәсафә арасында чох садә әлагә вардыр. Лакин билаваситә мүшаһидәдән үфүги екваториал параллаксы тапмаг олмаз, чүнки рефраксија үфүгдә олан көј чисминин һүндүрлүјүнү бөјүдүр, параллакс исә кичилдир. Параллаксын көј чисминин зенит мәсафәсинә тә'сирини 26-чы шәкилдән мүәјјән етмәк олар: z—көј чисминин кеосентрик зенит мәсафәси, z' исә топосентрик зенит мәсафәсидирсә, онда һәмин шәкилдән көрүнүр ки, $p' = z' - z$-дир. Дикәр *тәрәфдән* $\Delta\, TM_2O$ вә $\Delta\, TM_1O$-дан ујғун олараг алырыг ки,

$$\frac{R}{r} = \sin p, \ \frac{R}{r} = \frac{\sin p'}{\sin(180^\circ - z')}.$$

Бурада z'—M_1-ин топосентрик зенит мәсафәсидир. Беләликлә, $\sin p = \frac{\sin p'}{\sin z'}$, јахуд p вә p' чох кичик олдугларындан (ән јахын көј чисми. олан Ај үчүн белә $p' \leqslant 61',5$-дир)

$$p' = z' - z = p \sin z' \qquad (1.25)$$

јаза биләрик, јә'ни *суткалыг параллакс, зенит мәсафәсинин синусу илә мүтәнасибдир (мүтәнасиблик әмсалы үфүги параллаксдыр).*

Үфүги екваториал параллаксы тә'јин етмәк үчүн көј чисми ејни меридианда јерләшән φ_1 вә φ_2 чоғрафи енликләрә малик ики нөгтәдә јухары кулминасијада мүшаһидә олунур. Јухары кулминасијада φ_1 чоғрафи енликли мүшаһидә мәнтәгәси үчүн (1.19) дүстурундан јазарыг:

$$\delta_1 = \varphi_1 - z_1. \qquad (1.26)$$

Бурада z_1 көј чисминин мүшаһидә олунан зенит мәсафәси, δ_1 исә мүшаһидә олунан мејлидир. Икинчи мүшаһидә мәнтәгәси үчүн јазырыг:

$$\delta_2 = \varphi_2 - z_2. \qquad (1.27)$$

Кеосентрик зенит мәсафәләри z'_0, z'_0 вә кеосентрик мејл δ олсун. Онда

$$\delta = \varphi_1 - z_0', \ \delta = \varphi_2 - z_0''. \qquad (1.28)$$

олар (1.26) вә (1.27) дүстурларынын (1.28) дүстуру илә мүгајисәсиндән аларыг:

$$\delta - \delta_1 = z_1 - z_0 \text{ вә } \delta - \delta_2 = z_2 - z_0''$$

(1.25)-ә әсасән бу ики бәрабәрликдән јазарыг:

$$p \sin z_1 = \delta - \delta_1 \text{ вә } p \sin z_2 = \delta - \delta_2.$$

Биринчи ифадәдән икинчини чыхсаг $p \ (\sin \ z_1 - \sin \ z_2) = \delta_2 - \delta_1$, јахуд (1, 26) вә (1.27)-дән $\delta_2 - \delta_1 = (\varphi_2 - \varphi_1) - (z_2 - z_1)$ олдуғуну нәзәрә алсаг

$$p = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) - (z_2 - z_1)}{\sin z_1 - \sin z_2} \qquad (1.29)$$

Беләликлә, көј чисминин үфүги параллаксыны тә'јин етмәк үчүн ејни меридианда јерләшән вә чоғрафи енликләри φ_1 вә φ_2 олан ики рәсәдханада һәмин көј чисминин јухары кулминасијада зенит мәсафәләри өлчүлмәлидир. Мә'лум φ_1, φ_2, z_1 вә z_2-јә әсасән (1.29)-дан p тапылыр. p илә p_0 арасындакы мә'лум әлагәјә ($p_0 = p \frac{R_e}{R}$) әсасән исә үфүги екваториал параллакс p_0 тә'јин олунур.

$$r = \frac{R_e}{\sin p_0} \qquad (1.30)$$

дүстурундан истифадә едәрәк мә'лум үфүги екваториал параллакс вә јерин екваториал радиусуна әсасән көј чисминә гәдәр кеосентрик мәсафә тапылыр. Сон илләр Ај, Меркури, Венера вә Марса гәдәр мәсафәләр радиолокасија үсулу илә (физики үсулла) дәгиг тапылыр. Кифајәт гәдәр күчлү монохроматик радиоимпулсун көндәрилмәси аны (t_1) вә гәбул едилмәси аны (t_2) 10^{-6} сан дәгигликлә тә'јин олунур. Онда $z = c\,\frac{t_2 - t_1}{2}$ дүстурундан планетә гәдәр мәсафә — r тапылыр ($c = 299792458 \pm 1{,}2$ м/сан вакуумда радиодалғаларын јајылма сүр'әтидир).

Күнәшин мәркәзинә гәдәр орта кеосентрик мәсафә астрономик ваһид адланыр.

Мүасир астрономијада бу мәсафә дә радиолокасија методу илә тапылыр. Лакин бу мәгсәдлә радиолокасијаны билаваситә Күнәшә тәтбиг етмәк олмаз. Чүнки көндәрилән радиосигналын Күнәш атмосферинин һансы гатындан экс олундуғуну билмәк олмур; бундан башга Күнәшин өзү чох күчлү радиошүаланма мәнбәји олдуғундан көндәрилән сигнал бу мәнбә тәрәфиндән удула да биләр. Астрономик ваһиди тапмаг үчүн Меркури вә ја Венераја гәдәр мәсафәни радиолокасија үсулу илә тапмаг лазымдыр. Астрономик ваһид ифадәсинә мәһз бу мәсафә

дахилдир. 1961—1963-чү илләрдә кечмиш ССРИ, Инкилтәрә вә АБШ-да апарылан радиолокасија өлчмәләри нәтичәсиндә 1976-чы илдә XVI Бејнәлхалг Астрономија Иттифагы гурултајынын гәрарына әсасән астрономик ваһид 1 јанвар 1984-чү илдән $a_0 = 149597870$ км ($P_{\odot} = 8'',794148$) гәбул едилиб (бурада хәта 10 км-дән бөјүк дејил). Бир чох астрономија мәсәләләринин һәлли үчүн $a_0 = 149,6/10^6$ км гәбул олунур ($P_{\odot} = 8'',794$)

Астрономик ваһид астрономијада фундаментал ваһидләрдәндир.

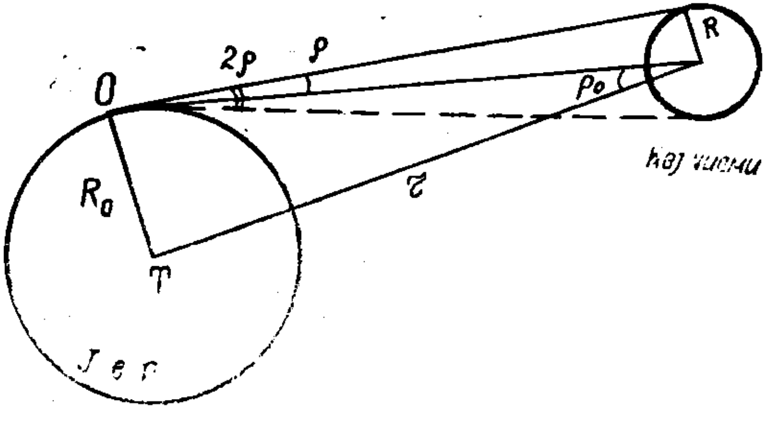
§ 18. КҮНӘШ СИСТЕМИ ЧИСИМЛӘРИНИН ХӘТТИ ӨЛЧҮЛӘРИНИН ТӘ'ЈИНИ

Күнәш системи чисимләринин хәтти өлчүләрини (радиусларыны) тә'јин етмәк үчүн һәмин чисмә гәдәр кеосентрик мәсафәни (r) вә ја p_0 үфүги екваториал параллаксы вә бу чисмин бучаг радиусуну вә ја бучаг диаметрини билмәк лазымдыр. 27-чи шәкилдә ρ Јерин сәтһиндә O нөгтәсиндәки мүшаһидәчијә көрә көј чисминин көрүнән бучаг радиусу, R исә онун хәтти радиусудур. Дикәр ишарәләр әввәлки параграфдан мә'лумдур. Шәкилдән ајдындыр ки, көј чисми күрәвидирсә, онда $R = r \sin \rho$ олар. Бурада (1.30) дүстуруну нәзәрә алсаг

$$R = R_e \frac{\sin \rho}{\sin p_0}. \qquad (1.31)$$

Көј чисимләринин суткалыг параллакслары вә көрүнән бучаг радиуслары чох кичикдир. Одур ки, (1. 31) ифадәсиндә тригонометрик функсијалары елә бучагларын өзү илә әвәз етмәк олар. Онда:

$$R = R_e \frac{\rho}{p_0} \qquad (1.32)$$



Шәкил 27. Көј чисминин хәтти өлчүсүнүн тә'јини.

ифадәсини аларыг. Күнәшин орта бучаг радиусу $\rho_{\odot} = 16'$, үфүги екваториал параллаксы $p_{\odot} = 8'',794$, Ајын орта бучаг радиусу $\rho_{☾} = 15'5$, орта екваториал үфүги параллаксы $p_{☾} = 57'$-дир; онда (1.32) дустуруна әсасән Күнәшин радиусу $P_{\odot} \approx 109$, $1R_{\odot} = 696000$ км, Ајын радиусу $R_{☾} \approx 0,2725\ R_{e} \approx 1738$ км алынар.

Планетләрин дискләринин мүхтәлиф оријентасијаларда бучаг диаметрини тә'јин етмәклә тапмышлар ки, Марс, Јупитер, Сатурн, Уран вә Нептун Јер кими гүтбләрдән басыгдыр. Күнәш системи чисминин хәтти өлчүсүнү тә'јин едәркән вачиб дејил ки, о күрәви олсун. Мәсәлән комет гујруғунун узунлуғунун ашағы сәрһәддини дә јухарыдакы гајда илә тә'јин етмәк олар. Бу һалда 2ρ комет гујруғунун көрүнән бучаг өлчүсүнүн ашағы гијмәти олар (гујруғунун һәгиги истигамәти, адәтән, көрүнән истигамәтдән фәрглидир).

§ 19. АБЕРРАСИЈА ВӘ ИЛЛИК ПАРАЛЛАКС

1. Аберрасија. XVIII јүзиллијин биринчи јарысында инкилис алими Брадлеј (бу фамилија әслиндә Бредли охунмалыдыр) Јерин Күнәш әтрафында һәрәкәти нәтичәсиндә улдузларын вәзијјәтиндә мејдана чыха билән јердәјишмәни, јә'ни иллик параллатик јердәјишмәни тапмаг мәгсәдилә еклиптиканын шимал гүтбү јахынлығында јерләшән бир улдузу—γ Әждаһаны мүшаһидә етмәјә башлајыр. 1728-чи илдә о, бу улдузун вәзијјәтиндә һәгигәтән јердәјишмә олдуғуну мүәјјән етди. Һәмин јердәјишмәнин Јерин һәрәкәти илә әлагәдар олдуғу онда һеч бир шүбһә доғурмады, чүнки јердәјишмәнин периоду дүз бир илә бәрабәр иди. Амма еклиптика гүтбү әтрафында башга улдузларын бу гајда илә мүшаһидәси көстәрди ки, онларын һамысы ил әрзиндә ејни радиуслу (тәгрибән 20″,5) чеврә чызыр, јә'ни јердәјишмә улдуза гәдәр мәсафәдән асылы дејил. Һалбуки, параллактик јердәјишмә мәсафәдән асылы олмалыдыр—улдуз нә гәдәр узагда олса белә јердәјишмә дә кичилмәлидир, башга сөзлә параллактик јердәјишмә даирәчијинин радиусу кичик олмалыдыр. Бундан башга параллактик јердәјишмә Јерин орбитал һәрәкәт истигамәтинин тәрсинә олмалыдыр, јә'ни јердәјишмә даирәчији мәркәзиндән улдузун һәр ан даирәчик үзәриндәки вәзијјәтинә јөнәлмиш истигамәт Күнәшдән бу анда Јерә јөнәлмиш истигамәтин әксинә олмалыдыр. Бредлинин мүшаһидә етдији һадисәдә исә улдузун һәр анда јердәјишмә даирәчији мәркәзиндән сүрүшмәси Күнәшә дејил, еклиптика үзәриндә Күнәшдән 90° гәрбәдир. Беләликлә, көзләнилән параллактик јердәјишмәјә нисбәтән улдуз 1/4 дөвр кери галыр.

Бредлинин кәшф етдији һадисә улдузун вә ја улдуз ишығынын аберрасијасы һадисәси адланды (aberatio-латынча азма демәкдир). Гејд едәк ки, иллик параллакс аберрасијанын кәшфиндән бир әсрдән чох сонра бөјүк рус астроному В. Ј. Струве тәрәфиндән 1835—1837-чи илләрдә Вега (α Лира) улдузунун дәгиг мүшаһидәләриндән кәшф едилмишдир. Бундан азачыг сонра Алманијада Бессел, Инкилтәрәдә Һендерсон да иллик параллаксы мүшаһидә етдиләр.

Иллик параллаксдан данышмаздан әввәл Бредлинин кәшф етдији аберрасија һадисәсинин маһијјәти илә таныш олаг.

Фәрз едәк ки, Јер нә өз оху әтрафында фырланыр, нә дә Күнәш әтрафында доланыр. Онда һәр бир улдузу ондан Јерә доғру јөнәлән паралел шүалар истигамәтиндә мүшаһидә едәрдик. Лакин мә'лумдур ки, јер суткалыг дөврлә өз оху әтрафында фырланыр вә иллик дөврлә Күнәш әтрафына доланыр, јә'ни мүшаһидәчи Јерин ики әсас һәрәкәтиндә иштирак едир. Дикәр тәрәфдән ишығын сүр'әти чох бөјүк олса да сонсуз дејилдир. Ишығын бу сонлу јајылма сүр'әтинин Јерин фырланма хәтти сүр'әти илә вәһдәтдә олмасы нәтичәсиндә суткалыг аберрасија, Јерин Күнәш әтрафында доланма хәтти сүр'әти илә вәһдәтдә олмасы нәтичәсиндә исә иллик аберрасија јараныр. Әввәлдән гејд едәк ки, суткалыг аберрасија чох кичикдир, чүнки Јерин фырланма хәтти сүр'әти һәтта Јерин екваторунда белә ишығын јајылма сүр'әти илә мүгајисә едилдикдә чох кичикдир. Доғрудан да Јерин өз оху әтрафында фырланма дөвру. $P=23^h\ 56^m\ 04^s$ (орта вахтла, бах §§ 23, 28) олдуғундан Јерин екваторунда онун фырланма хәтти сүр'әти

$$v_e = \frac{2\pi R_e}{P} = 465 \text{ м/сан}$$

олар; бурада R_e - Јерин екваториал радиусудур. Истәнилән φ енлијиндә исә $v = v_e \cos\varphi = 465 \cos\varphi$ м/сан-дир. Јерин фырланма бучаг сүр'әти $\omega = 15'',041$ сан$^{-1}$ $= 7,2921 \cdot 10^{-5}$ радиан $\cdot$ сан$^{-1}$ һәр јердә ејнидир.

v кичик олдуғундан јалныз мејли бөјүк олан ($\delta > 80°$) улдузлар үчүн суткалыг аберрасијаны нәзәрә алмаг лазымдыр. Белә улдузлар үчүн суткалыг аберасијанын, башга сөзлә улдузун һәгиги вәзијјәтинә нисбәтән онун шәргә (јерин фырланма истигамәтинә) сүрүшмәсинин гијмәти, $0'',319$-јә чатыр.

Иллик аберрасија исә бүтүн улдузлар үчүн нәзәрә алынмалыдыр.

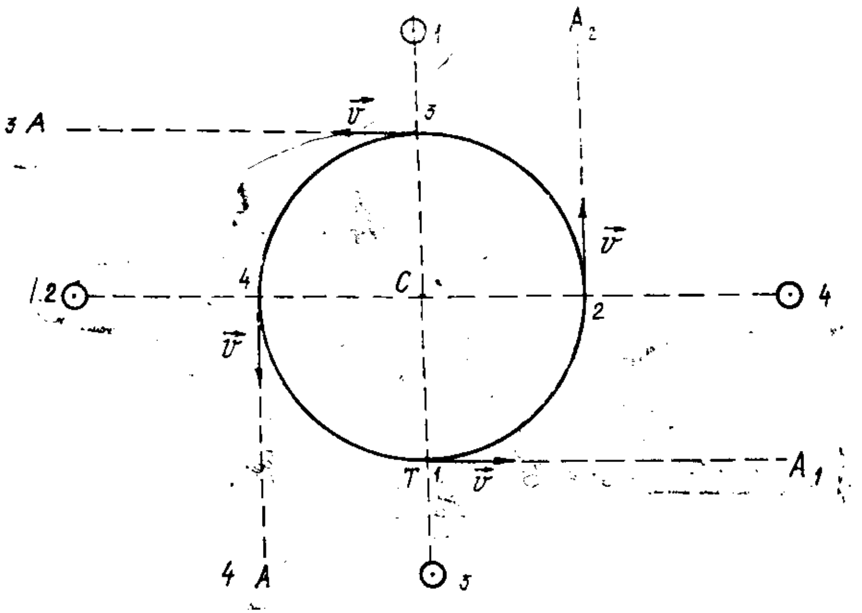
Инди иллик аберрасијаны вә бу һадисәдән чыхан нәтичәләри изаһ едәк.

Јерин Күнәш әтрафында долнма сүр'әт вектору Јер орбитинә тохунан олдуғундан бу вектор һәмишә еклиптика үзәриндәдир. Јерин доланма хәтти сүр'әтинин јөнәлдији фәза нөгтәсинә Јерин һәрәкәтинин апекси *(А)* дејилир (apex латынча тәпә, уч демәкдир). Ајдындыр ки, апекс иллик дөврлә еклиптика мүстәвисиндә там даирә чызыр вә һәмишә Күнәшдән 90° гәрбдә—архада олур. Одур ки, апексин еклиптик узунлуғу $\lambda_A = \lambda_\odot - 90°$-дир (шәкил 28). Бу шәкилдә Јерин *(Т)*, Күнәш *(С)* әтрафында һәрәкәт орбити вә гырыг хәттләрлә, апексин вә Күнәшин көј сферасына проjексијалары көстәрилмишдир (садәлик үчүн орбит даирә һесаб едилмишдир). Фәрз едәк ки, S_0 улдузу апексдән u бучаг мәсафәсиндәдир (шәкил 29). Бу шәкилдә $u = \beta$ улдузун еклиптик енлијидир. Бу улдуздан c ишыг сүр'әти илә кәлән шүа телескопун O објективинә дүшән андан O_1 окулјарына чатанадәк мүәјјән τ вахт фасиләси лазымдыр. Бу мүддәтдә ишығын кечдији јол $OO_1 = c\tau$ олар. Јерин доланма хәтти сүр'әти v олсун. Онда τ мүддәтдә Јерин өз орбитиндә кечдији јол $v\tau$ олар. Башга сөзлә, бу мүддәтдә окулјар өз јерини

$O_1O_1' = v\tau$ гәдәр ирәлијә доғру дәјишәр. Одур ки, S_0 улдузуну мүшаһидә етмәк үчүн окулјар $O_1O_1' = v\tau$ гәдәр кери чәкилмәлидир ки, ишыг објективдән окулјара чатанадәк, окулјар да өз лазыми јеринә кәлсин. 29-чу шәкилдән ајдындыр ки, O_1S_0—улдуза јөнәлмиш һәгиги истигамәт, $O_1'\ S$ исә көрүнән истигамәтдир. Бунлар арасындакы σ бучағы иллик аберрасијанын гијмәтидир.

Бу шәкилдән ајдындыр ки, $\frac{O_1O_1'}{OO_1} = \frac{\sin\sigma}{\sin(u-\sigma)}$, дикәр тәрәфдән исә $\frac{O_1O_1'}{OO_1} = \frac{v}{c}$ -дир. Одур ки, $\sin\sigma = \frac{v}{c}\sin(u-\sigma)$; σ чох кичик бучаг олдуғундандан онун өлчүсүнү өзү илә әвәз етмәк вә $u-\sigma$-да σ-ны нәзәрә алмасаг

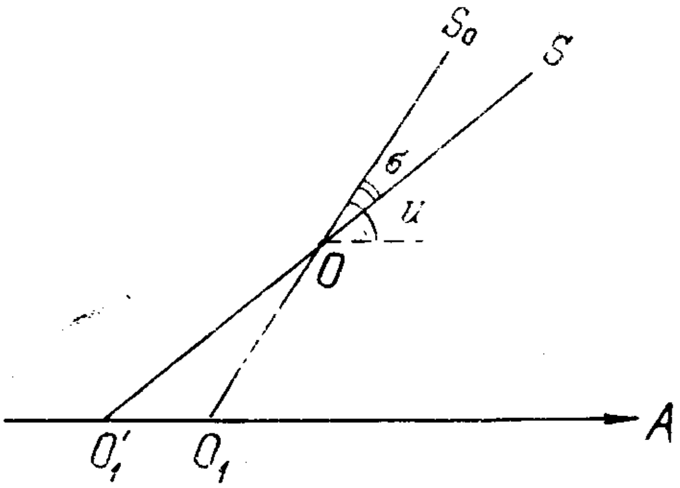
$$\sigma = 206265'' \frac{v}{c}\sin u = \varkappa \sin u \quad (1.32)$$



Шәкил 28. Апекс вә Күнәшин көрүнән вәзијјәти

јазарыг, Бурада $\varkappa = 206265'' \frac{v}{c}$ *аберрасија сабити адланыр вә астрономијада фундаментал сабитләрдәндир. Аберрасија сабитини мүасир гијмәти 20″,496 гәбул едилмишдир.*

2. Иллик параллакс дедик ки, иллик аберрасијанын кәшфиндән бир әср сонра иллик параллакс кәшф едилди. Јерин Күнәш әтрафында иллик һәрәкәти нәтиҹәсиндә јарым ил әрзиндә Јерин вәзијјәти улдузларарасы фәзада Јерлә Күнәш арасындакы мәсафәнин ики мисли гәдәр дәјишдијиндән нисбәтән јахын улдузларын вәзијјәтиндә параллактик јердәјишмә мүшаһидә олунмалыдыр. Параллактик јердәјишмәнин маһијјәти ондан ибарәтдир ки, Күнәшдән Јерә кәлән хә-



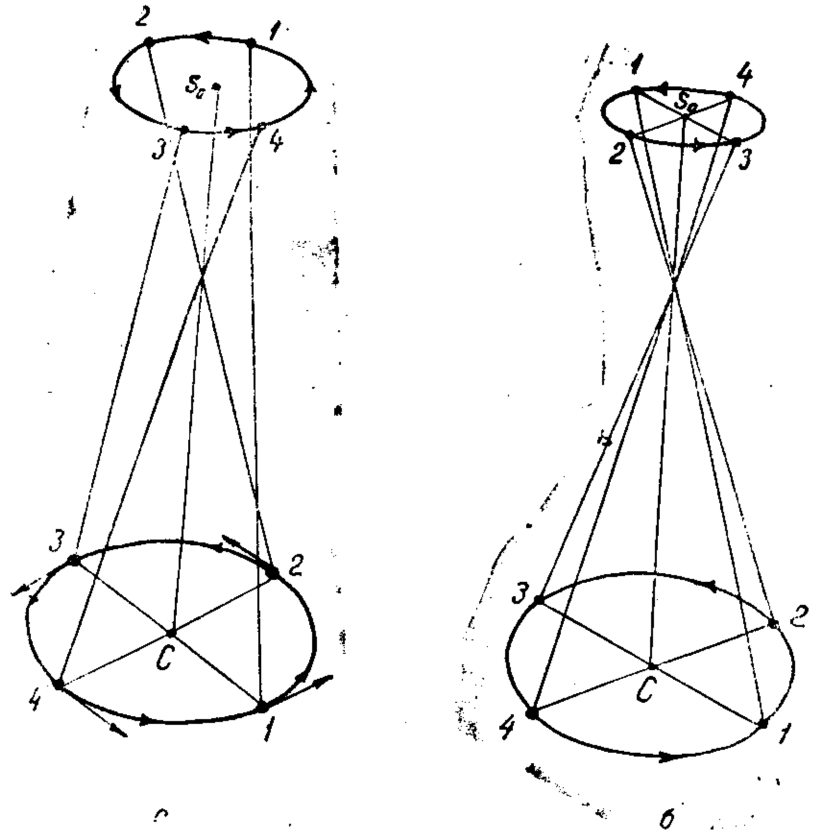
Шәкил 29. Аберрасија вә онун гијмәти.

јали мүшаһидәчи үчүн улдуз өз јерини бунун әкси истигамәтдә дәјишмәлидир; улдузун һәгиги вәзијјәтиндән онун верилән анда көрүнән вәзијјәтинә јөнәлән истигамәт һәмин анда Күнәшдән јерә јөнәлән истигамәтин әксинә олмалыдыр. Билирик ки, бу чәһәт параллаксы аберрасијадан фәргләндирән чәһәтләрдән биридир. Башга мүһүм фәрг ондан ибарәтдир ки, иллик параллаксын гијмәти чох кичик кәмијјәтдир вә улдуза гәдәр мәсафә бөјүдүкчә о даһа да кичилир.

30, *а* шәклиндә ил әрзиндә улдузун аберрасија јердәјишмәси әкс олунмушдур; бурада ејни рәгәмләрлә Јерин өз орбитиндә вә улдузун иллик аберрасија трајекторијасында көрүнән вәзијјәтләри көстәрилмишдир; улдузун көрүнән вәзијјәти һәмишә Јерин һәрәкәти истигамәтинә доғру сүрүшүр, аберрасија даирәси вә ја еллипсинин мәркәзи, јахуд аберрасија гөвсүнүн тән ортасы һәгиги S_0 вәзијјәтинә ујғундур. 30, *б* шәклиндә ил әрзиндә улдузун параллактик јердәјишмәси әкс олунмушдур: бурада ејни рәгәмләрлә Јерин өз орбитиндә вә улдузун параллактик трајекторијасында көрүнән вәзијјәтләри көстәрилмишдир. Параллактик трајекторијанын мәркәзиндән улдузун көрүнән вәзијјәтинә јөнәлән истигамәт Јерин бу ана ујғун вәзијјәтиндә Күнәшдән Јерә јөнәлән истигамәтин әксинәдир.

Улдузун (S) иллик параллаксы (π) тәпәси һәмин улдузда олмагла Күнәшә (С) вә Јерә (Т) јөнәлән истигамәтләр арасында галан еләбучагдыр ки, һәмин улдуздан Јерә јөнәлән истигамәт Јердән Күнәшә јөнәлән истигамәтә перпендикулјардыр. 31-чи шәкилдән ајдындыр ки, улдуза гәдәр r мәсафәси илә һәмин улдузун π иллик параллаксы арасында ашағыдакы әлагә беләдир:

$$r = \frac{a_0}{\sin \pi}.$$



Шәкил 30. Ил әрзиндә улдузун аберрасија јердәјишмәси (а); ил әрзиндә улдузун параллактик јердәјишмәси (б)

Бурада a_0—Јерлә Күнәш арасында орта мәсафәдир. Һәтта ән јахын улдуз олан α Сентаврын иллик параллаксы $\pi=0'',762$-дир, јә'ни ән јахын улдузун белә иллик параллаксы $1''$-дән кичикдир. Одур ки, јухарыдакы дүстуру белә јазмаг олар:

$$r = 206265'' \frac{a_0}{\pi''} \qquad (1.33)$$

(1.33)-дә π гөвс санијәләри илә верилир. Бурада $\pi=1''$ гәбул етсәк (1.33)-дән $r=206265\ a_0$ аларыг, јә'ни иллик параллаксы $1''$ олан објектә гәдәр мәсафә 206265 а. в. оларды. Бу мәсафә парсек адланыр вә нисбәтән узаг објектләрә гәдәр мәсафә ваһиди олараг гәбул едилмишдир. Беләликлә *парсек (пс) иллик параллаксы $1''$ олан објектдә гәдәр мәсафәдир.* 1*пс*=206265 а.в.=206265х149,6·10^6км=3,1·10^{13}км-дир. Чох узаг објектләр үчүн килопарсек (кпс=1000пс), мегапарсек (мпс=10^6пс)

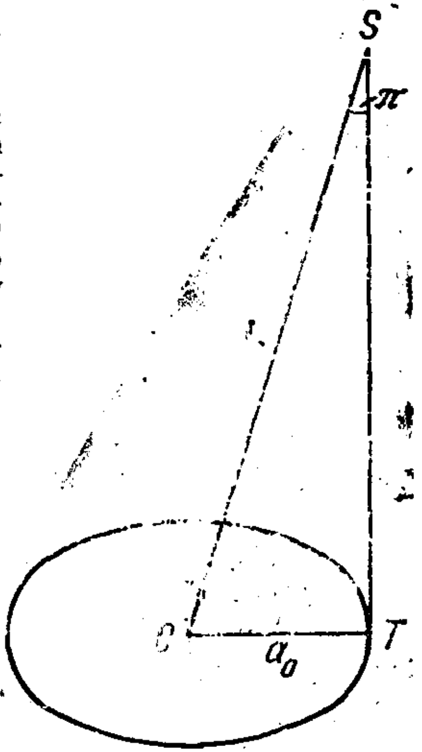
ваһидләриндән истифадә олунур. Астрономијада ишыг или адлы мәсафә ваһиди дә чох ишләнир. Бир ишыг или (и. и.) $= 3.10^5 \cdot 3{,}16.10^7$ км $= 9{,}5.10^{12}$ км (бурада $3{,}16.10^7$ бир тропик илдәки санијәләрин сајы, 3.10^5 км/сан исә ишығын бошлугдакы сүр'әтидир); јахуд 1 и.и $= 1/3{,}26$ пс вә ја 1пс $= 3{,}26$ и. и-дир. Ајдындыр ки, r-и парсекләрлә ифадә етсәк

$$r = \frac{1}{\pi}, \qquad (1.34)$$

бурада π гөвс санијәләри илә ифадә олунур. (1.34) мүнасибәииндән истифадә етмәклә улдузлара гәдәр мәсафәнин тапылмасына тригонометрик параллакс үсулу дејилир. Муасир астрономијада һәләлик анҹаг 0″,005-дән кичик олмајан бучаглары өлчмәк имканы вардыр; одур ки, иллик параллаксы 0″,005-дән кичик олан објекләрә гәдәр мәсафәни тригонометрик параллакс үсулу илә тә'јин етмәк олмур.

Узаг улдузлар вә башга каинат објектләринә гәдәр мәсафәни тә'јин етмәк үчүн башга үсуллар вардыр ки, биз онларла јери кәлдикчә таныш олачағыг.

Иллик параллакс иллик аберрасијаја нисбәтән тәртибләрҹә кичик олдуғундан улдузун вәзијјәтинә онун тә'сири өзүнү аберрасија трајекторијасыны деформасија етмәкдә көстәрир вә һәм дә бу јалныз нисбәтән јахын улдузлара аиддир.



Шәкил 31. Иллик параллакс.

§ 20. ВАХТ АНЛАЈЫШЫ ҺАГГЫНДА ИЛКИН МӘ'ЛУМАТ ВӘ ВАХТЫ ӨЛЧМӘК ПРИНСИПЛӘРИ

Мәканла бирликдә заман материјанын варлыг формасыдыр. Заман вә мәкансыз материја олмадығы кими материјасыз да заман вә мәкан јохдур. Демәли, вахтдан сөһбәт кедәндә о, мадди варлыға, ондакы һадисәләрә, һәрәкәтләрә бағланмалыдыр.

Вахт проблеминин ики әсас мәсәләси вардыр.

1. Ики һадисә арасындакы вахт фасиләсини тапмаг.
2. Һадисәнин баш вердији аны тә'јин етмәк.

Һәр ики мәсәләни һәлл етмәк үчүн вахтын арасы кәсилмәдән кечдијини нәзәрә алмагла вахтын кечмәсини елә тәбиәт һадисәсинә вә ја һадисәләринә бағламаг лазымдыр ки, о, мүнтәзәм олараг сабит периодла тәкрарлансын вә дәјишмәз сүр'әтлә давам етсин. Белә тәбиәт һадисәләриндән ән мәгсәдәујғуну Јерин өз оху әтрафында фырланмасы вә Күнәш әтрафында доланмасыдыр. Биринчи һадисә сутка адланан вахт

фасиләсини, икинчи исә ил адланан вахт фасиләсини верир. Сутка әрзиндә вахтын кечмәсини тә'јин етмәк үчүн саат механизминдән истифадә олунур вә саатларын көстәриши астрономија мүшаһидәләри илә дүзәлдилир. Илин узунлуғу да астрономија мүшаһидәләри илә тә'јин олунур. Мүхтәлиф мәгсәдләр үчүн мүхтәлиф вахт һесаблама системләриндән, јахуд бир сөзлә десәк, вахтлардан истифадә олунур. Нәзәрә алмалыјыг ки, вахт өзлүјүндә објектив һәгигәтдир вә јеканәдир, садәчә олараг ону өлчмәк принсипләри—һесаблама системләри мүхтәлифдир. Нөвбәти бир нечә параграфда вахт һесаблама системләри вә онлар арасындакы әлагә илә таныш олачајыг.

§ 21. УЛДУЗ СУТКАСЫ ВӘ УЛДУЗ ВАХТЫ

Биринчи јахынлашмада улдуз суткасы Јерин өз оху әтрафында там фырланма мүддәтидир. Јерин өз оху әтрафында фырланмасы өз әксини көј сферасынын дүнја оху әтрафында заһири фырланмасында көстәрир. Бу фырланма нәтичәсиндә һәр бир көј чисми вә ја көј сферасы нөгтәси суткада ики дәфә көј меридианындан кечир. Бу, јазбәрабәрлиjи нөгтәсинә дә аиддир.

Астрономијада јазбәрабәрлији нөгтәсинин ики ардычыл јухары кулминасија анлары арасында кечән мүддәт улдуз суткасы адланыр. Бу сутка јерин өз оху әтрафында фырланма периодундан фәрглидир. Беләки, јазбәрабәрлији нөгтәси улдузлар арасында өз вәзијјәтини сабит сахламыр—пресессија нәтичәсиндә көј екватору үзрә Јерин фырланмасы истигамәтинин әксинә илдә 46″ сүрүшүр. Бу гәдәр иллик сүрүшмә суткада $\frac{46''}{365,2422}=0'',126$ едир ки, бу да вахт һесабы илә $0^s,008 \simeq 0^s,01$дир. Демәли улдуз суткасы Јерин там фырланмасы периодундан $0^s,01$ гысадыр. Дәгиг һесабламаларда нутасија да нәзәрә алынмалыдыр (пресессија вә нутасија илә § 60-да таныш олачајыг).

Улдуз суткасынын 1/24 һиссәси улдуз сааты, улдуз саатынын 1/60 һиссәси улдуз дәгигәси, улдуз дәгигәсинин 1/60 һиссәси исә улдуз санијәси адланыр. Бизим улдуз вахты анлајышы илә илк танышлығымыз § 9-да олду. Билдик ки, *улдуз вахты* s *јазбәрабәрлији нөгтәсинин* (♈) *саат бучағыдыр (t-дир), јә'ни* s = t *-дир. Јазбәрабәрлији нөгтәси һеч бир көј објекти* илә үст-үстә дүшмәдијиндән онун саат бучағыны мүшаһидә јолу илә тапмаг олмаз. Лакин 32-чи шәкилдән (һәмчинин, § 9-а аид олан 13-чү шәкилдән) көрүнүр ки, дүз доғушу α олан улдузун верилән анда саат бучағы t-дирсә онда

$$s=t_{♈}=\alpha+t \tag{1.35}$$

јә'ни *верилән анда улдуз вахты истәнилән улдузун дүз доғушу илә һәмин анда онун саат бучағынын чәмидир.* Фәрз едәк ки, һәмин улдуз јухары кулминасијададыр, онда $t=0$ олдуғундан $s=\alpha$ олар, јә'ни *верилән анда улдуз вахты бу анда јухары кулминасијада олан улдузун дүз доғушуна бәрабәрдир.* Улдуз вахты мәһз истәнилән улдузун јухары кулминасија аныны мүшаһидә етмәклә тапылыр—бу анда ул-

дуз вахты һәмин улдузун дүз доғушудур. Вахт хидмәтиндә бу әмәлијјат инди дә өз әһәмијјәтини итирмәмишдир. Улдуз суткасы вә улдуз вахты астрономијада ишләдилир. Бу улдуз вахтындан мәишәтдә истифадә там әлверишсиздир. Чүнки инсанларын әмәли һәјаты һәмишә Күнәшин доғуб-батмасы, јә'ни кечә-күндүз дәјишмәләрилә бағлыдыр, даһа доғрусу бу һадисәләрә ујғунлашмышдыр. Одур ки, Күнәшлә бағлы вахт һесаблама системи лазымдыр.

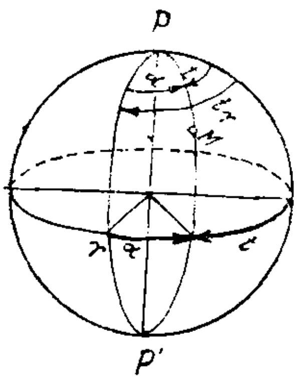
§ 22. ҺӘГИГИ КҮНӘШ СУТКАСЫ ВӘ ҺӘГИГИ КҮНӘШ ВАХТЫ

Күнәш диски мәркәзинин ејни чоғрафи меридианда ики ардычыл ејни адлы кулминасија анлары арасында кечән вахт фасиләси һәгиги Күнәш суткасы вә ја садәчә олараг һәгиги сутка адланыр. Ејни чоғрафи меридианда күнәш диски мәркәзинин ашағы кулминасија аны һәгиги суткасынын башланғычы гәбул едилмишдир; бу ан *һәгиги кечәјарыдыр.* Ејни чоғрафи меридианда күнәш диски мәркәзинин јухары кулминасија аны *һәгиги күнортадыр.*

Күнәш диски мәркәзинин саат буҹағы $t_{\odot}$ *илә* 12^h*-ын ҹәминә һәгиги күнәш вахты дејилир, јә'ни һәгиги күнәш вахты* $T_{\odot}$

$$T_{\odot} = t_{\odot} + 12 \qquad (1.3`)$$

мүнасибәти илә һесабланыр. (1.36) ифадәсиндән ајдындыр ки һәгиги күнорта анында $T_{\odot} = 12^h$, һәг г кечә јарыда исә $T_{\odot} = 24^h$, јахуд $T_{\odot} = 0^h$-дыр.



Шәкил 32. Улдуз вахтынын мүхтәлиф тәсвири.

Һәгиги күнәш суткасынын узунлуғу ил әрзиндә сабит галмыр, о каһ гысалыр, каһ да узаныр. Бунун ики сәбәби вардыр: 1) Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәти гејри-мүнтәзәмдир; 2) Күнәш екватор үзрә дејил, она мејилли еклиптика үзрә һәрәкәт едир.

Күнәш мүнтәзәм һәрәкәт етсәјди белә о, еклиптика үзрә һәрәкәт етдијиндән һәгиги күнәш суткасынын узунлуғу ил әрзиндә јенә дә сабит галмазды. Доғрудан да: фәрз едәк ки, күнәшин еклиптик узунлуғунун орта суткалыг артымы $\Delta\lambda$, бу артымын екватор үзәринә проjексијаларына ујғун кәлән дүз доғушун мүвафиг суткалыг артымы исә $\Delta\alpha_{\odot}$-дыр; көстәрмәк чәтин дејил ки, $\Delta\lambda_{\odot}$=const олса белә бәрабәрлик нөгтләри јахынлығында $\Delta\alpha_{\odot} < \Delta\lambda_{\odot}$(һәгиги күнәш суткасы гыса олур), күнәшдурушу нөгтәләри јахынлығында исә $\Delta\alpha_{\odot} > \Delta\lambda_{\odot}$ -дир (һәгиги күнәш суткасы узун олур); чүнки биринчи һалда күнәш екватора нисбәтән

даһа дик бучаг алтында, икинчи һалда исә даһа кичик бучаг алтында јерини дәјишир вә һәм дә саат даирәләри дүнја гүтбләринә доғру бир-биринә јахынлашыр. Һәр ики сәбәбин тә'сири илә һәгиги күнәш суткасынын узунлуғу ил әрзиндә $\sim 1^m$-дәк дәјишир (бу сутка 22 декабрда 23 сентјабра нисбәтән 50^s-51^s узундур). Һәгиги күнәш суткасынын узунлуғу ил әрзиндә сабит галмадығындан әмәли һәјатда һәгиги күнәш вахтындан истифадә етмәк олмаз.

§ 23. ОРТА КҮНӘШ СУТКАСЫ ВӘ ОРТА КҮНӘШ ВАХТЫ

Һәгиги күнәш вахтына ујғун вахтын һесабланма системини јаратмаг әлверишли олмаса да, бу чәтинлијин мә'лум ики сәбәбини сүн'и јолла да олса арадан галдырмагла күнәшлә бағлы вахты һесаблама системи јаратмаг мүмкүндүр.

Күнәшлә бағлы дәјишмәз вахт ваһиди, јә'ни сутка јаратмаг үчүн астрономијада орта еклиптик күнәш вә орта екваториал күнәш адланан ики һәндәси нөгтәдән истифадә олунур. Шәртләшдирилмишдир ки, биринчи нөгтә апокеј вә перикејдә күнәш дискинин мәркәзи илә көрүшмәклә күнәшин көрүнән иллик орта сүр'әтинә бәрабәр сүр'әтлә еклиптика үзрә һәрәкәт едир (бу нөгтә орта еклиптик күнәш адланыр); икинчи һәндәси нөгтә исә бәрабәрликләр нөгтәсиндә биринчи илә көрүшмәклә екватор үзрә күнәшин көрүнән иллик орта сүр'әтинә бәрабәр сүр'әтлә һәрәкәт едир (бу нөгтә орта екваториал күнәш адланыр вә она садәчә олараг орта күнәш дејилир).

Орта күнәшин ејни чоғрафи меридианда ики ардычыл ејни адлы кулминасија анлары арасында кечән вахт фасиләси орта күнәш суткасы адланыр. Орта күнәшин саат бучағы t_m илә 12^h-ын чәминә орта күнәш вахты дејилир, јә'ни орта күнәш вахты

$$T_m = t_m + 12^h \qquad (1.37)$$

дүстуру васитәсилә тә'јин олунур. Орта күнәшин јухары кулминасија аны *орта күнорта*, ашағы кулминасија аны исә *орта кечәјары* адланыр. Биринчи һалда $t_m=0$ олдуғундан (1.37) ифадәсинә әсасән $T_m=12^h$ олур; икинчи һалда исә $t_m=12^h$ олдуғундан, бу ифадәјә әсасән $T_m=24^h$ вә ја 0^h-дыр, орта сутканын башланғычы исә бу андыр.

Орта күнәшин дүз доғушу тропик ил ($T=365^d,2422$) әрзиндә 0^h-дан 24^h-гәдәр дәјишир вә бу дәјишмә сабит сүр'әтләдир. Одур ки, онун суткалыг артымы $\Delta\alpha^m=24,60:366,2422=3^m,9426=3^m56^s,56$-дир. Бу о демәкдир ки, орта күнәш суткасы (буна садәчә олараг орта сутка дејирләр) улдуз суткасындан $3^m55^s,56$ (тәгрибән 3^m56^s) узундур. Орта сутканы 24 бәрабәр һиссәјә бөлмәклә орта саат алыныр, орта сааты 60 бәрабәр һиссәјә бөлмәклә орта дәгигә, орта дәгигәни исә 60 бәрабәр һиссәјә бөлмәклә орта санијә алыныр. Мәишәтдә «орта» сөзү дә атылыр вә саат, дәгигә, санијә ишләдилир. Орта суткада 1440^m вә ја 86400^s

вардыр. Ајдындыр ки, улдуз суткасынын узунлуғу орта вахт ваһиди илә 24^h дејил $24^h-3^m\,56^s=23^h56^m04^s$-дир.

Узунлуғу 365 орта сутка олан бир тәгвим илиндә 366 улдуз суткасы вардыр. Чүнки Күнәшин суткалыг вә иллик һәрәкәтләринин истигамәтләри бир-биринин әксинә олдуғундан 365 орта сутка әрзиндә јазбәрабәрлији нөгтәси 366 дәфә јухары кулминасијада олур (јә'ни 366 улдуз суткасы кечир). Беләликлә, 365, 2422о. с.=366,2422 улд. с.

Орта күнәш даим күнәшин јахынлығында—каһ ондан бир гәдәр ирәлидә, каһ да бир гәдәр керидә олур. Беләликлә доғрудан да орта күнәш вахт өлчмә системи һәгиги күнәшә бағлы системдир.

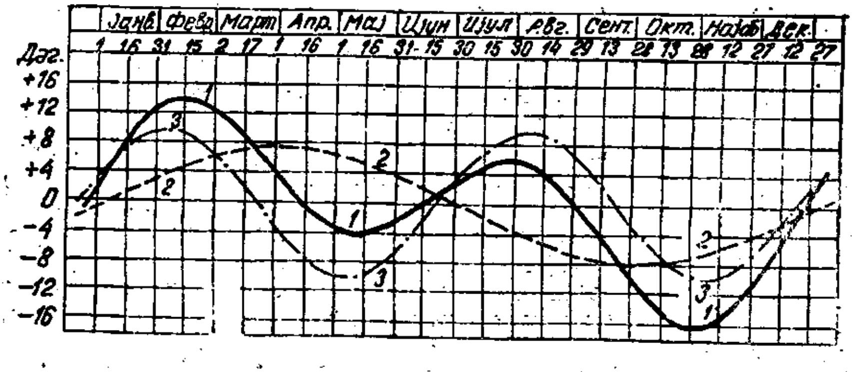
§ 24. ВАХТ ТӘНЛИЈИ

Орта вә һәгиги күнәш вахтлары арасындакы фәргә вахт тәнлији (η) *дејилир:*

$$\eta = T_m - T_{\odot} \qquad (1.38)$$

Бурадан ајдындыр ки, һәр ан $\eta = t_m - t_{\odot}$-дир. Дикәр тәрәфдән исә һәр ан $t_m = s - \alpha_m$, $t_{\odot} = s - \alpha_{\odot}$ олдуғундан $\eta = \alpha_{\odot} - \alpha_m$ олар, јә'ни вахт тәнлији һәгиги Күнәшин дүз доғушу илә орта күнәшин дүз доғушунун фәргинә бәрабәрдир. Бу тәнликдән көрүрүк ки, һәгиги күнәш орта күнәши өтәндә $\alpha_{\odot} > \alpha_m$ башга сөзлә $T_m > \pm T_{\odot}$ ($\eta > 0$) олур вә орта күнорта һәгиги күнортадан әввәл олур. Күнәш орта күнәшдән кери галанда $\alpha_{\odot} < \alpha_m$, башга сөзлә $T_m > T_{\odot}$ ($\eta < 0$) олур вә орта һәгиги күнортадан сонра баш верир.

Ајдындыр ки, вахт тәнлији бизә мә'лум олан ики сәбәбдән һәгиги күнәш суткасынын сабит галмамасы нәтичәсиндә јараныр. Онун әдәди гијмәти нәзәри һесабланыр вә хүсуси астрономик тәгвимләрдә вә даһа мүфәссәл шәкилдә һәр илин һәр күнү үчүн «Астрономик Һәриллик»



Шәкил 33. Вахт тәнлији графики:
1—вахт тәнлији, 2—мәркәзин тәнлији, 3—еклиптиканын мејли нәтичәсиндә јаранан тәнлик.

(«Астрономический Ежегодник») адланан каталогларда чәдвәл шәклиндә верилир. Мүшаһидәдән $t_{\odot}$ -и вә чәдвәлләрдән η-ны тапараг $T_m = t_{\odot} + 12^h + \eta$ ифадәсиндән орта вахты тә'јин едә биләрик.

33-чү шәкилдә вахт тәнлијинин графики верилмишдир. Бу шәкилдә галын хәтлә чәкилмиш әјри (1) вахт тәнлијинин өзүдүр; бу әјринин һәр бир нөгтәсинин ординаты ики әјринин мүвафиг нөгтәләринин ординатлары чәмидир; мәркәзин тәнлији адланан бу әјриләрдән бири (2) Күнәшин гејри-мүнтәзәм заһири һәрәкәтинин нәтичәсидир, дикәр әјри (3) исә еклиптиканын екватора мејилли олмасындан јаранан тәнликдир.

Вахт тәнлији илдә дөрд дәфә екстремал гијмәтләр алыр: 11—12 февралда $\eta = +14^m 16^s$, 3—4 нојабрда $\eta = -16^m 25^s$, 14—15 мајда $\eta = -3^m 3^s$ 26—27 јулда $\eta =$ [illegible] $6^m 2$[illegible]; вахт тәнлији илдә дөрд дәфә дә сыфыр олур: 15—16 апрелдә, 13—14 ијунда, 1—2 сентјабрда, 25—26 декабрда.

§ 25. ҮМУМДҮНЈА ВАХТЫ ВӘ ЈЕРЛИ ВАХТ

Гринвич меридианында тә'јин едилмиш орта күнәш вахты орта гринвич вахты вә ја үмумдүнја вахты (T_0) адланыр. Бу вахта дүнја вахты вә ја универсал вахт да дејилир вә гыса олараг *UT* кими ишарә олунур. Јерин һәр һансы λ шәрг чоғрафи узунлуғунда орта $T_m = T_\lambda$ үмумдүнја вахты T_0 илә

$$T_\lambda = T_0 + \lambda \qquad (1.39)$$

шәклиндә әлагәдәрдир. T_λ јерли вахт адланыр. Ики λ_1 вә λ_2 чоғрафи узунлугларында вахтлар фәрги, о чүмләдән орта вахтлар фәрги

$$T_{\lambda_2} - T_{\lambda_1} = \lambda_2 - \lambda_1. \qquad (1.40)$$

(1.39) вә (1.40) дүстурларындан чоғрафи узунлуғу тә'јин етмәк үчүн истифадә олунур (бах § 37).

Кечән әсрин орталарынадәк һәр бир мәнтәгәдә өз чоғрафи узунлуғуна мәхсус орта вахтдан—јерли вахтдан истифадә олунурду. Јер сәтһиндә чоғрафи меридианлар сајсыз олдуғундан әмәли һәјатда јерли вахтдан истифадә етмәк садәчә олараг әлверишли дејилдир. Мәсәлән, тәкчә Азәрбајчанда шәрг вә гәрб рајонлары арасындакы јерли вахтлар фәрги тәгрибән 20^m тәшкил едир. Һалбуки, ејни инзибати әразидә ејни вахтла ишләјиб-јашамаг, әлбәттә, даһа мәгсәдә ујғундур. Мәһз бу сәбәбдән дә һәлә кечән әсрин ахырларында дилим вахты адланан һесаблама системи гәбул едилмишдир.

§ 26. ДИЛИМ ВАХТЫ

1884-чү илдән гәрб өлкәләриндә дилим вахтындан истифадә етмәјә башламышлар. Русијада дилим вахтына 1 ијул 1919-чу илдә кечилмишдир. Дилим вахты һесаблама системинин маһијјәти беләдир: Јер күрә-

си меридианлар васитәсилә 24 бәрабәр һиссәјә—дилимә бөлүнүр; онда белә бөлкүјә ујғун һәр бир дилимин ени 15° вә ја вахтча 1^h-а ујғун олар; һәр бир дилимин мәркәзи меридианында тә'јин едилмиш орта күнәш вахты дилим вахты олур; сыфырынчы мәркәзи меридиан Гринвичдән кечир, биринчи мәркәзи меридиан ондан 15° шәргдән, 23-чү мәркәзи меридиан исә 15° гәрбдән кечир. Мәркәзи меридианларда орта вахтлар фәрги там саатлар олдуғундан дилим вахтлары фәрги дә там саатлара бәрабәрдир.

Һәр бир дилимдә дилим вахты T_n

$$T_n = T_0 + n \tag{1.41}$$

олур. Бурада n дилимин нөмрәсидир (саатларла). Мүвафиг λ чоғрафи узунлуғунда јерли вахт T_λ(1.39)-а әсасән тапылыр. (1.39) вә (1.41) дүстурларындан јазарыг.

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda \tag{1.42}$$

Мәсәлән, Азәрбајчан 3-чү дилимдәдир, јә'ни $n = 3^h$-дыр. Бакынын чоғрафи узунлуғу исә $\lambda = 3^h 19^m, 4 = 3^h 19^m 24^s$-дир. Онда (1.41)-ә әсасән Азәрбајчанда дилим вахты $T_n = T_0 + 3^h$, (1.39)-а әсасән орта вахт исә $T_\lambda = T_0 + 3^h 19^m 24^s$ олар. T_n вә T_λ-нын бу ифадәләрини (1.42)-дә нәзәрә алсаг Бакы үчүн $T_\lambda - T_n = \lambda - n = 3^h 19^m 24^s - 3^h = 19^m 24^s$ олар ки, бу да Бакынын 3-чү дилимин мәркәзи меридианындан $19^m 24^s$ шәргдә јерләшдијини көстәрир.

§ 27. ДЕКРЕТ ВАХТЫ

Күндүз ишығындан ишдә вә мәишәтдә сәмәрәли истифадә етмәк вә бунунла да електрик енержисинә гәнаәт етмәк мәгсәдилә 1930-чу ил 16 ијундан Азәрбајчанын әразисиндә бүтүн саатлар 1 саат ирәли чәкилмишдир. Беләликлә, вахт, гоншу шәрг дилим вахты илә һесабланмаға башланмышдыр. Буна декрет вахты ($T_д$) дејирик. Беләликлә **декрет вахты**

$$T_д = T_n + 1^h. \tag{1.43}$$

Ајдындыр ки, ики мәнтәгәнин декрет вахтынын фәрги һәмин мәнтәгәләрин дилимләринин нөмрәләри фәргинә бәрабәрдир:

$$T''_д - T'_д = n'' - n' \tag{1.44}$$

Нәһајәт декрет вахты илә јерли вахт арасында белә әлагә вардыр

$$T_д - T_\lambda = (n - \lambda) + 1^h. \tag{1.45}$$

Азәрбајчанда декрет вахты

$$T_{д} = T_0 + 3^h + 1^h = T_0 + 4^h.$$

Бакыда

$$T_{д} - T_{\lambda} = (3^h - 3^h 19^m 24^s) + 1^h = 40^m 36^s,$$

јә'ни Бакыда декрет вахты Бакынын јерли орта вахтындан $40^m 36^s$ узундур. Мәишәтдә јерли вахт дедикдә декрет вахтыны нәзәрдә тутуруг. Гејд едәк ки, 1981-чи илдән 1992-чи иләдәк Азәрбајҹанда јаз-јај вә пајыз-гыш мөвсүмләринә ујғун вахт системи гәбул олунмушду. Бу гајдаја көрә март ајынын ахырынҹы базар күнүнә кечән кечә габагҹадан мүәјјән едилмиш вахтда саатларын көстәриши бир саат ирәли чәкилирди; сентјабрын ахырынҹы базар күнүнә кечән кечә исә јенә дә габагҹадан мүәјјән едилмиш вахтда саатларын көстәриши бир саат керијә чәкилирди.

§ 28. ЈЕРИН ФЫРЛАНМАСЫНЫН ГЕЈРИ-МҮНТӘЗӘМЛИЈИ. КВАРС СААТЛАРЫ. АТОМ ВАХТЫ

XIX јүзилликдә мүәјјән едилмишдир ки, Ајын мүәјјән анда мүшаһидә олунан вәзијјәти һәмин ан үчүн габагҹадан һесабланан вәзијјәти (ефемериди) үзәринә дүшмүр. Ашкара чыхарылан бу фәрги һәлә о вахтлар Јерин фырланма сүр'әтинин сабит галмамасы илә изаһ етмәк фикринә кәлмишдиләр. XX јүзилликдә јухары планетләрә нисбәтән Јерә јахын олан Меркури вә Венеранын да мүшаһидә вә ефемерид вәзијјәтләриндә Ајынкы кими фәрг ашкар едилмиш вә һәмин фәргин бу үч көј ҹисминин орта һәрәкәтләри илә мүтәнасиб олдуғу мүәјјән едилмишдир.

Сонралар Јерин фырланмасындакы гејри-мүнтәзәмлији әтрафлы тәдгиг етмиш вә тапмышлар ки, онун фырланма сүр'әтинин дәјишмәси әсри, гејри-дөврү (сычрајышлы) вә дөврү (фәсли) характер дашыјыр.

Ај вә Күнәшин габарма гүввәләринин тормозлајыҹы тә'сири илә (бах § 54) Јерин фырланма сүр'әти кичилир вә нәтиҹәдә Јерин фырланмасында әсри гејри-мүнтәзәмлик мејдана чыхыр: һазыркы епохада Јерин фырланма периоду һәр 100 илдә $0^s,0014$ бөјүјүр.

Јерин фырланмасындакы гејри-дөври (сычрајышлы) сүр'әт дәјишиклији нәтиҹәсиндә фырланма периоду $\pm 0^s,004$ дәјишир. Бунун сәбәби һәлә мә'лум дејилдир.

Нәһајәт, Јерин сәтһи үзрә һава вә су күтләләринин фәсли пајланмасы нәтиҹәсиндә ијул-август ајларында Јерин фырланма периоду кичилир, мартда исә бөјүјүр вә дәјишмә $\pm 0^s,001$ олур.

Јер гејри-мүнтәзәм фырландығындан орта күнәш суткасы там сабит галмыр. Одур ки, чох дәгиг вахт өлчмәләри тәләб олунан һалларда орта күнәш суткасындан вә онун һиссәләриндән сабит вахт ваһидләри кими истифадә етмәк олмаз. Бундан башга Јерин фырланмасындакы гејри-мүнтәзәмлијин өзүнү өјрәнмәк үчүн автоном режимдә, јә'-

ни Јерин фырланмасындан асылы олмајан режимдә ишләјән вахт өлчмә системи олмалыдыр. Белә систем јүксәк дәрәчәдә сабит тезликли дөвру тәкрарланан рәгсләри сајмаға әсаслана биләр. Мүасир дөврдә елм вә техниканын инкишафы бу чүр системләри јаратмаға имкан вермишдир. XX јүзиллијин орталарында кварс саатлары јарадылмышдыр. Бу саатларда кварс лөвһә вә ја һалга јүксәк кәркинликли дәјишән чәрәјан васитәсилә чидди сабит сахланан бөјүк тезликлә рәгс етдирилир. Хүсуси гурғу васитәсилә бөјүк тезликли рәгсләр чидди сабит галан кичик тезликли рәгсләрә чеврилир вә рәгсләр саатын әгрәбинә өтүрүләрәк санијә импулслары јарадылыр. Кварс саатлары илә вахты 10^{-6} санијә дәгигликлә өлчмәк олур, јә'ни бу саатлар васитәсилә 10^{6} санијә мүддәтдә вахт өлчмәсиндә хәта чәми 1 санијә олур.

Мүасир елм вә техника вахтын ән азы 10^{-11} сан дәгигликлә өлчүлмәсини тәләб едир. Бу ишдә атом саатлары кара кәлир. Атом саатлары атом вә молекулларын мәхсуси тезликләриндән истифадә етмәјә әсасланыр. Бунун үчүн сезиум вә аммонјакдан истифадә олунур. Бу саатлар чох мүрәккәбдир вә онлары арасы кәсилмәдән даим ишләтмәк имканлары мәһдуддур. Одур ки, бу саатлардан кварс саатлары илә бир схемдә истифадә олунур вә кварс саатынын тезлијинә онунла нәзарәт едилир.

Сезиум атомунун ^{133}Cs изотопунун әсас енержи сәвијјәсинин ифрат инчә алтсәвијјәләри арасындакы квант кечидинә ујғун резонанс тезлијин тәрси *атом санијәси* олараг гәбул едилмишдир. Бу вахт ваһиди әрзиндә баш верән рәгсләрин сајы 9 192 631 770-дир. Бу *атом санијәси* 1967-чи илдә өлчү вә чәки үзрә XIII Баш конфрансда Бејнәлхалг системдә вахт ваһиди кими гәбул едилмишдир. Индики Русијада *атом вахтынын* әсас сезиум еталону Дөвләт вахт вә тезлик хидмәти Баш метролокија Мәркәзиндә сахланыр. Бундан башга хүсуси вахт хидмәти илә мәшғул олан рәсәдханаларда сезиум еталону вардыр. Бу атом еталонларынын тәдгиги вә мүгајисәси көстәрир ки, бунлардан дүзәлән вахт шкаласы олдугча сабитдир. Белә ки, атом санијәси мүддәти мүхтәлиф рәсәдханаларда бир нечә илдә бир-бириндән чәми 10^{-10} сан. гәдәр фәргләнирләр. Мүасир вахт еталонунда истифадә олунан ән дәгиг атом саатынын хәтасы 10^{-14} сан-дир, јә'ни ики һадисә арасындакы вахт фасиләси 10^{14} сан-дирсә, бу фасиләни чәми 1 сан хәта илә тә'јин етмәк олар.

Јерин фырланма сүр'әтинин сабит галмамасы илә әлагәдар олараг орта сутканын узунлуғу ил әрзиндә сабит галмадығындан астрономијада ики вахт һесаблама системиндән истифадә едилир: гејри-мүнтәзәм вахт (Јерин фырланмасындакы гејри-мүнтәзәмлијә бағлы олмагла мүшаһидәдән тапылан һәгиги вахт) вә мүнтәзәм вахт (Ајын, Меркури вә Венеранын һәрәкәтләринә көрә һесабланан «көрүнән» вахт). Гејри-мүнтәзәм вахт системиндә һесабланан вахта (јә'ни һәгиги вахта) үмумдүнја вахты дејилир. Мүнтәзәм вахт Нјутон вә ја ефемерид вахты адланыр. Астрономија һәрилликләриндә 1960-чы илдән Күнәшин, Ајын,

планетләрин вә онларын пејкләринин ефемеридләри ефемерид вахт системиндә верилир. Јерин фырланмасындакы гејри-мүнтәзәмлик орта күнәш вахты илә атом вахты арасында чох кичик фәргә сәбәб олур вә одур ки, һәр ил 31 декабрда, бә'зи илләр исә 30 ијунда да сутканын лап сонуна $\pm 1^s$ дүзәлиш верилир.

Гејд етмәк лазымдыр ки, дедикләримизә бахмајараг улдуз вахтыны, тропик илин вә тәгвим илинин узунлуғуну тә'јин етмәк үчүн астрономик мүшаһидәләр јенә дә өз гүввәсиндә галыр.

§ 29. УЛДУЗ ВӘ ОРТА КҮНӘШ ВАХТЛАРЫ АРАСЫНДА ӘЛАГӘ

Бир тропик ил 365^d, 2422 орта күнәш суткасы вә ја 366^d, 2422 улдуз суткасына бәрабәр олдуғундан

$$1_{о.с} = \frac{366,2422}{365,2422} = 1,002738 \text{ улд. сут.}$$

$$1_{улд.с} = \frac{365,2422}{366,2422} = 0,997270 \text{ о. сут.}$$

$K = 1,002738$ әмсалы орта вахт ваһидләри илә верилән вахт интервалындан улдуз вахты ваһидләри илә интервала кечмәк үчүн вуругдур, јә'ни орта вахт ваһидләри илә **вахт интервалы** ΔT_m-дирсә, улдуз вахты ваһидләри илә бу интервал $\Delta s = K\Delta T_m$. $K' = 0,997270$ әмсалы исә улдуз вахты ваһидләри илә верилән вахт интервалындан орта вахт ваһидләри илә интервала кечмәк үчүн вуругдур, јә'ни улдуз вахты ваһидләри илә вахт интервалы ΔS-дирсә, орта вахт ваһидләри илә бу интервал $\Delta T_m = K'\Delta S$-дир.

ΔS вә ΔT_m үчүн јухарыда јаздығымыз мүнасибәтләрдән һесабламаја биләрик ки, 1.о.с. $= 24^h\ 03^m 56^s$, 533 улд. сут. вә 1 улд. сут $= 23^h 56^m 4^s$, 091 о. сут.-дыр.

ΔS вә $\Delta T_{m'}$ вахт интервалларынын бирини дикәринә асан чевирмәк үчүн һазыр чәдвәлләр вардыр (Астрономија Һәрилликләриндә, бә'зи мә'лумат китабларында).

Тәгриби һесабламаг үчүн билмәк кифајәтдир ки, улдуз суткасы орта суткадан тәгрибән 4^m гысадыр (вә ја әксинә, орта сутка улдуз суткасындан 4_m узундур), бир улдуз сааты орта саатдан тәгрибән 10^s гысадыр (јахуд әксинә бир орта саат улдуз саатындан 10^s узундур).

Инди дә орта вахтдан улдуз вахтына вә әксинә кечмәк үсуллары илә таныш олаг.

Әввәлчә орта вахтдан улдуз вахтына кечәк. Верилән меридианда мүәјјән тарихдә орта вахт $T_{m'}$ олсун. Кечән кечәјарыдан өтән мүддәт $T_{K'}$ олдуғундан, улдуз вахты ваһидләри илә бу мүддәт $K \cdot T_{K'}$ олар. Һәмин тарихдә верилән меридианда кечәјарысы улдуз вахты S оларса, $T_{K'}$ анында улдуз вахты $s = S + K \cdot T_{m'}$ олар.

Улдуз вахтындан орта вахта кечәк. Верилән меридианда мүәјјәһ тарихдә вә анда улдуз вахты s, кечән кечәјарыда һәмин меридианда улдуз вахты S олсун. Онда улдуз вахты ваһидләри илә һәмин кечәјарыдан кечән мүддәт $(s—S)$ олар. Орта вахт ваһидләри илә бу интервал $(S—S)\cdot K'$ олдуғундан һәмин тарихдә верилән меридианда вә анда орта вахт $T_m=(s—S)\cdot K'$ олар. Бу нәтичәни бирбаша $S=S+K\cdot T_m$ мүнасибәтиндән дә көрүрүк.

Беләликлә јухарыда бахдығымыз һәр ики һалда верилән меридианда вә тарихдә кечәјарысы S улдуз вахтыны билмәк лазымдыр. Астрономија һәрилликләриндә Гринвич меридианында һәр орта кечәјарысы үчүн S_0 улдуз вахты верилир. Буну биләрәк, истәнилән λ чоғрафи узунлуғунда кечәјарысы үчүн S улдуз вахтыны тапа биләрик. Доғрудан да, орта сутка улдуз суткасындан $3^m\,56^s,555$ узун олдуғундан һәм S_0, һәм дә S суткада $3^m\,56^s\,555$ бөјүмәли, Гринвичдән λ узунлуғуна ујғун шәрг меридианында орта кечәјарысы улдуз вахты $\lambda\cdot\frac{3^m56^s,555}{24^h}$ гәдәр кичик олмалыдыр, чүнки бу меридианда орта кечәјары гринвич кечәјарысындан λ^h гәдәр тез баш верир. Беләликлә $S=S_0-\frac{\lambda^h}{24^h}\cdot 3^m\,56^s,555$ олар.

(Чоғрафи узунлуг Гринвич меридианындан шәргә тәрәф мүсбәт һесаб едилир).

Истәнилән меридианда кечәјарысы улдуз вахты 5^m дәгигликлә ашағыдакы чәдвәлдән дә һесаблана биләр

Чәдвәл 1

Тарих	S	Тарих	S	Тарих	S
22 сентјабр	0^h	21 јанвар	8^h	23 мај	16^h
22 октјабр	2	21 феврал	10	22 ијун	18
22 нојабр	4	23 март	12	23 ијул	20
22 декабр	6	22 апрел	14	22 август	22

Јухарыда гејд етдијимиз кими нәзәрдә тутуруг ки, орта вахта нәзәрән улдуз вахты суткада тәгрибән 4^m ирәли кедир.

§ 30. ТАРИХИН ДӘЈИШДИРИЛДИЈИ ХӘТТ

Билдијимиз кими, һәр бир чоғрафи меридианда кечәјары, јә'ни саат 24 нөвбәти тәгвим күнүнүн башланғычы олур вә беләликлә көһнә тарих јениси илә әвәз едилир.

Бу тарих һансы меридианда—хәтдә биринчи дәјишдирилир? Бејнәлхалг разылашмаја әсасән бу хәтт Антарктида мүстәсна олмагла һеч јердә гурудан кечмәмәк шәртилә ја 180°-лик меридиандан, ја да онун јахынлығындан кечир; башга сөзлә бу хәтт Шимал гүтбүндән башлајараг Чукот дәнизиндән, Беринг көрфәзиндән вә дәнизиндән, Сакит океандан кечир. Бу хәттә тарихин дәјишдирилдији хәтт дејирләр. Бу хәттин мә'насыны бир гәдәр әјаниләшдирәк: фәрз едәк ки, Гринвич меридианында 31 декабрда (бу базар күнү олсун) күнортадыр. Демәли, сы-

фырынчы дилимдә күнортадыр. Ајдындыр ки, Гринвичдә күнорта оланда 12-чи дилимдә артыг кечә јарыдыр, башга сөзлә 31 декабрда Гринвичдә күнорта олан анда 12-чи дилимдә тәгвим вәрәги дәјишдирилмәлидир, јә'ни артыг јени илин 1 јанвары дахил олмушдур (һәм дә базар ертәсидир). Бәс 13-чү дилимдә? Буну билмәк үчүн 31 декабрда (базар күнү) күнорта анында Гринвичдән гәрбә сәјаһәт едәк. Гоншу гәрб дилиминдә бу анда саат 11. онун гоншусунда саат 10 вә саирә, нәһајәт 13-чү дилимдә декабрын 31-и тәзәчә башланмалыдыр. Башга сөзлә десәк Алјаскада декабрын 31-и башланмалыдыр. Һалбуки Чукотда артыг 31 декабр гуртарыр. Беләликлә тарихин дәјишдирилдији хәтти шәргдән гәрбә доғру кечәндә тарихә бир күн әлавә етмәк, гәрбдән шәргә доғру кечәндә исә әввәлки тарихи сахлаамаг лазымдыр. Амма сутка ортасында тарихи дәјишмәмәк үчүн биринчи һалда (Алјаскадан Чукота кечәндә) кечәјарысы ики ардычыл тәгвим вәрәги гопарылыр, икинчи һалда исә (Чукотдан Алјаскаја кечәндә) тәгвим вәрәги сахланыр.

§ 31 ТӘГВИМ

Тәгвим бөјүк вахт фасиләләрини һесаблама системидир.

Тәгвим системи јаратмаг үчүн үч дөври тәбиәт һадисәси әсас көтүрүлүр: суткалыг периода малик олан кечә-күндүзүн тәкрарланмасы, ајлыг периода малик олан ејни адлы ај фазасынын тәкрарланмасы, иллик периода малик олан ејни адлы фәслин тәкрарланмасы. Бурада сутка дедикдә орта күнәш суткасыны, ај дедикдә синодик ајы, ил дедикдә тропик или нәзәрдә тутуруг. Орта күнәш суткасында 24 саат, синодик ајда (чох узун вахт интервалында орталашдырсаг) $29^d\ 12^h\ 44^m\ 29$ тропик илдә исә $365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s$ вардыр (1900-чу ил епохасы үчүн). Тәгвимләр үч нөвдүр:

1) Күнәш тәгвимләри, 2) Ај тәгвимләри, 3) Ај-Күнәш тәгвимләри.

Ерамыздан 46 ил әввәл Рома императору Јули Сезар Искәндәријјәли астроном Созикенин тәклифи илә күнәш тәгвими илә бағлы декрет верди. Бу декретә көрә орта тәгвим или 365 сутка 6 саатдан ибарәт һесаб едилди, һәр дөрд тәгвим илинин үчү 365 сутка, бири исә 366 сутка гәбул олунду; 365 суткадан ибарәт тәгвим или ади, 366 суткадан ибарәт ил узун ил (високосный год) адландырылды; дөрдә галыгсыз бөлүнән ил узун ил һесаб едилди. Күнәш тәгвиминдәки орта ил әслиндән, јә'ни тропик илдән $365^d\ 6^h - 365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s = 11$ дәгигә 14 санијә узундур. Дөрд илдә бу фәрг 44 дәгигә 56 санијә, 128 илдә тәгрибән 1 сутка, 400 илдә исә 3 сутка едир.

Христиан килсәсинин ганунларына көрә пасха бајрамы јаз кирәндән сонракы биринчи бәдирләнмиш Ај сәфһәсинин биринчи базар күнү кечирилмәлидир. Бу гајда 325-чи илдә Никеј килсә мәчлисиндә гәбул едилмишди вә һәмин ил јазын кирмәси Јули тәгвими илә март ајынын 21-нә тәсадүф етмишди.

1582-чи илдә, јә'ни Никеј килсәсиндә гојулмуш гајданын тарихиндән 1257 ил сонра јазбәрабәрлији күнү 11 марта тәсадүф етмишди, чүнки бу мүддәтдә Јули тәгвими үзрә топланан хәта 10 күн тәшкил

етмишди. Дини бајрамларын кечирилмәсиндә сүрүшмә әмәлә кәлмәмәк үчүн, јә'ни 21 март тарихини јазбәрабәрлији күнүнә гајтармаг үчүн вә һәмчинин тәгвим илинин узунлуғу илә тропик илин узунлуғу арасындакы фәрги мүмкүн гәдәр кичилтмәк мәгсәдилә 1582-чи илдә Италијалы алим Лилионун мәсләһәти илә Рома папасы XIII Григори күнәш тәгвиминә (Јули тәгвими ады илә мәшһур олан көһнә үслуба) дүзәлиш вермәк һаггында ислаһат верди вә беләликлә, јени үслуб јаранды. Бу ислаһатда дејилирди:

а) 1582-чи илдә октјабрын 4-дән сонра кәлән күн 5 октјабр дејил, 15 октјабр һесаб олунсун (дедик ки, 1257 ил әрзиндә Јули тәгвиминдә гәбул едилән ил илә тропик ил фәрги 10 суткаја јахындыр);

б) Кәләчәкдә биринчи ики рәгәми дөрдә бөлүнмәјән јүзилликләр (1700, 1800, 1900) узун ил һесаб едилмәсин. (Гејд едәк ки, 400 илдә јаранан 3 күн фәрги нәзәрә алмаг үчүн ислаһатын бу бәндиндәки гајда мәгсәдәујғундур).

Беләликлә јени үслуба кечәндән бәри јаранан фәрг 10+3=13 суткаја бәрабәр олмушдур. Гәрб өлкәләринин әксәријјәтиндә XVI—XVII әсрләрдә Григори тәгвиминә кечдиләр. Русијада исә јени үслуба Русија һөкумәтинин декрети илә 1918-чи ил феврал ајынын 1-индә кечилди вә февралын 1-дән сонра 14 феврал һесаб едилди.

Тәгвимләр һаггында вә хүсусилә ај тәгвими (һичри-гәмәри тәгвим) үзрә верилмиш тарихләрдән Күнәш тәгвими (Јули јахуд Григори тәгвими) үзрә тарихләрә вә әксинә кечмәк гајдасы һаггында кениш мә'лумат алмаг үчүн мәшһур азәрбајчан алими Һ. Мәммәдбәјлинин «Тарихи чевирмәк үчүн синхроник чәдвәлләр» китабчасына вә бу дәрслијин мүәллифинин иштиракы вә үмуми редактәси илә чыхан «Астрономија терминләри лүғәти» китабына мүрачиәт етмәк олар.

§ 32. КӨЈ ЧИСИМЛӘРИНИН ДОҒУБ-БАТМА ВАХТЛАРЫНЫН ВӘ БУ АНЛАРДА ОНЛАРЫН АЗИМУТЛАРЫНЫН ҺЕСАБЛАНМАСЫ

Бу мәсәләни һәлл етмәк үчүн көј чисминин α вә δ екваториал координатларыны, мәһәллин φ вә λ чоғрафи кординатларыны билмәк лазымдыр.

$|\delta| < (90^\circ - |\varphi|)$ шәртини өдәјән көј чисминин доғуб-батан олдуғуну билирик. Одур ки, бу параграфда гојулан мәсәлә мәһз белә шәрти өдәјән көј чисимләринә аиддир.

Көј чисими доғуб-батаркән онун саат бучағы (1.13) дүстуруна (§ 10) әсасән

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin\varphi \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta} \qquad (1.46)$$

мүнасибәтиндән тапылыр. Бурадан саат бучағы t үчүн ики гијмәт алыныр: көј чисми доғаркән $t<0$, батаркән $t>0$ олур. Буну әјани тәсәввүр етмәк үчүн нәзәрә алмаг лазымдыр ки, көј чисимләри шәрг тәрәф-

дә доғур, гәрб тәрәфдә батыр, саат бучағы исә меридианын чәнуб тәрәфиндән гәрбә доғру һесабланыр.

Доғма вә батма анларында көј чисминин азимуту (1.14) дүстуруна (§ 10) әсасән

$$\sin A = \frac{\cos\delta}{\sin z}\cdot\sin t \qquad (1.47)$$

мүнасибәти васитәсилә һесабланыр; саат бучағы ±90-јә јахын оланда азимуту (1.15)-дән (§ 10) алынан

$$\cos A = \frac{\sin\varphi\cdot\cos\delta\cos t - \cos\varphi\cdot\sin\delta}{\sin z} \qquad (1.48)$$

дүстуру васитәсилә һесабламаг мәсләһәтдир. Ајдындыр ки, көј чисми батаркән онун азимуту $A_1 = A$, доғаркән $A_2 = 360° - A$ олар (јахуд көј чисми доғаркән $A_2 = -A$ олур).

Нөгтәви көј чисмләри (улдузлар, һәмчинин, бу мәсәләдә нөгтәви гәбул едилә билән планетләр) доғуб-батаркән һәгиги үфүгдә олур вә онларын көрүнән зенит мәсафәси $z' = 90°$, һәгиги зенит мәсафәси исә $z = 90° + \rho$ олур; бурада ρ—үфүгдә орта рефраксијадыр вә билирик ки, мүлајим гуршагларда $\rho = 35'$-дир. Биз ρ-нун бу гијмәтини көтүрәчәјик. Беләликлә (1.46)—(1.48) дүстурларында нөгтәви көј чисми үчүн $z = 90°35'$ гәбул едирик.

Нөгтәви көј чисминин доғуб-батма анларында (1.46)-дан саат бучағыны һесабладыгдан сонра, бу көј чисминин дүз доғушу α-ны да билмәклә $s = \alpha + t$ васитәсилә доғуб-батма анларыны улдуз вахты илә тапырыг. Бундан сонра гәбул олунмуш вахт системинә кечирик.

Рефраксијаны нәзәрә алмасаг нөгтәви көј чисминин доғуб-батма анларында зенит мәсафәси үчүн $z = 90°$ гәбул етсәк (1.46) әвәзинә

$$\cos t = -\operatorname{tg}\varphi\cdot\operatorname{tg}\delta \qquad (1.49)$$

олар. Доғуб-батма вахтларыны тәгрибән һесабламаг кифајәт олдугда (1.49) дүстурундан бүтүн көј чисмләри, о чүмләдән, Күнәш вә Ај үчүн истифадә олунур. $z = 90°$ гәбул етдикдә доғуб-батма вахты азимуту (1.10) дүстуруна әсасән

$$\cos A = -\frac{\sin\delta}{\cos\varphi} \qquad (1.50)$$

мүнасибәти васитәсилә дә һесабламаг олар.

Бөјүк дәгиглик тәләб едилдикдә Күнәшин вә Ајын доғуб-батма вахтларыны мүәјјән шәртләри нәзәрә алмагла һесабламаг лазымдыр.

Күнәшин (вә Ајын) доғуб-батма анлары онун дискинин јухары кәнарынын һәгиги үфүгдә көрүнмәси вә көздән итмәси анлары һесаб олунур. Одур ки, бу анларда дискин јухары кәнарынын көрүнән зенит мәсафәси $z' = 90°$ олур. Бу анларда күнәш диски мәркәзинин һәгиги

зенит мәсафәси $z_{\odot}=90°+\rho+r_{\odot}-p_{\odot}$ олар. Бурада ρ-астрономик рефраксиіа, $r_{\odot}$ Күнәшин көрүнән бучаг радиусу, $P_{\odot}$—Күнәшин үфүги екваториал параллаксыдыр. $P_{\odot}$ чох кичик (8″ 794) олдуғундан ону нәзәрә алмырыг. Беләликлә $\rho=35'$, $r_{\odot}=16'$ гәбул етсәк Күнәш доғуб-батан анда онун дискинин мәркәзинин һәгиги зенит мәсафәси $z_{\odot}=90°51'$ олар (шәкил 34). Одур ки, Күнәш үчүн (1.46) дүстурунда $z=z_{\odot}=90°51'$ гәбул едирик. Дејиләнләри нәзәрә алмагла Күнәшин доғуб-батма вахтларыны ашағыдакы ардычыллыгла һесаблајырыг.

1) (1.46)васитәсилә һесабланан $t_{\odot}$ саат бучағыны биләрәк

$$T_m\,(\text{доғма}) = 12^h - t_{\odot} + \eta$$

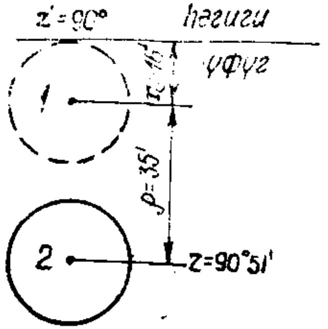
$$T_m\,(\text{батма}) = 12^h + t_{\odot} + \eta$$

мүнасибәтләри васитәсилә јерли вахтла ујғун олараг доғма вә батма анларыны һесаблајырыг (һесаблама тарихиндә вахт тәнлији η -ны билмәклә)

$$T_д\,(\text{доғма}) = T_m\,(\text{доғма}) - \lambda^h + n^h$$

$$T_д\,(\text{батма}) = T_m\,\text{батма}) - \lambda^h + n^h$$

мүнасибәтиндән мәһәлдә дилим вахты илә Күнәшин доғуб-батма вахтлары һесабланыр. Бакы үчүн фәсилләрин башланғычында Күнәшин доғуб-батма вахтларыны вә бу анларда азимутларыны һесаблајараг, Бакынын чоғрафи координатлары $\varphi=$ $=40°21'$, $\lambda=3^h\ 19^m\ 24^s$-дир. 21. III, 22. VI, 23. IX вә 22 XII-да вахт тәнлији ујғун олараг $+8^m$, $+1^m$, -8^m, -1^m гәбул едилә биләр. Күнәшин мејли исә бу тарихләрдә ујғун олараг 0°, 23°26′, 0°,—23°26′-дыр. Бүтүн бунлары нәзәрә алмагла һесабламалардан алырыг:



Шәкил 34. Күнәш чыхаркән вә батаркән онун көрүнән (1) вә һәгиги (2) вәзијјәти.

21 март: $t_{\odot}=6^h 4^m$, T_g (доғма) $=6^h 44^m$, T_g (батма) $=18^h 53^m$

22 ијун: $t_{\odot}=7^h 32^m$. T_g (доғма) $=6^h 11^m$, T_g (батма) $=21^h 14^m$

23 сентјабр $t_{\odot}=6^h 4^m$, T_g (доғма) $=7^h$, 29^m, T_g (батма) $=19^h 37^m$

22 декабр $t_{\odot}=4^h 39^m$, T_g (доғма) $=8^h 00^m$, T_g (батма) $=17^h 18^m$

Бахылан анларда (1. 50) дүстуруна әсасән Күнәшин азимуту ашағыдакылардыр: 21. III, вә 23. IX да $A_1=90°$, $A_2=270°$ (јахуд—90°); 22. VI-да $A_1=123°25'$, $A_2=236°35'$ (јахуд—123°25′); 22. XII-да $A_1=58°30'$, $A_2=301°30'$ (јахуд—58°30′).

Ајын доғуб-батма анында онун һәгиги зенит мәсафәси $z=90°+$ $+\rho+r_{☾}-P_{☾}$ дүстурундан тапылыр. Бурада $\rho=35'$, $P=3{,}67r$ олду-

гундан (Ајын үфүги екваториал параллаксы 53′,9-дән 61′,5-дәк гиjмәтләр алыр; бу параллаксын орта гиjмәти 57′-дир)

$$z_{\odot} = 90°35' - 2{,}67\, r_{\odot}$$

олур. Ајын көрүнән бучаг радиусу 14′,7-дән 16′,8-ә гәдәр гиjмәтләр алыр (Ај үчүн орта бучаг радиусу 15′,5-дир).

Гејд етмәк лазымдыр ки, Ајын доғуб-батма анлары нөгтәви објектләринки кими һесабланыр. Лакин сутка әрзиндә Ајын екваториал координатлары чидди дәјишдијиндән доғма вахты ајры, батма вахты да ајры һесабланмалыдыр.

Һесабламалары рефраксијанын орта гиjмәтинә көрә апардығымыз үчүн дәгиглик 1 дәгигәдән бөјүк дејилдир.

§ 33. АЛАГАРАНЛЫГ ВӘ ТОРАНГОВУШМА. БӘЈАЗ КЕЧӘЛӘР

Күнәшин доғдуғу андан батдығы ана гәдәр кечән мүддәт күндүзүн узунлуғу адланыр. Билирик ки, Күнәш доғмаздан әввәл һава ишыгланмаға башлајыр. Бу алагаранлыгдыр. Күнәш батандан сонра дәрһал гаранлыг дүшмүр (екватордан башга), һәлә һава бир мүддәт ишыг олур. Бу, торанговушмадыр. Ики чүр алагаранлыг вә торанговушма вар: мүлки вә астрономик. Мүлки алагаранлыг башлајанда сүн'и ишыға еһтијач олмур, мүлки торанговушма исә о вахт гуртарыр ки, сүн'и ишыг лазым олур. Астрономик алагаранлыг о вахт башлајыр ки, көј чисимләринин парлаглығы мүшаһидә үчүн јарамајан сәвијјәјә гәдәр зәифләшир, астрономик торанговушма исә о вахт гуртарыр ки, көј чисимләри мүшаһидәләр үчүн кифајәт гәдәр парлаглашыр. Мүлки алагаранлыг вә торанговушма үчүн Күнәшин һүндүрлүјү $h_{\odot}=-7°$ ($z_{\odot}=97°$), астрономик алагаранлыг вә торанговушма үчүн исә $h_{\odot}=-18°$ ($z_{\odot}=108°$)-дир. Алагаранлыг вә торанговушманын сәбәби Күнәшин доғмасына аз галмыш вә Күнәш батандан бир гәдәр сонрајадәк онун шүаларынын үфүгдән үстдә Јерин атмосфер гатларында сәпилмәсидир. Тәпәләринин бириндә Күнәш дискинин мәркәзи јерләшән ($z_{\odot}=97°$ вә ја $z_{\odot}=108°$ олмагла) параллактик үчбучаға тәрәфин косинусу дүстуруну тәтбиг етмәклә аларыг:

$$\cos({}_{\odot}t+\tau) = \frac{\cos z_{\odot} - \sin\varphi \cdot \sin\delta_{\odot}}{\cos\varphi \cdot \cos\delta_{\odot}} \qquad (1.15)$$

Бу дүстурда $\delta_{\odot}$—верилән тарих үчүн Күнәшин мејли, φ—мәһәллин чоғрафи енлији, $t_{\odot}$—Күнәш доған анда (вә ја $+t_{\odot}$ батан анда) онун саат бучағы, τ—алагаранлығын (вә ја торанговушманын) давам етмә мүддәтидир. (1.51) дүстурундан көрүнүр ки, бу мүддәт φ-дән вә $\delta_{\odot}$-дан асылыдыр. Јерин екваторунда суткалыг паралелләр, о чүмләдән Күнәшин суткалыг паралелли үфүгә перпендикулјар олдуғундан о, доғанда вә ја батанда үфүгә перпендикулјар галхыр вә ја енир, одур ки,

алагаранлыг (торанговушма) чох гыса давам едир: мүлки—чәми 2^m астрономик чәми $1^h 16^m$. Екватордан узаглашдыгча алагаранлыг (торанговушма) узаныр, гүтбләрдә ($\varphi = \pm 90°$ оланда јухарыдакы дүстурдан истифадә етмәк олмаз) мүлки алагаранлыг 2 һәфтә, астрономик алагаранлыг 7 һәфтә давам едир.

Ашағы кулминасијада Күнәш үфүгдән 7°-дән чох ашағыда олмурса, јә'н $z_{\odot} \leqslant 97°$ олурса, онда бәјаз кечә олар. Доғрудан да Күнәш ашағы кулминасијада оланда $h_{\odot} = (\delta_{\odot} + \varphi) - 90°$ дүстуруна әсасән (бах, 1.21) $h_{\odot} = -7°$-дә $\delta_{\odot} + \varphi = 83°$, јахуд $\varphi = 83° - \delta_{\odot}$ алырыг. Бәјаз кечәләр Күнәш јајкүнәшдурушу нөгтәсиндә вә ја онун јахын әтрафында олан дөврдә Јерин шимал јарымкүрәсиндә баш верә биләр. Одур ки, $\delta_{\odot} = 23°26'$ оланда јухарыдакы мүнасибәтдән $\varphi = 83° - 23°26' = 59°34'$ олдуғундан, дејирик ки, мәһз бу енликдән бөјүк енликләрә доғру бәјаз кечәләр олмалы вә белә кечәләрин сајы енлик бөјүдүкчә чохалмалыдыр. Башга сөзлә мүлки алагаранлыг вә торанговушманын гуртармамасы үчүн $\delta_{\odot} \geqslant 83° - \varphi$ шәрти өдәнмәлидир.

II ФӘСИЛ

ПРАКТИК АСТРОНОМИЈАНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

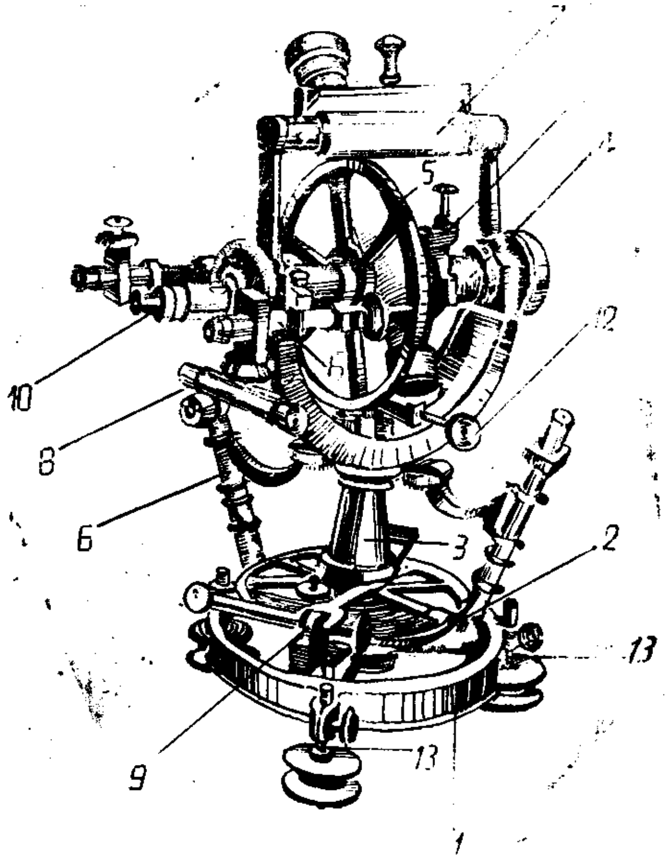
Бу фәсилдә практик астрономијанын чохсајлы мәсәләләриндән анҹаг ашағыдакыларла гыса таныш олачајыг.

1. Көј чисимләринин үфүги координатларынын өлчүлмәси вә көј меридианынын вәзијјәтинин тә'јини. Универсал чиһаз.
2. Улдузун мејлинин вә мәһәллин чоғрафи енлијинин тә'јини. Меридиан даирәси.
3. Вахт хидмәти.
4. Улдузун дүз доғушу вә мәһәллин чоғрафи узунлуғунун тә'јини.

§ 34. КӨЈ ЧИСИМЛӘРИНИН ҮФҮГИ КООРДИНАТЛАРЫНЫН ӨЛЧҮЛМӘСИ ВӘ КӨЈ МЕРИДИАНЫНЫН ВӘЗИЈЈӘТИНИН ТӘ'ЈИНИ. УНИВЕРСАЛ АЛӘТ

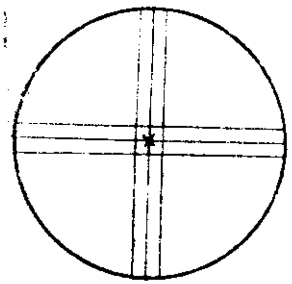
Көј чисимләринин үфүги координатларыны вә меридианын вәзијјәтини тә'јин етмәк үчүн бучагөлчән аләт кими универсал аләтдән истифадә олунур (теодалит бу аләтин хүсуси вариантыдыр вә кеодезијада азимут бу аләтлә тә'јин едилир). Бу аләт бир-биринә чидди перпендикулјар олан шагули вә үфүги ох әтрафында һәрәкәт едән бахыш борусундан (астрономик борудан) вә бөлкүлү ики даирәдән ибарәтдир (шәкил 35). Шагули даирә үфүги ох вә бахыш борусу илә бирликдә фырланыр.

Үмумијјәтлә, практик астрономијада истифадә олунан аләтләрин әсасыны сферик координатлары өлчмәк үчүн истифадә олунан бөлкү-



Шәкил 35. Универсал чиһаз:

1—массив һалга, 2—бөлкүлү үфүги даирә, 3—шагули ох, 4—үфүги ох, 5—бөлкүлү шагули даирә, 6—бөлкүлү даирәләрин микроскоплары, 7—илкин сәвиjjә, 8—икинчи сәвиjjә, 9, 11—12—микрометрик һәрәкәт васитәси, 10—борунун охлары, 13 дүзәлдирән винтләри олан ajаглар.



Шәкил 36. Универсал чиһазын бахыш саһәсиндә улдузун хәјалы.

лү даирәләр, онлардан өлчү нәтичәләрини көтүрмәк үчүн микроскоп-микрометр вә бахыш борусу тәшкил едир. Астрономик боруларын фокал мүстәвисиндә назик сапларын кәсилмәсиндән алынан хач визир ролуну оjнаjыр (шәкил 36). Објективин мәркәзи илә сапларын кәсишдиjи нөгтәни бирләшдирән дүз хәтт визир хәтти адланыр. Бу визир хәтти илә објектә јөнәлмиш истигамәт үст-үстә дүшмәлидир. Шагул даирә, бору вә үфүги охла бирликдә елә фырланыр ки, бору зенитә јө-

нәләндә даирә үзәриндә 0° бөлкүсү көрүнсүн. Бу даирәдә зенит мәсафәси өлчүлүр. Чиһазын бүтүн јухары һиссәси әсас шагули охла бирликдә фырланыр. Одур ки, боруну көјүн истәнилән һиссәсинә јөнәлтмәк олар. Бору меридиана јөнәлибсә шагули охла бирликдә фырланан микроскоп һәрәкәтсиз үфүги даирәдә о° көстәрир. Бору меридиан үзәриндә олмајан һәр һансы објектә јөнәлдикдә исә микроскопун көстәриши һәмин објектин азимут бучағынын гијмәтини верир.

Көј меридианынын вәзијјәтини тә'јин етмәк үчүн бир нечә үсул вар. Бу үсуллардан бири она әсасланыр ки, улдузун јухары кулминасијасына гәдәр вә ондан сонра онун меридиандан бучаг мәсафәси ејни оларса онда бу улдузун зенит мәсафәләри дә ејни олар. Буну (1.13) дүстурундан (§ 10) көрүрүк. Дикәр тәрәфдән (1.14) дүстуруна әсасән бу һалда азимутларын әдәди гијмәтләри ејни олар (меридиандан гәрбә $A>0$, шәргә исә $A<0$ олмагла).

Демәли, јухары кулминасијаја гәдәр үфүги даирәдән көтүрүлән гијмәт n_1, сонра көтүрүлән гијмәт исә (әввәлки зенит мәсафәсиндә) n_2-дирсә

$$n_s = \frac{n_1+n_2}{2}$$

чәнуб нөгтәсинә јөнәлмиш истигамәтә ујғун олар. Бунунла да көј меридианынын вә күнорта хәттинин вәзијјәти тапылыр.

Көј меридианынын вәзијјәтини тә'јин етмәк үчүн башга үсул, чисмин мејл бучағы δ-ны вә мәнтәгәнин чоғрафи енлији φ-ни билмәјә әсасланыр: зенит мәсафәси z'-и өлчүб, үфүги даирәдә n_1-и көтүрүб, $z=z'+$ $+\rho$ ифадәси васитәсилә рефраксија ρ-ну нәзәрә алыб (1.10) дүстурундан чисмин азимуту A-ны тапырыг. Онда үфүги даирәдә $n_s=n_1-A$ чәнуба јөнәлмиш истигамәтә ујғун олар.

§ 35. УЛДУЗЛАРЫН МЕЈЛИ ВӘ МӘҺӘЛЛИН ЧОҒРАФИ ЕНЛИЈИНИН ТӘ'ЈИНИ. МЕРИДИАН ДАИРӘСИ.

Улдузларын екваториал координатлары (α, δ) меридиан даирәси адланан аләт васитәсилә тә'јин олунур. Меридиан даирәсинин бахыш борусу буна перпендикулјар оха бирләшдирилиб. Ичәриси бош олан бу ох үфүги вәзијјәтдәдир вә $W—E$ истигамәтдә учларындан тәрпәнмәз бүнөврәјә бәркидилир. Бору охла бирликдә фырланыр. Әкәр аләт дүзкүн гурулубса борунун оптик оху меридиан үзәриндәдир. Бу һалда улдузлар анчаг јухары кулминасијада мүшаһидә олуна биләр. Аләтин әсас һиссәсини оха бәркидилмиш вә бору илә бирликдә фырланан даирә тәшкил едир.

Оптик борунун көрүш саһәсиндә үфүги вә шагули саплар шәбәкәси вар: мәркәзи шагул хәтт, меридианла үст-үстә дүшүр. Өлчү даирәләриндә зенит нөгтәси z_0 гејд олунуб ки, бу бөлкү оптик борунун зенит истигамәтинә ујғундур. Бору көј екваторуна јөнәлдиләндә бу даирәдә 0° бөлкүсү көрүнмәлидир. Бөлкүләрә микроскопла бахылыр. Үмумијјәтлә меридиан даирәсиндә өлчмә әмәлијјаты чох мүрәккәбдир. Бура-

да һәм аләтин, һәм дә мүшаһидәчинин хәтасы нәзәрә алынмалыдыр. Астрометрик мүшаһидәләрдә истифадә олунан мүасир меридиан даирәләриндә ишләр автоматлашдырылмышдыр: мүшаһидә анынын фиксә олунмасы әмәлијјаты да дахил олмагла, өлчү даирәләринин хәјалы фотоплјонкада алыныр, јахуд перфолентә кодланыр вә нәһајәт електрон-һесаблајычы машынында сон нәтичәләр (мүшаһидә аны вә координатлар) алыныр.

Үмумијјәтлә, екваториал координатларын тә'јининдә мүтләг вә нисби өлчмә үсулларындан истифадә олунур. Мүтләг үсул габагчадан сечилмиш мүәјјән груп улдузлара тәтбиг олунур. Башга улдузларын екваториал координатларыны тапаркән мүтләг үсулла екваториал координатлары тапылмыш улдузлара истинад олунур. Бу үсул нисби вә ја дифференсиал үсул адланыр.

Мәһәллин φ чоғрафи енлији мә'лум олмајанда мүтләг үсулла улдузларын мејлини тә'јин едәркән елә улдузлар сечилир ки, онлар верилмиш чоғрафи енликдә батмајан олсун, јә'ни бу улдузлары ашағы кулминасијада да мүшаһидә етмәк мүмкүн олсун. Әкәр мәһәллин чоғрафи енлији мә'лумдурса, онда улдузу анчаг јухары кулминасијада мүшаһидә етмәк кифајәтдир.

Улдуз зенитдән чәнуба јухары кулминасијада олурса, онун зенит мәсафәси мә'лум $z_j=\varphi-\delta$ дүстуру, ашағы кулминасијада исә $z_a=180°-\varphi-\delta$ дүстуру васитәсилә тә'јин олунур. Бу ики дүстурдан улдузун мејли (δ) вә мәһәллин чоғрафи енлији (φ) тапылыр:

$$\delta = 90° - \frac{z_a+z_j}{2},$$

$$\varphi = 90° - \frac{z_a-z_j}{2}.$$

Әкәр улдуз зенитдән шимал тәрәфә јухары кулминасијада олурса, онда

$$\delta = 90° - \frac{z_a-z_j}{2}$$

$$\varphi = 90° - \frac{z_a+z_j}{2}$$

алыныр. Бу үсулла бир нечә он вә ја јүз батмајан улдузун мејли вә мәһәллин чоғрафи енлији тапылыр.

§ 36. ВАХТ ХИДМӘТИ

Вахт хидмәти дәгиг вахты тә'јин етмәкдән, дәгиг вахты сахламагдан, дәгиг вахтын радиосигналлар васитәсилә верилмәсини тә'мин етмәкдән ибарәтдир.

Вахтын дəгиг тə'јини вə дəгиг вахтын сахланмасы ашағыдакы ардычыллыгла һəјата кечирилир:

Истəнилəн вахт һесаблама системиндə верилəн андакы дəгиг вахт T, бу анда саатын көстəриши T' олсун. Онда $u=T-T'$ фəрги саатын хəтасы олар. Белəликлə, саатын хəтасы елə кəмиjјəтдир ки, ону саатын көстəриши үзəринə кəлəндə дəгиг вахты алырыг $(T=T'+u)$. Аjдындыр ки, $u>0$ оларса, саат кери галыр вə $u<0$ оларса, о ирəли кедир дејирик.

Саатын хəтасы əн идеал саатда белə сабит галмыр (техники сəбəбдəн, әтраф мүһитин тə'сириндəн вə с.) Одур ки, саатын кедиши адланан кəмиjјəти дə билмəк лазымдыр. Бу кəмиjјəт, саатын көстəришинə əсасəн верилəн $T'_2-T'_1$ заман фасилəсиндə саатын хəтасынын u_2-u_1 дəјишмəси илə тə'јин олунур:

$$\omega=\frac{u_2-u_1}{T_2-T_1},$$

бурада T'_1 —саатын көстəриши, u_1—кечмиш T_1 вахт анында бу саатын хəтасыдыр, T'_1 вə u_2 исə сонракы T_2 вахт анында саатын көстəриши вə хəтасыдыр.

(T_2-T_1) суткаларла верилмишсə саатын кедиши суткалыг кедиш (ω) адланыр. (T_2-T_1) саатларла верилирсə саатын кедиши саатлыг кедиш (ω_h) адланыр. $u=u_1+\omega_h(T'-T_1)$ олдуғундан саатларла верилəн (T'_1-T_1) интервалында саатын истəнилəн T' көстəришиндə онун u хəтасыны вə дəгиг T вахтыны тə'јин едə билəрик.

Улдуз саатларынын u_s хəтасыны һесабламағын əн садə јолу јухары кулминасијада олан улдузун дүз доғушу $\alpha=s$ илə бу саатын һəмин анда көстəриши S' фəргини тапмагдыр:

$$u_s=s-S'=\alpha-S'.$$

Белəликлə, дəгиг улдуз вахтыны (s-и) билмəк үчүн улдузун дүз доғушуну вə бу улдузун јухары кулминасијада меридианда олдуғу анда улдуз саатынын S' көстəришини билмəк лазымдыр. Астрономик мүшаһидəлəрлə дəгиг вахтын тə'јини мəһз бу садə јолла һəјата кечирилир. Бу мəгсəдлə 40-а гəдəр парлаг улдуз аjрылмышдыр. Бу улдузлар көj екватору гуршағында јерлəшмиш вə *əсас* вə ја *саат улдузлары адланыр.*

S анында Гринвичдə улдуз вахты S_0-дырса, онда $S=S_0+\lambda$ олдуғуну билəрəк, мүшаһидə мəһəллинин чоғрафи узунлуғу λ-нын мə'лум гиjмəтинə əсасəн

$$u_{s_0}=S_0-S' \text{ вə } u_s=S-S'=S_0+\lambda-S'$$

ифадəлəриндəн

$$u_{s_0}=u_s-\lambda$$

ифадәсини алырыг ки, бурадан да U_{s0} тапылыр. U_{s0} истифадә етдијимиз улдуз саатынын S_0 Гринвич улдуз вахты көстәришинә әлавә олунан хәтасыдыр).

§ 37. УЛДУЗУН ДҮЗ ДОҒУШУ ВӘ МӘҺӘЛЛИН ҸОҒРАФИ УЗУНЛУҒУНУН ТӘ'ЈИНИ

Дүз доғушун мүтләг вә нисби (дифференсиал) тә'јини үсуллары вардыр. Мүтләг үсул мүәјјән парлаг улдузлара (күндүзләр телескопда көрүнән), о ҹүмләдән саат улдузларына тәтбиг олунур. Бир сутка интервалында белә улдузун јухары кулминасија анларында саатын S вә S_2' көстәриши (нормал кедиши олан улдуз хронометриндә) гејдә алыныр. Нәтиҹәдә, хронометрин суткалыг $\omega_c = S' - S$ кедиши вә ω_1 саатлыг кедиши тапылыр. Күнәшин јухары кулминасија анында саатын $S'_\odot$ көстәриши гејд едилир, бу анда онун зенит мәсафәси $z_\odot$ тә'јин олунур вә $z = \varphi - \delta_\odot$ дүстурундан Күнәшин $\delta_\odot$ мејлини тапараг $\sin\alpha = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\varepsilon}$ дүстурундан Күнәшин дүз доғушу $\alpha_\odot$ тә'јин олунур. ($\alpha_\odot$ тапмаг үчүн истифадә етдијимиз бу дүстуру тәпәләри јазбәрабәрлији, Күнәш вә онун мејл даирәсинин екваторла кәсишдији нөгтә олан дүзбуҹаглы сферик үчбуҹаға синуслар теоремини тәтбиг етмәклә алырыг). $u_s = \alpha_\odot - S_\odot$ мүнасибәтиндән саатын u хәтасы тапыландан сонра дүз доғушу (α-сы) ахтарылан улдузун јухары кулминасија анында саатын S' көстәриши гејд едилир вә бу анда саатын хәтасы, $u = u_1 + \omega_h(T' - T_\odot)$ дүстуруна әсасән $u_s + \omega_h(S' - S'_\odot)$ олдуғундан улдуз вахты S үчүн јазарыг: $S = \alpha = S' + u_s + \omega_h(S' - S'_\odot)$; јахуд $u_s = \alpha_\odot - S'_\odot$ олдуғуну биләрәк

$$\alpha = \alpha_\odot + (S' - S'_\odot) + \omega_h(S' - S'_\odot)$$

аларыг.

Бу дүстур васитәсилә ахтардығымыз α, нәтиҹәдә исә дәгиг улдуз вахты тапылыр.

Дүз доғушун нисби тә'јини мејлин тә'јини кими фотографик мүшаһидәләрлә һәјата кечирилир. Көј областы елә сечилир ки, бурада дүз доғушу мүтләг үсулла тә'јин олунмуш улдузлардан (истинад улдузлардан) олсун. Негативдә α дүз доғушу ахтарылан улдузун истинад улдузларындан (дүз доғушлары α_i олан улдузлардан) $\Delta\alpha$ мәсафәләри өлчүлүр. Онда $\alpha = \alpha_i + \Delta\alpha_i$ васитәсилә мә'лум α вә $\Delta\alpha_i$ -ләрә көрә α тапылыр.

Ҹоғрафи узунлуг λ-ны тапмағын садә јолу улдуз саатларындан истифадә етмәкдир: Бу саатын јерли улдуз вахты S-ә көрә u_s хәтасы вә Гринвичдә улдуз вахты S_0-а көрә u_{s0} хәтасы тапылыр. Сонра $\lambda = S - S_0 = u_s - u_{s0}$ дүстурундан λ тә'јин олунур.

II БӨЛМӘ

НӘЗӘРИ АСТРОНОМИЈА ВӘ КӨЈ МЕХАНИКАСЫНЫН ӘСАСЛАРЫ

III ФӘСИЛ

КҮНӘШ СИСТЕМИНИН КИНЕМАТИКАСЫ

§ 38. КҮНӘШ СИСТЕМИНИН ҮМУМИ МӘНЗӘРӘСИ

Динамик мәркәзи Күнәш олан вә онун әтрафында һәрәкәт едән көј чисимләри Күнәш системини тәшкил едир. Күнәш системинә доггуз бөјүк планет вә онларын пејкләри, 3000-дән артыг кичик планет, он минләрлә комет, планетләрарасы тоз вә метеорлар дахилдир.

Адлары чәкилән објектләр һаггында јери кәлдикчә ајрыча данышачајыг; һәләлик Күнәш системинин гурулушунун үмуми мәнзәрәси илә таныш олаг.

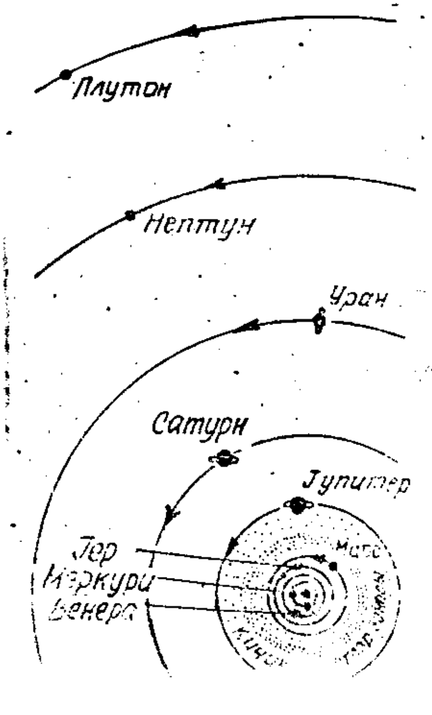
Һәлә ерамыздан чох-чох әввәлләр улдуз көјүндә улдузлардан фәргли олараг кечәдән-кечәјә јерләрини дәјишән, улдузлар арасында сејр едән көј чисимләри олдуғу мә'лум иди. Гәдим јунанлар бу көј чисимләринә планет ады вермишләр («планетес» јунанча «сејр едән» демәкдир). Планетләрә латынча мифик мә'на дашыјан адлар верилмишдир: Меркури (тичарәт аллаһы), Венера (көзәллик илаһәси), Марс (мүһарибә аллаһы), Јупитер (көј-сәма аллаһы), Сатурн (Вахт-заман аллаһы); әрәбләр о заманлар мә'лум олан бу беш планетә ујғун олараг ашағыдакы адлары вермишләр: Үтарид, Зөһрә, Мәррих, Мүштәри, Зүһәл. Кечмишдә сәһв олараг бу беш планетдән башга Күнәш вә Ај да планет һесаб едирдиләр.

Јухарыда гејд етдијимиз кими Күнәш системиндә доггуз бөјүк планет вардыр. Бунлардан Күнәшә ән јахыны Меркури, ән узағы исә Плутондур вә Күнәшдән орта мәсафәләринә көрә беләә ардычыллыгла дүзүлмүшләр: Меркури, Венера, Јер, Марс, Јупитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон (шәкил 37). Ән узагда јерләшән Плутонун Күнәшдән олан мәсафәси 39,44 астрономик ваһиддир. Бу о демәкдир ки, планет системинин өлчүсү 6 милјард километрә јахындыр.

Астрономик мигјасда бу өлчү о гәдәр дә бөјүк дејил, чүнки бу өлчү Јерә ән јахын улдуз олан Проксимаја (α Сентавра) гәдәр мәсафәдән $\sim$ 7000 дәфә кичикдир. Плутон мүстәсна олмагла галан бөјүк планетләр зодиак бүрчләри фонунда һәрәкәт едир. Бу о демәкдир ки, онларын һәр биринин мүстәвиси Јерин орбит мүстәвиси илә кичик бучаг тәшкил едир (јалныз Плутонун орбит мүстәвисинин еклиптикаја мејли

бир гәдәр бөјүкдүр—17°-дир). Беләликлә, планет системини биринчи јахынлашмада мүстәви систем гәбул етмәк олар.

Күнәш системинин бүтүн чисимләри, о чүмләдән, бөјүк планетләр Күнәш тәрәфиндән ишыгланыр. Мә'лумдур ки, планетләрин дахили енерҗи мәнбәләри јохдур ки, онлар Күнәш вә башга улдузлар кими ишыг сачсынлар. Меркури, Венера, Марс, Јупитер вә Сатурн планетләри нисбәтән Күнәшә јахын олдугларындан онун тәрәфиндән елә ишыгланырлар ки, онлары ади көзлә мүшаһидә етмәк олур. Гәдим заманлардан мәһз бу планетләрин зодиак бүрчләри фонунда јерләрини дәјишдикләри мә'лумдур. 1781-чи илдә мәшһур инкилис астроному Вилјам Һершел мүшаһидәләрин тәһлили јолу илә Уран адландырылан бөјүк планет кәшф етди, 1846-чы илдә франсыз астроному Леверје вә инкилис алими Адамс бир-бириндән хәбәрсиз сәккизинчи бөјүк планети ријази һесабламалар васитәсилә кәшф етдиләр вә бу планетә Нептун ады верилди. 1930-чу илдә улдуз көјүнүн фотографик мүшаһидәләриндән американ алими Томбо Плутон адландырылан доггузунчу планети кәшф етди. Уран, Нептун вә Плутон парлаглыгларына көрә чох зәиф олдуглрындан анчаг телескопла мүшаһидә олунур.



Шәкил 37. Планет системи .

1 јанвар 1801-чи илдә италјан астроному Пиатси астрономик мүшаһидәләр заманы тәсадүфән улдузлардан фәргли олараг өз јерини улдуз көјү фонунда кечәдән-кечәјә дәјишән бир објект тапды. Бөјүк алман алими Гаусс бу објектин орбитини һесаблады. Мә'лум олду ки, һәмин објект Күнәшин әтрафында еллипс бојунча доланыр, өзү дә өлчүчә кичикдир (сонралар бу објектин диаметринин 780 км олдуғу тапылды). Өлчүчә кичиклијини нәзәрә алараг бу објект кичик планет вә ја астероид (јунанча «улдузабәнзәр» демәкдир) адландырылды вә она Серера ады верилди (кичик планет термини мејдана чыхандан сонра һәр бир бөјүк планетә садәчә олараг планет дејилирди). Серераныи кәшфиндән сонра аз мүддәтдә Паллада, Веста вә Јунона адландырылан астероидләр кәшф едилди. Даһа сонралар исә һәр ил онларла астероид кәшф едилди вә инди дә демәк олар һәр ил астероид кәшф едилмәкдәдир.

Астероидләрдән өлчүчә ән бөјүјү Серера, ән парлағы исә Вестадыр. Буна бахмајараг онлары да јалныз телескопла көрмәк мүмкүндүр. Өлчүчә Јердән он, јүз вә мин дәфәләрлә кичик формасыз бәрк чисимләр

олан астероидләрин бөјүк әксәријјәти Күнәш әтрафында Марсла Јупитерин орбитләри арасында доланыр. Бу сәбәбдән дә Меркури, Венера, Јер вә Марс дахили, Јупитер, Сатурн, Уран, Нептун вә Плутон харичи планетләр адланыр.

Күнәш системинә дахил олан көј чисимләриндән бөјүк бир групу кометләрдир (јунанча «кометес»—«гујруглу» демәкдир; халг арасында кометләрә гујруглу улдуз дејилир, әлбәттә, әслиндә комет улдуз дејилдир). Бу көј чисимләри Күнәш әтрафында еллипс, парабола вә ја һипербола бојунча һәрәкәт едир. Бә'зиләри Күнәшә чох јахын мәсафәдә оланда ади көзлә белә көрүнүр вә бу заман онлар һәтта он дәрәчәләрлә узунлуғу олан гујруға малик олур (бу сәма «елчиләринә» комет ады да бу сәбәбдән верилмишдир). Гејд етмәк лазымдыр ки, екссентриситети ваһидә јахын олан еллипс бојунча һәрәкәт едән кометләрин Күнәшдән орта мәсафәләри минләрлә астрономик ваһидә бәрабәрдир вә бу мә'нада планетләр, онлара гәдәр мәсафә бахымындан Күнәш системинин кичик бир һиссәсини тәшкил едир. Орбитләри парабола вә ја һипербола олан кометләрин бир групу Күнәш системинә дахил дејил, онлар Күнәшә кифајәт гәдәр јахын оланда мүшаһидә олунур вә сонра өз орбитләри үзрә узаглашараг Күнәшин чазибә саһәсиндән чыхыб улдузларарасы фәзаја кедир.

Планетләрарасы фәзада өлчүләри мкм-ләр олан, күтләләри грамын миндә бир һиссәсиндән бир нечә грама чатан сајсыз метеор чисимләр вардыр; бу фәзада өлчү вә күтләси бөјүдүкчә сајы чох кәскин азалан чисимләр дә мөвчуддур. Јерин сәтһинә дүшәнләри метеорит адланан бу чисимләрин өлчүләри бир нечә сантиметрдән бир нечә метрә, күтләләри исә бир нечә килограмдан һәтта милјон килограмлара чатыр.

§ 39. ПЛАНЕТЛӘРИН КӨРҮНӘН ҺӘРӘКӘТЛӘРИ. ПТОЛЕМЕЈИН КЕОСЕНТРИК СИСТЕМИ. КОПЕРНИКИН ҺЕЛИОСЕНТРИК СИСТЕМИ ВӘ ОНУН ТӘБИӘТШҮНАСЛЫГДА ИНГИЛАБИ ӘҺӘМИЈЈӘТИ

Планетләрин вә башга көј чисимләринин көрүнән һәрәкәтләрини изаһ етмәк астрономија елминин тарихән чәтин мәсәләләриндән бири олмушдур. Бунун сәбәби бу һәрәкәтләрин һәрәкәтдә олан Јердән мүшаһидә едилмәсидир. Гәдимдә билмирдиләр ки, Јери һәрәкәтсиз һесаб етмәклә планетләрин көрүнән һәрәкәтләрини дүзкүн изаһ етмәк олмаз. О заманлар Јери һәрәкәтдә һесаб етмәк исә дини бахышлара зидд иди. Одур ки, узун әсрләр Јер сүкунәтдә һесаб едилмишдир. Јери һәрәкәтсиз һесаб етмәклә дүнјанын гурулушу һаггында гәдим астрономларын тәсәввүрләри әсасында дүнјанын гурулушунун ријази нәзәријјәсини ерамызын II әсриндә јашамыш Искәндәријјәли алим Клавди Птолемеј вермишдир. О бунлары 140-чы илдә өзүнүн мәшһур «Мегале синтаксис» («Бөјүк гурулуш») әсәриндә шәрһ етмишдир. Әрәб мәнбәләриндә бу әсәр «Алмакест»—«Әлмәчәсти» ады илә мәшһурдур. Билдијимиз кими әсәрин чох кениш—орижинал шәрһи илә әрәбчәјә тәрчүмәсини бөјүк Азәрбајчан алими Нәсирәддин Туси етмишдир.

Һәр шејдән әввәл, планетләрин көрүнән һәрәкәтләри илә таныш олаг. Бунун үчүн онларын көрүнән вәзијјәтләрини мүшаһидә етмәк лазымдыр. Бу мүшаһидәләр көстәрир ки, планетләрин көрүнән вәзијјәт вә һәрәкәтләриндә үмумилик аз дејил. Бунлар ашағыдакылардыр: 1) планетләр (Плутон мүстәсна олмагла) һәмишә еклиптика јахынлығында олур; 2) планетләрин көрүнән һәрәкәтләри каһ гәрбдән шәргә доғру, каһ да бунун әксинә—шәргдән гәрбә доғру баш верир; 3) көрүнән һәрәкәтинин истигамәти дәјишмәмиш планет бир мүддәт дајаныр, јә'ни улдузларын фонунда онун вәзијјәти бир мүддәт дәјишмәз галыр.

Көрүнән һәрәкәт гәрбдән шәргә доғру, јә'ни Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәти истигамәтиндә оланда планетин һәрәкәти дүз, шәргдән гәрбә доғру оланда исә тәрс һәрәкәт адланыр, һәрәкәтин истигамәти дәјишәнәдәк бир мүддәт улдузларын фонунда вәзијјәтинин дәјишмәз галмасы исә планетин дајанмасы адланыр.

Планетләрин көрүнән һәрәкәтләриндәки үмумиликлә јанашы ашкар фәргләр дә вардыр.

Планетләрин көрүнән һәрәкәтләриндәки фәргә көрә онлар *ашағы* вә *јухары планетләр* адланан ики група бөлүнүр. Меркури вә Венера *ашағы,* Марс вә Күнәшдән даһа узагда олан планетләр исә *јухары планетләрдир.*

Әввәлчә ашағы планетләрин көрүнән вәзијјәт вә һәрәкәтләри илә таныш олаг. Бу планетләр каһ Күнәшлә ејни бүрҹдә, каһ да она јахын бүрҹдә, ондан шәргдә, јахуд гәрбдә олурлар. Меркури ән чоху 18°—28°, Венера исә 45°—48° Күнәшдән узаглашыр. Планетин Күнәшдән шәргә тәрәф ән бөјүк буҹаг мәсафәси гәдәр узаглашмасы онун *ән бөјүк шәрги елонгасијасы,* гәрбә тәрәф ән бөјүк буҹаг мәсафәси гәдәр узаглашмасы исә *ән бөјүк гәрби елонгасијасы* адланыр (латынча longus—узун демәкдир).

Фәрз едәк ки, ашағы планет (мәсәлән, даһа парлаг вә көрүнмәси ән әлверишли олан Венера) Күнәшин доғмасына аз, мәсәлән бир саат галмыш үфүгүн шәрг тәрәфиндә көрүнмәјә башлајыр. Күнләр кечдикҹә планет даһа тез доғурса, онда дејә биләрик ки, о гәрбә доғру, јә'ни тәрс һәрәкәт едәрәк Күнәшдән узаглашыр. Күнләр кечдикҹә планет азалан сүр'әтлә узаглашмагда давам едир, ән бөјүк гәрби елонгасијаја чатыр, дајаныр вә сонра әкс истигамәтдә—гәрбдән шәргә доғру, јә'ни дүз һәрәкәт етмәјә башлајыр. Ашағы планетин доланма сүр'әти јеринкиндән бөјүк олдуғундан планет Күнәшә јахынлашыр, кетдикҹә артан сүр'әтлә нәһајәт она чатараг бирликдә доғуб-батдығы үчүн Күнәш шүаларынын парлаг фонунда көрүнмәз олур. Бу вәзијјәтдә планет Јерә нисбәтән Күнәшдән әкс тәрәфдә олур, онун еклиптик узунлуғу Күнәшинки илә бәрабәрләшир вә бу заман дејирик ки, планет Күнәшлә јухары бирләшмәдә, јахуд јухары тушламададыр. Бундан сонра да планетин дүз һәрәкәти давам едир, о, Күнәшин шәрг тәрәфинә кечир, Күнәш батандан аз сонра үфүгүн гәрб тәрәфиндә көрүнмәјә башлајыр. Күнләр кечдикҹә планет азалан сүр'әтлә Күнәшдән узаглашыр, ән бөјүк шәрги елонгасијаја чатыр, дајаныр вә һәрәкәт истигамәтини әксинә дәјишәрәк тәрсинә һәрәкәт етмәјә башлајыр. Артан сүр'әтлә һәрәкәт едән планет күн-

ләр кечдикчә Күнәшә јахынлашыр, она чатыр, Күнәшлә бирликдә доғуб-батдығындан көрүнмәз олур. Бу вәзијјәтдә планет Јерлә Күнәшин арасында јерләшир, еклиптик узунлуғу Күнәшинкинә бәрабәр олур вә бу заман дејирик ки, планет Күнәшлә ашағы бирләшмәдә, јахуд ашағы тушламададыр. Ашағы бирләшмәдән сонра планет Күнәшин гәрб тәрәфинә кечир вә јухарыда дедикләримиз тәкрар олур.

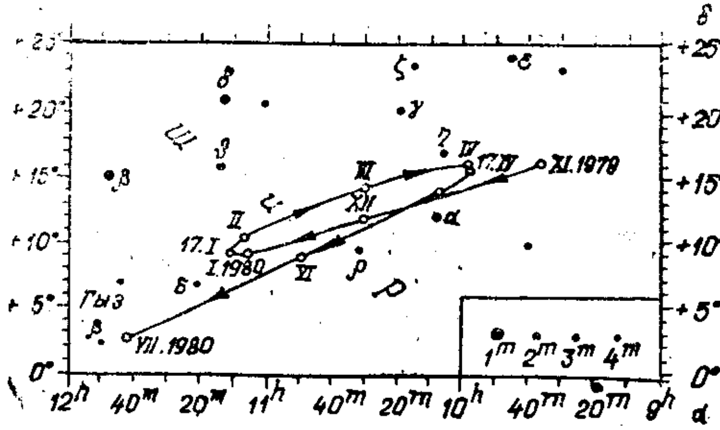
Ашағы планетләрин көрүнән һәрәкәтинә аид дедикләримиздән беләә бир нәтиҹәјә кәлә биләрик ки, бу планетләр Күнәшин әтрафында рәггас өз орта вәзијјәти әтрафында рәгс едән кими «рәгс едир».

Инди дә јухары планетләрин көрүнән вәзијјәтләри вә һәрәкәтләри илә таныш олаг. Ашағы планетләрдән фәргли олараг јухары планетләр Күнәшдән истәнилән бучаг мәсафәсиндә олур. Јухары планет дә вахташыры *Күнәшлә бирләшмәдә (тушламада)* олур. Бу заман планет вә Күнәш ејни бүрҹдә олур, онларын еклиптик узунлуглары бәрабәрләшир вә планет Күнәшлә бирликдә доғуб-батдығындан көрүнмәз олур. Ајдындыр ки, јухары планетин анҹаг *бир тушлама вәзијјәти ола* биләр ки, бу ашағы планетин јухары тушламасына бәнзәјир, јә'ни планет вә Јер Күнәшин әкс тәрәфләриндә олур. Бирләшмәдән сонра планет дүз һәрәкәт едир, лакин Күнәшин һәрәкәти даһа сүр'әтли олдуғундан планет Күнәшдән гәрбдә галыр, о, сәһәрә јахын көјүн шәрг тәрәфиндә көрүнмәјә башлајыр. Заман кечдикчә планет Күнәшдән узаглашдығындан о, кетдикчә даһа тез доғур, лакин онун дүз һәрәкәт сүр'әти кетдикчә азалыр, нәһајәт планет дајаныр вә сонра тәрс һәрәкәт етмәјә, јә'ни гәрбә доғру һәрәкәт етмәјә башлајыр. Бу заман планетлә Күнәш арасындакы бучаг мәсафәси 180°-јә чатыр, јә'ни онларын еклиптик узунлуглары фәрги 180° олур. Планетин бу вәзијјәти онун *Күнәшлә гаршыдурмасы* адланыр. Гаршыдурмада планет демәк олар ки, Күнәш батанда шәргдә доғур вә бүтүн кечәни көрүнүр. Гаршыдурмадан аз сонра тәрс һәрәкәт јенидән дүз һәрәкәтлә әвәз олунур вә планет Күнәшә јахынлашмаға башлајыр, нәһајәт Күнәшлә бирләшмәдә олур вә јухарыдакылар тәкрарланыр.

Планетләрин көрүнән һәрәкәтләри илә әлагәдар олараг гејд етмәк лазымдыр ки, планетләр улдузларын фонунда санки илкәк чызыр (шәкил 38). Нөвбәти параграфда планетләрин көрүнән һәрәкәтләринин хүсусијјәтләрини изаһ едәркән бу һагда да кениш мә'лумат вериләҹәкдир.

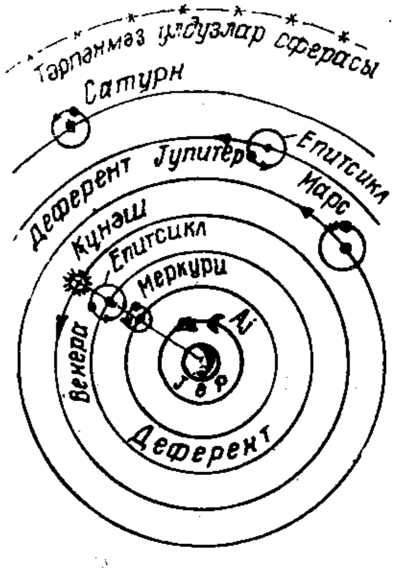
Инди Потоломејин кеосентрик системи илә таныш олаг.

Гејд едәк ки, Птолемејә гәдәр дүнјанын гурулушуна аид чохлу фикирләр олмушдур. Бунлардан ән садәси вә ријази һесаблама үчүн әлверишли оланы еписикл, деферент вә ексентрик фәрзијјәдир. Маһз Птолемеј бу фәрзијјәни формалашдырмыш, онун көмәјилә илк дәфә олараг планетләрин көрүнән һәрәкәт хүсусијјәтләрини мүәјјәнләшдирмиш вә онларын вәзијјәтләрини габагҹадан һесабламаға наил олмушдур. Бу системә көрә: 1) Јер тәрпәнмәздир вә дүнјанын мәркәзиндәдир; 2) Ај вә Күнәш даирәви орбитләр үзрә сабит сүр'әтләрлә Јерин әтрафында доланырлар; 3) планетләрин һәр бири еписикл адланан вә һәр бир планет үчүн мүәјјән радиуса малик чеврә бојунҹа һәндәси нөгтә



Шәкил 38. Марсын Шир бүрҹү үзрә 1979—80-чи илләрдә көрүнән һәрәкәт јолу (рим рәгәмләри илә ајларын биринчи күнләри ишарә олунмушдур; абсис охунда дүз доғуш, ординат охунда мејл верилмишдир).

әтрафында мүәјјән сабит сүр'әтлә доланыр, бу мәркәз исә деферент адланан даирә бојунча мүәјјән сабит сүр'әтлә Јерин әтрафында доланыр (шәкил 39).



Шәкил 39. Птолемејин кеосентрик системи.

Көрүнән һәрәкәт сүр'әтләрини нәзәрә алараг Птолемеј көј ҹисимләринин Јердән узаглыгларына көрә ашағыдакы ардычыллыгла дүзмүшдүр: Ај, Меркури, Венера, Күнәш, Марс, Јупитер, Сатурн вә Каинаты тамамлајан тәрпәнмәз улдузлар сферасы. Птолемеј системиндә Меркури вә Венера Күнәш орбитинин дахилиндә олдуғундан ашағы планетләр, галанлары исә јухары планетләр адландырылмышдыр. Птолемеј һесаб едирди ки, улдузларын доғуб-батмасы улдузлар сферасынын Јер әтрафында фырланмасынын нәтиҹәсидир.

Планетләрин еписикләри өлчүҹә фәргләнир. Птолемејә көрә Меркури вә Венеранын еписикләринин мәркәзләри һәмишә Јерлә Күнәшин мәркәзләрини бирләшдирән дүз хәттин үзәриндә олмалыдыр; одур ки, бу планетләрин деферентләри бир

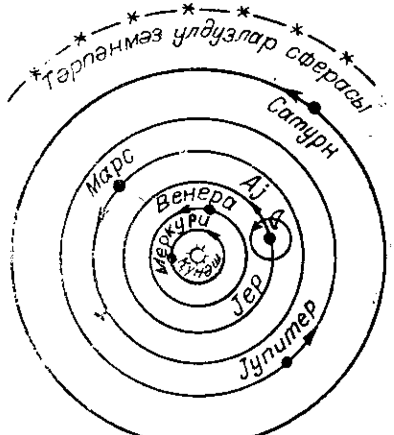
ил әрзиндә чызылыр. Јухары планетләрин енисикллəри елә олмалыдыр ки, планет тәрс һәрәкәт едән дөврдә еписикл Күнәшдән экс тәрәфдә олсун, өзү дә планетин чыздығы гөвс бу мүддәтдә еписиклин Јерә тәрәф (јә'ни она ән јахын) һиссәсиндә олсун. Птоломејә көрә һәр бир јухары планетин деференти мүәјјән мүддәтдә чызылыр вә бу мүддәт мүхтәлиф планет үчүн мүхтәлифдир. Истәр ашағы вә истәрсә дә јухары планетләр үчүн Птолемејин јухарыда бәһс олунан һәндәси гурғусу һәмин планетләрин көрүнән һәрәкәтләриндәки хүсусијјәтләри изаһ етмәк үчүн јарадылмышды. Птолемеј системиндә бүтүн планетләрин көрүнән һәрәкәтинин Јерлә дејил, Күнәшлә әлагәләндирилдијини көрмәк чәтин дејил.

Птолемеј системи, планетләрин көрүнән вәзијјәтләрини о заманларын мүшаһидәләри илә үст-үстә дүшмәклә бир нечә ил габагчадан һесабламаг имканына малик иди. Дикәр тәрәфдән христианлығын Авропада II—IV әсрләрдә јајылмасы, бу динин дөвләт дининә чеврилмәси, феодализм чәмијјәти Птолемеј системинин вә Аристотелин Јерин көјә гаршы гојулмасынын, јәни Јери көјдән ајырмаг консепсијасынын мөһкәм мүдафиәсини тәләб едирди. Јаранмыш бу вәзијјәт Птолемеј системинә гаршы чыхмаға һеч чүр имкан вермирди. Әсрләр кечдикчә астрономија мүшаһидәләри дәгигләшир вә Птолемеј системи әсасында планетләрин көрүнән вәзијјәтләринин тәләб олунан дәгигликлә габагчадан һесабланмасынын мүмкүн олмадығы өзүнү даһа ашкар көстәрир. Бу исә өз нөвбәсиндә планетләрин һесабламаларла тапылан вәзијјәтинә истинад етмәјә имкан вермәдијиндән узаг дәниз сәфәрләрини чәтинләшдирирди. Птолемеј системиндән о заманлар әл чәкмәк мүмкүн олмадығындан бу системи кетдикчә даһа чох сүн'иләшдирмәјә мәчбур олурдулар: һәр бир планет үчүн ики, үч вә даһа чох еписикл гәбул едилир вә с. XIII јүзилликдә Птолемејин кеосетрик системинин әсассыз, көкүндән сәһв олдуғу артыг там ајдын иди.

Бөјүк полјак алими Николај Коперник (1473—1543) Птолемејин көкүндән сәһв олан кеосентрик системинә гаршы өзүнүн кејфијјәтчә тамамилә јени һелиосентрик системини верди. 1543-чү илдә онун «көј сферасынын фырланмалары һаггында» әсәри чапдан чыхды. Коперникин һелиосентрик системинин маһијјәти ашағыдакылардан ибарәтдир (шәкил 40):

1. Јер дүнјанын мәркәзи дејилдир, о ади бир планетдир;

2. Дүнјанын мәркәзиндә Күнәш (јунанча «Күнәш»ә «Һелиос» дејилир), јерләшир вә планетләр, о чүмләдән күрәви Јер, Күнәшин әтрафында демәк олар ки, ејни мүстәвидә даирәви орбитләр үзрә ејни истигамәтдә сабит сүр'әтлә доланыр; Күнәшә јахын олан орбит үзрә һәрәкәт едән планетин хәтти сүр'әти бөјүкдүр;



Шәкил 40. Коперникин һелиосентрик системи

3. Күнәшин еклиптика үзрә иллик һәрәкәти заһиридир. Бу, Јерин Күнәш әтрафында иллик дөврлә гәрбдән шәргә доғру доланмасынын тәзаһүрүдүр;

4. Јер өз оху әтрафында Күнәш әтрафында доланма истигамәтиндә суткалыг дөврлә фырланыр, Јерин фырланма оху Јерин орбит мүстәвисинә мејиллидир, кечә-күндүзүн нөвбәләшмәси вә көј чисимләринин доғуб-батмасы Јерин суткалыг фырланмасынын тәзаһүрүдүр;

5. Јерин әтрафында онун пејки кими доланан Ај, Јерлә бирликдә Күнәшин әтрафында доланыр;

6. Планетләрин көрүнән һәрәкәтләриндәки хүсусијјәтләр (дајанма, тәрс һәрәкәт вә с.) Јерин вә планетләрин Күнәш әтрафында ејни истигамәтдә мүхтәлиф сүр'әтләрлә доланмасындан ирәли кәлир.

Коперникин һелиосентрик системилә әлагәдар фикирләри ичәрисиндә јалныз икисинә дүзәлиш вермәк лазым олмушдур. Белә ки, чох сонралар мә'лум олду ки, дүнјанын мәркәзи анлајышы өзү јанлыш анлајышлар—одур ки, Күнәш дүнјанын дејил, планет системинин мәркәзидир; бундан башга сонралар (јарым әсрдән чох сонра) сүбут едилди ки, планетләрин орбитләри даирә дејил, басыглыглары кичик олан еллипсдир вә одур ки, һәр бир планетин хәтти сүр'әти сабит галмыр.

Астрономија тарихиндә илк дәфә Күнәш системинин дүзкүн мәнзәрәсини верән Коперник, планетләрин көрүнән һәрәкәтләриндәки хүсусијјәтләри изаһ етди. планетләрин Күнәш әтрафында доланма дөврләрини тапды, Јерлә Күнәш арасындакы мәсафә ваһиди илә планетләрин Күнәшдән олан мәсафәләрини тә'јин етди. Коперник улдузларын көрүнән вәзијјәтләринин дәјишмәмәсини онларын чох узагда олмасы илә изаһ етмәклә Каинатын сонсузлуғу фикринә јахынлашмышдыр.

Нәинки, Коперник дөврүндә, һәтта ондан чох-чох сонралар белә елми-техники инкишафын сәвијјәси Јерин өз оху әтрафында фырланмасыны вә Күнәш әтрафында доланмасыны, билаваситә, сүбут етмәјә имкан вермирди. Анчаг Коперникин һелиосентрик системи планетләрин вә Күнәшин көрүнән һәрәкәтләрини о гәдәр әјани вә дүзкүн изаһ едә билди ки, бу систем дәрһал алимләрин диггәтини чәлб етди, онун мүдафиәчиләри чохалды. Коперникин системи Аристотелин Јерин көјә гаршы гојулмасы консепсијасыны рәдд етдијиндән, јә'ни бу систем Јерин ади көј чисми—планет олдуғуну һөкм етдијиндән Јерин тәрпәнмәзлији тохунулмазлығы вә јалныз инсан үчүн јарадылдығы фикрини рәдд етдијиндән һаким даирәләр бу системи динә зидд систем һесаб едирдиләр. Одур ки, Коперник системини мүдафиә едән, һәм дә башга планет системләринин, бу системләрин планетләриндә бәшәрин (сивилизасијасынын) олмасы имканыны ирәли сүрән бөјүк италјан алими—философу Чордано Бруно 1600-чу ил февралын 17-дә католик килсә башчысы VIII Климентинин иштиракы илә Ромада тонгалда јандырылды. Јерин ади планет олмасы вә онун фырланмасы вә доланмасы фикрини кениш тәблиғ едән бөјүк алим Галилео Галилеј (1564—1642) һәбсә мәһкум едилди вә с.

Лакин Коперникин һелиосентрик системинин јајылмасынын вә онун әсасында астрономија елминин инкишафынын габағыны алмаг мүмкүн олмады. Һәр шејдән әввәл, Коперник системи әсасында планетләрин

көрүнән вәзијјәтләрини габагчадан һесабламаг проблеми гојулду. Бу проблемин һәлли бөјүк Австрија ријазијјатчысы вә астроному Иоһанн Кеплерә (1572—1630) мүјәссәр олду.

Планетләрин һәрәкәтинә аид мәшһур Кеплер ганунлары (бах § 43) кәшф едилдикдән сонра онларын бу ганунларла тәсвир олунан һәрәкәтләринин сәбәбини изаһ етмәк проблеми мејдана чыхды. Бу проблем јалныз јарым әсрдән дә чох сонра даһи Исаак Нјутон тәрәфиндән һәлл едилди. Анчаг бу мүддәтдә әсасән Галилеј тәрәфиндән бәрабәрсүр'әтли вә тә'чили һәрәкәтләр тәчрүбү јолла өјрәнилди. Рәггасын рәгсинин вә сәрбәст дүшән чисмин дүшмә хүсусијјәтләринин тәчрүби тәһлилиндән Галилеј белә бир нәтичәјә кәлди ки, чисмин бәрабәрсүр'әтли һәрәкәтинин давам етмәси үчүн һәмин чисмә даим гүввә илә тә'сир етмәк һеч дә зәрури дејил; беләликлә, о, әталәт ганунуну кәшф етди: дүзхәтли вә бәрабәрсүр'әтли һәрәкәтә кәтирилән чисим мүгавимәтә раст кәләнәдәк бу һалыны сахламалыдыр. Бу кәшфин ән бөјүк әһәмијјәтләриндән бири ондан ибарәтдир ки, ики мин ил һөкм сүрән Аристотел консепсијасындан имтина едилди; бу консепсијаја көрә чисим о вахта гәдәр һәрәкәтини давам етдирә биләр ки, она гүввә тә'сир етсин.

Әталәт гануну Галилеј тәрәфиндән кәшф едилдикдән сонра белә бир суал мејдана чыхды: планетләри дүзхәтли вә бәрабәрсүр'әтли һәрәкәтиндән чыхарараг, онлары еллиптик орбитдә сабит галмајан сүр'әтлә һәрәкәт етмәјә мәчбур едән һансы гүввәдир. Бу чох чәтин вә дәрин мә'на кәсб едән суала XVII јүзиллијин ахырларында Нјутон чаваб верди. Нјутон тәрәфиндән механиканын үч гануну верилди, о, 1687-чи илдә үмумдүнја чазибә гануну кәшф етди. Беләликлә, јени елмин—механика елминин, еләчә дә көј механикасынын јаранмасы үчүн тәмәл гојулду.

Әслиндә нәинки, көј механикасынын, еләчә дә бүтөвлүкдә механика елминин јаранмасы, ријазијјатын вә физиканын чох саһәләринин инкишаф етмәси вә үмумијјәтлә, тәбиәтшүнаслығын инкишафы, јени дүнја көрүшүнүн формалашмасы Коперникин һелиосентрик системинин кәшфиндән сонра елмдә јаранан әлверишли шәраитин тәзаһүрләри һесаб едилмәлидир.

Енкелсин тә'бирин чә десәк бәшәријјәт гаршысында Коперникин башлыча вә бөјүк хидмәти ондан ибарәт олмушду ки, һелиосентризмин кәшфиндән сонра тәбиәтин тәдгигинин мүстәгиллији тә'мин едилмишдир.

§ 40. ПЛАНЕТЛӘРИН КОНФИГУРАСИЈАЛАРЫ, МҮШАҺИДӘ ОЛУНМА ШӘРАИТЛӘРИ ВӘ КӨРҮНӘН ҺӘРӘКӘТЛӘРИНИН ИЗАҺЫ

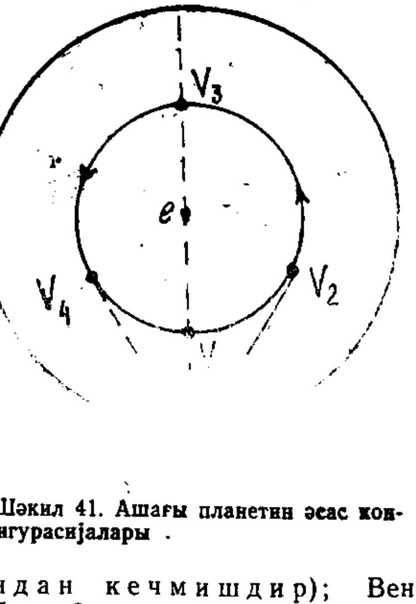
Күнәш системи чисминин Јердәки мүшаһидәчијә көрә Күнәшә нәзәрән сәмада тутдуғу вәзијјәтә онун конфигурасијасы дејилир. Коперникин һелиосентрик нәзәријјәси планетләрин вә Күнәш системинин дикәр чисимләринин конфигурасијаларыны дүзкүн изаһ етмәјә имкан верир. Инди һелиосентрик нәзәријјәјә әсасән планетләрин конфигурасијаларынын изаһына вә онларын мүшаһидә олунма шәраитинә бахаг.

Һәр бир планетин конфигурасијасы Күнәшин вә бу планетин кеосентрик еклиптик узунлуглары фәрги $\Delta\lambda=\lambda_{\odot}-\lambda$ илә мүәјјән едилир (кеосентрик еклиптик координатлар, мәркәзиндә Јер јерләшән еклиптик координат системиндән тапылыр). Планетин Јердән көрүнән вәзијјәти онун конфигурасијасындан асылыдыр. Ашағы вә јухары планетләрин конфигурасијалары бир-бириндән фәргләндијиндән, онларын көрүнән һәрәкәтләри дә бир-бириндән фәргләнир. Планетләрин көрүнән һәрәкәтләри илә кечән параграфда (бах § 39) әтрафлы таныш олдуг. Һәмин параграфдакы бә'зи анлајышлардан инди истифадә едәчәјик.

Әввәлчә ашағы планетләрин конфигурасијаларына вә мүшаһидә олунма шәраитләринә бахаг.

Ашағы планетләрин орбитләри Јерин орбитинин дахилиндә јерләшдијиндән, јә'ни онлар Күнәшә даһа јахын олдуғундан орбитал хәтти сүр'әтләри дә Јеринкиндән бөјүкдүр. Садәлик үчүн планетләрин орбитләринин даирә олдуғуну гәбул едәк. Фәрз едәк ки, верилмиш мүшаһидә анында Јер өз орбитинин Т нөгтәсиндәдир (шәкил 41). Бу заман ашағы планет өз орбитинин ихтијари нөгтәсиндә ола биләр. 41-чи шәкилдә садәлик үчүн ашағы планетин дөрд әсас конфигурасијасы көстәрилмишдир:

1) V_1-дә планет Күнәшлә *(С)* Јерин *(Т)* арасындадыр; билирик ки, бу конфигурасијада планет ашағы бирләшмәдәдир вә бу вәзијјәтдә Күнәшин вә планетин еклиптик узунлуглары фәрги $\Delta\lambda=0$ олур; бу заман планетин кеосентрик мәсафәси, јә'ни јердән узаглығы ән кичик олур, демәли, планетин бучаг диаметри ән бөјүк олур, лакин планет бу вәзијјәтдә Јердән көрүнмүр вә эксәр һалларда Күнәшдән ја бир гәдәр шималда, ја да бир гәдәр чәнубда көјә проіексија олунур; лакин ашағы бирләшмә планетин вә Јерин орбит мүстәвиләринин кәсишдији хәтдә (дүјүнләр хәттиндә) баш верәндә планет Күнәш дискинә проіексија олунур вә о, тутгун објект кими Күнәш дискинин гаршысындан кечир (Күнәшин планет тәрәфиндән өртүлмәси һадисәси баш верир); белә вәзијјәт чох надир һалларда олур:



Шәкил 41. Ашағы планетин әсас конфигурасијалары .

Меркури бир-бирини әвәз етмәклә 13 вә 7 илдән бир мајда вә нојабрда белә ашағы бирләшмәдә олур (мәсәлән, 10 нојабр 1973, 13 нојабр 1986-чы илдә белә олмушдур; 1993-чү ил нојабрын 6-да Меркури Күнәш дискинин гаршысындан кечмишдир); Венера бир-бирини әвәз етмәклә 8 ил, 105,5 ил, 8 ил вә 121,5 илдән бир ијун вә декабрда Күнәшлә белә ашағы бирләшмәдә олур, мәсәлән, ахырынчы белә бирләшмә 1882-чи ил декабрын 6-да олмушдур, 2004-чү ил ијунун 8-дә вә 2012-

чи ил ијунун 6-да Венера Күнәш дискининг аршы-сындан тәкрар кечәчәкдир.

2) Ашағы бирләшмәдән сонра планет Күнәшдән гәрбә (сağа) тәрәф тәрс һәрәкәт едәрәк ондан узаглашыр, јә'ни гәрби елонгасијасы артыр, планетлә Јер арасындакы мәсафә бөјүјүр, Күнәш тәрәфиндән ишыгланан планет јарымкүрәсинин бир һиссәси ораг шәклиндә Јерә тәрәф јөнәлир. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, Күнәш тәрәфиндән ишыгланан күрәви көј чисминин мүшаһидә олунан көрүнүшү (мәнзәрәси) онун фазасы (сәфһәси) адланыр вә фаза (*Ф*) күрәви көј чисми дискинин көрүнән һиссәсинин ән бөјүк енининин дискин диаметринә нисбәтидир. $\Phi<0{,}5$ олдугда објект ораг, $\Phi=0{,}5$ оланда јарымдаирә, $\Phi=1$ олдугда исә там даирә шәклиндә көрүнүр. Јухарыда дедик ки, ашағы бирләшмәдән аз мүддәт сонра планет ораг шәклинда көрүнүр ($\Phi<0{,}5$-дир). Күнләр кечдикчә планетин һәм фазасы, һәм дә гәрби елонгасијасы бөјүјүр. Бу заман планет дискинин ишыгланан һиссәси вә көрүнмә мүддәти бөјүдүјү үчүн онун мүшаһидәси дә даһа әлверишли олур. (Сөһбәт Венерадан кедирсә, ашағы тушламадан сонра о, сәһәрә јахын үфүгүн шәрг тәрәфиндә көрүнмәјә башладығы үчүн һәлә гәдимдән бу планетә—«дан улдузу» ады вермишләр). Ән бөјүк гәрби елонгасијада планетин фазасы $\Phi=0{,}5$ олур, јә'ни о, јарымдаирә шәклиндә (габарыг тәрәфи шәргә—Күнәшә тәрәф олмагла) көрүнүр. Ән бөјүк гәрби елонгасијада Күнәшин вә планетин еклиптик узунлуглар фәрги $\Delta\lambda$ максимум олур, планетин үфүг үзәриндә сәһәрә јахын кечә көјүндә көрүнмә мүддәти, адәтән, ән узун олур. Ән бөјүк елонгасијада Јери планетлә бирләшдирән дүз хәтт планетин орбитинә тохунан олур. 41-чи шәкилдә V_2-дә ашағы планет ән бөјүк гәрби елонгасијададыр.

3) Ән бөјүк гәрби елонгасијадан вә дајанмадан сонра планетин Күнәшдән олан бучаг мәсафәси азалыр, онун көрүнмә мүддәти гысалыр, кеосентрик мәсафәси бөјүмәкдә давам етдијиндән бучаг диаметри кичилир, лакин фазасы бөјүјүр вә нәһајәт планет Күнәшин арха тәрәфинә кечир—Күнәш Јерлә планетин арасында олур; билирик ки, планетин бу вәзијјәти онун Күнәшлә јухары бирләшмәси (јухары тушланмасы) адланыр (V_3). Бу вәзијјәтдә онун бучаг диаметри ән кичик, фазасы $\Phi=1$, Күнәшлә кеосентрик еклиптик узунлуглары фәрги $\Delta\lambda=0$ олур. Бу заман планет Күнәшлә бирликдә доғур вә батыр, одур ки, Јердән мүшаһидә олунмур.

4) Јухары бирләшмәдән сонра планет шәргә (сола) тәрәф өзүнүн дүз һәрәкәти илә Күнәшдән узаглашыр, шәрги елонгасијасы бөјүјүр, кеосентрик мәсафәси кичилир, демәли, бучаг өлчүсү бөјүјүр, ахшамлар үфүгүн гәрб тәрәфиндә Күнәш батандан сонра көрүнмәјә башлајыр. Планет Күнәшдән узаглашмагда давам едәрәк нәһајәт ән бөјүк шәрги елонгасија вәзијјәтинә чатыр (V_4). Бу заман планетин үфүгүн гәрб тәрәфиндә ахшамдан көрүнмә мүддәти ән узун, фазасы $\Phi=0{,}5$ (јарымдаирәнин габарыг тәрәфи гәрбә—Күнәшә тәрәф јөнәлмәклә), Күнәшлә еклиптик узунлуглары фәрги $\Delta\lambda$ максимум олур вә планетин мүшаһидәси үчүн әлверишли шәраит јараныр.

5) Ән бөјүк шәрги елонгасијадан сонра планет шәрг тәрәфдән Күнәшә јахынлашыр, јенидән дајанма, сонра исә тәрс һәрәкәт башлајыр, планетин фазасы кичилир—планет ораг шәклиндә көрүнүр вә күнләр кечдикчә ораг назилмәкдә давам едир, Күнәшлә планетин кеосентрик еклиптик узунлуглар фәрги сыфра јахынлашыр вә нәһајәт планет ашағы бирләшмә конфигурасијасында (V_1-дә) олур.

41-чи шәкилдә көстәрилдији кими, ашағы планетин конфигурасија ардычыллығынын истигамәти онун орбит үзрә һәрәкәт истигамәтиндә (саат әгрәбинин әкси истигамәтдә) баш верир.

Меркуринин бучаг диаметри планетин бүтүн конфигурасијаларда олдуғу мүддәтдә 5″ илә 12″ арасында, парлаглығы исә 100 дәфә дәјишир; Венера үчүн бу кәмијјәтләр ујғун олараг 10″—63″ вә тәхминән 5-дир.

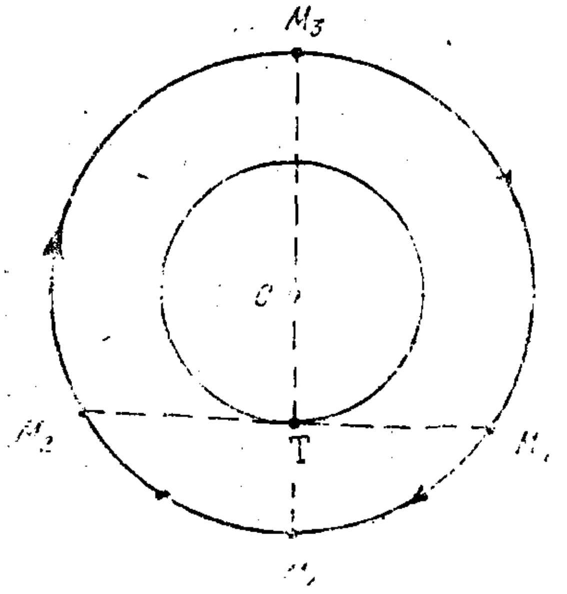
Меркуринин Күнәш батандан сонра (вә Күнәш доғмаздан әввәл) көрүнмә мүддәти ән чоху саат јарым, Венеранынкы исә дөрд саатдыр (планетин мејли Күнәшинкиндән кичик оланда мүшаһидә мүддәти гысалыр). Јазда ахшамлар, пајызда исә сәһәрләр еклиптика үфүгдән хејли јухарыја галхдығындан ашағы планетләри јазда ахшамлар, пајызда исә сәһәрә јахын мүшаһидә етмәк даһа әлверишлидир.

Инди јухары планетләрин конфигурасијалары вә мүшаһидә олунма шәраитләринә бахаг.

Јухары планетләрин орбитләри Јерин орбитинин харичиндә јерләшдикләриндән, јә'ни онлар Күнәшдән даһа узагда олдуғундан онларын орбит бојунча хәтти һәрәкәт сүр'әтләри дә Јеринкиндән кичикдир. Ашағы планетләрдә олдуғу кими бурада да садәлик үчүн планетләрин Күнәш әтрафында һәрәкәт орбитләрини даирә гәбул едәк вә фәрз едәк ки, Јер өз орбитинин T нөгтәсиндәдир (шәкил 42). Бу вәзијјәтдә јухары планет өз орбитинин ихтијари нөгтәсиндә ола биләр. 42-чи шәкилдә јухары планетин дөрд әсас конфигурасијасы көстәрилмишдир. Бурада M_1—гаршыдурма, M_2 шәрги квадратура, M_3—бирләшмә (тушлама). M_4 гәрби квадратура конфигурасијаларыдыр. Шәкилдән көрүндүјү кими гаршыдурмада Јер планетлә Күнәш арасында ($\Delta\lambda=180°$), шәрги вә гәрби квадратураларда планет ујғун олараг Күнәшдән солда (шәргдә) вә Күнәшдән сағда (гәрбдә) Јерлә Күнәши бирләшдирән хәттә перпендикулјар истигамәтләрдә ($\Delta\lambda=90°$) вә нәһајәт бирләшмәдә Күнәшдән арха тәрәфдә ($\Delta\lambda=0°$) олур.

1) Фәрз едәк ки, планет бирләшмәдәдир—тушламададыр.

Бу заман әксәр һалларда планет Күнәшдән ја бир гәдәр шималда, ја да бир гәдәр чәнубда олур, чүнки јухары планетләрин дә орбит мүстәвиләри Јеринкинә мејиллидир. Јалныз орбит мүстәвиләринин кәсишдији хәтдә бирләшмә баш верәрсә Күнәш планет дискинә пројексија олунар. Бирләшмәдә планет Күнәшлә ејни заманда доғур вә батыр вә одур ки, о, Јердән көрүнмүр, өзү дә бу заман планет Јердән ән узаг мәсафәдә олур. Күнәш планетә нисбәтән еклиптика үзрә шәргә доғру даһа бөјүк сүр'әтлә јерини дәјишдијиндән, һәмчинин, планет бу заман



Шәкил 42. Јухары планетин әсас конфигурасијалары.

дүз һәрәкәт етдијиндән о, Күнәшдән кери галыр (гәрб тәрәфдә) вә сәһәрә јахын үфүгүн шәрг тәрәфиндә көрүнүр, күнләр кечдикчә планет Күнәшдән узаглашыр, онун көрүнмә мүддәти узаныр ($\Delta\lambda \to 90^0$); планетин кеосентрик мәсафәси кичилир, демәли бучаг өлчүсү бөјүјүр. $\Delta\lambda = 90°$ оланда планет гәрби квадратурада олур вә кечәјарысы доғур.

2) Планет дүз һәрәкәтини давам етдирәрәк вә Күнәшдән кери галараг гаршыдурма конфигурасијасына чатыр. Бу заман $\Delta\lambda = 180°$ олдуғундан о, Күнәш батандан сонра шәргдә доғур вә бүтүн кечәни мүшаһидә олунур; бу дөврдә планет Јерә башга конфигурасијалара нисбәтән ән јахын мәсафәдә јерләшир (параграфын сонуна бах), јә'ни онун көрүнән өлчүсү ән бөјүк, Јердән мүшаһидәси исә ән әлверишли олур. Гаршыдурмаја аз галмыш планет өз һәрәкәтини ләнкидир, сонра о, тәрс һәрәкәт едир, белә һәрәкәтин јолунун јарысында гаршыдурма һадисәси баш верир, тәрс һәрәкәтлә галан јары јол да кечиләндән сонра планет јенидән өз һәрәкәтини ләнкидир, дајаныр вә дүз һәрәкәтинә башлајыр. Планетин орбит мүстәвиси еклиптикаја мејилли олдуғундан планет санки фәзада илкәк чызыр; бу илкәк планетин көрүнән һәрәкәтинин бир нөвүдүр, даһа доғрусу параллактик јердәјишмәдир. Одур ки, илкәјин өлчүсү кеосентрик мәсафә илә тәрс мүтәнасибдир. Доғрудан да мә'лумдур ки, һәр бир планетин тәрс һәрәкәт мүддәти вә бу мүддәтдә чыздығы гөвсүн узунлуғу вардыр. Јухары планетләр үчүн һәмин кәмијјәтләрин гијмәтләри беләдир: Марс үчүн 15°-јә јахын (7^d), Јупитер үчүн тәгрибән 10° (120^d), Сатурн үчүн тәхминән 7° (136^d), Уран үчүн

тәгрибән 4° (150^d), Нептун үчүн тәхминән 3° (158^d) вә Плутон үчүн тәхминән 2° (163^d); мөтәризәләрдә илкәјин чызылмасы мүддәтләри суткаларла көстәрилмишдир. Бурадан көрүнүр ки, планет узагда олдугча бу мүддәт бөјүјүр. Ону да гејд едәк ки, ашағы планетләр үчүн бу гијмәтләр беләдир: Меркури үчүн тәхминән 13° (22^d), Венера үчүн исә 16°-јә јахын (40^d). Гејд етмәк лазымдыр ки, вахт бахымындан планетләрин дүз һәрәкәти үстүнлүк тәшкил едир.

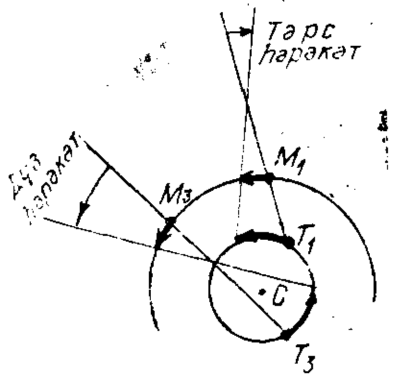
3) Планет шәрги квадратураја чатанда о кечәјарысы доғур. Күнләр кечдикчә о, көј сферасында Күнәшә јахынлашыр, лакин ондан шәргдә олдуғундан Күнәш батандан сонра үфүгин гәрбиндә көрүнүр вә даһа тез батыр, кеосентрик мәсафәси бөјүмәкдә, демәли, көрүнән бучаг өлчүсү кичилмәкдә давам едир, нәһајәт бирләшмә (тушлама) конфигурасијасына гајыдыр.

Гејд етмәк лазымдыр ки, ј у х а р ы п л а н е т л ә р и н о р б и т а л х ә т т и с ү р' ә т л ә р и Ј е р и н к и н д ә н к и ч и к о л д у ғ у н д а н б у п л а н е т л ә р и н к о н ф и г у р а с и ј а а р д ы ч ы л л ы ғ ы п л а н е т и н һ ә г и г и о р б и т а л һ ә р ә к ә т и с т и г а м ә т и н и н т ә р с и н ә д и р.

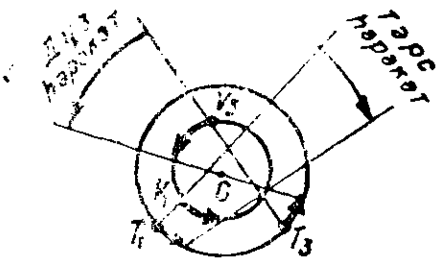
Г а р ш ы д у р м а г ы ш а ј л а р ы н д а о л а н д а п л а н е т и н м ү ш а һ и д ә с и ә н ә л в е р и ш л и о л у р, она көрә ки, бу дөврдә планет үфүгдән даһа јүксәкдә јерләшән Буға, Екизләр вә Хәрчәнк бүрчләриндән кечир, үстәлик дә кечәләр даһа узун олур: јајда исә планет үфүгдән чох да јүксәкдә олмајан Әгрәб, Охатан вә Оғлаг бүрчләриндән кечир, үстәлик дә кечәләр даһа гыса олур, бу сәбәбләрдән дә планет гаршыдурмада оланда белә, онун мүшаһидәси әлверишсиз олур.

Јухары планетләрин көрүнән һәрәкәтини изаһ етмәк үчүн 43-чү шәкилә нәзәр салмаг кифајәтдир: Јухары планет бирләшмәдә (M_3) вә ја она јахын оланда онун һәрәкәт сүр'әтинин истигамәти Јеринкинин (T_3) әксинәдир. Бу һалда Јердән планет дүз һәрәкәт едән кими көрүнүр, шәкилдән ајдындыр ки, бу заман планет сүр'әтлә фәзада јерини дәјишир. Параллактик јердәјишмәјә әсасән бу һалда планетин дүз һәрәкәт етмәсини белә изаһ етмәк олар: јухары планетин орбитал хәтти сүр'әти Јеринкиндән кичик олдуғундан ону Јерә нисбәтән сүкунәтдә һесаб етсәјдик планет Јерин әкси истигамәтдә көј сферасында өз јерини сағдан сола дәјишән кими көрүнәрди. Инди фәрз едәк ки, јухары планет гаршыдурмададыр (M_1) вә ја она јахындыр. Јенә дә параллактик јердәјишмәјә әсасән планетин көј сферасында јердәјишмәси јеринкинин әкси истигамәтдә (солдан сağа) оларды, јә'ни планет улдузларарасы фәзада тәрс һәрәкәт едәрди.

Ашағы планетин көрүнән һәрәкәти дә јухары планетләринкинә аналожи изаһ олунур (шәкил 44). Фәрз едәк ки, планет јухары бирләшмәдә вә ја она јахындадыр. Ашағы планетин орбитал хәтти сүр'әти Јеринкиндән бөјүк олдуғундан бу һалда планетин һәрәкәти дүз һәрәкәт олар (сағдан сола). Ашағы бирләшмәдә (V_1) вә ја она јахын планет тәрс һәрәкәт едир. Буну даһа асан баша дүшмәк үчүн фәрз едәк ки, хәјали мүшаһидәчи ашағы планетдәдир. Онда Јери сүкунәтдә гәбул



Шәкил 43. Јухары планетин дүз вә тәрс һәрәкәти

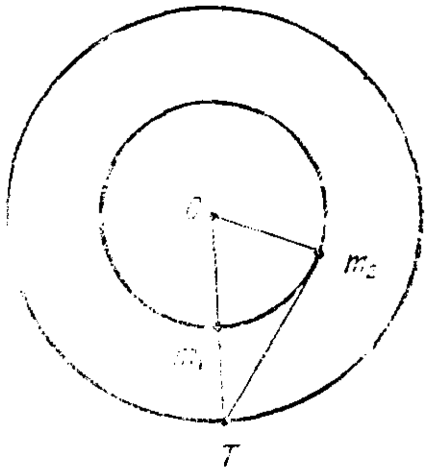


Шәкил 44. Ашағы планетин дүз вә тәрс һәрәкәти

етсәјдик бу хәјали мүшаһидәчијә көрә јерин параллактик јердәјишмәси сағдан сола, јә'ни дүз оларды, демәли, јердәки мүшаһидәчијә көрә планет солдан сağа, јә'ни тәрс һәрәкәт едән кими көрүнәрди.

§ 41. ПЛАНЕТЛӘРИН КҮНӘШДӘН НИСБИ МӘСАФӘЛӘРИНИН ВӘ СИДЕРИК ПЕРИОДЛАРЫНЫН КОПЕРНИК ҮСУЛУ ИЛӘ ТӘ'ЈИНИ

Коперник өзүнүн һелиосентрик системинә әсасланараг астрономија тарихиндә илк дәфә планетләрин Күнәшдән олан мәсафәләрини Јерлә Күнәш арасындакы мәсафә ваһидләри илә тә'јин етмиш вә планетләрин сидерик периодларыны һесабламышдыр.



Шәкил 45. Ашағы планетин нисби һелиосентрик мәсафәсинин Коперник үсулу илә тә'јини.

Әввәлчә Меркуријә гәдәр нисби мәсафәни тапаг. Бунун үчүн 45-чи шәкилдән истифадә едәк. Бу шәкилдә Меркуринин ашағы бирләшмә (m_1) вә ән бөјүк гәрби елонгасија (m_2) вәзијјәтләри, Күнәш (C) вә Јер (T) көстәрилмишдир. Мә'лумдур ки, Меркуринин Күнәшдән ән бөјүк узаглашмасы 18°—28° арасында олур; бу узаглашманын орта гијмәтини Коперник 22°,5 гәбул етмишдир. Онда шәкил 45-дә $\angle CTm_1 = 22°,5$ олар; дикәр тәрәфдән $\angle Tm_2C = 90°$-дир. Беләликлә дүзбучаглы Δ Tm_2C-дән

$$\frac{m_2C}{TC} = \sin 22°,5 = 0,38 \ (a.в)$$

алынар. Меркуринин Күнәшдән орта мәсафәсинин мүасир гијмәти 0,387099 $\simeq$ 0,3871 а.в.-дир. Мүгајисәдән көрүрүк ки, Коперник үсулу илә алынан нәтичә мүасир нәтичәјә чох јахындыр. Аналожи гајда илә Коперник Венераја гәдәр нисби мәсафәни һесабламыш вә 0,72 а.в. алмышдыр ки, буна да ујғун ән бөјүк елонгасија 46°-дир. Күнәшдән Венераја гәдәр орта мәсафәнин мүасир гијмәти 0,7233 а.в.-дир вә бу һалда ән бөјүк елонгасијанын орта гијмәти 46° 20′-дир.

Коперник планетләрин Күнәш әтрафында доланма периодларыны да һесабламышдыр. Гејд едәк ки, планетләрин ики нөв доланма периоду вардыр: сидерик вә синодик. Сидерик период анлајыш илә § 13-дә Јерин тимсалында таныш олдуг. Билирик ки, көј чисминин башга бир көј чисми әтрафында там доланмасы үчүн лазым олан мүддәт сидерик период вә ја улдуз периодудур. *Синодик период исә көј чисминин ејни адлы конфигурасијаја вә ја фазаја ардычыл гајытмасы арасындакы вахт фасиләсидир.* Планетләрин синодик периодлары вә Јерин сидерик периоду, јә'ни улдуз илә мүшаһидәләрдән тапылыр.

Коперник планетләрин сидерик периодларыны ашағыдакы үсулла тапмышдыр. Ашағы планетин һәгиги суткалыг бучаг јердәјишмәси x° олсун; Јерин һәгиги суткалыг бучаг јердәјишмәси 0°,986-дир (әслиндә бу, орта јердәјишмәдир). Бунлар нәзәрә алынса ашағы планет сутка әрзиндә Јерә нисбәтән $(x^\circ - 0^\circ 986)$ гәдәр бөјүк гөвс чызыр. Меркуринин тимсалында сидерик периоду тапаг. Меркуринин синодик периоду 116 суткадыр. Ајдындыр ки, бу мүддәтдә Меркури Јери 360° говар вә јенидән әввәлки конфигурасијасына гајыдар,
јә'ни

$$(x^\circ - 0{,}986^\circ)\times 116^\circ = 360^\circ.$$

Бу тәнликдән $x \simeq 4{,}1$ тапылыр. Одур ки, Меркуринин сидерик периоду үчүн $\frac{360^\circ}{x} \simeq 88^d$ алыныр.

Коперник јухары планетләрин дә сидерик периодларыны бу гајда илә тапмышдыр. Лакин бу һалда нәзәрә алыныр ки, јухары планетин һәгиги суткалыг бучаг јердәјишмәси Јеринкиндән кичикдир, јә'ни планетин һәгиги суткалыг бучаг јердәјишмәси y°-дирсә, о, Јерә нисбәтән суткада $(0^\circ{,}986 - y^\circ)$ гәдәр кичик гөвс чызыр. Марсын тимсалында мәсәләјә бахаг. Марсын синодик периоду 780 сутка олдуғундан ашағыдакы тәнлији алырыг:

$$(0^\circ{,}986 - y^\circ)\times 780 = 360^\circ.$$

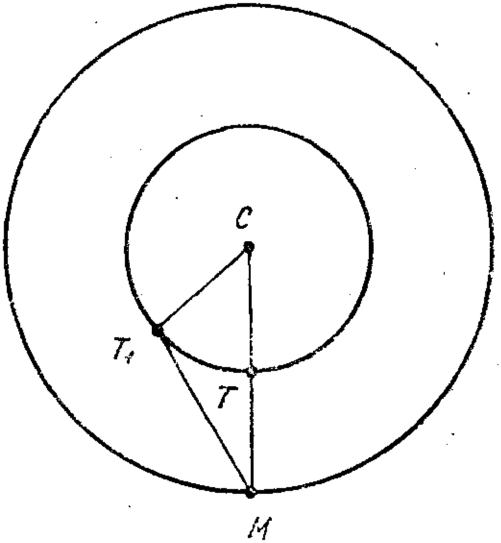
Бу тәнликдән $y \simeq 0{,}524$ тапылыр. Одур ки, Марсын сидерик периоду үчүн $\frac{360^\circ}{0{,}524} = 687$ сутка алыныр. Коперник јухары планетин сидерик периодуну биләрәк онун Күнәшдән нисби

мәсафәсини беләтапмышдыр: фәрз едәк ки, Јерин T вәзијјәтиндә Марс M гаршыдурмададыр (шәкил 46). Бир сидерик дөврдән (687 суткадан) сонра Марс там доланараг јенидән өз орбитинин M нөгтәсинә гајытмалыдыр. Анчаг бу анда Јер T нөгтәсиндә дејил, мүәјјән T_1 нөгтәсиндә олар. Ајдындыр ки, $T_1 T$ гөвсүнүн узунлуғу беләтапылыр: 687 сутка әрзиндә Јер бир там дөвр едәндән сонра өз орбитиндә 322 суткаја ујғун әлавә гөвс чызыр. Бу гөвс $0°,986 \times 322 = 318°$-дир. Башга сөзлә Јерин T_1-дән T нөгтәсинә чатмасы үчүн, $0{,}360° - 318° = 42°$-лик бучаг мәсафәси гәт етмәлидир. (шәкил 46-да $\angle T_1CM = 42°$-дир). Мүшаһидәдән тапылыр ки, бу заман Јердән Күнәшә вә Марса јөнәлән истигамәтләр арасындакы бучаг (бу бучаға да елонгасија демәк олар) 97°-јә јахындыр, јә'ни $\angle MT_1C \simeq 97°$-дир, онда

$$T_1MC = 180° - (97° + 42°) = 41°.$$

Беләликлә, ΔT_1MC-дән јазарыг:

$$\frac{MC}{T_1C} = \frac{\sin 97°}{\sin 41°} \simeq 1{,}52 \ (a.b)$$



Шәкил 46. Јухары планетин нисби һелиосентрик мәсафәсинин Коперник үсулу илә тә'јини.

Коперникин һесабламалары планетләрин һелиосентрик мәсафәләри үчүн ашағыдакы нәтичәләрә кәтирмишдир: Меркури—0,38, Венера—0,72, Јер—1,00, Марс—1,52, Јупитер—5,22, Сатурн—9,18. Бу гијмәтләр мүасир гијмәтләрә чох јахындыр (Китабын ахырындакы мувафиг чәдвәлә—II әлавәјә бах).

§ 42. СИНОДИК ҺӘРӘКӘТ ТӘНЛИЈИ

Коперникин һелиосентрик системиндән мүәјјән едилмишдир ки, Ајын, планетләрин (вә башга көј чисимләринин) сидерик, синодик периодлары вә улдуз или арасында әлагә вардыр. Планетин сидерик периоду T, синодик периоду S вә улдуз или E олсун. Ајдындыр ки, $\frac{360°}{T}$ — планетин һәгиги суткалыг бучаг јердәјишмәси, $\frac{360°}{S}$ —синодик период ваһидләри илә планетин көрүнән суткалыг бучаг јердәјишмәси, $\frac{360°}{E}$, сә Јерин суткалыг бучаг јердәјишмәси олар. Гејд едәк ки, планетин көрүнән суткалыг јердәјишмәси Јерин вә планетин өз орбитләри бојунча һәгиги суткалыг јердәјишмәсинин фәргли олмасындан ирәли кәлир. Буну да нәзәрә алмагла ашағы планетләр (һәмчинин Ај) вә јухары планетләр үчүн ујғун олараг ашағыдакы тәнликләри јазарыг:

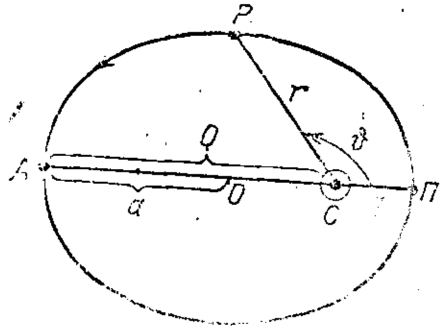
$$\frac{1}{T}-\frac{1}{E}=\frac{1}{S} \text{ вә } \frac{1}{E}-\frac{1}{T}=\frac{1}{S}.$$

Бу тәнликләрә синодик һәрәкәт тәнликләри дејилир. Јухарыдакы тәнликләри јазаркән нәзәрә алынмышдыр ки, ашағы планетләрин (вә Ајын) һәгиги (сидерик) периоду Јеринкиндән кичик, јухары планетләринки исә Јеринкиндән бөјүкдүр. S вә E-ни мүшаһидәләрдән тә'јин етмәклә мүвафиг синодик һәрәкәт тәнлијиндән T-ни тапмаг олар. (Китабын ахырында мүвафиг чәдвәлдә—IV әлавәдә, планетләрин сидерик вә синодик периодлары верилмишдир).

§ 43. КЕПЛЕР ГАНУНЛАРЫ

Биринчи ганун. *Планетләрин Күнәш әтрафында һәрәкәт орбитләри еллипсдир вә еллипсин фокусларынын бириндә Күнәш јерләшир.*

47-чи шәкилдә планетин еллиптик орбити тәсвир олунмушдур. Бу шәкилдә $АП=2a$ планет (P) орбитинин бөјүк оху, C—Күнәшин мәркәзи јерләшән фокус, $OC=c$—јарымфокал мәсафә, $П$ периһели—планет орбитинин Күнәшә ән јахын нөгтәси, A афели—планет орбитинин Күнәшдән ән узаг нөгтәси, $СП=q$—планетин периһели мәсафәси, $CA=Q$ — афели мәсафәси, $CP=r$—планетин радиус-вектору, $\angle ПCP=\vartheta$ планетин һәгиги аномалија бучағыдыр. Планетин радиус—вектору ону Күнәшлә бирләшдирән истигамәтләнмиш дүз хәтдир; һәгиги аномалија исә планетин һәрәкәти истигамәтиндә периһелидән планетә гәдәр бучаг мәсафәсидир. Ајдындыр ки, планетин радиус-вектору вә һәгиги



Шәкил 47. Кеплерин биринчи гануну.

аномалиіасы һәр бир анда планетин орбит үзәриндә вәзиііәтини биргиімәтли тә'јин едирләр. Планетин полјар координатлары адланан r вә θ арасында әлагә еллипсин фокал тәнлији васитәсилә верилир:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\theta} \qquad (3.1)$$

(3.1)-дә a—еллипсин бөјүк јарымоху—планетлә Күнәш арасындакы орта мәсафә, $e=\frac{c}{a}$ планет орбитинин екссентриситетидир.

Ајдындыр ки, планетин бир там дөвру мүддәтиндә һәгиги аномалија 360°, радиус-вектор исә периһели мәсафәси (q) илә афели мәсафәси (Q) арасында дәјишир; q вә Q ашағыдакы дүстурдан тапылыр:

$$q = a - c = a(1-e), \qquad (3.2)$$

$$Q = a + c = a(1+e). \qquad (3.3)$$

(3.2) вә (3.3)-дән орбитин бөјүк јарымоху үчүн

$$a = \frac{q+Q}{2}$$

аларыг.

Икинчи ганун. *Һәр бир планетин радиус—вектору бәрабәр заман фасиләләриндә бәрабәр саһәләр чызыр.* Бу о демәкдир ки, планетин радиус-векторунун чыздығы секторун саһәси (σ) вахт фасиләси (Δt) илә мүтәнасибдир, јахуд планетин радиус векторунун ваһид заманда чыздығы саһә (секторјал сүр'әт) сабитдир:

$$\sigma \sim \Delta t \text{ јахуд } \frac{\sigma}{\Delta t} = \text{const.}$$

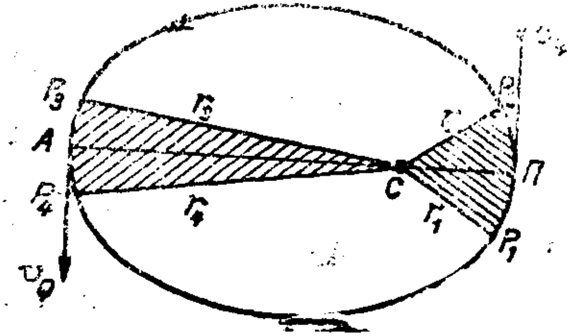
Планет орбитинин саһәси πab олдуғундан ($b=a\sqrt{1-e^2}$ орбитин кичик јарымохудур) вә бу саһә сидерик дөвр мүддәтиндә (T) чызылдығындан Кеплерин икинчи ганунуна әсасән планетин секторјал сүр'әтини

$$v = \frac{\pi a b}{T} = \frac{\pi a^2\sqrt{1-e^2}}{T}$$

шәклиндә јаза биләрик. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, *Кеплерин икинчи гануну әслиндә һәрәкәт мигдары моментинин (импулс моментинин) сахланма ганунунун хүсуси һалыдыр, чүнки* $v_q \cdot q = v_Q \cdot Q$ јаза биләрик (v_q—периһелидә, v_Q исә афелидә планетин хәтти сүр'әтидир); башга сөзлә, планет периһелидә ән бөјүк сүр'әтә, афелидә исә ән кичик сүр'әтә маликдир. Дедикләримиз 48-чи шәкилдән ајдын көрүнүр: P_1CP_2 секторунун саһәси P_3CP_4 секторунун саһәсинә бәрабәрдирсә, онлар Кеплерин икинчи ганунуна әсасән бәрабәр вахт фасиләсиндә чызылмалыдыр. Бу дәлил бизә Күнәшин еклиптика үзрә гејри-мүнтәзәм һәрәкәтиндән мә'лумдур: билирик ки, Јер периһелидә оланда Күнәшин суткалыг јердәјишмәси $n_{max}=61'$, афелидә оланда исә $n_{min}=57'$-дир. Ајдындыр ки, $v_q = q \cdot n_{max}$, $v_Q = Q \cdot n_{min}$-дур.

Бу ики бәрабәрлији $v_q \cdot b = v \cdot Q$-дә нәзәрә алмагла Јерин орбитинин екссентриситетини асанлыгла тә'јин едә биләрик ($e = 0{,}0167$).

Кеплер чох дүзкүн олараг belә бир гәнаәтә кәлди ки, планет системинин һәрәкәтиндә үмуми бир аһәнк-һармонија мөвчуддур, чүнки һәр



Шәкил 48. Кеплерин икинчи гануну.

бир планетә аид олан биринчи вә икинчи ганун бу планетләрин һәр бирининн һәрәкәтини ајрылыгда там изаһ едир. 1619-чу илдә Кеплер «Дүнјанын һармонијасы» адлы китабында бу мүлаһизәни емпирик шәкилдә өзүнүн мәшһур үчүнчү гануну кими верди.

Үчүнчү ганун. ***Планетләрин сидерик периодларынын квадратлары нисбәти онларын орбитләринин бөјүк јарымохларынын кублары нисбәти кимидир:***

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \tag{3.4}$$

јахуд

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T_3^2}{a_3^3} = \ldots = C. \tag{3.5}$$

Бурада C бүтүн Күнәш системи үчүн сабитдир вә онун әдәди гијмәти вахт вә мәсафә ваһидләринин сечилмәсиндән асылыдыр. Мәсәлән, планетин сидерик периодуну улдуз или, Күнәшдән орта мәсафәсини астрономик ваһидлә ифадә етсәк, $C = 1$ олар вә бу һалда Кеплерин үчүнчү гануну

$$T^2 = a^3 \tag{3.6}$$

шәклиндә јазылыр. Планетин сидерик периоду орта Күнәш суткалары ваһиди илә верилирсә, улдуз или $T_ж = 365{,}2564$ сутка олдуғундан бу һалда $C = (365{,}2564)^2$ олар вә (3.5)-ә әсасән Кеплерин үчүнчү гануну

$$T = 365{,}2564\, a^{3/2} \qquad (3.7)$$

шәклиндә јазылыр.

Кеплерин үчүнчү гануну планетләрин сидерик периодларына әсасән онларын Күнәшдән орта мәсафәләрини биргијмәтли тә'јин етмәјә имкан верир.

Кәләчәкдә көрәчәјик ки, Кеплер ганунлары планетләрин кинематика ганунлары чәрчивәсиндә галмыр, бу ганунларын чох дәрин динамик мә'насы олмагла јанашы олдугча кениш тәтбиг даирәси вардыр.

§ 44. ПЛАНЕТ ОРБИТИНИН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ ВӘ БУ ЕЛЕМЕНТЛӘРӘ ӘСАСӘН ПЛАНЕТИН ЕФЕМЕРИДИНИН ҺЕСАБЛАНМАСЫ

Планетин фәзада һәрәкәти онун орбитинин елементләри адланан алты кәмијјәтлә там тә'јин олунур. Бу елементләр ашағыдакылардыр (шәкил 49).

1. **Орбитин мејли.** Бу кәмијјәт Јерин вә планетин орбит мүстәвиләри арасындакы бучагдыр. Гејд етмәк лазымдыр ки, Күнәш әтрафында һәрәкәт едән көј чисимләринин, о чүмләдән, планетләрин һәрәкәти өјрәниләркән Јерин орбит мүстәвиси (еклиптика мүстәвиси) әсас мүстәви гәбул едилир. $0° < i < 90'$ оланда чисми Күнәшин әтрафында Јеринки истигамәтдә доланыр (һәрәкәт дүз олур); $90° < i < 180°$ оланда чисмин һәрәкәти әкс истигамәтдә—тәрс һәрәкәт олур (јалныз бә'зи кометләр тәрс һәрәкәт едирләр).

2. **Галхан дүјүнүн узунлуғу** Ω. Галхан дүјүн планетин вә Јерин орбит мүстәвиләринин кәсишмә хәтти олан вә орбитин дүјүнләр хәтти адланан υ хәттин о нөгтәсинин узунлуғудур ки, һәмин нөгтәдә планет еклиптик шимал јарымсфериндән чәнуб јарымсферинә кечир: шәкилдә $Л_0$ галхан дүјүндүр.

Орбитин мејли i вә галхан дүјүнүн узунлуғу Ω_0 орбит мүстәвисинин фәзада вәзијјәтини тә'јин едирләр.

3. **Периһелинин аргументи** ω. Бу елемент орбит мүстәвисиндә галхан дүјүндән чисмин һәрәкәти истигамәтдә периһелијә гәдәр бучаг мәсафәсидир.

Периһелинин аргументи ω орбитин өз мүстәвисиндә вәзијјәтини тә'јин едир.

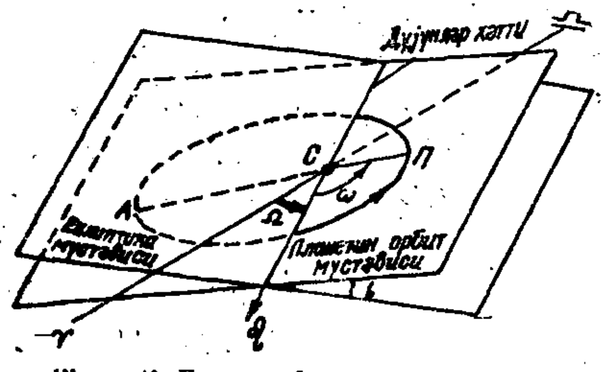
4. **Орбитин бөјүк јарымоху** a.

5. **Орбитин екссентриситети** e.

Орбитин бөјүк јарымоху a вә екссентриситети e орбитин өлчү вә формасыны тә'јин едирләр.

6. **Планетин периһелидән кечмә аны** t_0.

Китабын ахырында (III әлавә) планетләрин орбит



Шәкил 49. Планет орбитинин елементләри.

елементләринин гијмәтләри, сидерик вә синодик периодлары, орта суткалыг һәрәкәтләри вә орбит үзрә һәрәкәтин орта сүр'әтләринин гијмәтләри верилмишдир.

Кеплер планетин (Марсын) там дөвру мүддәтиндә онун мүхтәлиф анларда тә'јин олунмуш координатларына әсасән орбитинин елементләрини һесабламаг (орбити һесабламаг) вә әксинә, орбит елементләринә көрә планетин истәнилән ан үчүн көрүнән вәзијјәтини һесабламаг (ефемериди һесабламаг) үсулларыны вермишдир. Планетин орбитини һесабламағын мүасир үсуллары мөвчуддур. Кеплерин ефемериди һесабламаг үсулу илә таныш олаг.

Ефемеридин һесабланмасы ашағыдакы үч мәрһәләдән ибарәтдир:

I. Тәләб олунан ан үчүн планетин орбит мүстәвисиндә вәзијјәтини тапмаг.

II. Бу ан үчүн јерин мәркәзинә нәзәрән планетин фәза координатларыны тапмаг.

III. Бу ан үчүн планетин көрүнән вәзијјәтини тә'јин едән астрономик координатларыны (мәсәлән, екваториал координатларыны) тапмаг.

I. Тәләб олунан ан үчүн плантин орбит мүстәвисиндә вәзијјәтини тапаг.

Планетин орбит мүстәвисиндә вәзијјәтини, билдијимиз кими, онун полјар координатлары олан $CP=r$ радиус вектору вә $\angle ПСР=\theta$ һәгиги аномалијасы тә'јин едир (шәкил 50). Бу координатлары тапмаг үчүн ашағыдакы үч мәрһәләдән ибарәт әмәлијјат апармаг лазымдыр.

1). Планетин периһелидән кечмә аны t_0 (мә'лум алтынчы елемент), ефемеридә ујғун ан t, сидерик периоду T олсун.

Әкәр планет өз орбити үзрә орта бучаг сүр'әти илә чеврә бојунча мүнтәзәм һәрәкәт етсәјди, $(t-t_0)$ мүддәтиндә онун чыздығы гөвс

$$M=\frac{2\pi}{T}(t-t_0) \tag{3.8}$$

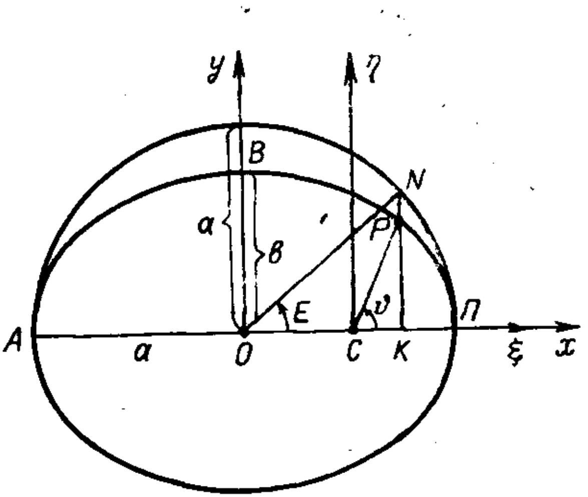
оларды. (3.8) илә тә'јин олунан M гөвсү планетин орта аномалијасы адланыр.

2) Ефемеридини һесабладығымыз планетин t вахт анында P нөгтәсиндә олдуғуну гәбул едәк (шәкил 50), јә'ни $(t=t_0)$ мүддәтиндә планетин радиус векторунун чыздығы еллиптик саһә ПСР олсун. Кеплерин икинчи ганунуна әсасән

$$\frac{S_{ПСР}}{\pi a b}=\frac{t-t_0}{T}$$

јахуд (3.8)-и нәзәрә алсаг,

$$S_{ПСР}=\frac{1}{2}M a b \tag{3.9}$$



Шәкил 50. Ефемеридин һесабланмасынын биринчи мәрһәләсинә аид шәкил.

олар. ПСР саһәси үчүн башга ифадә дә алмаг олар. Бундан өтрү 50-чи шәкилдә мәркәзи орбитин O мәркәзиндә олан а радиуслу јарым чеврә чәкәк, P-дән $AП$-јә перпендикулјар ендирәрәк, ону бу чеврә илә кәсишәнәдәк узадаг вә бу кәсишмә нөгтәсини (N-и) о мәркәзи илә бирләшдирәк. Алынан $\llcorner ПON = E$ бучағы екссентрик аномалија адланыр. Бу чүр тамамланмыш шәкилдән истифадә едәрәк $ПСР$ саһәсинин јени ифадәсини алаг. Еллипсә, онун мүстәвиси илә γ бучағы әмәлә кәтирән мүстәви үзәриндә, мәркәзи еллипсин мәркәзиндә олан бөјүк јарымоха бәрабәр радиуслу даирәнин проjексијасы кими баха биләрик (ајдындыр ки, $\cos\gamma =$ — $\frac{в}{a}$ олмалыдыр). Бу мүһакимәдән истифадә етмәклә 50-чи шәкилдән јазырыг:

$$S_{ПСР} = S_{ПКР} + S_{КСР}; \tag{3.10}$$

$$S_{ПКР} = S_{ПКN}\cdot\cos\gamma = (S_{ПОN} - S_{КОN})\cos\gamma =$$
$$= \left(\frac{a}{2}\,a\,E - \frac{OK}{2}\,a\sin E\right)\frac{b}{a} = \frac{b}{2}\,(a\,E - OK\cdot\sin E)\,;$$
$$S_{КСР} = \frac{CK}{2}\cdot NK\cdot\cos\gamma = \frac{CK}{2}\,a\sin E\cdot\frac{b}{a} = \frac{b}{2}\cdot CK\sin E$$

$S_{ПКР}$ вә $S_{КСР}$-нин ифадәләрини (3.10)-да нәзәрә алсаг,

$$S_{ПСР} = \frac{a\,b}{2}\,(E - e\sin E) \tag{3.10$'$}$$

олар. (3. 10) вә (3. 10)'-ни мүгајисәсиндән

$$M = E - e\sin E \tag{3.11}$$

аларыг. (3.11) Кеплер тәнлији адланыр. Бурада орбитин екссентриситети е орбитин бир елементи кими, мә'лумдур. М исә (3.8)-дән тапылыр. (3. 11) тәнлијинин һәлли үчүн бир сыра үсуллар вардыр. Онлардан садәси ардычыл јахынлашма (итерасија) үсулудур:

$$1)\ E_1 = M + e\sin M\text{-дән}: E_1,$$

$$2)\ E_2 = M + e\sin E_1\text{-дән}; E_2,$$

. . . .

. . . .

$$n)\ E_n = M + e\sin E_{n-1}$$

$E_n = E_{n-1}$ оланадәк һәлли давам етдирмәклә Кеплер тәнлијинин $E = E_n$ һәлли тапылыр. 50-чи шәкилдә еллипсин 0 мәркәзини координат башланғычы гәбул едәк, ОХ охуну еллипсин Күнәш дискинин мәркәзи (С) јерләшән ОП=а бөјүк јарымоху үзрә, ОУ охуну исә ОВ= =b кичик јарымоху үзрә јөнәлдәк. ХОУ координат системиндә еллипсин тәнлији

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

олар. Бу тәнлик

$$x = a\cdot\cos E,\ y = b\sin E$$

параметрик тәнликләринә еквивалентдир. ХОУ системинин 0 координат башланғычыны Күнәш дискинин мәркәзи С нөгтәсинә көчүрәк, јени системин $C\xi$ вә $C\eta$ координат охлары исә ХОУ ситеминин охларына паралел олсун. Онда

$$\left.\begin{aligned} \xi &= a\cos E - a\,e, \\ \eta &= a\sqrt{1-e^2}\sin E \end{aligned}\right\}$$

јазағыг. Бу јада нәзәрә алдыг ки, $OC = a\,e$, $OB = b = a\sqrt{1-e^2}$.

$$\xi = r\cos\theta,\ \eta = r\sin\theta$$

олдуғундан

$$\left.\begin{aligned} r\cos\theta &= a\cos E - a\,e, \\ r\sin v &= a\sqrt{1-e^2}\cdot\sin E \end{aligned}\right\} \tag{3.12}$$

јазырыг.

(3.12) дүстурларындан

$$r = a\,(1 - e\cos E). \qquad (3.13)$$

(3.13) дүстуру васитәсилә мә'лум a, e, E кәмијјәтләринә әсасән t вахт анында планетин ахтардығымыз полјар координатларындан бири олан r-и тә'јин едирләр. (3. 13). бәрабәрлијинин (3. 12) бәрабәрликләринин биринчиси илә комбинасијасындан

$$r\,(1 - \cos E) = a\,(1 + e)\,(1 - \cos E),$$

$$r\,(1 + \cos E) = a\,(1 - e)\,(1 + \cos E),$$

вә јахуд

$$\left.\begin{aligned}\sqrt{r}\,\sin\theta/2 &= \sqrt{a(1+e)}\,\sin E/2\\ \sqrt{r}\,\cos\theta/2 &= \sqrt{a(1-e)}\,\cos E/2\end{aligned}\right\}$$

алырыг вә бурада көк аларкән ики ишарәликлә әлагәдар гејри-мүәјјәнлик она көрә јаранмыр ки, $\frac{\theta}{2}$ вә $\frac{E}{2}$ һәмишә ејни рүбдәдир ($E = 180°$-јә $\vartheta = 180°$ ујғундур).

Ахырынчы ики бәрабәрликдән

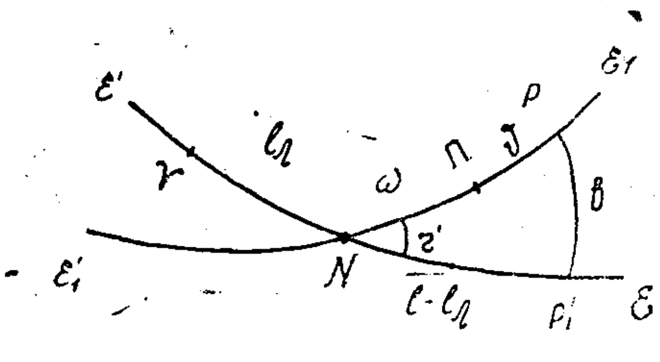
$$\operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\operatorname{tg}\frac{E}{2} \qquad (3.14)$$

алырыг ки, бу да планетин икинчи полјар координаты олан һәгиги анамалија ϑ-ны тапмаға имкан верир. *Беләликлә, мәсәләнин биринчи мәрһәләси һәлл едилмиш олур.*

II. Планетин кеосентрик дүзбучаглы фәза координатларыны тапмаг үчүн ашағыдакы әмәлијјатлар апарылыр.

1) Әввәлчә планетин һелиосентрик еклиптик енлији (b) вә узунлуғу (l) тапылыр. Бунун үчүн 51-чи шәклә мүрачиәт едәк. Бу шәкилдә $\varepsilon\varepsilon'$ еклиптика, $\varepsilon_1\varepsilon_1'$ планетин орбит мүстәвисинин көј сферасы илә кәсишдији бөјүк даирәнин ғөвсү (көј сферасынын мәркәзи Күнәшдә һесаб едилир), Υ—јазбәрабәрлији нөгтәси, N—планет орбитинин галхан дүјүнү, Π—периһелинин көј сферасына проjексијасы, P—планетин t—анында көј сферасына проjексијасы, P'—планетин еклиптикаја проjексијасы, i—орбит мүстәвисинин мејли, $\Upsilon N = \Omega$—галхан дүјүнүн узунлуғу, $\Pi P = \vartheta$—һәгиги аномалија, $N\Pi = \omega$—периһелинин аргументи, $P'P = b$—планетин t анында һелиосентрик еклиптик енлији $\Upsilon P' = l$—планетин бу анда һелиосентрик еклиптик узунлуғудур. NPP дүзбучаглы сферик үчбучаға сферик тригонометријанын мә'лум дүстурларыны тәтбиг етмәклә јазарыг:

$$\left.\begin{aligned}\cos(v+\omega) &= \cos b\cdot\cos(l-\Omega)\\ \cos i\cdot\sin(v+\omega) &= \sin(l-\Omega)\cos b\\ \sin i\,\sin(v+\omega) &= \sin b\end{aligned}\right| \qquad (3.15)$$



Шәкил 51. Ефемеридин һесабланмасынын икинчи мәрһәләсинә аид шәкил.

(3.15) тәнликләр системиндән (b, l) координатлары тапылыр.

2) Һелиосентрик дүзбучаглы фәза координат системинә бахаг (көј сферасынын мәркәзиндә, ејни заманда координат башланғычында C—Күнәш дискинин мәркәзи јерләшир). X оху јазбәрабәрлији нөгтәсинә (♈) јөнәлир, Y оху еклиптика мүстәвисиндә $l_y = 90°$ истигамәтдә вә Z оху еклиптиканын гүтбү истигамәтдә көтүрүлүр (шәкил 52). Шәкилдә P—планетин t анында өз орбитиндә вәзијјәти, r бу анда онун радиус-векторудур. Бу шәкилдән истифадә етмәклә

$$x = r\cos b\cdot\cos l,\ y = r\cos b\cdot\sin l,\ z = r\sin b \qquad (3.16)$$

јазарыг. Бурадан (x, y, z) тапылыр.

3) Охларын истигамәтини дәјишдирмәдән координат башланғычыны (еклиптика мүстәвисиндә) Јерин мәркәзинә көчүрәк. X, Y—Күнәшин Јерә нисбәтән еклиптик координатларыдырса, белә көчүрмә нәтичәсиндә о, ики истигамәтдә X, Y гәдәр јерини дәјишәр. t анында Јерлә Күнәш арасындакы мәсафә R оларса $R^2 = X^2 + Y^2$ олмалыдыр. (X, Y һәр күн үчүн Астрономик һәрилликләрдә верилир). Бу шәртләр дахилиндә t анында планетин кеосентрик дүзбучаглы фәза координатлары

$$\xi = x + X,\ \eta = y + Y,\ \zeta = z \qquad (3.17)$$

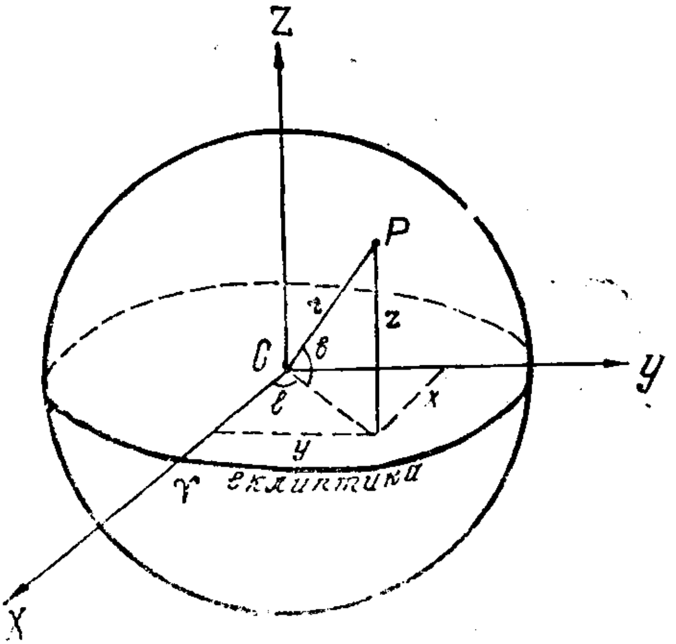
олар.

Бу гајда илә II мәрһәләдә гаршыја гојулан мәсәлә һәлл едилир.

III. **Тәләб олунан t анында көј сферасында планетин вәзијјәтини — екваториал координатларыны тапмаг** үчүн әввәлчә мә'лум (ξ, ζ, ξ) координатлары васитәсилә

$$\xi = \rho\cos\beta\cos\lambda,\ \eta = \rho\cos\beta\sin\lambda,\ \zeta = \rho\sin\beta \qquad (3.18)$$

тәнликләриндән онун кеосентрик еклиптик координатлары (β, λ) тапылыр.



Шәкил 52. Ефемеридин һесабланмасынын икинчи мәрһәләсинә аид шәкил.

Астрономик координатларын чеврилмәси гајдасындан истифадә едәрәк (3.18)-дән тапылан (β, λ) координатларындан *икинчи екваториал координатлара* (α, δ)-ја *кечмәклә планетин истәнилән t анында ефемеридини һесабламыш олуруг.*

§ 45. ОРБИТ ЕЛЕМЕНТЛӘРИНИН ҺЕСАБЛАНМАСЫ ПРИНСИПЛӘРИ

Планетин һелиосентрик фәза координатлары гејри-ашкар шәкилдә орбит елементләри илә белә ифадә олунур:

$$x = x(i, \Omega, \omega, a, e, T, t)$$

$$y = y(i, \Omega, \omega, a, e, T, t)$$

$$z = z(i, \Omega, \omega, a, e, t, T,)$$

(бурада планетин периһелидән кечмә аныны T илә ишарә етмишик, t— ихтијари мүшаһидә аныдыр).

Планетләрин орбит елементләрини

1) онун үч мүшаһидәси t_i, α_i, δ_i ($/\alpha_i, \delta_i/$ — t_i мүшаһидә анында планетин екваториал координатлары) мә'лум оларса,

2) верилән һәр һансы t_0 анында онун һелиосентрик вәзијјәти $/\vec{r^0}/$ вә сүр'әти $/\dot{\vec{r_0}}/$ мә'лум оларса,

3) онун ики $/t_1$ вә $t_2/$ анда һелиосентрик вәзијјәти $/\vec{r_1}$ вә $\vec{r_2}/$ мә'лум оларса һесабламаг олар.

Планет орбитинин елементләрини онун үч мүхтәлиф анда мүшаһидәләринә әсасән һесабламаг үсулу јухарыдакылар ичәрисиндә илкинидир; бу үсулу Лагранж вә Гаусс вермиш вә бунунла да бөјүк аддым атмышлар. Һәмин үсул азачыг дәјишикликлә инди дә кениш јајылмыш үсул олараг галыр. Үмумијјәтлә, екваториал координатларын орбит елементләри васитәсилә ријази ифадәләри чох мүрәккәб олдуғундан Лагранж вә Гаусс мәсәләни һәлл етмәјин долајы јолуну тапмышлар.

Һәр бир t анында мүшаһидәдән планетин α, δ екваториал координатлары тапылыр. Үч мүшаһидәдән доггуз асылы олмајан кәмијјәт алыныр (үч ан вә алты координат). Бу, исә үч мүшаһидә анларында планетин үч r_1, r_2, r_3 кеосентрик мәсафәсини вә сонра да орбитин алты елементини тапмаға имкан верир. Әмәлијјат ашағыдакы ардычыллыгла апарылыр:

Әввәлчә гурулан тәнликләрдән орбитин елементләри чыхарылыр вә ардычыл јахынлашма үсулу илә кеосентрик мәсафәләр тапылыр. Кеосентрик мәсафәләрдән һелиосентрик мәсафәләрә кечилир, јә'ни мүшаһидә анларында планетин радиус—вектору һесабланыр. Бундан сонра планетин һелиосентрик координатларына әсасән онун орбитинин елементләри тапылыр.

Ән чәтин мәсәлә планетин кеосентрик мәсафәсини тапмагдыр. Лакин Ајын вә бир сыра планетин кеосентрик мәсафәси һазырда радиолокасија васитәсилә чох бөјүк дәгигликлә тәјин олунур. Одур ки, објектләрин орбитләрини үч мүшаһидәјә көрә һесабламаг проблеми хејли дәрәчәдә асанлашмыш вә дәгигләшмишдир.

§ 46. АЈЫН ҺӘРӘКӘТИ, ОРБИТИ, ФАЗАЛАРЫ, ДӨВРЛӘРИ ВӘ ЛИБРАСИЈАЛАРЫ

1. Ајын һәрәкәти вә орбити. Јерин јеканә тәбии пејки олан Ај бәрк сәтһә малик күрәви сојуг көј чисмидир. Ајын радиусу 1738 км-ә, јахуд 0,2725 екваториал Јер радиусуна, күтләси $\frac{1}{81,30}$ Јер күтләсинә бәрабәрдир. Ајла Јер арасындакы орта мәсафә 384400 км-дир. Ајын күтләси Јеринкиндән чәми 80 дәфә кичик олдуғундан чох вахт Јер—Ај системинә гоша планет системи кими дә бахырлар. Ај да Күнәш системинин дикәр чисимләри кими Күнәш тәрәфиндән ишыгланыр.

Ајын ади мүшаһидәләриндә ики чәһәт диггәти өзүнә даһа чох чәлб едир:

1) Ај гәрбдән шәргә тәрәф, јә'ни Јерин фырланмасы истигамәтдә өз јерини зодиак бүрчләри фонунда даим дәјишир; 2) Ај мүхтәлиф шәкилдә көрүнүр.

Ајын көј сферасында орта суткалыг јердәјишмәси 13°, 2-дир. Одур ки, *Ајын Јер әтрафында сидерик ај адланан орта доланма дөврү үчүн*

$$T = \frac{360°}{13°2} = 27^d,\ 3217 = 27^d\, 7^h 43^m 11^s{,}47$$

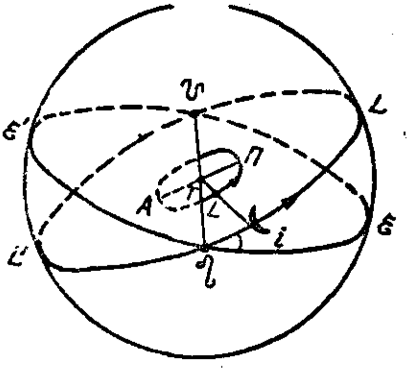
аларыг. Сидерик ајын узунлуғу сабит галмыр; сидерик ај орта узунлуғундан $\pm 7^h$-а гәдәр фәргләнә биләр. Ај Јерин пејки олдуғундан онун һәрәкәтини идарә едән гүввә Јерин чазибә (гравитасија) гүввәсидир, Күнәшин чазибәси исә Ајын һәрәкәтини сарсыдан гүввәдир (бах §§ 50, 56). Ајын һәрәкәтинин чидди сарсынмасы нәтичәсиндә мүхтәлиф һадисәләр баш верир. Бунлар Ај һәрәкәтинин бәрабәрсизликләри адланыр.

Сидерик ајын узунлуғунун сабит галмамасы, бу бәрабәрсизликләрдән биридир.

Ајын Јер әтрафында һәрәкәти еллипс бојунчадыр вә Јер бу еллипсин фокусларынын бириндәдир. Ајын орбит мүстәвиси еклиптика илә орта һесабла $i = 5°9'$-лик бучаг тәшкил едир. Ајын орбитал һәрәкәтинин көј сферасына проjексијасы бөјүк даирәдир вә бу даирә онунла ики диаметрал экс нөгтәдә кәсишир. 53-чү шәкилдә көј сферасы, еклиптика ($\varepsilon\varepsilon'$), Ајын көј сферасында сидерик периодла чыздығы бөјүк даирә *(LL')*, бу ики даирәнин кәсишдији хәтт (☊☋), фокусларындан бириндә Јерин мәркәзи (T) јерләшән Ај орбити көстәрилмишдир ☊☋ хәттинә Ај орбитинин дүјүнләр хәтти, бу хәттин уч нөгтәләринә исә дүјүнләри дејилир. Ај еклиптикаја нәзәрән көјүн чәнуб јарымсфериндән шимал јарымсферинә кечәркән шәкилдәки ☊ дүјүнүндән кечир ки, буна галхан дүјүн дејилир, диаметриал әкс дүјүн (☋) исә енән дүјүн адланыр.

Ај орбитинин Јерә ән јахын нөгтәси перикеј *(П)*, ән узаг нөгтәси исә апокеј *(А)* адланыр. $q = ПТ$—Ајын перикеј, $Q = AT$ исә апокеј мәсафәсидир. Шәкилдә Ај орбити вә *LL* бөјүк даирәси үзәриндә көстәрилән охлар ујғун олараг Ајын *(L)* өз орбитиндә һәгиги вә онун (*L*) көј сферасында көрүнән һәрәкәт истигамәтләридир.

Ајын һәрәкәтинин сарсынмасы нәтичәсиндә дүјүнләр хәтти орбит мүстәвисиндә Ајын доланма истигамәтиндә даим чеврилир вә бу хәттин там чеврилмә дөврү 18,61 илә вә ја 18 ил 7 аја (6798 суткаја) бәрабәрдир. Беләликлә, ај дүјүнләри Ајын һәрәкәтинин гаршысына доғру бир сидерик ајда 1,°5 сүрүшүр. Гејд едәк ки, һәр бир дүјүн өз орта вәзијјәти әтрафында 1°, 26 амплитудла рәгс едир. Дүјүнләрин тәрс һәрәкәт истигамәтиндә еклиптика үзрә



Шәкил 53. Ајын өз орбитиндә вә көј сферасында һәрәкәтинин еклиптикаја нәзәрән тәсвири.

сүрүшмәси нәтичәсиндә Ајын мүшаһидә шәраити дә дәјишир. Белә ки, галхан дүјүн јазбәрабәрлији нөгтәси илә үст-үстә дүшәндә бир сидерик ајда Ајын мејли

$$\delta_{☾} = \pm(\varepsilon + i) \simeq \pm(23°26' + 5°9') = \pm 28°35'$$

дәјишдији һалда енән дүјүн јазбәрабәрлији нөгтәси илә үст-үстә дүшәндә бу мејлин дәјишмәси.

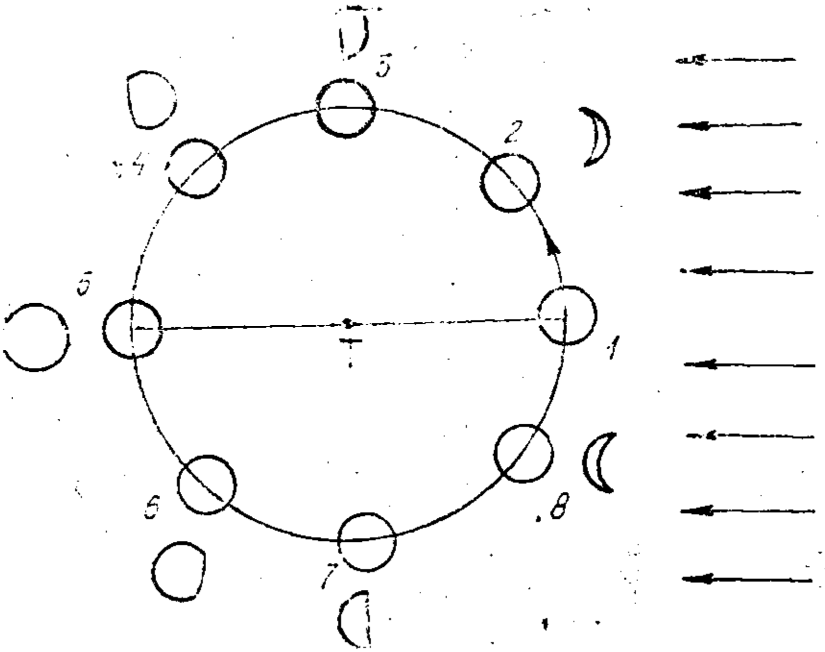
$$\delta_{☾} = \pm(\varepsilon - i) \simeq \pm 18°17' \text{ олур.}$$

Ајын орбити Ајын һәрәкәт истигамәтиндә өз мүстәвисиндә тәгрибән сабит сүр'әтлә фырланыр (8 ил 10 ај дөврлә) вә бу сәбәбдән перикеј Ајын һәрәкәти истигамәтиндә даим сүрүшүр.

Јухарыда һаггында данышылан һадисәләр ај бәрабәрсизликләриндәндир.

Ајын һәрәкәтиндәки мүрәккәблијин ики сәбәби вардыр: 1) Ајын һәрәкәтини сарсыдан гүввә—Күнәшин чазибә гүввәси чох бөјүкдүр (бах § 56); 2) Ај јерә ән јахын көј чисми олдуғундан башга көј чисимләринә нисбәтән онун һәрәкәтиндәки инчәликләр даһа чох көзә чарпыр. Ајын јердән олан мәсафәси дәјишдијиндән онун үфүги екваториал параллаксы вә көрүнән бучаг радиусу да дәјишир. Белә ки, $P_{☾}$: (61′ 31″—53′ 55″), $\rho_{☾}$: (16′ 46″—14′ 40″). Бу кәмијјәтләрин орта гијмәтләри $P_{☾}$ = 57′,0 вә ρ = 15′ 43″-дир. Ај орбитинин ексцентриситетинин орта гијмәти e = 0,0549-дур.

2. **Ајын фазалары (сәфһәләри).** *Ајын Јердән мухтәлиф шәкилләрдә көрүнмәси онун фазалары адланыр.* Даһа дәгиг десәк Ајын көрүнән парлаг һиссәсинин ән бөјүк енинин (d) онун диаметринә (D) нисбәти $\phi = \frac{d}{D}$ Ајын фазасы адланыр (бах § 40). $\phi = 0$ оланда Ај Јердән көрүнмүр. $0 < \phi < 0{,}5$ олдугда о, ораг шәклиндә, $\phi = 0{,}5$ олдугда јарымдаирә, (һәр ики һалда габарыг һиссәси сағ вә ја сол тәрәфдә олмагла) $0{,}5 < \phi < 1$ олдугда бир тәрәфи (сол вә ја сағ тәрәфи) кәсик даирә, $\phi = 1$ олдугда исә там даирә шәклиндә көрүнүр. Ајын фазалары, Јер вә Күнәшин гаршылыглы вәзијјәтиндән асылыдыр. 54-чү шәкилдә мәркәзиндә Јер (Т) јерләшән Ајын садәлик үчүн даирә гәбул едилмиш орбити, Күнәшин истигамәтинә ујғун паралел шүалар, Ајын өз орбитиндә 1—8 вәзијјәтләри көстәрилмишдир. Ај 1 вәзијјәтиндә оланда о, Јерлә Күнәшин арасында јерләшир, бу заман онун Күнәш тәрәфиндән ишыгланан јарымкүрәси мүшаһидәчидән экс тәрәфә (Күнәшә тәрәф) олдуғундан о, Јердән көрүнмүр; бу вәзијјәт *тәзә ај* адланыр. Тәзә ајдан 2—3 күн сонра Ај үфүгүн гәрб тәрәфиндә габарыг тәрәфи сағa—Күнәшә тәрәф олан ораг шәклиндә ахшамдан көрүнүр (2 вәзијјәти); тәзә ајдан тәгрибән бир һәфтә сонра—Ај 3 вәзијјәтиндә оланда Ај—Јер вә Ај—Күнәш истигамәтләри перпендикулјар олур. Тәпәси Ајда олан, Јерә вә Күнәшә јөнәлән истигамәтләр арасындакы бучаг фаза бучағы (Ψ) адланыр. 1 вәзијјәтиндә $\Psi = 180°$, 3 вәзијјәтиндә исә $\Psi = 90°$ олур; Ајын бу вәзијјәтиндә о, *биринчи рүбдәдир* дејирләр; бу дөврдә Ај күндүз доғур, ахшам чәнубда олур, кечә батыр, сол тәрәфдән



Шәкил 54. Ајын фазалары.

кәсилмиш јарымдаирә шәклиндә көрүнүр. Биринчи рүб вәзијјәтиндән сонра Ајын көрүнән өлчүсү бөјүјүр (4 вәзијјәти) вә тәгрибән бир һәфтәдән сонра Ај, 5 вәзијјәтинә чатыр. Бу заман Јер Ајла Күнәшин арасында олур вә бу вәзијјәтдә $\Psi=0^\circ$-дир. Ајын Күнәш тәрәфиндән ишыгланан јарымкүрәси тамамилә Јерә јөнәлир вә Ај там диск шәклиндә көрүнүр; Ајын бу вәзијјәтинә *бәдирләнмиш* вә ја *долу ај* дејилир; бу дөврдә Ај демәк олар ки, Күнәш батан кими үфүгүн шәрг тәрәфиндә доғур, кечә чәнубда олур. Күнәш доғана јахын батыр. Күнләр кечдикчә Ај геч доғур, онун диски сағ тәрәфдән кичилир (6 вәзијјәти) вә бәдирләнмиш ајдан тәгрибән бир һәфтә сонра Ај 7 вәзијјәтиндә олур; бу заман $\Psi=90^\circ$ олур вә Ај бу вәзијјәтдә *ахырынчы рүбдәдир* дејирләр, бу дөврдә Ај сағ тәрәфдән кәсилмиш јарымдаирә кими кечәјарысы доғур, Күнәш доғанда чәнубда олур, күндүз батыр. Нөвбәти күнләр Ај сағ тәрәфдән кетдикчә кичилән (габарыг тәрәфи солда олан) ораг шәклиндә көрүнүр (8 вәзијјәти). Күнәш доғмаздан аз әввәл шәргдә доғур вә ишыг икән батыр вә нәһајәт ахырынчы рүбдән тәгрибән бир һәфтә сонра јенидән Ај тәзәләнир.

Ајын ејни адлы фазаја ардычыл гајытмасы арасындакы мүддәтә онун синодик дөврү дејилир вә бу дөвр синодик ај (S) адланыр. Синодик ај сидерик ајдан узундур. Бунун сәбәби Ајын Јер әтрафында сидерик дөврлә доланмасы илә јанашы, онун Јерлә бирликдә Күнәш әтрафында улдуз илинә бәрабәр *(E)* дөврлә һәрләнмәсидир. Дедикләримизи 55-чи шәкилдә ајдын көрүрүк; шәкилдә *C*—Күнәш, *T*—Јер, *L*—Ајдыр,

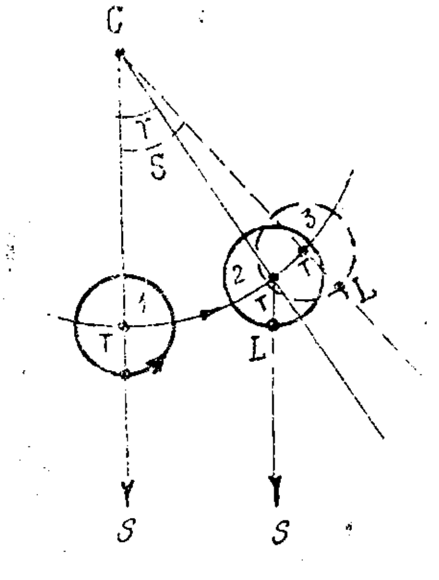
үч кичик даирә үч анда аj орбитинин jер орбитиндә вәзиjjәтидир. 1-чи вәзиjjәтдә бәдирләнмиш аj олсун вә бу заман Jердән S улдузуна jөнәлмиш истигамәт, һәм дә Аjдан кечсин. Бир сидерик дөврдән сонра (шәкилдә бу дөврә тәпәси C-дә олан Т бучағы уjғундур) Аjын орбити 2 вәзиjjәтиндә олур. Бу вәзиjjәтдә Аj јенидән Jердән һәмин S улдузуна jөнәлмиш истигамәтә гаjыдыр, анчаг һәлә долу аj олмур. Долу аjын олмасы үчүн Jер (Аjла бирликдә) өз орбитиндә бир гәдәр jол гәт етмәлидир (3 вәзиjjәтинә чатмалыдыр); мәһз бу jолу кетмәк үчүн сәрф олунан вахты сидерик дөврүн үзәринә кәлмәклә синодик дөврү аларыг. Бу дөврә уjғун бучаг, тәпәси C-дә олан S-дир; (буну улдузун ишарәси илә гарышдырмаjаг). Синодик һәрәкәт тәнлиjиндән билирик ки, Аj үчүн бу тәнлик ашағы планетләринки кимидир вә $\frac{1}{T} - \frac{1}{E} = \frac{1}{S}$ шәклиндә jазылыр (бах § 42).

Әслиндә мүшаһидәләрдән E вә S тапылыр вә бу тәнликдән T һесабланыр. Синодик аjын орта узунлуғу

$$S = 29^d\,12^h\,44^m\,29^s = 29^d{,}53059 \simeq 29^d{,}5\text{-ди}\ ;$$

лакин Jер вә Аj өз орбитиндә гејри-мунтәзәм һәрәкәт етдикләриндән синодик аjын узунлуғу бу орта узунлугдан фәргләнә биләр, башга сөзлә $29^d{,}28 - 29^d{,}78$ арасында дәjишир.

3. **Аjын башга доланма дөврләри.** Биз Аjын сидерик вә синодик дөврләри илә артыг таныш олдуг. Аjын бәрабәрсизликләри илә әлагәдар олараг онун бир чох башга доланма дөврләри дә вардыр:



Шәкил 55. Синодик вә сидерик аjларын фәргли олмасынын тәсвири.

а) Аj дүjүнләри аj орбити боjунча онун һәрәктинин әкси истигамәтдә сидерик аjын узунлуғуна бәрабәр мүддәтдә 1°, 5 сүрүшдүjүндән нөвбәти галхан дүjүнә Аj бир гәдәр тез чатыр: *Аjын ардычыл олараг ејни адлы дүjүндән кечмә мүддәти* $T - \frac{1{,}5}{13{,}2} = 27^d{,}2122 \simeq 27^d{,}21$ *әждаһа аjы адланыр.*

б) Аj орбитинин перикеjи Аjын һәрәкәти истигамәтдә тәгрибән сабит сүр'әтлә даим сүрүшдүjүндән Аj нөвбәти перикеjә сидерик аj тамам оландан бир гәдәр сонра чатыр; *Аjын ики ардычыл перикеjдән кечмә мүддәти аномалиjа аjы адланыр вә бу аjын узунлуғу* $27^d{,}55$*-дир.*

в) Фырланма охунун прессесиjасы нәтичәсиндә Аjын кеосентрик еклиптик узунлуғунун 360° дәjишмәси үчүн сәрф олунан вахт

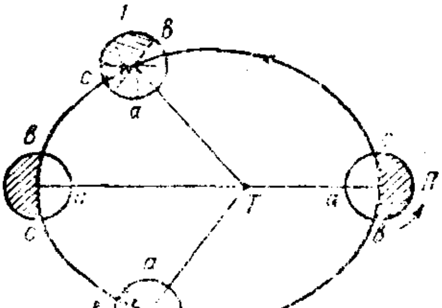
фасиләси сидерик ајдан 7^s гыса олур вә *бу вахт фасиләсинә тропик ај дејилир.*

Ајын нисби һәрәкәтләринин бу гәдәр чох сајда олмасы Ајын һәрәкәтиндәки мүрәккәблијин тәзаһүрләриндәндир.

4. Ајын либрасијалары. Ај өз оху әтрафында Јерин әтрафына доландығы истигамәтдә сидерик аја бәрабәр дөврлә фырландығындан, (Ајын фырланмасы синхрон олдуғундан) Јердән Ајын һәмишә ејни јарымкүрәси (үзү) көрүнүр. Әслиндә оптик либерасија (либерасија—јелләнмәк демәкдир) адланан еффектләр нәтиҹәсиндә Јердән Ај сәтһинин 59%-ни көрмәк олур. Буну изаһ етмәздән әввәл Ајын фырланмасынын бә'зи ҹәһәтләри илә таныш олаг. Ајын екватору еклиптика илә 1°30′, орбит мүстәвиси илә 6°39′-лик буҹаг әмәлә кәтирир вә һәр үч мүстәви бир дүз хәтт үзрә кәсишир. Беләликлә, Ајын фырланма оху онун орбит мүстәвиси илә орта һесабла 83° 21′ буҹаг тәшкил едир вә дүјүнләр хәтти илә бирликдә 18,61 ил дөврлә фәзада коник сәтһ ҹызыр (Ајын оху прессесија едир; бах § 60).

Ајын фырланма оху орбит мүстәвисинә мејилли олдуғундан Ајын каһ шимал, каһ да ҹәнуб гүтбү Јердән көрүнүр—елә бил ки, Ај гүтбләрдән кечән меридианлар үзрә јелләнир; бу һадисәјә *енлик үзрә оптик либрасија* дејилир; бу либрасијанын ән бөјүк гијмәти 6°39′-дир вә периоду әждаһа ајына бәрабәрдир.

Кеплерин икинҹи ганунуна әсасән Ајын орбитал сүр'әти сабит галмыр, онун перикејдә хәтти сүр'әти $v_ч = 1{,}08$ км/сан, апокејдә исә $v_Q = 0{,}97$ км/сан-дир (орта сүр'әт $v_a = \frac{2\pi a}{T} = 1{,}02$ км/сан-дир). 56-ҹы шәкилдә Ајын еллиптик орбити вә бу орбитдә онун дөрд вәзијјәти көстәрилмишдир. Ај перикејдә (П) оланда Јердән (Т) онун дискинин мәркәзинә јөнәлмиш истигамәт Та олсун; перикејдән чыхан Ај 1/4 сидерик дөврдән сонра орбитал јолунун 1/4-индән бир гәдәр чох мәсафә гәт едәр вә 1 вәзијјәтинә кәләр; бу заман дискин әввәлки мәркәзи Ај дискинин мәркәзинә јөнәлмиш истигамәтдән бир гәдәр солда галар, демәли, Ајын гәрб тәрәфиндә онун көрүнмәјән јарымкүрәсинин кичик бир гисми көрүнәр. Ај апокејдә (А) олдугда Јердәки мүшаһидәчи ејнилә онун перикејдә олдуғу јарымкүрәсини көрәр; апокејдән ¼ период кечәндән сонра Ај јолунун ¼-индән бир гәдәр аз һиссәсини гәт едәр вә 2 вәзијјәтиндә олар; бу заман ај дискинин әввәлки мәркәзи сағда галар, демәли Ајын шәрг тәрәфиндә онун көрүнмәјән кичичик бир гисми көрүнәр. *Ајын өз орбитиндә гејри-мүнтәзәм һәрәкәти нәтиҹәсиндә ај сәтһинин әлавә гисминин көрүнмәси*



Шәкил 56. Узунлуг үзрә Ајын либрасијасы.

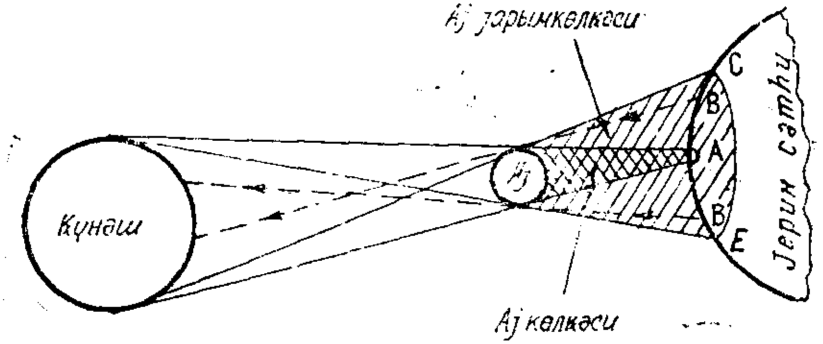
кими јаранан еффектә узунлуг үзрә оптик либрасија дејилир; бу либрасијанын ән бөјүк гијмәти 7°54′, тәкрарланма периоду исә аномалија ајына бәрабәрдир.

Бу әсас оптик либрасијалардан башга Јер екваторунун бир нөгтәсиндә бәдирләнмиш ај чыханда диаметриал әкс тәрәфдә батдығындан параллактик јердәјишмә нәтиҹәсиндә биринҹи мүшаһидәчи Ајын сағгәрб тәрәфдән, икинҹи мүшаһидәчи исә сол-шәрг тәрәфиндән чох кичик (1°) әлавә саһә көрәр.

Гејд етмәк лазымдыр ки, бүтүн бу оптик либрасијаларла јанашы Ајын физики либрасијасы да вардыр; белә ки. Ај периоду аномалија ајына бәрабәр олан чох кичик амплитуд илә һәгигәтән нечә дејәрләр јелләнир. Бунун сәбәби ај орбитинин бөјүк охунун дөврү олараг Ај—Јер мәркәзләри истигамәтиндән азачыг (~2″) кәнара чыхмасы вә Јерин бу оху нормал истигамәтә гајтармаға чалышмасыдыр.

§ 47. КҮНӘШ ТУТУЛМАЛАРЫ ВӘ БУ ТУТУЛМАЛАРЫН БАШ ВЕРМӘ ШӘРТЛӘРИ

Ај сәмада һәрәкәт едәркән мүхтәлиф көј ҹисимләринин гаршысындан кечәрәк онлары өртүр. Ајын Күнәшин гаршысыны гисмән вә ја там өртмәсинә Күнәш тутулмасы дејилир. Бу анҹаг о вахт ола биләр ки, Ај Јерлә Күнәшин арасында јерләшсин, јә'ни *тәзә ај олсун.* Лакин Ајын орбит мүстәвиси еклиптиканын үзәринә дүшмәдијиндән *һәр тәзә ајда Күнәш тутулмур. Тәзә ај фазасында о заман Күнәш тутулмасы һадисәси баш верир ки, Ај өз орбитинин дүјүнләриндән бириндә, ја да ондан мүәјјән јахын мәсафәдә јерләшсин.* Күнәш тутулмалары шәртләринә бахмаздан әввәл шәкил 57-јә нәзәр салаг. Бу шәкилдә Күнәш, Ајын тәзә ај вәзијјәти, Јерин сәтһи, тәпәси Јерә тәрәф јөнәлән ај көлкәси (икигат штрихләнән Ај—А зонасы), тәпәси Аја тәрәф јөнәлән ај јарымкөлкәси конусу тәсвир олунмушдур. Ајын көлкәси дүшән мәһәлдә (А-да) там күнәш тутулмасы, јарымкөлкә дүшән мәһәлләрдә исә (АС вә АЕ-дә) гисмән күнәш тутулмасы олур, Ајын көлкә вә јарымкөлкә зо-



Шәкил 57. Күнәш тутулмасы.

лағынын ени Аj, Јер вә Күнәшин гаршылыглы мәсафәләриндән асылыдыр: Аj көлкәсинин вә ја јарымкөлкәсинин ени бу көj чисимләринин ән јахын гаршылыглы мәсафәләриндә ән бөјүк, ән узаг мәсафәләриндә исә ән кичикдир. Аj көлкәсинин ән бөјүк ени 270 км, јарымкөлкәсининки исә 6750 км-дир. Әксәр һалда аj көлкәсинин ени (40÷100) км олур.

Аj—Јердән вә Јер исә Күнәшдән орта мәсафәдә оланда Аjын бучаг диаметри Күнәшинкиндән кичик олур. Бу һалда Аjын диски Күнәши там өртә билмир—там тутулма әвәзинә *һәлгәви тутулма баш верир* (күнәш дискинин кәнарлары ишыгланыр). Аjдындыр ки, Аj апокеjдә, Јер исә периһелидә оланда һәлгәви тутулма даһа еффектив олур (белә тутулма декабрын ахыры, јанварын әввәлләриндә олур). Там вә һәлгәви Күнәш тутулмасы мәркәзи тутулма адланыр.

Там тутулманын ән чох давам етмә мүддәти $7^m\ 31^s$ олур вә бу, анчаг Јерин екваторунда көрүнә биләр. Белә тутулма VII јүзилликдән бу күнәдәк олмаjыб вә XXIII јүзиллијин әввәлинәдәк баш вермәјәчәк. $7^m\ 29^s$ давам едәчәк, там Күнәш тутулмасы 2186-чы илин 16 ијулунда олачагдыр.

Һәлгәви күнәш тутулмасы ән чоху $12,^m3$, гисмән тутулма $3^h,5$, әксәр һалда исә $2^h,5$ давам едә биләр. Мәркәзи тутулма, адәтән, 2—3 дәгигә давам едир.

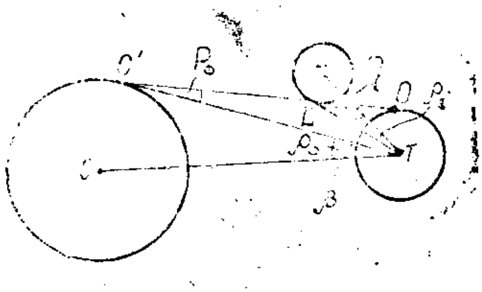
Јухарыда геjд етдик ки, Аjын орбит мүстәвиси еклиптика үзәринә дүшмәјәрәк онунла мүәјјән i бучағы (орта һесабла $i \sim 5°9$) әмәлә кәтирдијиндән күнәш тутулмасынын баш вермәсиндән өтрү мүәјјән шәртләр олмалыдыр; һәр шеjдән әввәл тәзә аj сәфһәси аj орбитинин дүјүнләриндән бириндә, ја ондан мүәјјән мәсафәдә баш вермәлидир. Бу шәртләри мүәјјәнләшдирмәк үчүн 58-чи шәклә мүрачиәт едәк. Бу шәкилдә Күнәшин, Јерин вә Аjын дискләри, онларын ујғун олараг C, T, L мәркәзләри вә мувафиг бучаглар көстәрилмишдир: $\angle TC^1O = P_\odot$ —Күнәшин параллаксы. $\angle TL'O = P_{(\!(}$—Аjын параллаксы, $\angle CTC' = \rho_\odot$ —күнәш дискинин бучаг радиусу, $\angle LTL' = \rho_{(\!(}$—аj дискинин бучаг радиусудур; β βбучағы Аjын кеосентрик еклиптик енлијидир. Шәкилдән аjдындыр ки, $= \rho_{(\!(} + \rho_\odot + P_{(\!(} - P_\odot$-дир. 59-чу шәкилдә еклиптика гөвсү ($\mathscr{E}\mathscr{E}'$), Аj орбитинин көj сферасына проjексија гөвсү $(L'L)$, Күнәшин (С) вә Аjын (L) вәзијјәтләри көстәрилмишдир. Бу шәкилдән аjдындыр ки, $CL = \beta$ Аjын кеосентрик еклиптик енлијидир. Күнәшин аj орбитинин галхан дүјүнүндән мәсафәси $cЛ = \Delta\lambda$ олсун. Бу шәкилдәки дүзбучаглы сферик үчбучаға (1.4) вә (1.5) дүстурларыны тәтбиг етмәклә јазарыг:

$$\sin \Delta\lambda = \mathrm{tg}\beta \cdot \mathrm{ctg} i$$

$\rho_\odot$, $\rho_{(\!(}$ вә $P_\odot$ - нын ән бөјүк гијмәтләриндә ($\rho_{(\!(} = 16',3$, $\rho_\odot = 16,8$, $\rho_{(\!(} = 61',5$) $\beta = 94,'5$ олар.
Онда јухарыдакы дүстурдан $\Delta\lambda = 18°$ аларыг, $\rho_{(\!(}$, $\rho_\odot$ вә $P_{(\!(}$ - нын ән кичик гијмәтләриндә ($\rho_\odot = 15,'8$, $\rho_{(\!(} = 14,'7$, $P_{(\!(} = 53,'9$) исә $\beta = 84,'4$ олар вә јухарыдакы дүстурдан $\Delta\lambda = 16°$ аларыг.
$\Delta\lambda$ - нын бу мувафиг гијмәтләриндән көрүнүр ки, тәзә аj сәфһәси бу

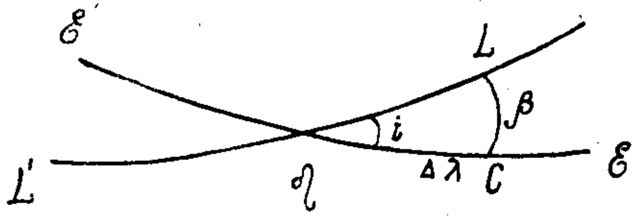
вә ја дүкәэ дүјүндән $\Delta\lambda = 18°$ - дән бәјүк олмајан мәсафәдә баш верәрсә Күнәш гисмән тутула биләр, $\Delta\lambda \leqslant 16°$ - дә исә белә тутулма һөкмән баш вермәлидир.

Там вә һәлгәви күнәш тутулмасы о заман баш верә биләр ки, тәзә ај заманы ај дискинин јухарысы кәнара ы $C'O$ дүз хәттинә тохунан олсун (58- чи шәкилдә ај дискинин ашағы- L' кәнары бу хәттә тохунандыр). Бу һалда $\beta = \rho_{☾} - \rho_{\odot} + P_{☾} - P_{\odot}$ олар. Һесабламаг чәтин дејил ки, онда $\Delta\lambda > 11°$ оларса тәзә ајда мәркәзи тутулма мүмкүн дејил, $\Delta\lambda \leqslant 10,°1$ оланда исә мәркәзи тутулма һөкмән олмалыдыр, өзү дә $\Delta\lambda$ кичилдикчә тутулманын максимум фәзасы вә мүддәти бөјүјәр.



Шәкил 58. Күнәш тутулмасы шәртләринин тәсвири.

Еклиптиканын күнәш тутулмасы мүмкүн олан һиссәсинә тутулма зонасы дејилир. Беләликлә гисмән тутулма үчүн бу зона $(2\Delta\lambda)$ һәр бир дүјүн әтрафында 32°-дән 36°-дәк, мәркәзи тутулма үчүн исә 20°2-дән, 22°-дәкдир. Билирик ки, Күнәшин орта суткалыг јердәјишмәси гәрбдән шәргә доғру $\sim 1°$-дир. Дүјүнләр исә бу истигамәтин әксинә суткада 0°, 053 сүрүшүр. Одур ки, һәр бир гисмән тутулма зонасыны Күнәш 31—34 сутказа гәт едир. Тәзә ај исә һәр 29,5 суткадан бир тәкрарланыр. Демәли, *һәр бир дүјүн әтрафында мүтләг бир гисмән тутулма олмалыдыр, ики гисмән тутулма исә ола биләр* (зонанын башланғычында вә сонунда; әлбәттә, бу һалда фаза кичик олар). *Мәркәзи тутулмаја кәлинчә о һеч баш вермәјә дә биләр;* мәркәзи тутулма зонасынын узунлуғу 22°-дир вә Күнәшин бу гәдәр сүрүшмәси үчүн 22 сутка вахт лазымдыр ки, бу да синодик ајдан гысадыр.

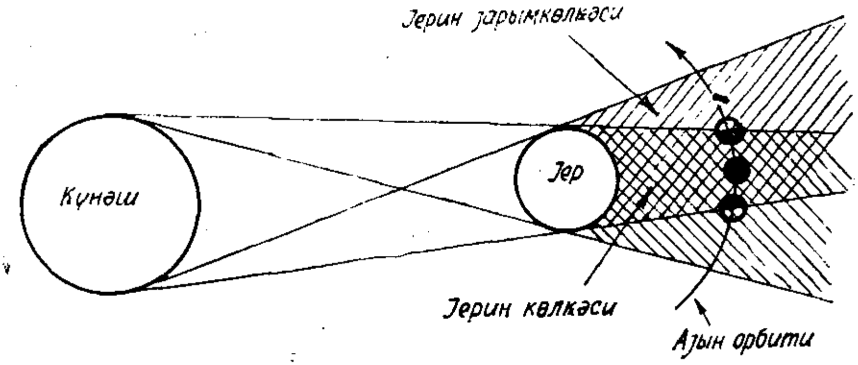


Шәкил 59. Күнәш тутулмасы заманы Ајын (L) вәзијјәти.

§ 48. АЈ ТУТУЛМАЛАРЫ ВӘ БУ ТУТУЛМАЛАРЫН БАШ ВЕРМӘ ШӘРТЛӘРИ

Јерин Ајын гаршысыны гисмән вә ја там өртмәсинә ај тутулмасы дејилир. Бу анчаг о вахт ола биләр ки, Јер Ајла Күнәшин арасында олсун, јә'ни *долу ај сәфһәси олсун.* Лакин Ајын орбит мүстәвиси еклип-

тиканын үзәринә дүшмәдијиндән *һәр долу ајда Ај тутулмур. Ај тутулмасы һадисәси о долу ајда олар ки, Ајын бу фазасы ај орбитинин дүјүнләриндән бириндә (бу надир һалдыр), ја ондан мүәјјән мәсафәдә баш версин.* Ај тутулмалары шәртләринә бахмаздан әввәл 60-чы шәклә нәзәр салаг. Бу шәкилдә Күнәш, Јер, ај орбитинин долу ај сәфһәси баш верә билән һиссәси, тәпәси Аја тәрәф јөнәлмиш Јерин көлкә конусу (икигат штрихләнмиш Јер—Ај зонасы), тәпәси јерә јөнәлмиш Јер јарымкөлкә конусу тәсвир олунмушдур. Јерин көлкә конусунун оху Јерин орбит мүстәвисинин үзәриндә олдуғундан бу көлкә (һәмчинин, јарымкөлкә) көјә консентрик даирә контурлары кими проjексијаланыр.



Шәкил 60. Ај тутулмасы.

Әввәлчә ај дискинин гәрб (сағ) тәрәфи бу көлкәјә дахил олур, тутулманын сонунда исә һәмин һиссә көлкәни тәрк едир. Ај гисмән јер өлкәсинә дахил олдугда гисмән, бүтүнлүклә бу көлкәјә дахил олдугда исә там тутулма һадисәси баш верир. Там ај тутулмасы заманы о, бозумтул, түнд-гырмызы вә бә'зән кәрпичи-гырмызы рәнкдә олур, чүнки јер атмосфериндә сынан гырмызы (узундалғалы) күнәш шүаларынын бир гисми бу заман Ајы ишыгландырыр.

Јер көлкәсинин узунлуғу Јерин һелиосентрик мәсафәсиндән асылыдыр. Белә ки, Јер орта һелиосентрик мәсафәдә оланда онун көлкәсинин узунлуғу 1382 мин км-ә бәрабәр олур, Јер афелидә оланда бу көлкәнин узунлуғу 1405 мин км, периһелидә оланда исә 1359 мин км олур. Беләликлә, ән гыса јер көлкәси белә Јерлә Ај арасындакы ән бөјүк мәсафәдән дә хејли бөјүкдүр. Аја гәдәр мәсафәдә јер көлкәсинин ени Ајын көрүнән дискинин өлчүсүндән 2,8 дәфәјәдәк бөјүкдүр.

Инди ај тутулмалары шәртләринә бахаг. Гисмән ај тутулмасы зонасынын еклиптикада сәрһәдләри Ајын харичдән јер көлкәсинә тохунмасы илә тә'јин олунур. Бу сәрһәдләрин һәр бир дүјүндән мәсафәси $\Delta\lambda$, мә'лум

$$\sin \Delta\lambda = \mathrm{tg}\, \beta \cdot \mathrm{ctg}\, i$$

дүстуру васитәсилә тапылыр. Бу һалда ајдындыр ки, Ајын Јердән көрүнән бучаг радиусу $\rho_{((}$ Аја гәдәр мәсафәдә Јер көлкәси контурунун бучаг радиусу ρ, Ајын көрүнән диски илә Јер көлкәси контурунун мәркәзләри арасындакы бучаг мәсафәси σ-дырса, $\beta=\sigma=\rho_{((}+\rho$ олар.

Јерлә Ај арасындакы орта мәсафәдә $\rho_{((}=15'5$, $\rho=42'$ олдуғундан ($i=5°,9'$ олдуғуну билирик) јухарыдакы дүстурдан $\Delta\lambda=11°$ аларыг. Ајын ән бөјүк вә ән кичик кеосентрик мәсафәләриндә $\Delta\lambda=11°\pm1°$ олур. Беләликлә, Ај үчүн тутулма зонасы ән чоху $2\Delta\lambda=24°$-дир. Бу мәсафәни јер көлкәси тәгрибән 23 суткаја гәт едир. Ајдындыр ки, бу мүддәтдә долу ај сәфһәси олмаја да биләр, јә'ни ај тутулмасы баш вермәјә биләр, бирдән артыг ај тутулмасы исә ола билмәз. Ајдындыр ки, ај тутулмасынын фазасы вә мүддәти долу ајын тутулма зонасынын һансы нөгтәсиндә олмасындан асылыдыр: кичик фазалы гисмән ај тутулмасы бир нечә дәгигә давам едир; там тутулма $\sigma=\rho-\rho_{((}$ оланда башлајыр вә белә тутулма бә'зән бир анлыға олур: $\sigma=0$ оланда $\Phi_m=1,9$ олур вә там тутулма $1^h,8$ давам едир (долу ај сәфһәси дүјүндә оланда бу надир һал баш верир вә там тутулма, мәркәзи тутулма адланыр); үмумијјәтлә гисмән тутулма илә бирликдә ај тутулмасы 3^h, 8-дәк давам едә биләр.

Ај үфүгдән үстдә олдугда Јерин кечә олан бүтүн јарымкүрәсиндә ај тутулмасы мүшаһидә едилир вә һәмин јарымкүрәнин һәр јериндә ејни анда башлајыр вә ејни анда гуртарыр.

§ 49. ТУТУЛМАЛАРЫН ТЕЗЛИЈИ ВӘ САРОС

Ај дүјүнләринин илдә 19°,3 тәрс истигамәтдә еклиптика үзрә сүрүшмәси нәтичәсиндә күнәш диски мәркәзинин ики ејни адлы дүјүндән ардычыл кечмә анлары арасындакы мүддәт тропик илдән тәгрибән 19 сутка гысадыр вә әждаһа или адланан бу период 346,62 суткаја бәрабәрдир. Инди фәрз едәк ки, күнәш тутулмасы јанвар ајынын әввәлиндә дүјүнләрдән биринә ујғун тутулма зонасынын башланғычында баш вермишдир; онда бу зонанын сону јахынлығында бир күнәш тутулмасы да олмалыдыр (әлбәттә һәр ики тутулма гисмән олмалыдыр); Күнәш бу дүјүндән нөвбәти дүјүнә јарым әждаһа илиндән сонра (173 суткадан сонра) чатыр ки, бу мүддәтдә тәгрибән 6 синодик ај вардыр $6\times29^d,5=177$ сутка); демәли, нөвбәти дүјүнүн әтрафында да тутулма зонасынын әввәлиндә вә ахырында күнәш тутулмасы ола биләр (јенә дә гисмән); нәһајәт тропик ил әждаһа илиндән тәгрибән 19 сутка узун олдуғундан $2\times177=354$ суткадан сонра, јә'ни декабр ајында (биринчи ики күнәш тутулмасы шәртләшдијимизә көрә, јанварда олмушдур) бир күнәш тутулмасы да ола биләр; беләликлә, бир тропик илдә ән чоху 5 күнәш тутулмасы ола биләр вә әлбәттә, бунларын һамысы гисмән тутулма олмалыдыр. § 47-дән исә билирик ки, илдә 2 күнәш тутулмасы мүтләгдир (бунларын икиси дә там ола биләр).

Ај тутулмаларынын тезлијинә кәлинчә, § 48-дән бизә мә'лумдур ки, ај тутулмасы ил әрзиндә баш вермәјә дә биләр, ән чоху исә 3 ај тутулмасы олур, лакин бу һалда ән чоху 4 күнәш тутулмасы ола биләр.

Беләликлә, бир тропик ил әрзиндә ән чоху 7 тутулма ола биләр: 5-и гисмән күнәш тутулмасы вә 2-сы там ај тутулмасы, јахуд 4-ү гисмән күнәш тутулмасы, 3-ү там ај тутулмасы (бу һаллар чох надирдир, ахырынчысы 1982-чи илдә олмушдур).

Адәтән, илдә 2—3 күнәш тутулмасы, 1—2 ај тутулмасы олур. Күнәш тутулмаларынын тезлији ај тутулмаларынын тезлијиндән бөјүк олса да ејни мәһәлдә ај тутулмасы даһа чох мүшаһидә олунур. Она көрә белә олур ки, ај тутулмасы Јерин бир там јарымкүрәсиндә ејни анда мүшаһидә едилдији һалда, күнәш тутулмасы јер сәтһинин енсиз бир зонасында көрүнүр (мүстәсна һаллары нәзәрә алмасаг, ејни бир мәһәлдә там күнәш тутулмасы орта һесабла һәр 200—300 илдә бир дәфә мүшаһидә олунур).

Һәлә гәдим мисирлиләр билирдиләр ки, күнәш вә ај тутулмалары һәр 18 ил 11,3 сутка (вә ја 18 илдә 5 узун ил варса 10,3 сутка) дөврлә тәкрарланыр; бу периода сарос (гәдим Мисир дилиндә период демәкдир) дејилир.

Бир саросда 70—71 тутулма олур: бунлардан 42—43-ү күнәш тутулмасы (14 там, 13—14 һәлгәви, 15 гисмән) вә 28-и ај тутулмасыдыр.

Загафгазијада нөвбәти там күнәш тутулмасы 1999-чу ил августун 11-дә көрүнәчәкдир.

IV ФӘСИЛ

КҮНӘШ СИСТЕМИНИН ДИНАМИКАСЫ

§ 50. НЈУТОНУН ҮМУМДҮНЈА ЧАЗИБӘ ГАНУНУ

1687-чи илдә даһи алим Исаак Нјутонун (1643—1727) «Натурал фәлсәфәнин ријази әсаслары» адлы китабы чапдан чыхды. Бу китаб чох вахт садәчә олараг «Әсаслар» адланыр. «Әсаслар»ын биринчи ики китабында Нјутон инди механиканын әсас үч гануну ады илә мәшһур олан үч аксиому вермишдир. Үчүнчү китабда (бу китаб «дүнјанын системи»нә һәср олунмушдур) Нјутон ашағыдакы теореми вермиш вә исбат етмишдир:

«Әсас планетләри даим дүзхәтли һәрәкәтдән чыхаран вә онлары өз орбитиндә сахлајан гүввәләр Күнәшә јөнәлмишдир вә бу гүввәләр Күнәшин мәркәзинә гәдәр мәсафәләри квадратлары илә тәрс мүтәнасибдир».

Бу теоремдән белә чыхыр ки, һәр шејдән әввәл, һәр бир планетин һәрәкәтини идарә едән гүввәнин Күнәшин мәркәзинә тәрәф јөнәлдијини, јә'ни мәркәзи гүввә олдуғуну көстәрмәк лазымдыр (бу гүввәнин мәркәзи олмасы Кеплерин биринчи ганунундан чыхыр, чүнки бу гануна көрә планетләрин еллиптик орбитләринин үмуми фокусунда Күнәш јерләшир).

Беләликлә, әввәлчә Нјутон теореминин бу гисминин исбаты илә мәшғул олаг.

Кеплерин икинчи ганунуна көрә планетин секторал сүр'әти сабитдир, јә'ни

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = C, \tag{4.1}$$

бурада θ вә r ујғун олараг планетин һәгиги аномалијасы вә Күнәшә нәзәрән радиус—векторудур, C исә секторјал сүр'әтин ики мисли олуб, верилән планет үчүн мүәјјән сабит кәмијјәтдир (бах § 51).

Кеплерин икинчи гануну һәрәкәт мигдары моментинин (фырланма импулсунун) сахланмасы ганунунун хүсуси һалы олдуғундан (4.1)-и

$$r m v \sin (\widehat{\vec{r}, \vec{v}}) = \text{const} \tag{4.2}$$

мүнасибәти илә әвәз едә биләрик.

Бурада m вә v ујғун олараг планетин күтләси вә орбитал хәтти сүр'әтидир. (4.2)

$$|\vec{r} \times m\vec{v}| = \text{const} \tag{4.3}$$

демәкдир.

Һәрәкәт мигдары моментинин модулу сабит вә Кеплерин биринчи ганунуна көрә планетләрин орбитләри мүстәви әјриләр олдуғундан һәрәкәт мигдары моментинин нәинки әдәди гијмәти, истигамәти дә дәјишмәздир, јә'ни

$$(\vec{r} \times m\vec{r}) = \vec{C}. \tag{4.4}$$

Һәрәкәт мигдары моментинә аид теоремдән мә'лумдур ки,

$$\frac{d}{dt}(\vec{r} \times m\vec{v}) = \vec{r} \times \vec{F}; \tag{4.5}$$

бурада $\vec{F}$ Күнәшин планетә тә'сир гүввәсидир. Онда (4.4)-ә әсасән

$$\frac{d}{dt}(\vec{r} \times m\vec{v}) = 0$$

олдуғундан (4.5)-дән

$$\vec{r} \times \vec{F} \equiv 0 \tag{4.6}$$

јазарыг. Бу о демәкдир ки, $\vec{r}$ вә $\vec{F}$ коллинеардыр, башга сөзлә $\vec{F}$ тә'сир гүввәси һәмишә мәркәзи чисимдән, јә'ни Күнәшдән кечир; беләликлә, $\vec{F}$ доғрудан да мәркәзи гүввәдир.

Нјутон теоремининин икинчи һиссәсини исбат етмәк үчүн әввәлчә кинетик енержинин дәјишмә тәнлијини јазаг:

$$d\left(\frac{mv^2}{2}\right)=\vec{F}\cdot\overrightarrow{dr}. \qquad (4.7)$$

Әвәлләр олдуғу кими, (4,7)-дә m — планетин күтләси, v онун орбитал сүр'әтинин модулу, $\vec{r}$—планетин һелиосентрик радиус вектору, $\vec{F}$ Күнәшин планетә тә'сир гүввәсидир. (4.7) көстәрир ки, $\frac{mv^2}{2}$ - мадди нөгтәнин кинетик енержисинин артымы $\vec{F}$ гүввәсинин көрдүјү мүвафиг елементар ишә бәрабәрдир. $\vec{F}$ радиус—вектор үзәринә дүшдүјүндән ајдындыр ки, $\vec{F}\cdot\overrightarrow{dr}=F_r dr$ јаза биләрик. Буну нәзәрә алмагла (4.7)-дә v-ни полјар координатларда јазаг вә бунун үчүн 61-чи шәклә бахаг. Бу шәкилдә координат башланғычы Күнәшин мәркәзиндә јерләшмиш, x оху исә периһелијә јөнәлмишдир. Одур ки, һәгиги аномалија θ шәкилдәки кими тә'јин олунур. P бахдығымыз планетин мүәјјән анда вәзијјәтидир. Шәкилдән ајдындыр ки, $x=r\cos\theta$, $y=r\sin\theta$-ды. Онда

$$v^2=\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

олдуғуну нәзәрә алараг

$$v^2=\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$

јазарыг.
Беләликлә

$$\frac{m}{2}\,d\left[\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r_2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\right]=F_r\cdot dr. \qquad (4.8)$$

(4.8)-ә ашағыдакы шәкилдә $d\theta$ дахил едәк

$$\frac{m}{2}\cdot\frac{d}{d\theta}\left[\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\right]=F_r\cdot\frac{dr}{d\theta} \qquad (4.9)$$

вә (4.1)-и нәзәрә алаг; онда

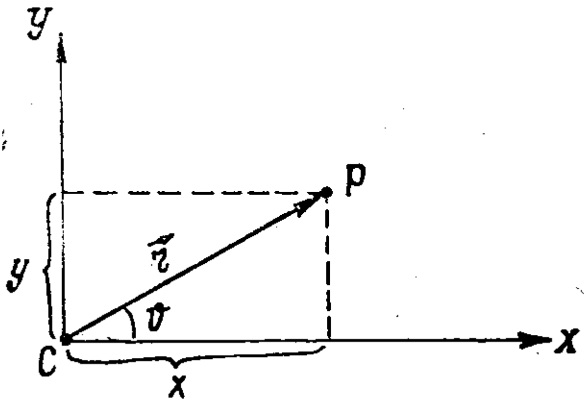
$$\frac{m}{2}\cdot\frac{d}{d\theta}\left[\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+\frac{C^2}{r^2}\right]=F_r\frac{dr}{d\theta} \qquad (4.10)$$

олар. (4.1)-и нәзәрә алмагла $\frac{dr}{dt}$ ни ашағыдакы кими ифадә едә биләрик:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{dr}{d\theta} \cdot \frac{C}{r^2} = -C\frac{d}{d\theta}\left(\frac{1}{r}\right).$$

Бу ифадәни (4.10)-да јазыб θ-ја көрә төрәмә алсаг, нәһајәт (4.10) әвәзиндә јазарыг:

$$-\frac{C^2}{r^2}m\left[\frac{1}{r} + \frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{1}{r}\right)\right] = F_r \qquad (4.11)$$



Шәкил 61. Планетин (P) Күнәшә (C) нәзәрән координатлары.

(4.11) Бине тәнлији адланыр вә планетин трајекторијасы илә она тә'сир едән гүввәни әлагәләндирир. Еллипсин $\frac{1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{e\cos\theta}{p}$ тәнлијини /бурада $p = a(1 - e^2)$ — еллипсин параметри, a - бөјүк јарымоху, e - екссентриситетидир/ вә онун θ - јә көрә икигат төрәмәси олан $\frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{1}{r}\right) = -\frac{e\cos\theta}{p}$ ифадәсини (4.11) - дә нәзәрә алсаг,

$$F_r = -\frac{C^2}{p} \cdot \frac{m}{r^2} \qquad (4.12)$$

олар. (4.12)-ни гыса олмаг үчүн белә јазаг:

$$F_r = -k\frac{m}{r^2} \qquad (4.13)$$

бурада

$$\frac{C^2}{p} = k \qquad (4.14)$$

ишарә етмишик.

(4.13)-дән көрүрүк ки, Күнәшин планетә тә'сир гүввәсинин ишарәси мәнфидир, јә'ни бу гүввә координат башланғычына—Күнәшин мәркәзинә јөнәлән чазибә гүввәсидир вә о, әдәди гијмәтчә планетин һелиосентрик мәсафәсинин квадраты илә тәрс мүтәнасибдир.

(4.13)-үн бүтүн планетләрә аид олдуғуну көстәрмәкдән өтрү k-нын Күнәш системинин бүтүн планетләри үчүн сабит олдуғуну сүбут етмәк кифајәтдир. Билирик ки, Кеплерин икинчи ганунуна көрә C планетин һелиосентрик радиус—векторунун ваһид заманда чыздығы саһәнин ики мислинә бәрабәрдир; онда

$$\pi a b = \pi a^2 \sqrt{1 - e^2} = \frac{C}{2} T \qquad (4.15)$$

јазмаг олар; бурада $\pi a b$— бөјүк вә кичик јарымохлары ујғун олан a вә b олан еллиптик орбитин саһәси, e орбитин екссентриситети, T исә планетин сидерик периодудур. (4.15)-дән $C = \frac{2\pi a^2\sqrt{1-e^2}}{T}$ олдуғуну (4.14)-дә нәзәрә алсаг, јазарыг:

$$k = \frac{4\pi^2 a^4 (1 - e^2)}{p T^2},$$

јахуд $p = a(1 - e^2)$ олдуғундан

$$k = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \qquad (4.16)$$

аларыг. (4.16)-да $\frac{a^3}{T^2}$, Кеплерин үчүнчү ганунуна әсасән бүтүн планетләр үчүн ејни сабитдир. Одур ки, k бүтүн планетләр үчүн (әслиндә Күнәш системинин бүтүн чисимләри үчүн) сабит кәмијјәтдир.

Беләликлә һәр бир планетин Күнәш тәрәфиндән чәзб олунма гүввәсинин модулу (4.13)-ә әсасән

$$F = k\frac{m}{r^2} \qquad (4.17)$$

дүстуру илә ифадә олунур. Аналожи олараг јазмаг олар ки, планетин Күнәшә тә'сир гүввәсинин модулу

$$F_n = \varkappa \frac{M}{r^2} \qquad (4.18)$$

дүстуру илә тә'јин олунур. Бурада $\varkappa$ планетә мәхсус сабит, M исә Күнәшин күтләсидир.

Нјутонун үчүнчү ганунуна көрә тә'сир мүтләг гијмәтчә әкс тә'сирә бәрабәр олдуғундан (4.17) вә (4.18)-дән

$$\kappa \frac{m}{r^2} = \varkappa \frac{M}{r^2}$$

јахуд

$$\frac{\kappa}{M} = \frac{\varkappa}{m} = \text{const}$$

јазарыг. Бу сабити G илә ишарә етсәк $\kappa = GM$, јахуд, $\varkappa = Gm$ јазарыг.

Беләликлә, Күнәшин планетә тә'сир гүввәсинин модулуну (4.17) әвәзинә

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \qquad (4.19)$$

шәклиндә јазмаг олар. Бурада G *гравитасија вә ја чазибә сабити адланыр* вә бу универсал сабитин әдәди гијмәти мүвафиг ваһидләрин сечилмәсиндән асылыдыр:

CGS системиндә $G = 6{,}672 \cdot 10^{-8}$ дн$\cdot$см$^2 \cdot$г$^{-2}$ $= 6{,}672 \cdot 10^{-8}$ см$^3 \cdot$г$^{-1} \cdot$сан$^{-}$

$СИ$ системиндә исә $G = 6{,}672 \cdot 10^{-11} H \cdot M^2 \cdot$кг$^{-2} = 6{,}672 \cdot 10^{-11} \cdot M^3 \cdot$кг$^{-1}$сан$^{-}$

Астрономијада чох заман Күнәшлә планетләр арасындакы мәсафә астрономик ваһидләрлә, көј чисимләринин күтләси Күнәшин күтләси илә, вахт исә орта күнәш суткалары илә верилир. Гаусс тәрәфиндән тәклиф олунан бу ваһидләр системиндә чазибә сабити

$$G = K^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2(M+m)} = 0{,}00029591 \text{-д}\ ;,$$

$K = 0{,}0172021$ кәмијјәти Гаусс сабити адланыр; чох бөјүк дәгиглик тәләб олунмајан һалларда Гаусс сабитинин әдәди гијмәти үчүн $K \simeq \frac{1}{58c}$ гәбул етмәк олар. (4.19) дүстурунда гүввәнин истигамәти $-\frac{\vec{r}}{r}$ ваһид вектору васитәсилә верилир. Одур ки, $\vec{F} = -G\frac{Mm}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} =$

$= -G\dfrac{Mm}{r^3}\vec{r}$ олар. Бу гүввә илә Күнәш планетә (јахуд Күнәш системинин һәр һансы башга чисминә) тә'сир едир, планетин Күнәшә тә'сири исә $-\vec{F}$ гүввәси илә, јә'ни $\vec{F} = G\dfrac{Mm}{r^3}\vec{r}$ шәклиндә ифадә олунур.

Һаггында јухарыда данышдығымыз теореми Нјутон сонралар Ајын Јер әтрафында һәрәкәтинә тәтбиг едәрәк исбат етмишдир ки, *«Ај Јер тәрәфиндән чәзб олунур вә бу чазибә гүввәси илә о, даим дүзхәтли һәрәкәтиндән чыхыр вә өз орбитиндә сахланыр»*. Бу теоремдә Нјутон нәзәрдә тутур ки, Јердә ағырлыг гүввәси өзүнүн физики тәбиәтинә көрә гаршылыглы чазибә илә ејнидир. Јерин сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чили

$$g = G\frac{m}{R_0^2} = 981 \text{ см/сан}^2$$

дыр; бурада m—Јерин күтләси, $R_0 = 6371$ км онун орта радиусудур; шәртләшмәјә көрә Јерин ағырлыг гүввәси тә'чилинин Аја гәдәр мәсафәдәки гијмәти (Јерин чазибә саһәсиндә Ајын Јердән алдығы гравитасија тә'чили)

$$g' = G\frac{m}{r^2};$$

бурада $r = 60R_0$ јерлә Ај арасындакы орта мәсафәдир. Беләликлә, бу ики тә'чилин ифадәсиндән

$$g' = \frac{g}{60^2} = \frac{981}{3600} = 0,27 \text{ см/сан}^2$$

аларыг.

Дикәр тәрәфдән бу тә'чил мәркәздәнгачма тә'чили олдуғундан

$$g' = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$$

јазарыг; бурада T—сидерик ајдыр; g′-ин ифадәсиндән

$$g' = \left(\frac{6.28}{27.32\cdot 86400}\right)^2 \cdot 60\cdot 6371\cdot 10^5 = 0,27 \text{ см/сан}^2$$

аларыг. Беләликлә Ајын ики мүхтәлиф үсулла һесабланмыш мәркәзәгачма тә'чили ејни нәтичәни верир. Нјутон белә әмәлијјатлары Јупитер вә онун пејкләри, Сатурн вә онун пејкләри үчүн јеринә јетирәрәк Ај үчүн алдығы нәтичәјә кәлдикдән сонра о, белә бир үмуми нәтичә чыхармышдыр: *Ағырлыг гүввәси Каинатын бүтүн чисимләри арасындакы гаршылыглы чазибә гүввәси илә ејнилик тәшкил едир.*

Нјутон үмумдүнја чазибә ганунуну белә ифадә етмишдир:

Истәнилән ики мадди нөгтә, онларын күтләләри илә дүз, араларындакы мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасиб олан гүввә илә бир-бирләрини гаршылыглы чәзб едир.

(4. 19) дүстуру бу ганунун ријази тәсвиридир. Үмумдүнја чазибә ганунундан көрүрүк ки, бу ганун әслиндә мадди нөгтәләрә аиддир. Бу гануну өлчүләри олан чисимләрлә тәтбиг едәркән һәмин чисимләр хәјалән чох кичик һиссәләрә (мадди нөгтәләрә) бөлүнмәли, онларын арасындакы чазибә гүввәләри һесабланараг топланмалыдыр. Лакин Нјутон көстәрмишдир ки, чисимләрин дахилиндә күтләләр сферик—симметрик пајланмышса онларын арасында чазибә гүввәсини асан һесабламаг олар: Нјутон исбат етмишдир ки, белә күрәјә, бүтүн күтләси мәркәзиндә топланан мадди нөгтә кими бахмаг олар; көј чисимләриндә бу шәрт там өдәнмәсә дә араларындакы мәсафәләр, өлчүләринә нисбәтән чох-чох бөјүк олдуғундан онлара да мадди нөгтәләр кими бахмаг олар.

Үмумдүнја чазибә ганунуну кәшф едәркән Нјутон Кеплер ганунларына истинад етмишдир. Бурадан да Кеплер ганунларынын динамик мә'насы ајдын көрүнүр:

1) Кеплерин икинчи гануну сүбут едир ки, планетә тә'сир едән гүввә Күнәшин чазибә гүввәсидир (буна мәркәзи гүввә дедик);

2) Кеплерин биринчи гануну сүбут едир ки, верилән планетә тә'сир едән Күнәшин чазибә гүввәси бу планетин Күнәшдән олан мәсафәсинин квадраты илә тәрс мүтәнасибдир;

3) Кеплерин үчүнчү гануну сүбут едир ки, Күнәшин мухтәлиф планетләрә тә'сир едән чазибә гүввәси планетләрин Күнәшдән олан мәсафәләринин квадратлары илә тәрс мүтәнасибдир.

§ 51 ИКИ ЧИСИМ МӘСӘЛӘСИ. ҮМУМИЛӘШДИРИЛМИШ КЕПЛЕР ГАНУНЛАРЫ

Ики чисим мәсәләси, үмумдүнја чазибә гануну әсасында ики мадди нөгтәнин гаршылыглы чазибәсинин тә'сири илә онларын һәрәкәтини өјрәнмәк мәсәләсидир. Әкәр ики чисимдән биринин күтләси нәзәрә алынмајачаг дәрәчәдә кичик олса, белә мәсәлә мәһдуд ики чисим мәсәләси адланыр. Ики чисим мәсәләси фундаментал әһәмијјәт кәсб едир. Чүнки көј чисимләринин һәрәкәтини өјрәнәркән онларын күтләләрини мәркәздә топланмыш гәбул етмәклә һәр бирини демәк олар һәмишә мадди нөгтә һесаб едә билирик; дикәр тәрәфдән, һәрәкәтини өјрәндијимиз ики чисмә башга чисимләрин тә'сирини, јә'ни харичи гравитасија тә'сирини ја тамамилә, ја да биринчи јахынлашмада нәзәрә алмамаг олар.

Ики чисим мәсәләсинин һәлли үмумдүнја чазибә гануну әсасында Кеплерин ганунларыны үмумиләшдирилмиш шәкилдә чыхармаға имкан верир; бу о демәкдир ки, Нјутонун үмумдүнја чазибә гануну илә бу ганунун кәшф олунмасына кәтирән планетләрин һәрәкәтләринә аид Кеплерин емпирик ганунлары арасында әлагәни вә һәмин емпирик ганунларын динамик мә'наларыны там ајдынлашдырмаг олур. Дедикләри-

миздән ајдындыр ки Кеплерин үмумиләшдирилмиш ганунларына табе олан һәрәкәтин өјрәнилмәси мәсәләси ики чисим мәсәләсидир.

Ики чисим мәсәләси Күнәшә вә планетә вә ја Күнәш системинин башга бир чисминә, Күнәш системинин чисминә вә сүн'и чисмә, бир-бирилә динамик рабитәдә олан гоша улдузлара, бир сөзлә динамик гоша системләрә мүвәффәгијјәтлә тәтбиг олунур. Ики чисим мәсәләсинин һәллиндән алынан нәтичәләр һәрәкәтин мүшаһидәдән алынан нәтичәләри илә узун мүддәт әрзиндә демәк олар үст-үстә дүшүр. Бунун сәбәби ашағыдакылардыр:

1. Көј чисимләринә мадди нөгтә кими бахмаг олур.
2. Күнәш системи чисимләринин күтләләри (һәтта күтләләринин чәми) Күнәшин күтләсиндән чох-чох кичикдир. Одур ки, онларын тә'сирини биринчи јахынлашмада нәзәрә алмамаг олур.
3. Күнәшин, планетләрин (әксәр гоша улдузларын) фигурлары сфераја јахын олдуғундан онларын ирәлиләмә вә фырланма һәрәкәтләринә бир-бириндән асылы олмадан бахмаг мүмкүндүр.

Әввәлчә ики чисмин мүтләг һәрәкәтинә, јә'ни онларын ихтијари эталәт һесаблама системинә нәзәрән һәрәкәтинә бахаг.

Һәрәкәтини өјрәндијимиз ики чисмә C вә P, онларын күтләләринә M вә m, сечдијимиз эталәт координат системинин координат башланғычы O-ја нәзәрән бу чисимләрин вәзијјәтини тә'јин едән векторлара $\vec{\rho}_0$ вә $\vec{\rho}$ дејәк. P чисминин C чисминә нәзәрән вәзијјәтини

$$\vec{r}=\vec{\rho}-\vec{\rho}_0$$

вектору тә'јин едир.

Бахдығымыз чисимләрин һәр биринә тә'сир едән гаршылыглы чазибә гүввәсинин мүтләг гијмәти беләдир:

$$\kappa^2\frac{Mm}{r^2}.$$

C вә P чисимләринин мүтләг һәрәкәти ашағыдакы дифференсиал тәнликләрлә тә'јин едилир:

$$M\frac{d^2\vec{\rho}_0}{dt^2}=\kappa^2\frac{Mm}{r^2}\frac{\vec{r}}{r},\quad m\frac{d^2\vec{\rho}}{dt^2}=\kappa^2\frac{Mm}{r^2}\left(\frac{-\vec{r}}{r}\right). \qquad (4.20)$$

Бу тәнликләри тәрәф-тәрәфә топлајыб алынан ифадәни ардычыл интегралласаг,

$$M\frac{d\vec{\rho}_0}{dt}+m\frac{d\vec{\rho}}{dt}=\vec{\alpha},\quad M\vec{\rho}_0+m\vec{\rho}=\vec{\alpha}\,t+\vec{\beta} \qquad (4.21)$$

аларыг (замандан асылы олмајан α вә β векторлары интеграллама сабитләридир). (4. 21) бәрабәрликләри һәрәкәтләрини өјрәндијимиз чисимләрдән ибарәт системин әталәт мәркәзинин һәрәкәт интеграллары-дыр (бунлар алтыдыр). Бу интеграллар нисби һәрәкәти, јә'ни Р чисминин C чисминә нисбәтән һәрәкәтини өјрәнмәјә имкан верир. P чисминин C чисминә нәзәрән һәрәкәт тәнлијини алмаг үчүн (4.20)-дә биринчи тәнлијин һәдләрини икинчи тәнлијин һәдләриндән чыхмаг лазымдыр. Онда

$$\frac{d^2\vec{r}}{d t^2} = -\kappa^2 \frac{(M+m)}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \tag{4.22}$$

(4.22) тәнлији һәлл едилдикдән сонра

$$\vec{\rho} - \vec{\rho}_0 = \vec{r}\,; \quad M\,\vec{\rho}_0 + m\,\vec{\rho} = \vec{\alpha} t + \vec{\beta}$$

бәрабәрликләри, замандан асылы олан $\vec{\rho}_0$ вә $\vec{\rho}$ функсијаларыны тапмаға вә нәтичә е'тибары илә мүтләг һәрәкәти өјрәнмәјә имкан верир.

Бә'зән C вә P чисимләринин үмуми әталәт мәркәзинә нәзәрән һәрәкәтинә бахмаг лазым олур. Бу һалда да һәрәкәт, (4.22) тәнлији илә верилир.

(4.22) тәнлијинин һәллиндән алынан нәтичәләр, о чүмләдән, үмумиләшдирилмиш вә дәгигләшдирилмиш Кеплер ганунларына кәтирән нәтичәләр астрономија бахымындан даһа мараглыдыр. Әввәлчә нисби һәрәкәт тәнлијинин биринчи интеграллары илә таныш олаг. Бунлар саһәләр интегралы вә енержи интегралы адланыр.

Саһәләр интегралы. (4.22) тәнлијинин $\vec{r}$-ә векториал һасили

$$\vec{r} \times \frac{d^2\vec{r}}{d t^2} = 0 \tag{4.23}$$

верир. (4.23)-дән

$$\vec{r} \times \vec{v} = \varkappa \vec{c} \tag{4.24}$$

ала биләрик. (4.24)-дә

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

c исә интеграл сабитидир.

(4.24) һәрәкәт мигдары моментинин сахланмасыны, башга сөзлә фырланма импулсунун сабитлијини көстәрир. (4.24)-үн сол тәрәфи һәрәкәт едән мадди нөгтәнин секторјал сүр'әтинин ики мисли олдуғундан,

саһәләр интегралы секторјал сүр'әтин сабит олмасы, јә'ни Кеплерин икинчи гануну демәкдир.

Е н е р ж и и н т е г р а л ы. (4.24) тәнлији ашағыдакы тәнликләр системинә еквивалентдир:

$$x'' + \varkappa^2 x r^{-3} = 0, \ y'' + \varkappa^2 y r^{-3} = 0; \ z'' + \varkappa^2 z r^{-3} = 0, \quad (4.25)$$

$$\text{бу ада} \quad r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

Бу тәнликләри ашағыдакы кими јазмаг олар:

$$x'' = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\varkappa^2}{r}\right), \ y'' = \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\varkappa^2}{r}\right), \ z'' = \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\varkappa^2}{r}\right). \quad (4.26)$$

(4.26) тәнликләринин һәр бирини ујғун олараг x', y', z'-ә вуруб онлары топласаг вә бу јолла алынан бәрабәрлији интегралласаг

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = 2\varkappa^2 r^{-1} + \varkappa^2 h \quad (4.27)$$

аларыг ки, бу да енержи интегралыдыр.

(4. 27)-јә дахил олан h енержи сабити адланыр. (4. 27)-ни белә дә јазмаг олар:

$$v^2 = \varkappa^2 (2 r^{-1} + h). \quad (4.28)$$

Бурадан көрүрүк ки, енержи сабити h нә координат системиндән, нә дә сүр'әтин истигамәтиндән асылы дејил. (4.28)-дән көрүрүк ки, $h<0$ оланда $v^2<2x^2r^{-1}$ олдуғундан һәрәкәт фәзада мәһдуд олур,: $h\geqslant 0$ оланда (4.28) тәнлији истәнилән r үчүн өдәнилир вә һәрәкәт фәзада гејри-мәһдуд олур.

Инди һәрәкәтин трајекторијасына бахаг.

(4.24) саһәләр интегралыны скалјар шәкилдә јазсаг ашағыдакы үч саһәләр интегралы аларыг:

$$yz' - zy' = \varkappa c_x; \ zx' - xz' = \varkappa c_y; \ xy' - yx = \varkappa c_z.$$

Әкәр трајекторија мүстәвисини әсас мүстәви гәбул етсәк онда бу үч саһәләр интегралы әвәзинә бир интеграл аларыг:

$$xy' - yx' = \varkappa c. \quad (4.29)$$

Мәсәләјә u полјар бучағы дахил едәк. Бу бучаг P көј чисминин дүјүнләр хәттинин мүсбәт истигамәтиндән бучаг мәсафәси олсун. Онда

$$x = r\cos u, \ y = r\sin u, \quad (4.30)$$

(4.29) саһәләр интегралы вә (4.28) енержи интегралында (4.30)-а әсасән полјар координатлара кечсәк ашағыдакы ики тәнлији аларыг:

$$r^2 \frac{du}{dt} = \varkappa c, \quad (4.31)$$

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{du}{dt}\right)^2 = 2\,\varkappa^2 r^{-1} + \varkappa^2 h. \qquad (4.32)$$

Бу тәнликләрин һәллиндән r илә u арасында олан әлагәни, јә'ни трајекторијанын тәнлијини алмаг олур. $c \neq 0$ оланда (4.31) тәнлијинә әсасән

$$\frac{du}{dt} = \frac{\varkappa c}{r^2}; \quad \frac{dr}{dt} = \frac{dr}{du} \cdot \frac{du}{dt} = \frac{\varkappa c}{r^2} \frac{dr}{du}$$

аларыг. (4.32) тәнлијиндә заманы әвәз етсәк:

$$\frac{c^2}{r^4}\left(\frac{dr}{du}\right)^2 = h + \frac{2}{r} - \frac{c^2}{r^2},$$

јахуд

$$\left[\frac{d}{du}\left(\frac{c}{r}\right)\right]^2 = h + \frac{1}{c^2} - \left(\frac{c}{r} - \frac{1}{c}\right)^2,$$

јахуд да

$$\left[\frac{d}{du}\left(\frac{c}{r} - \frac{1}{c}\right)\right]^2 = A^2 - \left(\frac{c}{r} - \frac{1}{c}\right)^2;$$

бурада

$$A^2 = h + c^{-2}$$

гәбул едилмишдир. Ахырынчы тәнлијин һәлли беләдир:

$$\frac{c}{r} - \frac{1}{c} = A\cos(u - \omega);$$

бурада ω-интеграллама сабитидир. Бу һәлли

$$r = \frac{c^2}{1 + Ac\cos(u - \omega)}$$

шәклиндә јазаг. Ајдындыр ки, ахырынчы ифадә фокусу координат башланғычы C-дә олан коник кәсијин тәнлијидир. Бу тәнлији мә'лум

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\theta}$$

коник кәсик тәнлији илә мүгајисә етсәк аларыг:

$$p = c^2, \; e = Ac = (1 + hc^2)^{1/2}, \qquad (4.33)$$

$$\theta = u - \omega.$$

(4.33)-дән көрүрүк ки, $h<0$ оланда $e<1$ олур вә һәрәкәт еллипс бојунча баш верир; $h=0$ оланда $e=1$ олур вә һәрәкәтин трајекторија-

сы парабола олур; нәһајәт $h>0$ оланда $e>1$ олур вә һәрәкәт һипербола үзрә олур.

Беләликлә, ики чисим мәсәләсинин һәллиндән *Кеплерин үмумиләшдирилмиш биринчи ганунуну алырыг, јә'ни чазибә гүввәсинин тә'сири илә бир көј чисминин дикәр көј чисминин гравитасија саһәсиндә һәрәкәти еллипс (хүсуси һалда даирә), парабола вә ја һипербола үзрә, јә'ни коник кәсикләрдән бири үзрә олур.*

$p=a(1-e^2)$ олдуғундан (4.33)-ә әсасән $h=-a^{-1}$

Одур ки, енержи интегралы үчүн (4. 28) әвәзинә

$$v^2=k^2(2r^{-1}-a^{-1}) \tag{4.34}$$

алырыг. Енержи интегралы (4.34) бүтүн коник кәсикләр үчүн доғрудур: $r=a$ оланда орбит даирә ($e=0$), $a>0$ оланда еллипс, $a=\infty$ ($e=1$) оланда—парабола вә нәһајәт $a<0$ ($e>1$) оланда—һиперболадыр.

Кеплерин үмумиләшдирилмиш (дәгигләшдирилмиш) үчүнчү ганунуну алмаг үчүн әввәлчә фәрз едәк ки, бир чисмин дикәри әтрафында һәрәкәти даирә үзрәдир. Орбитин радиусу r, һәрәкәтин бучаг сүр'әти ω, период T олса, белә һәрәкәтин

тә'чили $W=\omega^2 r$, јахуд $\omega=\frac{2\pi}{T}$ олдуғундан

$$W=\frac{4\pi^2 r}{T}$$

олар.

Күтләси m олан чисмин күтләси M олан чисим әтрафында нисби һәрәкәтинә бахырыгса, онда бу һәрәкәтин нисби тә'чили

$$W=k^2\frac{M+m}{r^2}$$

олар. Јаздығымыз тә'чилләр ејни олдуғундан

$$\frac{r^3}{T^2(M+m)}=\frac{k^2}{4\pi^2}=\text{const} \tag{4.35}$$

аларыг.

Һәрәкәтин трајекторијасы еллипс оларса, $r=a$ бу еллипсин бөјүк јарымоху олар. Буну нәзәрә алараг (4.35)—тәнлијини ики чисим үчүн јазаг. Күтләси m_1 олан чисим күтләси M_1 олан чисмин әтрафында T_1 периоду илә бөјүк јарымоху a_1 олан еллипс бојунча, күтләси m_2 олан чисим исә күтләси M_2 олан чисмин әтрафында T_2 периоду илә бөјүк јарымоху a_2 олан еллипс бојунча һәрәкәт едирсә, (4.35)-ә әсасән

$$\frac{a_1^3}{T_1^2(M_1+m_1)}=\frac{k^2}{4\pi^2};\quad \frac{a_2^3}{T_2^2(M_2+m_2)}=\frac{k^2}{4\pi^2}$$

јазарыг вә бурадан

$$\frac{T_1^2(M_1+m_1)}{T_2^2(M_2+m_2)}=\frac{a_1^3}{a_2^3}\tag{4.36}$$

аларыг. Бу, Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү ганунудур.

§ 52. ИКИ ЧИСИМ МӘСӘЛӘСИНДӘ ХАРАКТЕРИК СҮР'ӘТЛӘР

Мәркәзи чисим әтрафында $r=a$ радиуслу даирәви орбит үзрә һәрәкәт едән чисмин сүр'әти (4.34) дүстуруна әсасән

$$v_a=\sqrt{\frac{\mu}{r}}=\sqrt{\frac{\mu}{a}}\tag{4.37}$$

васитәсилә тә'јин едиләр ((4.34) дүстурунда $\varkappa^2=\mu$ јазмышыг).

(4.34) дүстурунун һәр ики тәрәфини $\frac{1}{a}$-ја вурдугдан сонра, алынан тәнликдән v-ни тапсаг вә (4.37)-ни нәзәрә алсаг

$$v=v_a\sqrt{\frac{2a}{r}-1}\tag{4.38}$$

јазарыг. (4.38) васитәсилә тә'јин олунан сүр'әт еллиптик һәрәкәт сүр'әтидир. Еллиптик һәрәкәтин орта сүр'әти, (4.37) васитәсилә тә'јин олунан даирәви сүр'әт олар, јә'ни

$$v_a=\sqrt{\frac{\mu}{a}}=\frac{2\pi a}{T};\tag{4.39}$$

(бурада T еллиптик орбитә малик чисмин сидерик периодудур). (4. 38)-у Јерә тәтбиг етсәк

$$v_{0a}=\sqrt{\frac{\mu}{a_0}}=\frac{2\pi a_0}{T_0}=\frac{6{,}28\cdot 149{,}6\cdot 10^6}{365{,}2564\cdot 86400}=29{,}78\ \frac{\text{км}}{\text{сан}}\tag{4.40}$$

аларыг (4. 39)—у (4. 40)-а бөлсәк, $v_a=29{,}78\sqrt{a_0/a}\,\frac{км}{сан}$ јахуд $a_0=1 а.в$ олдуғундан

$$v_a=29{,}78\sqrt{\frac{1}{a}}\ \frac{\text{км}}{\text{сан}}\tag{4.41}$$

олар; бурада a астрономик ваһидләрлә верилир. $a=\infty$ оларса, (4.37)-

ни нәзәрә алмагла (4.36)-дан көрүрүк ки, параболик сүр'әт

$$v_{п}=\sqrt{2}v_{а}. \quad (4.42)$$

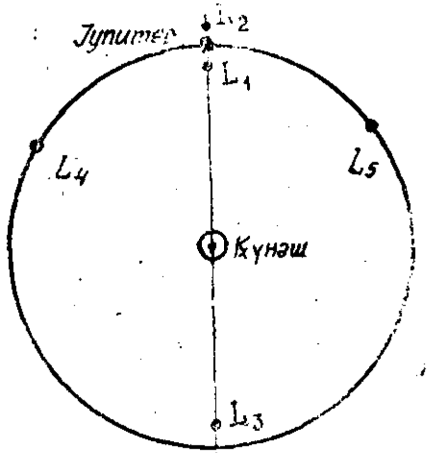
Чисмин һипербола бојунча һәрәкәт етмәси үчүн онун сүр'әти (һиперболик сүр'әт) $v_{h} > v_{п}$ олмалыдыр.

§ 53. ҮЧ ВӘ ЧОХ ЧИСИМ МӘСӘЛӘСИНИН МАҺИЈЈӘТИ

Араларындакы мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасиб олан гүвә илә бир-бирини гаршылыглы сурәтдә чәзб едән үч чисмин һәрәкәтини тә'јин етмәк үч чисим мәсәләсидир.

Күнәш системинин тимсалында ајдын көрмәк олар ки, ики чисим мәсәләси јалныз биринчи јахынлашмада тәтбиг олуна биләр. Доғрудан да, Күнәш системиндә һәр һансы чисмин Күнәш әтрафында һәрәкәтинә бу системин галан чисимләри (онларын күтлә вә мәсафәләриндән асылы олмагла) мүәјјән тә'сир көстәрмәлидир. Әкәр јалныз 9 бөјүк планети нәзәрдә тутсаг, онда Күнәш системиндә чох чисим мәсәләсини 10 чисим үчүн моделләшдирмәк олар. Әлбәттә, эксәр һалда бурада үч чисим мәсәләсинә тәсадүф олунур: Ајын һәрәкәти үч чисим мәсәләси кими өјрәнилир. (Күнәш—Јер—Ај), Јупитер вә Сатурнун һәр биринин һәрәкәти ән азы үч чисим мәсәләсинә аиддир (Күнәш—Јупитер—Сатурн).

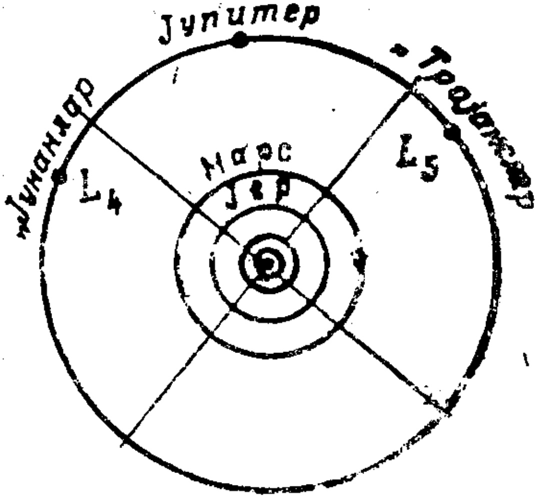
Нәинки чох ($n>3$) чисим, һәтта әмәли олараг үч чисим мәсәләсинин үмуми шәкилдә аналитик һәлли индијә гәдәр алынмамышдыр. Доғрудур, 1912-чи илдә фин ријазијјатчысы Зундман ихтијари башланғыч шәртләри дахилиндә үч чисим мәсәләсинин нәзәри һәллини топланан сыралар шәклиндә алмышдыр. Лакин бу сыралар о гәдәр мүрәккәб вә ләнк топланан сыралардыр ки, онлар васитәсилә үч чисмин нә фәзада вәзијјәти вә нә дә онларын һәрәкәтинин характер вә хүсусијјәтләри һаггында мүәјјән фикир демәк олур. Одур ки, һәләлик Зундманын һәлл үсулунун практик әһәмијјәти јохдур.



Шәкил 62. Лагранжын мәһдуд даирәви үч чисим мәсәләси:
L_1, L_2, L_3 вәзијјәтләри дүзхәтли һәлләрә, L_4 вә ја L_5 бәрабәртәрәфли үчбучаглар һәлләринә ујғундурлар; L_1, L_2, L_3, L_4, L_5—Лагранж нөгтәләри вә ја либрасија нөгтәләридир.

Астрономијада *мәһдуд даирәви үч чисим мәсәләси* адланан үсул кениш јајылмышдыр; бу мәсәләдә чисимләрдән биринин күтләси нәзәрә алынмыр, дикәр ики чисмин

исә үмуми күтлә мәркәзи әтрафында даирәви орбитләр үзрә Кеплер ганунлары илә доландығы гәбул едилир. Бу үсул астероидләрин һәрәкәтини өјрәнәндә, Аја учуш динамикасында (космик апаратын күтләси бурада нәзәрә алынмыр) кәниш тәтбиг олунур.



Шәкил 63. Күнәшин, Јупитерин вә астероид групларынын гаршылыглы вәзијјәти; «јунанлар» L_4, «тројанлар» L_5 либрасија нөгтәләри әтрафындадырлар.

Мәһдуд даирәви үч чисим мәсәләси мүәјјән шәртләр дахилиндә (хүсуси һалда) Лагранж тәрәфиндән гојулмуш вә һәлл едилмишдир. Лагранж көстәрмишдир ки, әкәр башланғыч нисби сүрәтләри сыфра бәрабәр олмагла вә үч чисим һәмишә бир дүз хәтт үзәриндә олмагла, јахуд үч чисим һәмишә бәрабәртәрәфли үчбучағын тәпәләриндә јерләшмәклә үмуми ағырлыг мәркәзи әтрафында доланырларса, онда үч чисим мәсәләсинин хүсуси һәлләри вардыр (шәкил 62). Бу шәкилдә L_1, L_2,L_3 дүзхәтли һәлләрә ујғун нөгтәләр, L_4, L_5 исә бәрабәртәрәфли үчбучаг һәлләринә ујғун нөгтәләрдир. Бу нөгтәләр, Лагранж, јахуд либерасија нөгтәләри адланыр. Лагранж күман едирди ки, онун бу кәшфинин тәтбиги әһәмијјәти олмајачагдыр. Лакин Јупитердән 60° габагда вә 60° архада онун «орта орбити» үзрә Күнәш әтрафында доланан ики астероидләр групу XIX јүзилликдә кәшф едилдикдән сонра мә'лум олду ки, 1772-чи илдә Лагранж тәрәфиндән хүсуси һәлләри тапылан јухарыдакы мәһдуд үч чисим мәсәләси бөјүк тәтбиги әһәмијјәтә маликдир (шәкил 63).

Мәһдуд үч чисим мәсәләси нәинки Күнәш системинин тәбии вә сүн'и чисимләринин һәрәкәтини өјрәнмәјә имкан верир, кәләчәкдә көрәчәјик ки, бу мәсәлә сых гоша улдузлар системиндә компонентләр арасында маддә мүбадиләсини өјрәнмәкдә дә чох бөјүк тәтбиги әһәмијјәтә маликдир.

§ 54. САРСЫНАН ҺӘРӘКӘТ ВӘ САРСЫДЫЧЫ ГҮВВӘ ҺАГГЫНДА АНЛАЈЫШ

Билирик ки, көј чисми анчаг мәркәзи чисим тәрәфиндән чәзб едилсәјди, онда һәмин чисим мәркәзи чисмин әтрафында Кеплер ганунларына табе олан орбит бојунча һәрәкәт едәрди. Белә һәрәкәт сарсынмајан һәрәкәт адланыр. Лакин әксәр һалларда чисмә мәркәзи чисимдән башга дикәр чисим вә ја чисимләрин чазибә тә'сирини нәзәрә алмаг лазымдыр. Бу һалда чисмин мәркәзи чисим әтрафында һәрәкәти Кеплер

ганунларындан кәнара чыхыр, орбити там дәгиг даирә, еллипс, парабола, ја да һипербола олмур вә белә һәрәкәт сарсынан һәрәкәт адланыр. Бу һалда *һәрәкәти өјрәнилән чисим сарсынан, она тә'сир едән чисимләр исә сарсыдычы чисимләр адланыр. Сарсынмаја сәбәб олан гүввәјә исә сарсыдычы гүввә дејилир.* Мәсәлән, Күнәш—Астероид—Јупитер системиндә астероидин һәрәкәтинә бахырыгса, Күнәш мәркәзи чисим, астероид сарсынан, Јупитер исә сарсыдан чисимдир. Күнәш—Јер—Ај системиндә Ајын һәрәкәтинә бахырыгса, Јер мәркәзи чисим, Ај сарсынан, Күнәш исә Ајын һәрәкәтини сарсыдан чисимдир. Јерин сүн'и пејкинин һәрәкәтинә бахырыгса, Јер һәм мәркәзи чисимдир, һәм дә сарсыдычы чисимдир. Чүнки, Јер гүтбләриндән басыгдыр вә дахилиндә күтләләр мүнтәзәм пајланмамышдыр (Јерин гравитасија саһәси мәркәзи саһә дејил); нәтичәдә сарсыдычы гүввәнин модулу мәркәзи чисим олан Јерин чазибә гүввәсинин бир фаиздән дә кичик гисмини тәшкил етсә дә бу кәнара чыхма сүн'и пејкин һәрәкәтинин чидди сарсынмасына сәбәб олур.

Сарсыдычы гүввәнин тә'сири илә сарсынан чисмин орбит елементләри сарсыныр—бәрабәрсизликләр јараныр. Бу сарсынмалар периодик, әсри вә гарышыг олмагла үч нөвә бөлүнүр. Көј чисимләри системләринин вә бу системдә ајры-ајры чисимләр групунун тәкамүлүнү өјрәнәркән әсри вә гарышыг сарсынтылар хүсуси дәгигликлә нәзәрә алынмалыдыр.

Сарсыдычы гүввәнин тә'сиринә аид ашағыдакы мисала бахаг. Фәрз едәк ки, P_1 һәрәкәтини өјрәндијимиз—*сарсынан*, P_2 исә бу һәрәкәти *сарсыдан* планетдир. Бунларын күтләләри ујғун олараг m_1 вә m_2, араларындакы мәсафә исә r олсун. Бу планетләрин, күтләси M олан C нөгтәсиндәки Күнәшдән мәсафәләринә ујғун олараг r_1 вә r_2 дејәк (шәкил 64). Бу үч чисим бир-биринә үмумдүнја чазибә гануну илә тә'сир едир вә һәр бири ујғун тә'чилләр алыр. Сарсынан планетин (P_1 Күнәшдән алдығы нисби тә'чил

$$W' = -G\frac{M+m_1}{r_1^3}r_1;$$

Күнәшин P_1 планетиндән алдығы тә'чил $\vec{W}'' = G\frac{m_1}{r_1^3}\vec{r}_1$;

Күнәшин P_2 планетиндән алдығы тә'чил $\vec{W}_2 = G\frac{m_2}{r_2^3}\vec{r}_2$; сарсынан планетин сарсыдычы планетдән алдығы тә'чил $\vec{W}_1 = G\frac{m_2}{r^3}\vec{r}$. Сарсыдычы гүввәнин јаратдығы тә'чилләр $\vec{W}_1$ вә $-\vec{W}_2$-дир вә мәһз бу тә'чилләр P_1 планетинин һәрәкәтинин P_2 планети тәрәфиндән сарсынмасына кәтирир. Шәкилдән көрүндүјү кими *сарсыдычы гүввәнин јаратдығы тә'чил бу ики тә'чилин һәндәси фәргинә бәрабәрдир*:

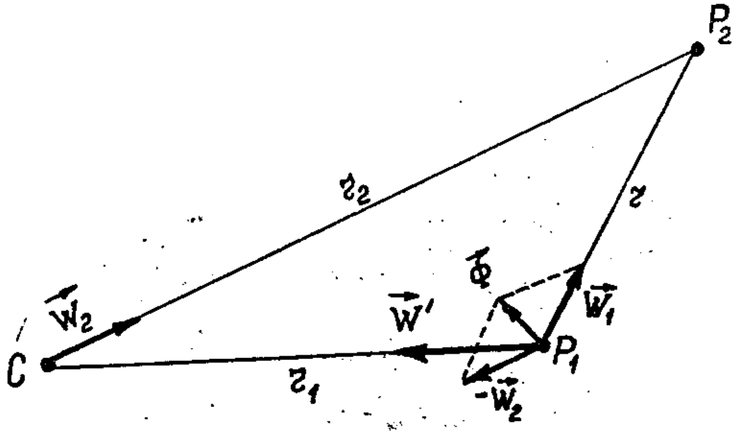
$$\vec{\Phi} = \vec{W}_1 - \vec{W}_2 = Gm_2\left(\frac{\vec{r}}{r^3} - \frac{\vec{r}_2}{r_2^3}\right).$$

Бакыханов планет орбити елементләринин сарсынмаларыны изаһ едәркән көстәрмишдир ки, сарсынма чазибә гүввәсиндәки фәргә көрә көј чисимләринин (орбитләринин) әјрилији үзүндән өз јолундан чыхмасы илә баш верир. Шүбһә јохдур ки, о, бурада јухарыдакы тә'чилләр фәргини вә јаранан сарсынтыны нәзәрдә тутмушдур.

P-ин C вә P_2 тәрәфиндән чазибә гүввәләри ујғун олараг

$$-G\frac{Mm_1}{r_1^3}\vec{r}_1 \quad \text{вә} \quad G\frac{m_1m_2}{r^3}\vec{r}.$$

Бу ики гүввәдә башга P_1 планетинә, Кориолис теореминә әсасән Күнәшин мүтләг координат системинә нәзәрән $\vec{W}$ тә'чилли ирәлиләмә һәрәкәтиндән јаранан эталәт гүввәләри дә тә'сир етмәлидир:



Шәкил 64. Планетин һәрәкәтинин сарсынмасы вә сарсыдычы гүввәнин тәсвири.

$$\vec{W} = \vec{W}'' + \vec{W}_2 = G\frac{m_1}{r_1^3}\vec{r}_1 + G\frac{m_2}{r_2^3}\vec{r}_2$$

олдуғундан P_1 планети үчүн эталәт гүввәси

$$-m_1\vec{W} = -G\frac{m_1^2}{r_1^3}\vec{r}_1 - G\frac{m_1m_2}{r_2^3}\vec{r}_2$$

олар.

P_1 планетинин һәрәкәтинә сәбәб олан гүввәләр $m_1\vec{W}' - G\frac{m_1\cdot m_2}{r_2^3}\vec{r}_2$ вә $G\frac{m_1\cdot m_2}{r^3}\vec{r}$ олдуғундан, бахылан бүтүн гүввәләрин әвәзләјичиси

$$\vec{F} = -G\frac{m_1(M+m_1)}{r_1^3}\vec{r}_1 + Gm_1m_2\left(\frac{\vec{r}}{r^3} - \frac{\vec{r}_2}{r_2^3}\right) \qquad (4.43)$$

олар. (4. 43) ифадәсиндә биринчи топланан P_1 планетинин сарсынмајан һәрәкәтини мүәјјән едир, икинчи топланан исә P_2 планетинин P_1 планетинә көстәрдији сарсыдычы гүввәдир.

Ајдындыр ки, (4.43) башланғычы мәркәзи чисимдә (мәсәлән Күнәшдә) олан вә охлары фиксә олунан координат системиндә бизи марагландыран чисмин (мәсәлән P_1 планетинин) һәрәкәт тәнлијидир.

Бурада нәзәрдә тутурук ки, бу тәнлијин сол тәрәфи $\vec{F}=m_1\frac{d^2\vec{r}_1}{dt^2}$ -дыр.

Бу тәнликдә сарсынманы тә'јин едән икинчи топланан биринчијә нисбәтән чох-чох кичик олса да, ону чох заман нәзәрә алмаг лазымдыр. (4.43)-ү ашағыдакы мүһакимәјә әсасән бир баша јазмаг олар: m_1 күтләли сарсынан планетин Күнәшдән алдығы нисби тә'чил

$$\vec{W}'=-\frac{G(M+m_1)}{r_1^3}\vec{r}_1,$$

сарсыдычы гүввәнин (күтләси m_2 олан сарсыдан планетин) јаратдығы тә'чил исә $\vec{\Phi}=Gm_2\left(\frac{\vec{r}}{r^3}-\frac{\vec{r}_2}{r_2^3}\right)$ олдуғундан, $\vec{F}=\vec{W}'\cdot m_1+\vec{\Phi}m_1$ јазмагла (4.43)-ү алмыш оларыг.

§ 55. КӨЈ ЧИСИМЛӘРИНИН КҮТЛӘСИНИН ТӘ'ЈИНИ

Көј чисимләринин күтләси онлары сәчијјәләндирән әсас параметрләрдән биридир. Көј чисимләринин күтләсини билмәдән онларын физики тәбиәтини, гаршылыглы әлагәләрини вә тә'сирләрини, онларын мәншә вә тәкамүлләрини өјрәнмәк олмаз. Тәәссүф ки, јалныз мүәјјән груп чох маһдуд сајда көј чисимләринин күтләсини тә'јин етмәк вә ја тәгрибән гијмәтләндирмәк мүмкүндүр. Бу ишдә үмумдүнја чазибә гануну бөјүк рол ојнајыр. Үмумдүнја чазибә ганунунун ән бөјүк тәтбиги әһәмијјәтләриндән бири дә будур. Нјутон өзү илк дәфә үмумдүнја чазибә ганунуна әсасән чисимләрин нисби күтләсинин тә'јини илә мәшғул олмушдур.

Әввәлчә **Јерин күтләсинин тә'јини үсулуна** бахаг. Чазибә ганунуна әсасән Јерин сәтһиндә ағырлыг гүввәси тә'чилинин модулуну јазаг:

$$g=G\frac{m}{R^2};\tag{4.44}$$

бурада G—гравитасија сабити, m—Јерин күтләси, R—онун радиусудур. Гравитасија сабити G Кавендиш вә ја Јолли тәчрүбәләри васитәсилә тә'јин едилир вә гијмәти кифајәт гәдәр дәгигликлә мә'лумдур. Гравиметрија үсулу илә Јердә апарылан өлчмә ишләри онун сәтһинин мүхтәлиф чоғрафи мәнтәгәләриндә ағырлыг гүввәси тә'чилини тапмаға имкан вермишдир. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, Јерин сәтһиндә һәр бир нөгтәдә ағырлыг гүввәсини ики компонентә—Јерин мәркәзинә јөнәлән чазибә гүввәси вә Јерин фырланма охуна перпендикулјар олан мәркәздәнгачма гүввәсинә ајырмаг олар. Јерин гүтбләриндә бу компанентләрдән јалныз чазибә гүввәси нәзәрә алыныр, Јерин екваторунда исә мәр-

кәздәнгачма гүввәси чазибә гүввәсинин әкси истигамәтдә јөнәлир; ән мүһүм олан бу чәһәти вә Јерин гүтбләриндән басыглығыны нәзәрә алараг габагчадан нәтичәјә кәлмишләр ки, Јерин екваторуна доғру ағырлыг гүввәсинин тә'чили кичилмәлидир. Һәгигәтән гравиметрија өлчмәләринә әсасән Јерин гүтбүндә вә екваторунда ағырлыг гүввәләри тә'чилләри фәргинин $g_{90}-g_0=983{,}2-978{,}0=5{,}2$ см/сан^2 олдуғу мүәјјән едилмишдир; бу фәргин 2/3 һиссәси екваторда мәркәздәнгачма тә'чилинин, 1/3 һиссәси исә Јерин басыглығынын һесабынадыр. Бу дедикләримизи нәзәрә алмагла мүвафиг g-нин вә R-ин гијмәтләрини (һәмчинин G-нин гијмәтини) (4.44) дүстурунда јазмагла Јерин күтләси үчүн $m=5{,}976\cdot10^{27}$г алыныр.

Јухарыдакы үсулла јалныз Јерин күтләси тә'јин олунмушдур.

Күнәшин күтләсини мүтләг ваһидләрлә тә'јин етмәк үчүн Күнәшин вә Јерин күтләләри нисбәтини тапмаг лазымдыр. Бундан өтрү Күнәш — Јер — Ај системинә Кеплерин Нјутон тәрәфиндән дәгигләшдирилмиш үчүнчү гануну тәтбиг олунур: Күнәшин, Јерин вә Ајын күтләләринә ујғун олараг M, m, m_1, Јерин вә Ајын орбитләринин бөјүк јарымохларына a вә a_1, улдуз илә вә сидерик аја ујғун олараг T вә T_1 десәк, Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү гануну әсасында

$$\left(\frac{M}{m}+1\right):\left(\frac{m_1}{m}+1\right)=\left(\frac{a}{a_1}\right)^3\left(\frac{T_1}{T}\right)^2 \qquad (4.45)$$

јазарыг.

Ајын күтләси Јеринкиндән нәзәрә алынмајачаг гәдәр кичик олмадығындан (4.45) дүстурунда Ајын күтләси нәзәрә алынмалыдыр. Ајын күтләсинин тә'јини илә илк дәфә Ејлер мәшғул олмушдур. О, һәр шејдән әввәл, нәзәрә алмышдыр ки, Ајын чазибә гүввәсинин тә'сири илә Јер бу ики чисим системинин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында сидерик аја бәрабәр дөврлә еллипс чызмалыдыр. Бу физики һадисә өзүнү Күнәшин еклиптик узунлуғунун ајлыг периодла дәјишмәјиндә көстәрмәлидир; Күнәшин көрүнән һәрәкәтиндәки бу «ај бәрабәрсизлији»нин тәһлили көстәрир ки, Јерин мәркәзи ондан 4650 км мәсафәдә (демәли онун дахилиндә) јерләшән «Јер—Ај» системинин күтлә мәркәзи әтрафында һәгигәтән сидерик аја бәрабәр дөврлә еллипс чызыр. Ејлер бу һадисәнин мүрәккәб ријази тәһлилинә әсасән Ајын күтләсинин Јерин күтләсинә нисбәтини тапмышдыр. Сонралар—1930—1931-чи илләрдә «Јер-Ај» системинин күтлә мәркәзинин вәзијјәти Ерос астероидинин бөјүк гаршыдурмасы заманы апарылан мүшаһидәләриндән дә тапылмышдыр; һәр 37 илдән бир Јердән ән јахын мәсафәдә олан бу кичик планет 1931-чи илин февралында Јердән беләјахын мәсафәдә —1/7 а. в. мәсафәдә олмушдур. Нәһајәт Јерин сүн'и пејкләринин һәрәкәтләриндәки сарсынтылары тәһлил етмәклә Ајын күтләсинин Јерин күтләсинә нисбәти даһа да дәгигләшдирилмиш вә бунун әсасында 1964-чү илдә Бејнәлхалг Астрономија Иттифагынын гәрары илә бу нисбәт 1/81,30 гәбул едилмишдир. Ајын сүн'и пејкләринин орбитләринин Ај тәрәфиндән сарсынмалары тәһлил едилдикдән сонра 1966-чы илдә Ајын Јерә нисбәтән күт-

ләси үчүн бу гијмәт бир даһа тәсдиг едилди. $\frac{m_1}{m}$-ин бу гијмәтини вә (4.45) дүстурунда сағ тәрәфдәки кәмијјәтләрин әдәди гијмәтләрини нәзәрә алсаг бу дүстурдан $\frac{M}{m} = 333000$ вә ја Јерин күтләсинин мә'лум гијмәтинә әсасән Күнәшин күтләси үчүн $M = 1{,}99\ 10^{33}$г. $\approx 2.10^{33}$г **алыныр.**

Пејки олан планетләрин күтләси дә (4.45) дүстурундан тапылыр. Бу дүстурдакы $\frac{M}{m}$ Күнәшин күтләсинин пејки олан планетин күтләсинә нисбәтидир. Чох һалларда пејкин вә планетин күтләләри нисбәти $\frac{m_1}{m} \ll 1$ олдуғундан (4.45)-дә $\frac{m_1}{m} + 1 = 1$ гәбул едилир; (4.45) дүстурунда a—планетин орбитинин, a_1 исә пејкин орбитинин бөјүк јарымохлары, T вә T_1 исә ујғун олараг планетин Күнәш әтрафында вә пејкин планет әрафында доланма сидерик периодларыдыр.

Күнәшин мә'лум күтләсинә әсасән (4.45) ифадәсиндән тапылан $\frac{M}{m}$ нисбәтиндән планетин күтләси тә'јин олунур.

Планет пејкләринин күтләләри „*планет—пејк*" системи үчүн јазылан

$$\frac{T_1^2(m + m_1)}{a_1^3} = \frac{4\pi^2}{k^2}$$

дүстурундан тапылыр (*бу ара* m—планетин, m_1—онун *пејкинин күтләси*, T_1 *пејкин планет әтрафында сидерик периоду*, a_1—пејкин орбитинин бөјүк јарымохуду).

Пејки олмајан планетләрин (Меркури, Венера) күтләси сарсынты нәзәријјәсинә әсасән тапылмышдыр. Венеранын күтләси, онун сүн'и пејкләринин орбитләринин бу планет тәрәфиндән сарсынмасына әсасән 1975-чи илдә там дәгигләшдирилмишдир; Меркуринин күтләси онун јахынлығындан кечән астероидләрин һәрәкәтинин бу планет тәрәфиндән сарсынмасына әсасән тапылмышдыр (мә'лумдур ки, астероидләрин бә'зиләри вахташыры бу вә ја дикәр планетә јахынлашыр).

Гоша улдузларын күтләләри бу системләрин мүшаһидәләриндән тапылан бә'зи параметрләрә әсасән Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү ганунундан тапылыр (бах § 117).

Ајын вә планетләрин фигурлары, бу көј чисимләринин сүн'и пејкләринин һәрәкәтинин һәмин көј чисимләри тәрәфиндән сарсынмасынын тәдгиги илә дәгигләшдирилмишдир.

§ 56. АЈЫН ҺӘРӘКӘТИНИ САРСЫДАН ГҮВВӘ

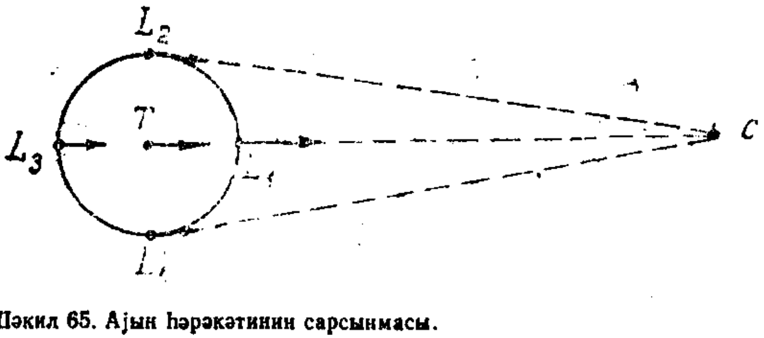
Билирик ки, Күнәш—Јер—Ај системиндә Ајын һәрәкәтинә бахыларса, Јер мәркәзи чисим, Күнәш исә сарсыдычы чисим олар. Фәрз едәк ки, тәзә ај сәфһәсиндә, јә'ни Ај Јерлә Күнәшин арасындадыр. Ајла Јер арасындакы мәсафәјә r, Јерлә Күнәш арасындакы мәсафәјә a, Күнәшин күтләсинә M, Јеринкинә m дејәк: бахылан конфигурасијаја көрә Ајла Күнәш арасындакы мәсафә $(a - r)$ олар. Сарсыдычы *тә'чилин модулу* Ајын Күнәшдән алдығы $G\frac{M}{(a-r)^2}$ тә'чилинин модулу

илә Јерин Күнәшдән алдығы $G\frac{M}{a^2}$ тә'чилинин модлунун фәргинә бәрабәр олдуғундан $\Phi = G\frac{M}{(a-r)^2} - G\frac{M}{a^2}$ јазарыг. $r \ll a$ олдуғундан (r-ин вә a-нын орта гијмәтләриндә $\frac{r}{a} \simeq \frac{1}{390}$-дыр) $a - r \simeq a$ вә $(2ar - r^2) \cong 2ar$ гәбул етсәк

$$\Phi \simeq G\frac{2rM}{a^3} \qquad (4.46)$$

аларыг. Бәдирләнмиш ај фәзасында Јер Ајла Күнәшин арасында јерләшир. Бу заман $\Phi = G\frac{M}{a^2} - G\frac{M}{(a+r)^2}$ јаза биләрик; Јухарыда гәбул етдијим шәртләри бурада да нәзәрә алсаг (4. 46) дустуруну аларыг.

(4.46) ифадәсиндән көрүрүк ки, сарсыдычы тә'чил сарсыдан чисмә (бурада Күнәшә) гәдәр мәсафәнин кубу илә тәрс мүтәнасибдир. Ајын һәрәкәтини сарсыдан гүввәнин тә'чили Јерин Аја вердији $g' = G\frac{m}{r^2}$ тә'чилинин $\frac{\Phi}{g'} = 2\frac{M}{m}\left(\frac{r}{a}\right)^3 \simeq \frac{1}{90}$ һиссәсини тәшкил едир. Ајын һәрәкәтини сарсыдан гүввә Јерин Ајы чәзбетмә гүввәсинин чәми 1%-дән бир гәдәр чох һиссәсини тәшкил етсә дә, Ајын һәрәкәтинин чидди вә мүрәккәб сарсынтылара уғрадығыны, јә'ни чох мүрәккәб ај бәрабәрсизликләри олдуғуну билирик. Тәзә ај сәфһәсиндә Күнәш Ајы Јердән бир гәдәр узаглашдырмаға, бәдирләнмиш ај дөврүндә Јери ајдан аз да олса узаглашдырмаға, рүбләрдә Ајы Јерә азачыг јахынлашдырмаға наил олур. 65-чи шәкилдә T, L, вә C ујғун олараг Јер вә Ај вә Күнәшин мәркәзләридир. Јерин мәркәзи әтрафындакы даирә Ајын орбити, онун үзәриндәки L_i исә мүхтәлиф сәфһәләрдә Ајын вәзијјәтидир. Јухарыда бәһс етдикләримизи бу шәкил бир даһа ајдынлашдырыр.



Шәкил 65. Ајын һәрәкәтинин сарсынмасы.

§ 57. НЕПТУНУН КӘШФИ

1781-чи илдә мәшһур инкилис астроному Виљам Һершел өзүнүн мүшаһидәләрини ондан әввәл тәгрибән бир әср апарылан мүшаһидәләрлә мүгајисә нәтичәсиндә мүәјјән етди ки, әввәлки мүшаһидәләрдә улдуз һесаб едилән бир објект әслиндә планетдир. Беләликлә, Һершел Күнәш системинин једдинчи планетини кәшф етди вә она Уран ады вердиләр. Бундан сонра онун орбити вә орбит елементләринин сарсынмасы һесабланды. Бу заман мә'лум олду ки, Уранын орбитини Кеплер орбитиндән кәнара чыхара билән бүтүн мә'лум амилләр—сарсынтылар нәзәрә алындыгдан сонра белә, әлавә сарсынты галыр. Франсыз астроному Леверје вә инкилис астроному Адамс бир-бириндән хәбәрсиз әлавә сарсынтыја сәбәб ола билән објекти Енкелсин фикринчә десәк «гәләмин учунда» ахтардылар. Онлар мүәјјәнләшдирдиләр ки, сарсынманы јарадан намә'лум бир планетдир. Бу планетин орбитини вә онун да әсасында ефемеридини һесабладылар. Леверје о дөврүн мәшһур алман астроному Һалледән хаһиш етди ки, 1846-чы ил сентјабрын 23-дә көстәрилән астрономик координатларда һәмин намә'лум објекти мүшаһидә етсин. Леверјенин һесабладығы координатлара ујғун нөгтәдән чәми 1° кәнарда бу објект мүшаһидә олунду. Һәмин објект сәккизинчи планет олду вә она Нептун ады верилди.

Нептунун һесабламалар јолу илә кәшфи шүбһәсиз ки, Нјутонун үмумдүнја чазибә ганунунун һәгигәт олмасынын јени сүбуту, көј механикасынын бөјүк наилијјәти олду.

Јери кәлмишкән гејд едәк ки, ахырынчы—доггузунчу планет узун илләр апарылан фотографик мүшаһидәләрдән сонра америкалы алим К. Томбо тәрәфиндән 1930-чу илдә кәшф олунмушдур. Бу планетә Плутон ады верилди.

Бурада ону да гејд едәк ки, XX јүзиллијин әввәлләриндә американ астроному Ловелл өз сәләфләринин јолу илә кедәрәк мүрәккәб ријази һесабламалардан сонра доггузунчу планетин варлығыны сөјләмишди. Лакин бу планет Күнәшдән чох узагда јерләшдијиндән чох зәиф ишыгланмалы вә улдузларын фонунда кичик јердәјишмәјә малик олмалы иди. Мәһз бу сәбәбдән Томбо узун илләр һәмин планети ашкар едә билмәмишди. Плутонун кәшфиндән чох сонралар онун јеканә пејки кәшф едилди вә она Харон ады верилди. Һазырда мә'лум олан доггуз планетдән башга планет вардырмы? Әкәр варса, о, Күнәш системинин ән узаг мә'лум планети олан Плутондан сонра, ја да Нептунла-Плутонун арасында јерләшмәлидир. Томбонун фикринчә еклиптикаја нәзәрән $\pm 7°,5$ гуршагда Нептунла Плутон арасында, ја да Плутондан сонра парлаглығы Плутонун парлаглығындан 20 дәфәјәдәк аз парлаг олан планет јохдур.

§ 58. КҮНӘШ СИСТЕМИНИН ДАЈАНЫГЛЫҒЫ МӘСӘЛӘСИ

Билирик ки, планетләрин һәрәкәтиндәки сарсынтылар периодик, әсри (вә ја узунпериодлу) вә гарышыг адланан нөвләрә ајрылыр. Периодик сарсынтыларын амплитудлары чох да бөјүк дејил. Мәсәлән,

Меркури 15″, Венера 30″, Марс 2′ орта көрүнән вәзиjјәтләриндән периодик оларағ кәнара чыхыр. Планетләрин һәрәкәтләриндәки орта вәзиjјәтдән әсри кәнара чыхманын мүддәти чох бөjүк—jүзилләр ола биләр. Бу һалда, әлбәттә, кәнара чыхманын амплитуду да нисбәтән бөjүк олачаг. Мәсәлән Сатурн вә Jупитер үчүн бу. уjғун оларағ 48′ вә 28′-дир. Бу кәнара чыхмалары онларын хәттн ваһидләрлә ифадә олунан гиjмәтләриндән даһа әjани көрүрүк; белә ки, Марс үчүн бу кәнара чыхма 46 мин км, Нептун үчүн—2 милjон км вә саирәдир. Бунунла белә периоду һәтта ән бөjүк олан кәнара чыхманын амплитудлары кичикдир вә бу кәнара чыхмалар Күнәш системинин даjаныглығына тә'сир едә билмәз.

Планет системинин даjаныглығы проблеми әслиндә бу системин тәкамүлү проблемидир. Бу чәһәтдән әсас сарсынтылар әсри сарсынтыдыр. Галхан дүjүнүн узунлуғу вә периһелинин аргументи әсри сарсыныр. Лакин бу елементләрин әсри сарсынмалары, jә'ни бир истигамәтдә дәjишмәкләри һеч бир даjаныгсызлыға кәтирмәз, чүнки бунлара «динамик» елементләр деjилир. Даjаныглылыг проблемини өjрәнәркән планет орбитинин бөjүк jарымоху a, ексентриситети e, орбит мүстәвисинин еклиптикаjа меjли i елементләринин сарсынмаларыны тәдгиг етмәк әсасдыр. Лаплас, Лагранж, Леверjе көстәрмишләр ки, бу елементләр чох күман ки, даим еjни бир истигамәтдә дәjишмир, jәни даим бөjүjүб, jахуд кичилмир; башга сөзлә бу елементләрин һәр биринин еjни истигамәтдә дәjишмәси узун әсрләр давам етсә дә, дәjишмәнин истигамәти әкси илә әвәз едилир, бу дәjишмәнин амплитуду исә чох кичик олур. Мәсәлән, Jерин һәрәкәт нәзәриjјәсинә көрә онун орбитинин ексентриситети e-нин заман t-дән асылылығы белә jазылыр (t jүзилликләрләдир): $e = 0{,}0167488 - 0{,}0000426t - 0{,}000000137t^2$. Бурадан тапылыр ки, 100 илдә e-нин дәjишмәси 0,0000427-дир. Әлбәттә, бу дүстур чох бөjүк вахт интервалы үчүн дүзкүн олсаjды Jерин орбити Jерин jашына нисбәтән чох гыса мүддәтдә даирәjә чевриләрди. Jахуд орбитин бөjүк jарымоху даим кичилсәjди вә jа даим бөjүсәjди, бу, системин дағылмасына кәтирәрди.

Сон он илликләрдә апарылан кеоложи тәдгигатлар көстәрир ки, гәдимләрдә баш верән кеоложи вә иглим дәjишмәләрини изаһ етмәк үчүн Jерин орбитинин (e, a) елементләриндә, һәмчинин, Jерин фырланма охунун орбит мүстәвисинә i меjлиндә чидди дәjишмәләр олдуғуну һөкм етмәjә еһтиjач jохдур. Белә ки, еклиптиканын екватора меjлинин $\pm 2°$ дәjишмәси Авропада геjдә алынан бузлашмалары изаһ етмәк үчүн там кифаjәтдир (бах §60); a вә e-нин кичик дәjишмәси ε-на нисбәтән даһа тә'сирли оларды, демәли бунлар да милjон илләр әрзиндә чидди дәjишикликлиjә уғрамамышдыр. Күнәш системинин планетләри гаршылыглы чазибәдә олдугларындан бир планетин һәрәкәтиндәки чох чидди дәjишиклик дикәр планетләрин һәрәкәтиндә дә өзүнү көстәрәрди. Одур ки, Jерин орбити чидди дәjишиклиjә уғрамадығы кими дикәр планетләринки дә уғрамаjыбдыр.

Беләликлә, азы ону иддиа етмәк олар ки, *Күнәш системи геjри-муәjјән чох узун мүддәт үчүн даjаныглыдыр.*

§ 59. ГАБАРМА ВӘ ЧӘКИЛМӘ

Јерин радиусу Аја вә һәтта Күнәшә гәдәр мәсафәјә нисбәтән сонсуз кичик олмадығындан бу көј чисимләри Јерин мүхтәлиф нөгтәләринә һәр бир анда мүхтәлиф дәрәчәдә сарсыдычы тә'сир көстәрир. Јер мүтләг бәрк чисим олсајды бу тә'сир өзүнү һисс едилмәјәчәк кәрилмәдә көстәрәрди. Јер бир тәрәфдән пластикдир, дикәр тәрәфдән дә онун **сәтһинин әксәр һиссәси су гаты илә өртүлүдүр, одур ки, Ајын (вә Күнәшин)** сарсыдычы тә'сири башга тә'сирләрлә јанашы онун сәтһиндә, маје вә һава өртүјүндә габарма вә чәкилмә һадисәләринә сәбәб олур.

Садәлик вә әјанилик үчүн фәрз едәк ки, Јер күрәсинин гуру сәтһи мүәјјән галынлыға малик һидросферлә әһатә олунмушдур. 66-чы шәкилдә јерин T мәркәзи, Ај (L) вә Јерин һидросфер өртүјүндә A, B, D, F нөгтәләри көстәрилмишдир. Јерә гәдәр мәсафәси r вә күтләси m олан Ај, R радиуслу Јерин һәр бир нөгтәсини мә'лум ганунла чәзб етдијиндән бу нөгтәләрдә су дамчылары вә Јерин (T) мәркәзи мүәјјән тә'чилләр алмалыдыр. Бу тә'чилләрин бир гисминин модулларыны јазаг вә нәзәрдә тутаг ки $R \ll r$-дир.

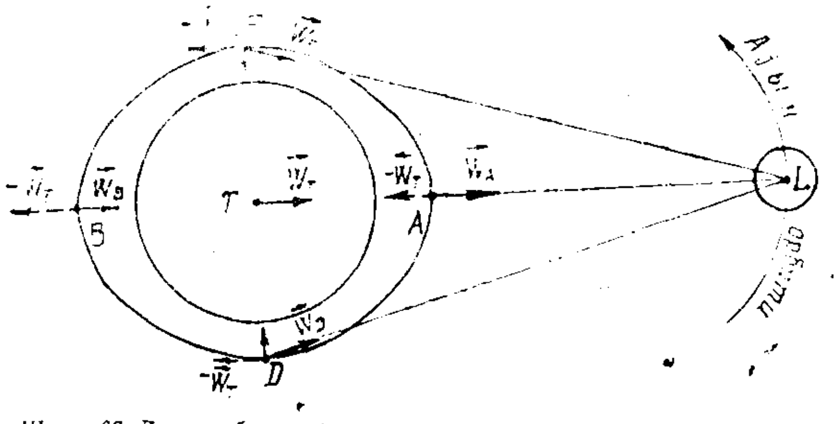
$W_T = G\frac{m}{r^2}$ (Јерин T мәркәзинин алдығы тә'чил),

$W_A = G\frac{m}{(r-R)^2}$ (A нөгтәсинин алдығы тә'чил),

$W_B = G\frac{m}{(r+R)^2}$ (B нөгтәсинин алдығы тә'чил),

$W_A - W_T \simeq G\frac{2Rm}{r^3}$ — A нөгтәсинин Јерин мәркәзинә нәзәрән нисби тә'чили,

$W_T - W_B \simeq G\frac{2Rm}{r^3}$ — B нөгтәсинин Јерин мәркәзинә нәзәрән нисби тә'чилидир.



Шәкил 66. Дәниз габарма вә чәкилмәләринин схематик тәсвири.

Шәкилдән вә бу јазылан ифадәләрдән ајдындыр ки, Јерин мәркәзиндән ујғун олараг Аја вә экс тәрәфә јөнәлән ($W'_A - W'_T$) вә($W'_T - W'_B$) нисби тә'чилләри A вә B нөгтәләриндә ағырлыг гүввәси тә'чилини бир гәдәр зәифләтмәлидир. F вә D нөгтәләринин Ајын чазибә гүввәсиндән алдыглары тә'чил векторларынын истигамәтләри илә Јерин мәркәзинин Ајдан алдығы тә'чил векторунун тәрс истигамәти кор бучаг әмәлә кәтирир вә бу гүввәләрин әвәзләјичиләри санки Јерин мәркәзинә јөнәлир; бу о демәкдир ки, Ајдын чазибә гүввәси F вә D нөгтәләриндә ағырлыг гүввәси тә'чилини бир гәдәр бөјүтмәлидир. Бахылан дөрд нөгтәдә ағырлыг гүввәси тә'чилинин дәјишмәси хүсусијјәтләриндән ајдындыр ки, Ајын шәкилдә көстәрилән вәзијјәтиндә A вә B нөгтәләри Јерин мәркәзиндән узаглашмалы, F вә D нөгтәләри исә она јахынлашмалыдыр; башга сөзлә, һидросфер өртүјү бөјүк оху Јер—Ај истигамәтиндә олан еллипс шәклини алмалыдыр. Әлбәттә, DAF вә DBF областларында ағырлыг гүввәсинин тә'чили арасы кәсилмәдән D вә F-дән A-ја вә D вә F-дән B-јә доғру тәдричән кичилмәли, A вә B-дә ән кичик олмалыдыр (A-дан вә B-дән D вә F-ә доғру исә әксинә бу тә'чил бөјүмәли вә D вә F-дә ән бөјүк олмалыдыр). Дедикләримиздән ајдындыр ки, Ајын зенитдә вә надирдә олдуғу чоғрафи мәнтәгәләрдә, јә'ни A вә B нөгтәләриндә вә бунларын јахынлығында һидросфер ән чох габармалы, D вә F-дә вә онларын әтрафында исә ән чох чәкилмәлидир. Јер өз оху әтрафында фырландығындан Јер сәтһи үзрә габарма вә чәкилмә зоналары арасы кәсилмәдән сүрүшмәлидир; даһа дәгиг десәк, Ајын ики ардычыл ејни адлы кулминасијасы арасында кечән вахт фасиләсиндә (билирик ки, бу мүддәт $24^h\ 52^m$-дир) Јерин һәр бир мәһәллиндә ики габарма вә ики чәкилмә һадисәси олмалыдыр.

$$W'_A - W'_T \approx W'_T - W'_B \sim Gm\,\frac{2R}{r^3} \qquad (4.47)$$

дүстурундан көрүрүк ки, габарма тә'чили бу тә'чили јарадан көј чисминин күтләси илә дүз, Јердән бу көј чисминә гәдәр мәсафәнин кубу илә тәрс мүтәнасибдир. Бу белә дә олмалыдыр—габарма гүввәси сарсыдычы гүввәдир вә билирик ки, һәмин гүввәнин сарсыдычы чисмин күтлә вә мәсафәсиндән асылылығы (4.46) кими ифадә едилир. Дедикләримизи Күнәшин габарма тә'чилинә тәтбиг етсәк, бу тә'чил үчүн

$$GM_\odot \frac{2R}{a^3}$$

јазарыг; бурада $M_\odot$—Күнәшин күтләси, a—Јерлә Күнәш арасындакы мәсафәдир R—әввәлки кими Јерин радиусудур. Ајдын габарма тә'чилинин Күнәшинкинә нисбәти

$$\frac{m}{M_\odot}\left(\frac{a}{r}\right)^3 \simeq 2{,}2.$$

Демәли, Күнәшин Јерә көстәрдиј габарма тә'сири Ајынкындан ики дәфәдән дә чох кичикдир. Бу сәбәбдән Күнәш ајрылыгда габарма

вә чәкилмә төрәтмир, јалныз о, ај габармасынын гијмәтини дәјишдирир: долу вә тәзә ајда (сизигијдә) күнәш габармасы ај габармасы илә топланыр вә ән бөјүк габарма баш верир, Ај рүбләрдә оланда исә күнәш габармасы ај габармасындан чыхылыр вә габарма ән кичик олур.

Гејд едәк ки, габарма вә чәкилмә һадисәси далға һадисәсидир. Бу далғанын габарыг һиссәси габарма, чөкүк һиссәси исә чәкилмә верир. Белә далғанын периоду $12^h, 26^m$ -дыр, амплитудасы исә бир чох амилләрдән асылыдыр: океан саһилләри чох мүхтәлиф контурлара маликдир, океанын дибинин релјефи исә чох мүхтәлифдир. Бу сәбәбләрдән габарма далғасынын јаранмасы вахты вә амплитуду мүхтәлиф мәһәлләрдә мүхтәлифдир; ачыг океанда габарма далғасынын амплитуду 1-м-дән артыг олмур, саһил јахынлығында исә онун контурундан вә дәринлијиндән асылы олараг габарма чох бөјүк олур; мәсәлән Охот дәнизиндә Пенжински саһилиндә габарманын ән бөјүк гијмәти 13 м-ә гәдәр, Канаданын Атлантика саһилиндәки Фанди көрфәзиндә исә һәтта 18 м олур. Балтик вә Гара дәнизләрдә габарма чәми бир нечә сантиметр олур.

Јерин гуру сәтһи дә суткада дөрд дәфә габарма вә чәкилмәјә мә'руз галыр, лакин бу габарма вә чәкилмәләрин амплитудлары олдугча кичикдир (бир нечә десиметрә гәдәрдир).

Јерин атмосфериндә габарма вә чәкилмәнин тә'сири илә атмосферин тәзјиги дөвру олараг глобал дәјишикликләрә уғрајыр.

Нәһајәт Ајын габарма гүввәсинин тә'сири илә јаранан габарма далғаларынын Јерин бәрк һиссәсинә сүртүнмәси нәтичәсиндә билдијимиз кими Јерин фырланма периоду аз да олса (јүз илдә $0^s,0014$) бөјүјүр.

Габарма вә чәкилмәләр бөјүк олан океан көрфәзләриндә кәми нәглијјатыны тәнзим етмәк үчүн габагчадан һесабламалар јолу илә габарма вә чәкилмәнин вахт чәдвәлләри тәртиб едилир.

Сон вахтлар океанларда габарма вә чәкилмә енержисиндән истифадәјә бөјүк фикир верилир вә бу мәгсәдлә габарма вә чәкилмә илә ишләјән електрик стансијаларынын тикинтиси кенишләнир.

Јер Аја даһа бөјүк габарма тә'сири едир. Ајын радиусу Јеринкиндән 3,67 дәфә кичик олса да, Јерин күтләси Ајын күтләсиндән 81,3 дәфә бөјүк олдуғундан (4.47) дүстурундан көрүндүјү кими Јерин Аја габарма тә'сири Ајын Јерә габарма тә'сириндән $\frac{81,30}{3,67}$ дәфә бөјүкдүр. Мәһз бунун нәтичәсиндә вахты илә сүр'әтлә фырланан Ајын фырланма сүр'әти тәдричән азалмышдыр вә бу, Ајын фырланма дөврүнү Јер әтрафында доланма дөврү илә (сидерик ајла) бәрабәрләшәнәдәк давам етмишдир; көстәрилән дөврләрин бәрабәрләшмәси илә әлагәдар олараг һәмишә Јерә јөнәлән ај јарымкүрәси экс јарымкүрәјә нисбәтән бир гәдәр узунсовдур; бу ассимметрија, Ај тәрәфиндән Ајын јахын сүн'и пејкләри орбитләринин сарсынмасы тәһлил олунаркән ашкар едилмишдир.

§ 60. ПРЕСЕССИЈА ВӘ НУТАСИЈА.

1. Јерин фырланма охунун фәзада һәрәкәти. Јер Күнәшин әтрафында иллик дөврлә һәрәкәт едәркән онун фырланма оху фәзада јалныз биринчи јахынлашмада өз истигамәтини сахлајыр; узун вахт интервалында исә Јерин фырланма охунун истигамәти фәзада ашкар дәјишир Ајдындыр ки, Јерин фырланма охунун фәзада өз истигамәтини дәјишмәсинин тәзаһүрү дүнја охунун истигамәтинин дәјишмәси олар. Мәһз бу дәјишмәни илк дәфә һәлә ерамыздан әввәл II јүзилликдә бөјүк јунан астроному Һиппарх кәшф етмишдир. Һиппарх тәрәфиндән прессесија адландырылан бу һадисә нәтичәсиндә көј екваторуна перпендикулјар олан дүнјанын оху илдә 50″, 27 дөнәрәк еклиптикаја перпендикулјар истигамәт әтрафында 360°/50″,27=25800≃26000 ил әрзиндә там коник сәтһ чызыр. Бу мүддәтдә дүнјанын гүтбләри ек- тәрәфиндән пресессија адландырылан бу һадисә нәтичәсиндә көј екватора мејлинә (~23°26′,5) бәрабәр олан даирәләр чызыр. Дејиләнләр 67-чи шәкилдә тәсвир олунмушдур: бурада ξ, ξ′—еклиптика, *П* вә *П′* онун шимал вә чәнуб гүтбләри, *QQ′* (I) көј екваторунун әввәлки, *QQ* (II) сонракы, *P* (I) дүнјанын шимал гүтбүнүн әввәлки, *P* (II) сонракы, ϒ—јазбәрабәрлији нөгтәсинин әввәлки, ϒ′—сонракы вәзијјәтләридир. Әслиндә пресессија, Күнәш әтрафында доланаркән Јерин фырланма охунун фәзада өз орбит мүстәвисинә перпендикулјар истигамәт әтрафында коник сәтһ чызмасы демәкдир; мә'лумдур ки, Һиппарх о дөврдә белә фикирләшә билмәзди, о вахтлар Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәтинә һәгиги һәрәкәт кими бахырдылар. Лакин о дөврдә Јерин фырланма оху әвәзинә дүнјанын оху, Јерин орбит мүстәвиси әвәзинә еклиптика мүстәвиси гәбул едилсә дә Һиппарх тәрәфиндән кәшф олунан һадисәнин маһијјәти дәјишмир.

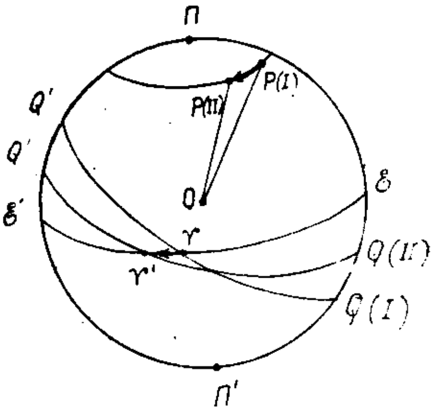
Пресессија һәрәкәтинин тәзаһүрләри. а) Дедик ки, пресессија һәрәкәти нәтичәсиндә дүнјанын гүтбү (дејәк ки, шимал гүтбү) еклиптиканын гүтбү(шимал гүтбү) әтрафында 26000 ил мүддәтиндә радиусу еклиптиканын екватора мејлинә бәрабәр олан даирә чызыр. Одур ки, дүнја гүтбүнүн улдузлара нисбәтән вәзијјәти дәјишмәлидир. Мәсәлән, 4000 ил бундан әввәл дүнјанын шимал гүтбү α Әждаһа улдузунун јахынлығында олмуш, инди α Кичик Ајы улдузунун јахынлығындадыр. 12 мин илдән сонра α Лиранын—Веганын јахынлығында олачагдыр.

Дедикләримизлә әлагәдар јадда сахламаг лазымдыр ки, пресессија һәрәкәти Јерин сәтһиндә чоғрафи енлијә һеч бир тә'сир көстәрмир. Бу о демәкдир ки, гүтбүн үфүгдән олан һүндүрлүјү мәһәллин чоғрафи енлијинә бәрабәр олдуғундан 12 мин илдән сонра мәһәллин чоғрафи енлијинә бәрабәр һүндүрлүкдә Кичик Ајынын α улдузу дејил, Вега олачагдыр. Беләликлә, пресессија һәрәкәти улдуз бүрчләринин мәһәлдә көрүнмәси шәраитинә тә'сир едир.

б) Јерин фырланма охунун (јахуд дүнјанын охунун) фәзада даим өз истигамәтини дәјишмәси онун перпендикулјар олдуғу јер екваторунун (көј екваторунун) фәзада даим вәзијјәтинин дәјишмәсинә кәтирмәлидир. Бу сәбәбдән көј екваторунун еклиптика илә кәсишмә нөгтә-

ләри олан јаз вә пајыз бәрабәрликләри нөгтәләри, гәрбә, јә'ни көј сферасынын фырланмасы истигамәтдә сүрүшүр (бах шәкил 67). Мәһз бу һадисәнин һәрфи мә'насы пресессијадыр (бәрабәрликләр нөгтәләринин «габагламаг»-дыр).

Ерамызын әввәлләриндә јазбәрабәрлији Гоч бүрҹүндә (♈), пајыз бәрабәрлији нөгтәси исә Тәрәзи бүрҹүндә (♎) олмушдур; пресессија нәтиҹәсиндә индики епохада бу нөгтәләр ујғун олараг Балыглар вә Гыз бүрҹләриндәдир, (лакин ән'әнәви олараг јаз вә пајыз бәрабәрлији нөгтәләринин көһнә ишарәләри инди дә сахланыр). Бәрабәрлик нөгтәләринин еклиптика үзрә ил әрзиндә сүрүшмәси 50″,27-дир вә бу еклиптикада үмуми иллик пресессијанын гијмәти һесаб олунур. Екваторда үмуми иллик пресессија 50″,27. Cosε = = 46″, 11-дир.

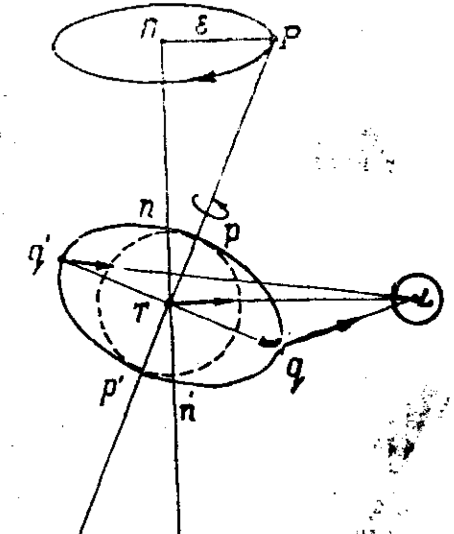


Шәкил 67. Пресессија һадисәсинин Һиппарх тәсвири.

в) Јазбәрабәрлији нөгтәсинин еклиптика үзрә Күнәшин һәрәкәтинин әксинә доғру сүрүшмәси нәтиҹәсиндә јазбәрабәрлији нөгтәсиндән чыхан Күнәш нөвбәти јазбәрабәрлији нөгтәсинә бир гәдәр тез чатмалыдыр. Пресессија олмасајды Күнәшин нөвбәти јазбәрабәрлијинә (јахуд улдуза нисбәтән әввәлки вәзијјәтинә) чатмасы үчүн о, әлавә 50″,27 јол гәт етмәлидир; бунун үчүн исә ~ 20^m вахт лазымдыр (бах § 13). Беләликлә, Күнәшин јазбәрабәрлији нөгтәсиндән ики ардычыл кечмә анлары арасындакы мүддәт, јә'ни тропик ил, улдуз илиндән тәгрибән 20^m гысадыр. Биз бу илләрин дәгиг узунлугларыны билирик (бах § 13).

г) Пресессија нәтиҹәсиндә јазбәрабәрлији нөгтәси еклиптика үзрә көј сферасынын фырланмасы истигамәтиндә сүрүшдүјүндән, көј ҹисимләринин еклиптик узунлуғу исә еклиптика үзрә јазбәрабәрлији нөгтәсиндән көј сферасынын фырланмасынын әкси истигамәтдә һесабландығындан онларын еклиптик узунлуғу ил әрзиндә еклиптикада үмуми иллик пресессија гәдәр, јә'ни 50″,27 гәдәр даим бөјүмәлидир. Гәбул етмәк олар ки, пресессија көј ҹисимләринин еклиптик енлијинә, башга сөзлә, еклиптика мүстәвисинин вәзијјәтинә демәк олар ки, тә'сир етмир. Пресессија нәтиҹәсиндә көј ҹисимләринин икинҹи екваториал координатлары даим дәјишир, чүнки бу һадисә нәтиҹәсиндә һәм екваторун вәзијјәти дәјишир (одур ки, көј ҹисминин мејли дәјишир), һәм дә јазбәрабәрлији нөгтәси сүрүшүр (одур ки, көј ҹисминин дүз доғушу дәјишир). Нәтиҹәдә улдузлу көјүн көрүнән мәнзәрәси олдугча ләнк дә олса дәјишир; мәсәлән, көјүн ҹазибәдар бүрҹләриндән олан Орион вә ән парлаг улдуз олан Сириус бир нечә мин илдән сонра бизим енликләрдә көрүнмәз олаҹаг, әвәзиндә көјүн ҹәнуб јарымсферинә мәхсус Ҹәнуб Хачы адланан бүрҹ көрүнәҹәкдир вә с.

3. Јерин фырланма охунун пресессијасынын сәбәби. Јер бирчинс вә ја сабит сыхлыглара малик консентрик сферик гатлардан ибарәт мүтләг бәрк күрә олсајды пресессија һадисәси олмазды. Лакин Јер гүтбләриндән басыг сфероид олдуғундан, јә'ни Јерин екватор зонасы әлавә һалгавари күтлә илә өртүлдүјүндән пресессија һадисәси баш верир. 68-чи шәкилдә Јерин qq' екватор һалгасы вә гырыг хәтлә көстәрилмиш күрәдән ибарәт Јер сфероиди, Ај (L), Ај-Јер мәркәзләрини бирләшдирән хәтт (LT), Ајын мәркәзи L илә екваторун она ән јахын вә ән узаг нөгтәләрини бирләшдирән хәтләр (Lq, Lq'), дүнјанын оху (PP') вә еклиптиканын оху $(ПП')$ көстәрилмишдир. Ај, Јер екваторунун q һиссәсини q' һиссәсинә нисбәтән даһа бөјүк гүввә илә чәзб едәрәк, ону өз орбит мүстәвиси үзәринә (саат әгрәбинин әкси истигамәтдә) салмаға чалышмалыдыр; Ај ејни заманда Јерин T мәркәзинә дә чазибә тә'сири көстәрир. Бу ики сәбәб нәтичәсиндә Јерин фырланма оху q вә q'-ә көстәрилән чазибә гүввәләринин јерләшдији мүстәвијә перпендикулјар истигамәтдә јерини дәјишмәлидир. Јер фырланмасајды, Ајын орбит мүстәвиси Јерин qq' екватор мүстәвисинә мејилли олдуғундан, Јерин екватор һалгасы вә бүтөвлүкдә Јер, дедијимиз истигамәт әтрафында физики рәггас кими сөнән рәгс едәрди. Лакин Јер јухарыдакы истигамәтә перпендикулјар ох әтрафында фырландығындан (Ајын Јер әтрафында доланмасы истигамәтдә) һәр ики һәрәкәти топласаг p гүтбү шәкил мүстәвисиндә $пп'$-ә тәрәф саат әгрәбинин әкси истигамәтдә дөнмәк әвәзинә, бу мүстәвидән чыхараг она перпендикулјар истигамәтә тәрәф јерини дәјишмәлидир; бу заман јерин фырланма оху илә $пп'$ истигамәти арасындакы бучаг мәсафәси (еклиптиканын екватора мејли) сабит галмалы, Јерин фырланма оху бу дәјишмәз мәсафәдә $пп'$ әтрафында конус сәтһи чызмалыдыр (шимал јарымкүрәсиндәки мүшаһидәчијә көрә саат әгрәби истигамәтиндә).



Шәкил 68. Пресессијанын физики сәбәбини изаһ едән шәкил

Јухарыдакы мүһакимәләри Бакыханов һеч бир башга әдәбијјатда олмајан ашағыдакы мүһакимәләрлә вермишдир: Еклиптика екватора мејилли олдуғундан еклиптика үзрә һәрәкәт едән Күнәш јер екваторуну еклиптика үзәринә салмаға чалышыр. Әкәр Јерин өз оху әтрафында фырланмасы вә Ајын чазибә гүввәси буна мане олмасајды, онда Зо-

диак гуршағы орбити (еклиптика—Р. Һүсејнов) екватор хәтти илә бирләшәр, фәсилләрин вә кечә-күндүзүн фәрги арадан чыхарды.

Бу фикир там муасирдир. Доғрудан да, Ајын чазибәси Јерин екватор мүстәвисини Ајын орбит мүстәвиси үзәринә, Күнәшин чазибәси исә еклиптика мүстәвиси үзәринә салмаға чалышырлар. Лакин Јер өз оху әтрафында фырландығындан Ајын вә Күнәшин јер екватору зонасындакы әлавә күтләни чәзб етмәси пресессијаја сәбәб олур.

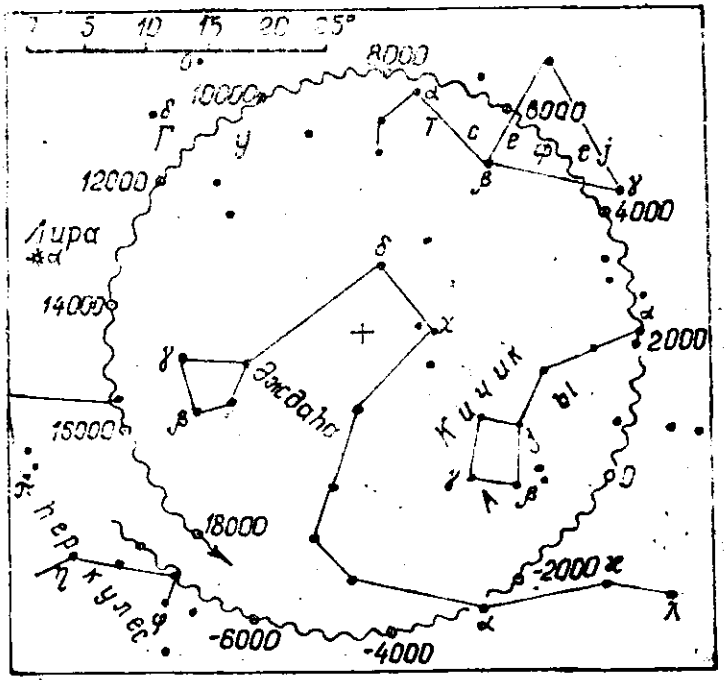
Ајын вә Күнәшин Јерә чазибә тә'сириндән доған пресессија ај-күнәш пресессијасы адланыр. Ајын Јерә сарсыдычы тә'сири Күнәшин сарсыдычы тә'сириндән 2.2 дәфә бөјүк олдуғундан бу пресессијанын 2/3-дән бир гәдәр чоху Ајын пајына дүшүр.

Планетләр дә Јерә пресессија тә'сири едир, лакин онларын Јерә сарсыдычы тә'сири чох кичикдир вә бу тә'сир екваторун вәзијјәтини дәјишә билмир. Белә тә'сир анчаг Јерин орбит мүстәвсинин, башга сөзлә еклиптиканын вәзијјәтини азачыг дәјишир. Бунун нәтичәсиндә бәрабәрлик нөгтәләри еклиптика үзрә Ај-Күнәш пресессијасынын экси истигамәтдә илдә 0″,10 сүрүшүр. Беләликлә еклиптикада үмуми иллик пресессија 50″,37—0″,10=50″,27 алыныр. Планет пресессијасы нәтичәсиндә еклиптиканын екватора мејли һазыркы епохада илдә 0″47 кичилир, тәгрибән 15 мин илдән сонра исә еклиптиканын екватора мејли бу иллик амплитуд илә бөјүмәјә башлајачагдыр. Чүнки билдијимиз кими еклиптиканын екватора мејлинин дәјишмәси просеси әсри олмајыб узун периодлудур.

4. Јерин фырланма охунун нутасијасы. Ајын вә Күнәшин Јерә чазибә тә'сиринин гијмәти даим дәјишир. Бунун сәбәби һәмин көј чисимләринин екватордан мәсафәләринин, јә'ни онларын мејилләринин даим дәјишмәсидир. Ај вә Күнәш екваторда оланда (мејилләри сыфыр оланда) онларын пресессија гүввәләри сыфыр олур. Бу көј чисимләри екватордан ән узагда јерләшәндә (мејилләри ән бөјүк оланда) исә онларын пресессија гүввәләри дә ән бөјүк олур. Билирик ки, Ајын орбит дүјүнләринин бәрабәрлик нөгтәләринә нисбәтән вәзијјәтләриндән асылы олараг Ајын мејлинин дәјишмәси интерваллары да чох мүхтәлиф олур (бах § 46). Бүтүн бунлар Јерин фырланма охунун пресессија һәрәкәтиндән башга онун нутасија адланан кичик рәгсләринә дә сәбәб олур.

Јерин фырланма охунун өз орта вәзијјәти әтрафында ән әсас нутасија һәрәкәтинин периоду ај дүјүнләринин еклиптика үзрә там сүрүшмә периодуна, јә'ни 18,6 илә бәрабәрдир. Јерин фырланма охунун бу ән әсас нутасијасы нәтичәсиндә дүнјанын һәр бир гүтбү көј сферасында өз орта вәзијјәти әтрафында еллипсләр чызыр, бу еллипсләрин бөјүк охлары 18″,42, кичик охлары исә 13″,72-дир.

Пресессијалары вә әсас нутасијаны нәзәрә алсаг дүнјанын шимал гүтбүнүн көј сферасында 10 мин ил бундан әввәл башламыш, 16 мин ил дә бундан сонра давам едәчәк јолу 69-чу шәкилдәки кими тәсвир олуна биләр. Еклиптиканын екватора мејлинин (ε-ун) бахдығымыз вахт интервалында арасы кәсилмәдән чох аз да олса кичилмәси (илдә 0″,47) нәтичәсиндә әјри заман кечдикчә чох аз да олса даим мәркәзә јахын-



Шәкил 69. Aj- үнәш вә планет пресессијалары вә нутасија нәтиҹәсиндә дүнјанын шимал гүтбүнүн јердәјишмәсинин тәсвири

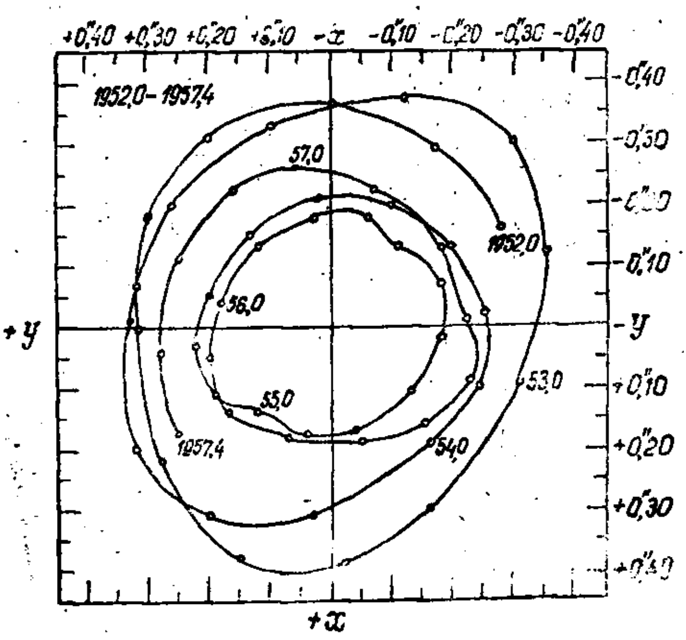
лашыр вә бунунла да даирәнин әввәли вә ахыры бирләшмир; даирәнин һамар әјри олмајыб далғавары олмасына сәбәб исә Јерин фырланма охунун нутасијасыдыр.

§ 61. ЈЕРИН ГҮТБЛӘРИНИН ОНУН СӘТҺИ ҮЗРӘ ҺӘРӘКӘТИ

Һәлә XVIII јүзилликдә Ејлер нәзәри олараг көстәрмишдир ки, Јер периодик тәбии рәгс габилијјәтинә—периодик деформасија габилијјәтинә маликдир. Јерин мүхтәлиф мәнтәгәләриндә ҹоғрафи енлијин тә'јини вә алынан нәтиҹәләрин тәһлили кечән јүзиллијин ахырларында алимләри белә бир нәтиҹәјә кәтирди ки, мәһәлләрин ҹоғрафи енликләри сабит галмајыб өз орта гијмәтләри әтрафында $\pm 0''.3$-jә гәдәр дәјишир. Бундан башга мүәјјән едилди ки, бир мәһәллин ҹоғрафи енлији бөјүјүрсә, онда диаметрал әкс меридиандакы һәмин енликли мәһәллин ҹоғрафи енлији тәгрибән о гәдәр кичилир. Ҹоғрафи енлијин белә дәјишмәсини јалныз Јерин гүтбләринин онун фырланма охуна нәзәрән јердәјишмәси—сүрүшмәси илә изаһ етмәк олар. Ајдындыр ки, бу заман Јерин фырланма оху фәзада өз вәзијјәтини сахлајыр вә јалныз һәр ан Јер сәтһинин јени бир нөгтәси фырланма охунун үзәринә дүшәрәк Је-

рин бу вә дикәр гүтбү олур. Башга сөзлә, Јерин гүтбләри өз орта вәзијјәтләри әтрафында Јерин сәтһи үзрә һәрәкәт—«сәјаһәт» едир. Һадисәни даһа дәриндән өјрәнмәк үчүн онун кәшфиндән дәрһал сонра 1898-чи илдә *Бејнәлхалг енлик хидмәти* адлы тәшкилат јарадылды вә онун тәркибиндә чоғрафи енликләри ејни ($\varphi = \pm 39°08'$) олан 6 Енлик Стансијасы тәшкил едилди; бу стансијалардан бири Чарчоуда (Түркмәнистан әразисиндә) јерләшдирилди. 1930-чу илдә бу стансија Өзбәкистан әразисиндә олан Китаб адлы јерә көчүрүлмүшдүр. Бејнәлхалг мигјасда апарылан енлик өлчмә ишләринин нәтичәләринин тәһлили көстәрир ки, јухарыдан бахдыгда Јерин шимал гүтбү саат әгрәбинин экси истигамәтдә Јер сәтһи үзрә, тәрәфи 30 м олан квадрат дахилиндә даим јерини дәјишир. Бундан башга мүәјјән едилди ки, Јер гүтбләринин һәрәкәти вә еләчә дә чоғрафи енлијин орта гијмәтдән кичик вә бөјүк гијмәтләрә тәрәф кәнара чыхмасы периодикдир. Әсас периодлар 14 ајлыг (буна Чандлер периоду дејилир) вә 12 ајлыг олмагла ики нөвә ајрылыр. Бир иллик период һеч шүбһәсиз ки, һава күтләләринин вә гар һалында сујун јарымкүрәләр арасында пајланмасындакы фәсли дәјишикликләрлә әлагәдардыр. Чандлер тәрәфиндән тапылан 14 ајлыг период исә Јерин тәбии рәгси, јә'ни периодик деформасијасы хүсусијјәтинин нәтичәсидир (дедик ки, һәлә Ејлер көстәрмишдир ки, Јер мүтләг бәрк чисим олсајды бу период 10 ај оларды).

Гејд етмәк лазымдыр ки, Јерин гүтбләринин онун сәтһи үзрә һәрәкәти кетдикчә даһа бөјүк мигјасда өјрәнилир: һазырда мүхтәлиф ен-



Шәкил 70. Јерин шимал гүтбүнүн јер сәтһиндә һәрәкәти.

ликләрдә фәалиjjәт көстәрән Енлик стансиjаларынын саjы 30-а чатдырылмышдыр.

1899-чу илдән индиjәдәк тәгрибән аjда бир дәфә (илдә он дәфә) шимал гүтбүнүн вәзиjjәти гејдә алыныр вә нәтиҹәләр тәһлил едилир.

70-чи шәкилдә Јерин шимал гүтбүнүн онун сәтһи үзрә 1952-чи илдән 1957-чи иләдәк һәрәкәт јолу көстәрилмишдир.

V ФӘСИЛ

АСТРОДИНАМИКАНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

§ 62. КОСМИК УЧУШЛАРЫН ҺӘЈАТА КЕЧИРИЛМИШ БӘ'ЗИ МӘРҺӘЛӘЛӘРИ

Космик учушлар елм вә техниканын мүхтәлиф саһәләринин јүзилләр әрзиндә јаранмасы вә инкишафынын нәтиҹәсиндә мүмкүн олмушдур.

1957-чи ил октјабрын 4-дә дүнјада Јерин илк сүн'и пејкинин мүвәффәгиjјәтлә бурахылмасы елм вә техниканын чох бөјүк наилиjјәти, космосун фәтһинин башланғычы олду.

Јерин сүн'и пејкләрини тәкмилләшдирмәк вә онлардан даһа кениш мәгсәдләр үчүн истифадә етмәк космик учушларын илк мәрһәләси иди. Јерин сүн'и пејкләринин мәгсәд даирәси кенишләндириләрәк ашағыдакы саһәләри әһатә етди: рабитә, метеоролокиjа, Јерин тәбии еһтијатларыны өјрәнмәк, тәбиәтин мүһафизәси, кеодезиjа, јерәтрафы космик фәза, Јерин формасы, дахили гурулушу, Јерин магнит саһәси, атмосфердәнкәнар астрономиjа проблемләри, чәкисизлик вә башга космик учуш шәраитинин ҹанлы организмә тә'сири вә с.

1961-чи ил 12 апрел космик учушун јени бөјүк мәрһәләсинин башланғычы олду. Һәмин күн дүнјада илк дәфә олараг Јури Гагарин јерин сүн'и пејкиндә космик учушуну мүвәффәгиjјәтлә баша вурду.

Бундан сонра даһа узун мүддәт космосда галмагла елми-тәҹрүби техники ишләрлә фәал сурәтдә мәшғул олмаг, ачыг космоса чыхмаг вә с. програмлар һәјата кечирилди.

Күнәш системинин башга ҹисимләринә автомат стансиjалар көндәрмәк проблеми јухарыдакы проблемләрин һәјата кечирилмәси илә јанашы һәлл едилмәјә башланды. Бунун үчүн космик учушун јени мәсәләләри һәлл едилмәли олду. Бу мәсәләләр Јерин ҹазибә саһәсиндән чыхмаг, башга көј ҹисимләринин ҹазибә саһәсинә дахил олмаг, башга көј ҹисминин сүн'и пејки олмаг, орадан Јерә гајытмаг вә башга чох мүрәккәб учуш програмларыны һәјата кечирмәкдән ибарәт олду.

Бурадан аjдын көрүнүр ки, космик системләрин трајекториjалары чох мүхтәлиф вә мүрәккәбдир. Әлбәттә, бу мүрәккәб трајекториjалары кечмәк үчүн космик гурғунун мүрәккәб мүһәррик системи олмалы вә бу системин компонентләри трајекториjанын лазым олан һиссәсиндә ишә салынмалыдыр.

Үмумиjјәтлә, космик гурғунун траjекториjасы әсасән фәал вә пассив һиссәләрдән ибарәтдир; траjекториjанын фәал һиссәсиндә һәрәкәт, реактив мүһәррикин дартма гүввәси вә Јерин (јахуд космик гурғунун галхдығы башга көj чисминин) чазибә гүввәси илә идарә олунур; траjекториjанын пассив һиссәсиндә исә һәрәкәт Јерин (вә ја башга көj чисимләринин) чазибә гүввәси илә идарә олунур.

Бәс космик гурғунун нәзәрдә тутулан траjекториjасы габагчадан һансы принсиплә сечилир вә һесабланыр? Бу вә бә'зи башга суаллара ашағыдакы үч параграфда чаваб верилир.

§ 63. ТӘ'СИР СФЕРАСЫ ҺАГГЫНДА ҮМУМИ АНЛАЈЫШ

Космик апаратын траjекториjасыны һесабламаг әслиндә чох чисим мәсәләсидир. Билирик ки, һәтта үч чисим мәсәләсинин үмуми шәкилдә һәлли јохдур. Һәлә Лаплас Јупитер групуна дахил олан гыса дөврлү кометләрин бу планетә јахынлашмасы заманы јарана билән динамик еффектләри өјрәнмәк мәгсәди илә әслиндә үч чисим мәсәләси олан бу проблеми гоша ики чисим мәсәләсинә ајырмаға мәчбур олмушду: о, көстәрмишдир ки, комет Јупитерә кифајәт гәдәр јахындырса Күнәшин кометә сарсыдычы тә'сирини нәзәрә алмамаг олар; ајдындыр ки, бу һалда мәсәлә ики чисим («Јупитер-комет») мәсәләси олар—комет Кеплер һиперболик траjекториjасы үзрә Јупитерә нәзәрән һәрәкәт едәр; о, Күнәшә кифајәт гәдәр јахын олдугда Јупитерин она сарсыдычы тә'сири нәзәрә алынмаја биләр; ајдындыр ки, бу һалда мәсәлә јенә дә ики чисим («Күнәш—комет») мәсәләси олар—комет Кеплер һелиосентрик еллипси үзрә һәрәкәт едәр. Кометин Јупитерә, сонра исә Күнәшә кифајәт гәдәр јахын олмасы шәртинин өдәнилдији фәзаны Лаплас тә'сир сферасы адландырмышдыр. Бу о демәкдир ки, әкәр комет Јупитерин тә'сир сферасындадырса, онун һәрәкәти Јупитерин чазибә гүввәси илә идарә олунур; комет Күнәшин тә'сир сферасында оланда исә онун һәрәкәти Күнәшин чазибә гүввәси илә идарә олунур вә һәр ики һалда мәсәлә ики чисим мәсәләси олур.

Космик апаратларын учуш траjекториjаларынын илкин тәгриби һесабланмасы Лапласын тә'сир сферасы үсулуна әсасланыр.

«Күнәш—планет—сүн'и чисим» системинә бахаг. Системин чисимләринин күтләләри уjғун олараг M, m_1-m_2 олсун, $m_2 \ll m_1$ олдуғундан m_2-ни нәзәрә алмаја биләрик; планетлә сүн'и чисим, планетлә Күнәш вә сүн'и чисимлә Күнәш арасындакы мәсафәләрә уjғун олараг r,-r_1 r_2, дејәк; ајдындыр ки, r_1—r_2, $r \ll r_1$ гәбул едә биләрик. Ашағыдакы тә'чилләрин модулларыны јазаг:

а) Күнәшин сүн'и чисмә вердији тә'чил

$$W_0 = G\frac{M}{r_2^2}; \tag{5.1}$$

б) планет тәрәфиндән сүн'и чисмин һәрәкәтини сарсыдан тә'чил

$$\Phi_1 = G\frac{m_1}{r^2} - G\frac{m_1}{r_1^2} = G\frac{m_1}{r^2}; \tag{5.2}$$

в) планетин сүн'и чисмә вердији тә'чил

$$W_1 = G\frac{m_1}{r^2} \tag{5.3}$$

г) Күнәш тәрәфиндән сүн'и чисмин һәрәкәтини сарсыдан гүввәнин тә'чили

$$\Phi_0 = GM\left(\frac{1}{r_2^2} - \frac{1}{r_1^2}\right) \simeq G\frac{2M}{r_1^3}\ r. \tag{5.4}$$

(5.4)-дә планет, сүн'и пејк вә Күнәшин бир дүз хәтт үзәриндә олдуғу гәбул едилмиш вә $r_2 - r_1 = r$, јахуд $r_1 - r_2 = r$ *вә* $r_1 + r_2 = 2r_1$ олдуғу нәзәрә алынмышдыр. Ајдындыр ки, сүн'и чисмин планет вә Күнәшдән һансынын тә'сир сферасында олмасы, сарсыдычы тә'чилин мәркәзи чисмин сүн'и чисмә вердији тә'чилә нисбәтиндән асылыдыр: бу нисбәт бөјүкдүрсә, сүн'и чисим, сарсыдычы тә'чил јарадан чисмин тә'сир сферасында олар. Буну нәзәрә алараг (5.1)—(5.4) ифадәләри илә верилән тә'чилләрдән истифадә едәрәк ашағыдакы шәртләри аларыг:

$$1)\ \frac{\Phi_1}{W_0} > \frac{\Phi_0}{W_1} \tag{5.5}$$

оларса, сүн'и чисим планетин тә'сир сферасындадыр вә чисмин һәрәкәти планетин чазибә саһәсиндә Кеплер трајекторијасы үзрә олур;

$$2)\ \frac{\Phi_0}{W_1} > \frac{\Phi_1}{W_0} \tag{5.6}$$

оларса, сүн'и чисим Күнәшин тә'сир сферасындадыр вә чисмин һәрәкәти Күнәшин чазибә саһәсиндә Кеплер трајекторијасы үзрә олур. (5.5) бәрабәрсизлијиндә (5.1)—(5.4) дүстурларыны нәзәрә алсаг

$$r < r_1\left(\frac{m_1}{M}\right)^{2/5} \tag{5.7}$$

бәрабәрсизлијини аларыг. (5.7) шәрти өдәниләрсә, дејирик ки, сүн'и чисим планетин тә'сир сферасындадыр. Беләликлә көј чисминин тә'сир сферасынын радиусу

$$r = r_1\left(\frac{m_1}{M}\right)^{2/5} \tag{5.8}$$

ифадәсиндән тә'јин олунур.

(5.8)-дән истифадә едәрәк Күнәш истигамәтиндә (Күнәшә нәзәрән) Јерин тә'сир сферасынын радиусу үчүн $\left(\frac{m_1}{M} = \frac{1}{333000},\quad r_1 = 1\,a.\,b. = 149{,}6 \cdot 10^6\ \text{км}\right.$ олдуғуну нәзәрә алараг) $0{,}92 \cdot 10^6$ км аларыг.

Бу дүстур васитәсилә Јер истигамәтиндә (Јерә нәзәрән) Ајын тә'

сир сферасынын радиусу r үчүн $\left(\frac{m_1}{m}=\frac{1}{81,3},\ r_1=384000\right.$ км олдуғуну нәзәрә алараг) $0,66\cdot10^5$ км аларыг. Бу о демәкдир ки, Јердән бу ахылан сүн'и чисим Јер—Ај истигамәтиндә Ајдан бу r гәдәр мәсафәјә чатдыгдан сонра һәмин чисим Ајын чазибә сферасына дахил олур. онун чазибә гүввәси илә һәрәкәт едир, Јер исә анчаг сарсыдычы чисим ролуну ојнајыр; јахуд Ајдан гајыдан сүн'и чисим Ај—Јер истигамәтиндә Ајдан r мәсафәјә гәдәр узаглашдыгдан сонра Јерин чазибә сферасына дахил олур, онун чазибә гүввәси илә һәрәкәт едир, Ај исә јалныз сарсыдычы чисим ролуну ојнајыр. Күнәшин вә Јерин гаршылыглы тә'сир сфераларынын радиуслары һаггында да буна охшар мүһакимә илә нәтичә сөјләјә биләрик.

Күнәшин тә'сир сферасы дедикдә әслиндә улдузлара нисбәтән фәзадан сөһбәт кедә биләр. Анчаг практик олараг Күнәшин тә'сир сферасы Күнәш системинин дикәр чисимләринин тә'сир сфераларыны чыхандан сонра галан фәза һиссәсини тәшкил едир.

Әлбәттә, тә'сир сферасы сәрһәдиндән кәнарда сүн'и чисмин сонракы трајекторијасы она һәмин сферанын сәрһәдиндә верилән әлавә сүр'әтдән асылыдыр: бу сүр'әт һәмин сәрһәддә тә'сир сферасындан сөһбәт кедән көј чисминә нисбәтән сыфыр оларса, сүн'и чисим һәмин көј чисминин үстүнә дүшәр; сүр'әт сыфырдан бөјүк, пароболик сүр'әтдән кичик оларса (нөвбәти параграфа бах) әлавә шәртләр дахилиндә сүн'и чисим һәмин көј чисминин сүн'и пејкинә чевриләрәк, даирә вә ја еллипс бојунча онун әтрафында доланар; нәһајәт сүр'әт параболик сүр'әтдән кичик олмазса сүн'и чисим һәмин көј чисминә нисбәтән парабола вә ја һипербола әјрисинин бир гисмини чыздыгдан сонра бу көј чисминин тә'сир сферасындан чыхар. Сүн'и чисмин трајекторијасынын онун сүр'әтиндән асылы олдуғуну нәзәрә алараг јухарыда сөјләдијимиз һаллара ујғун олан үч космик сүр'әтлә таныш олаг.

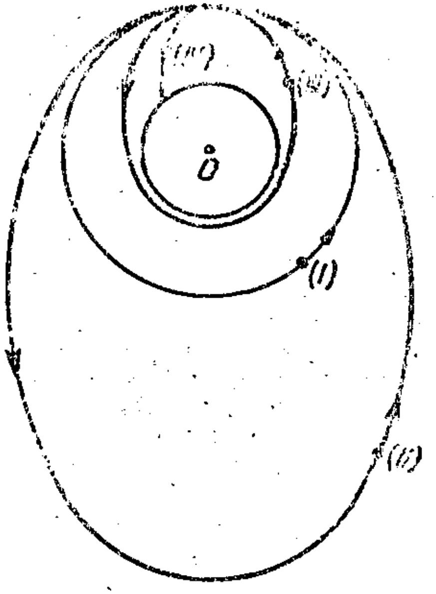
§ 64. ҮЧ КОСМИК СҮР'ӘТ

Космик учушларын динамикасы мәһдуд ики чисим мәсәләсидир. Космик апаратларын күтләси Јерин вә ја башга көј чисминин күтләсиндән чох-чох кичик олдуғундан мәркәзи чисми сүкунәтдә һесаб етмәк олар. Бу о демәкдир ки, Јерәтрафы вә ја планетләрарасы космик апаратларын трајекторијаларыны һесабламаг мәһдуд ики чисим мәсәләсидир. Демәли, космик сүр'әтләрин ифадәләрини бу мәсәләнин һәллиндән алынан мувафиг нәтичәләрә әсасән јаза биләрик (бах § 51, 52).

Әввәлчә космик учушлар бахымындан бә'зи анлајышларла таныш олаг. Һәр шејдән әввәл гејд едәк ки, космик апаратларын трајекторијаларынын фәал һиссәсиндә һәрәкәт чохпилләли ракетләр васитәсилә һәјата кечирилир.

Биз артыг билирик ки, муасир космик учушларда мәркәзи көј чисми тәкчә Јер дејил, башга көј чисми дә ола биләр. Анчаг биз, һәләлик

мәркәзи чисим дедикдә Јери нәзәрдә тутаг. Јерин сәтһиндән h һүндүрлүкдә онун сүн'и пејкини бурахмаг үчүн бу һүндүрлүјә галдырылан сүн'и чисмә үфүги вә Јерин фырланмасы истигамәтдә мүәјјән сүр'әт вермәк лазымдыр. 71-чи шәкилдә башланғыч сүр'әтиндән асылы олараг Јерин сүн'и пејкинин орбит нөвләри (I—IV) тәсвир олунмушдур. Трајекторијанын фәал һиссәсинин сонунда сүн'и чисмә верилән бу башланғыч сүр'әтин гијмәтиндән асылы олараг онун орбити даирә (I) вә ја еллипс (II. III) олар; еллиптик орбитин өзү ики нөв ола биләр: сүн'и чисмин башланғыч сүр'әти даирәви сүр'әтдән бөјүк, анчаг параболик сүр'әтдән кичик оларса еллиптик орбитин перикеји сүн'и чисмин бурахылдығы h һүнүрлүјүндә олар—(II); сүн'и чисмин башланғыч сүр'әти даирәви сүр'әтдән бир гәдәр кичик h исә кифајәт гәдәр бөјүк оларса еллиптик орбитин апокеји сүн'и чисмин бурахылдығы h һүндүрлүкдә јерләшәр—(III), h һүндүрлүјүндә башланғыч сүр'әт даирәви сүр'әтдән хејли кичик оларса сүн'и чисим Јер әтрафында там дөвр етмәдән Јерин сәтһинә дүшәр—(IV).



Шәкил 71. Јерин сүн'и пејкинин орбит формасынын башланғыч сүр'әтдән асылы олмасы

Инди космик сүр'әтләрин ифадәләринә бахаг. Мәһдуд ики чисим мәсәләсиндән мә'лум (4.34) енержи интегралынын ифадәсиндә $\varkappa = GM$ гәбул етмәклә јазарыг:

$$v^2 = GM\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right); \qquad (5.9)$$

бурада $r = R + h$.

Јерин сәтһиндән h һүндүрүкдә пејкин даирәви орбитә малик олмасы үчүн (5.9)-да $r = a = R + h$ олмалыдыр вә онда даирәви сүр'әт

$$v_{\text{д}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}. \qquad (5.10)$$

Јерин сәтһиндә гравитасија тә'чили $g = G\frac{M}{R^2}$ олдуғундан (5.10) белә јазылар:

$$v_{\text{д}} = R\sqrt{\frac{g}{R+h}}. \qquad (5.11)$$

Формал олараг Јери күрә вә онун сәтһини там һамар һесаб етмәклә (5.11)-дә $h=0$ оларса, алынан

$$v'_a = \sqrt{gR} \tag{5.12}$$

дүстуру васитәсилә тапылан сүр'әтә *биринчи космик сүр'әт дејилир.*

g вә R-ин гијмәтләринә ($g=0{,}931$ км/сан, $R=6371$ км) әсасән (5.12)-дән биринчи космик сүр'әт үчүн $v_{1к}=7{,}91$ км/сан аларыг.

Космик апаратын Күнәшәтрафы орбитә чыхарылмасы үчүн онун Јерә нисбәтән башланғыч сүр'әти ән азы параболик олмалыдыр. Одур ки, (5.9)-да $a=\infty$ гәбул етмәлијик, онда параболик сүр'әт

$$v_п = \sqrt{\frac{2GM}{R+h}}, \tag{5.13}$$

јахуд (5.10)-у нәзәрә алсаг

$$v_п = \sqrt{v_a}. \tag{5.14}$$

$h=0$ оланда, $v_a = v^1_a = v_{1к}$ олдуғундан, (5.13)-дән көрүрүк ки, *Јерә нәзәрән икинчи космик сүр'әт*

$$v_{2к} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2}\, v_{1к} = 11{,}2 \ \frac{км}{сан} \tag{5.15}$$

олмалыдыр.

Космик апараты Аја тәрәф бурахаркән ән бөјүк сүр'әт икинчи космик сүр'әтдән азачыг кичик олур; доғрудан да, билирик ки, Јерин Аја нисбәтән тә'сир сферасы Аја гәдәр мәсафәнин јарысындан да бөјүкдүр. Одур ки, јалныз Јерин чазибәсини нәзәрә алмагла (5.9)-да $a=30R$ гәбул едәк; онда

$$v = \sqrt{GM\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{30R}\right)} = 0{,}99\, v_{2к}$$

олар—космик апаратын Аја чатмасы үчүн она мәһз белә башланғыч кеосентрик сүр'әт вермәк лазымдыр.

Ајдындыр ки, мүхтәлиф радиус вә күтләли көј чисимләри үчүн биринчи вә икинчи космик сүр'әтләр дә мүхтәлифдир.

Биринчи космик сүр'әтин квадраты мәркәзи чисмин күтләси илә дүз, радиусу илә тәрс мүтәнасиб олдуғундан көј чисминин күтлә (m) вә радиусуну (R_0) Јерин күтлә вә радиусу ваһидләриндә ифадә етсәк, бу көј чисми үчүн биринчи космик сүр'әт

$$v'_{1к} = v_{1к} \sqrt{\frac{m}{R_0}},$$

икинчи космик сүр'әт исә

$$v'_{2к} = v'_{1к}\sqrt{2}$$

олар.

Күнәш системини тәрк етмәк үчүн тәләб олунан сүр'әт үчүнчү космик сүр'әт адланыр. Бу сүр'әти гијмәтләндирәк. Артыг билирик ки, космик апаратын күнәшәтрафы орбитә чыхмасы үчүн она Јерә нисбәтән параболик сүр'әт вермәк лазымдыр. Јерин тә'сир сферасындан чыхараг Күнәшин тә'сир сферасына дахил олан апаратын Күнәшин сәтһинә дүшмәмәси үчүн һәмин апаратын бу тә'сир сферасы сәрһәдиндә Күнәшә нисбәтән сүр'әти сыфырдан фәргли олмалыдыр.

Јерин Күнәшә нәзәрән даи әви сүр'әти $V_a = 29{,}8$ км/сан олдуғундан Јерә гәдәр мәсафәдә Күнәшә нәзәрән параболлик сүр'әт $V_п = V_a\sqrt{2}$ $= 42{,}1\ \frac{км}{сан}$ -дир. Јерин Күнәшә нәзә ән даи әви сүр'әтинә онун һелиосентрик сүр'әти кими баха биләрик (Јерин орбити даирәјә чох јахындыр). Одур ки, Јерин орбитал һәрәкәт истигамәтиндә онун тә'сир сферасындан чыхан апаратын әлавә сүр'әти

$$V_{әлавә} = (42{,}1 - 29{,}8)\ \frac{км}{сан} = 12{,}3\ \frac{км}{сан}. \qquad (5.16)$$

Јерин орбитал һәрәкәт истигамәтинин әксинә олан һалда исә

$$V_{әлавә} = (42{,}1 + 29{,}8)\ \frac{км}{сан} = 71{,}9\ \frac{км}{сан}. \qquad (5.17)$$

Космик апаратын сүр'әти параболик орбитә чыханадәк Јерин чазибәси һесабына азалмасајды Күнәш системини тәрк етмәк үчүн ән кичик кеосентрик сүр'әт 12,3 км/сан, јә'ни (5.16) илә тапылан сүр'әт оларды. Лакин бу чазибә нәтичәсиндә сүр'әт азалдығындан ән кичик кеосентрик сүр'әт (5.16)-дан бөјүк олмалыдыр.

Јерин мәркәзиндән $(R+h)$ мәсафәдә башланғыч сүр'әтин квадраты (5.19) енержи интегралына әсасән

$$v_0^2 = GM\left(\frac{2}{R+h} - \frac{1}{a}\right). \qquad (5.18)$$

Јерин мәркәзиндән онун тә'сир сферасынын радиусуна (ρ) бәрабәр мәсафәдә исә бу сүр'әтин квадраты әслиндә јухарыда һаггында бәһс етдијимиз әлавә сүр'әтин квадратыдыр:

$$V^2_{әлавә} = GM\left(\frac{2}{\rho} - \frac{1}{a}\right) \qquad (5.19)$$

(5.18)-дән (5.19)-у чыхсаг

$$v_0^2 - V^2_{әлава} = \frac{2GM}{k+h} - \frac{2GM}{\rho}$$

алағыг. $\rho \gg R + h$ олдуғундан

$$v_0^2 - V^2_{әлавә} \simeq \frac{2GM}{R+h}$$

јазаг ыг. Бу ифаденин сағ тәрәфи (5.13)-ә әсасән $v_п^2$-дир. Одур ки,

$$v_0 = \sqrt{v_п^2 + V^2_{әлавә}}. \quad (5.20)$$

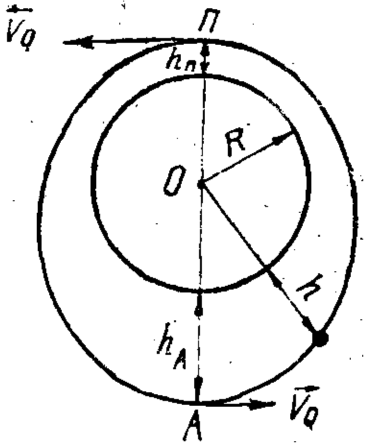
Беләликлә, Јердән бурахылан космик апаратын Күнәш системини тәрк етмәси үчүн онун башланғыч сүр'әтинин гијмәти (5.20) васитәсилә тапылыр. (5.16) вә (5.17) нү үјғун олараг (5.20)-дә јазсаг вә $v = 11,2$ км/сан олдуғуну нәзәрә алсаг биринчи һалдә $v_0 = 16,6$ км/сан, икинчи һалда исә $v_0 = 72,8$ км/сан аларыг.

$V_0 = 16,6$ км/сан үчүнчү космик сүр'әт адланыр.

Улдузлара доғру учмаг проблеминин нәзәри тәрәфи һәлл едилмәкдәдир. Мәсәләнин техники тәрәфинин һәлли үчүн күман ки, хејли вахт лазым олачагдыр, чүнки белә учушлар ишыг сүр'әтинә јахын сүр'әтлә олмалыдыр; белә сүр'әти әлдә етмәк үчүн исә үмуми вә хүсуси нисбилик нәзәријјәси еффектләри нәзәрә алынмагла релјативист ракет динамикасы проблеми һәлл едилмәлидир.

§ 65. СҮН'И ПЕЈКИН ОРБИТИНИН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ ВӘ ОНЛАРЫН САРСЫНМАСЫ

Әввәлчә сүн'и пејкин орбитинин бөјүк јарымоху a вә дөвретмә периоду T вә бунлар арасындакы әлагәјә бахаг. Бу мәгсәдлә 72-чи шәкилдән истифадә едәк. Бурада мәркәзи 0 нөгтәсиндә олан R радиуслу планет, онун сүн'и пејкинин еллиптик орбити, бу орбитин планетә ән јахын нөгтәси—перисентр ($П$) вә ән узаг нөгтәси—апосентр (A), перисентрдә вә апосентрдә орбитал хәтти сүр'әт векторлары $\vec{V}_q$ $\vec{Q}$ а көстәрилмишдир. Биринчи јахынлашмада планетин сүн'и пејкинин орбитинә Кеплер орбити кими бахылыр ки, бу да сарсынтылары (Күнәш, планет пејкләри, планет атмосферләри тәрәфиндән сарсынтылары нәзәрә алмамаг демәкдир. 72-чи шәкилдән ашағыдакылары јаза биләрик:



Шәкил 72. Јерин сүн'и пејкинин еллиптик орбити вә бу орбитин бә'зи параметрләринин тәсвири.

$$q = R + h_п = a(1 - e),$$
$$Q = R + h_A = (a + e),$$

$$a = \frac{Q + q}{2}, \quad e = 1 - \frac{q}{a}.$$

Кеплерин үмумиләшдирилмиш үчүнчү ганунунда (бах: 4.35) $r=a$, $m=0$, $\kappa^2=G$ гәбул етмәклә, сүн'и пејкин планет әтрафында доланма дөврү Т үчүн

$$T=\frac{2\pi}{\sqrt{GM}}a^{3/2}$$

јаза биләрик.

Планетин M күтләсини Јер күтләси ваһидләри илә, орбитинин a бөјүк јарымохуну километрләрлә, сүн'и пејкин дөврүнү дәгигәләрлә ифадә етсәк

$$T=1{,}659\cdot10^{-4}a\sqrt{\frac{a}{M}}\quad\text{дәгигә}\qquad(5.21)$$

олар.

Јерин сүн'и пејки тимсалында орбити сәчијјәләндирән башга елементләрлә таныш олмаг үчүн 49-чу шәклә (бах, § 44) мүрачиәт едәк. Бу шәкилдә планетин еллиптик орбитинин елементләри тәсвир олунмушдур. Инди фәрз едәк ки, бу орбит планетин дејил, сүн'и пејкин орбитидир. Онда көј сферасынын мәркәзиндә (јахуд орбитин фокусунда) Күнәшин (С) дејил, Јерин мәркәзи јерләшир, планетин орбит мүстәвиси әвәзиндә сүн'и пејкин орбит мүстәвиси олар; $\mathscr{E}\mathscr{E}'$ еклиптика дејил, көј екватору (Јер екваторунун көј сферасы илә бөјүк даирә кәсији), $П$—сүн'и пејкин орбитинин перикеји, $А$ апокеји, $Л$ галхан дүјүнү, $Л$ енән дүјүнү (бу дүјүнләрдә сүн'и пејк ујғун олараг көјүн чәнуб јарымсфериндән шимал јарымсферинә вә әксинә кечир), i сүн'и пејкин орбит мүстәвисинин екватору мејли, Ω—галхан дүјүнүн узунлуғу, ω—перикејин галхан дүјүндән бучаг мәсафәси (сүн'и пејкин һәрәкәти истигамәтдә орбитинин гөвсү) олар.

Беләликлә сүн'и пејкин a, e, T, i Ω, ω орбит елементләри илә таныш олдуг. Бу елементләр ики башлыча сәбәб нәтичәсиндә сарсыныр. Бу сәбәбләрдән бири Јерин екваторунда әлавә күтләдән ибарәт чыхынтынын олмасы нәтичәсиндә онун гравитасија саһәсинин сферик—симметрик гравитасија саһәси олмамасыдыр; икинчи сәбәб исә јер атмосферинин сүн'и пејкин һәрәкәтинә көстәрдији мүгавимәтдир.

Биринчи сәбәб нәтичәсиндә Ω вә ω елементләри һәм әсри, һәм дә дөврү сарсыныр: бу сәбәбдән e вә i дә аз да олса сарсыныр.

Атмосферин сарсыдычы тә'сири мараглы вә мүрәккәбдир; ајдындыр ки, атмосферин мүгавимәти әсасән перикејдә вә онун јахын әтрафында даһа бөјүк олмалыдыр, чүнки атмосферин сыхлығы һүндүрлүк бөјүдүкчә сүр'әтлә кичилир. Гыса мүддәт давам едән бу мүгавимәт чох кәскин тә'сир көстәрир—перикејдә пејкин сүр'әти азалыр, апокејин һүндүрлүјү даһа чидди кичилир вә нәтичәдә a вә e кичилир, орбит даирәјә јахынлашыр. Апокеј мәсафәси перикеј мәсафәси илә мүгајисә олунанда атмосферин мүгавимәти бүтүн орбит үзрә чидди тә'сир едир, пејк јерә даһа бөјүк сүр'әтлә јахынлашыр, нәһајәт спирал трајекторија илә сых атмосфер гатларына дахил олараг јаныр. Пејк заман кечдикчә јерә јахынлашдығындан онун там механики енержиси кичилир,

азалан потенсиал енержинин бир гисми кинетик енержијә чеврилир. Кинетик енержинин бу артымы нәинки, атмосфер мүгавимәти һесабына сүр'әти азалмаға гојмур, һәтта сүр'әтин бөјүмәсинә кәтирир. Башга сөзлә десәк, атмосфер мүгавимәти нәтичәсиндә пејкин бучаг сүр'әти бөјүјүр; бу еффект «пејкләр парадоксу» адланыр.

Бу парадоксун ријази-механики ифадәсини алмаг чәтин дејилдир: фәрз едәк ки, атмосфер мүгавимәти пејкин сүр'әтини азалдыр; онда сүр'әтин дифференсиалы

$$dv = -\mu\, dt, \qquad (\mu > 0)$$

оларды. (4.34) енержи интегралыны дифференсиаллсаг

$$\frac{da}{a} = \frac{2avdv}{\varkappa^2} \tag{5.22}$$

аларыг. Бучаг сүр'әти $n = \frac{2\pi}{T}$ вә Кеплерин үмумиләшдирилмиш үчүнчү ганунундан ((4.35)-дән)

$$n^2 = \frac{\varkappa^2}{a^3} \tag{5.23}$$

алынир. (5.23)-ү (5.22)-дә нәзәрә алсаг

$$\frac{da}{a} = \frac{2vdv}{n^2 a^2}$$

јазарыг. Буну вә (5.23)-үн өзүнү нәзәрә алмагла (5.23)-үн дифференсиалы үчүн

$$dn = -3\,\frac{vdv}{na^2} \tag{5.24}$$

аларыг. Дикәр тәрәфдән фәрз етмишдик ки,

$dv = -\mu\, dt\,(\mu > 0)$; олур ки, (5.24)

$$\frac{dn}{dt} = \frac{3\mu v}{na^2} > 0$$

олар, јә'ни атмосферин мүгавимәти һесабына сүн'и пејкин бучаг сүр'әти бөјүјәр.

Атмосферин тә'сири илә a вә e әсри кичилир, Ω вә ω периодик дәјишир; атмосферин фырланмасы нәтичәсиндә пејкин јанларына көстәрилән тәзјиг i елементини монотон дәјишдирир.

Атмосфер Ω вә ω елементләрини дә дөврү олараг азачыг дәјишдирир. Јерин сүн'и пејкинин орбитинин бүтүн елементләри Ај вә Күнәшин тә'сири илә дөврү сурәтдә азачыг сарсыныр.

АСТРОФИЗИКАНЫН ӘСАСЛАРЫ

VI ФӘСИЛ

АСТРОФИЗИКА ЧИҺАЗЛАРЫ

§ 66. АСТРОФИЗИКАЈА КИРИШ

Астрономија, һәр шејдән әввәл, мүшаһидә елми олдуғундан онун инкишафында мүшаһидә техникасынын мүстәсна әһәмијјәти вардыр. 1609-чу илдә Галилеј тәрәфиндән ихтира едилмиш телескопун астрономија елминдә ингилаба сәбәб олмасы буна парлаг сүбутдур.

Астрофизикада даһа мүкәммәл вә чохмәгсәдли мүшаһидә техникасы тәтбиг олунур. Бу техниканын инкишафы вә һәмчинин, нәзәри физиканын вә һесаблама техникасынын астрофизикаја тәтбиги нәтичәсиндә астрофизика астрономијанын ән бөјүк вә чох мараглы бөлмәсинә чеврилмишдир. Бир нөв мүстәгил елм олан астрофизика, һәм дә мүасир физиканын бөјүк бир бөлмәсидир. Әслиндә астрофизика һәм дә физика илә техниканын астрономија бахымындан синтезидир.

Астрофизика ики әсас һиссәдән ибарәтдир: 1) практик астрофизика; 2) нәзәри астрофизика.

Електромагнит шүаланмасынын гәбуледичиләринин нөвүндән асылы олараг астрофизикада бир нечә мүшаһидә үсулу вардыр; практик астрофизика бу үсуллара ујғун олараг ашағыдакы һиссәләрдән ибарәтдир: *астрофотографија, астрофотометрија* (визуал, фотографик вә фотоелектрик), *астроспектроскопија, колориметрија* вә с.

Астрономијада бүтөв бир мәрһәлә олан тамамилә јени үсулларын тәтбиг едилмәси илә астрофизикада ашағыдакы мүасир тәдгигат бөлмәләри јаранмышдыр: *радиоастрономија, баллон астрономијасы,* космик тәдгигатлар да дахил олмагла *атмосфердәнкәнар астрономија, рентген астрономијасы, гамма астрономија, нејтрино астрономијасы.* Әлбәттә, бу бөлмәләрин јаранма тарихләри мүхтәлиф олдуғу кими, инкишаф сәвијјәләри дә мүхтәлифдир. Мәсәлән, әсримизин гырхынчы илләриндә тәшәккүл тапмыш *радиоастрономија* һал-һазырда о гәдәр сүр'әтлә инкишаф едир ки, мүәјјән мә'нада, о, мүстәгил елм кими формалашыр. Техниканын, хүсусилә космик техниканын инкишафы нәтичәсиндә астрофизиканын дикәр бөлмәләри бөјүк инкишаф јолундадыр. Инди ән гыса далға узунлуглу гамма шүаланмадан радиодалғаларынадәк електромагнит шүаланмасынын там спектриндә астрофизик мүшаһидәләр апарылыр. Башга сөзлә, мүасир практик астрофизикада бүтүн далғаларда електромагнит шүаланмасы һаггында мүшаһидә мә'луматы әлдә едилир. *Комплекс мүшаһидә мә'луматларынын әсасында*

Каинат објектләри һаггында «сон сөз» нәзәри астрофизикада дејилир.

Әввәлчә мүасир астрофизикада комплекс мүшаһидә мә'луматларынын әлдә едилмәси үсуллары илә таныш олаг.

§ 67. АСТРОФИЗИКАДА ТӘДГИГ ОЛУНАН ЕЛЕКТРОМАГНИТ ШҮАЛАНМАСЫНЫН СПЕКТРИ ВӘ ЈЕР АТМОСФЕРИНИН БУ СПЕКТРИ БУРАХМАГ ХҮСУСИЈЈӘТЛӘРИ

Јер атмосфери Каинат објектләриндән кәлән електромагнит шүаланмасы гаршысында бөјүк манеәдир. Јер атмосфери оптик спектрин јалныз көрүнән (3900—7600 Å) вә јахын ултрабәнөвшәји (3100—3900 Å) областларындакы шүалар үчүн демәк олар шәффаф, јахын инфрагырмызы (0,76—15 мкм) областдакы шүаланма үчүн исә гисмән шәффафдыр; гамма-шүалар (<0,1Å), рентген-шүалар (0,1—100 Å) вә узаг ултрабәнөвшәји (100—3100Å) шүалар јер атмосфериндә күчлү сурәтдә удулур вә белә удулма узаг инфрагырмызы (15 мкм—1 мм) областдакы шүаланмаја да аиддир. Радиодиапазона кәлинчә, јер атмосфери (1÷4,5) мм вә 8 мм-дән 20 м-ә гәдәр кениш областдакы радиошүаланма үчүн шәффафдыр; јухарыдакы субмиллиметрлик далғалар мүстәсна олмагла узунлуғу 1 см-дән кичик олан радиодалғалары јер атмосферинин ашағы гатлары тәрәфиндән тамамилә удулур. $\lambda > 20$ м далғаларда космик радиошүаланмаја кәлинчә, бу шүаланманын јерин сәтһинә чата билмәмәсинин сәбәби ашағыда шәрһ олуначагдыр.

1-чи чәдвәлдә астрофизикада тәдгиг олунан електромагнит спектри диапазонлары верилмишдир. Бу чәдвәлдән көрүндүјү кими мүасир астрофизикада електромагнит шүаланмасынын там спектриндә—гамма шүаларындан радиошүаларадәк бүтүн нөвләриндә мүшаһидә мә'луматлары әлдә етмәк имканы вардыр. Башга сөзлә, бу о демәкдир ки, астрофизикада мүшаһидә олунан квантлар 10^6 еВ-дан (γ-шүалара мәхсус квантлардан) 10^{-7} еВ-дәк (метрлик радиошүаларадәк) чох кениш енержи спектрини әһатә едир.

Електромагнит спектринин јер атмосфериндән кечмәсинә даир 1-чи чәдвәлдә верилән мә'луматлар 73-чү шәкилдә тәсвир олунмушдур. Бу шәкилдә абсис охунда електромагнит шүаланмасынын далға узунлуглары, ординат охунда исә јер атмосфериндә һүндүрлүкләр верилмишдир. $\lambda > 20$ м далға узунлуғуна малик космик радиошүаланманын јерин сәтһинә чата билмәмәсинин сәбәбини изаһ едәк. Јер атмосферинин O, O_2, N_2 атом вә молекулларынын Күнәшин узаг ултрабәнөвшәји шүаларынын тә'сири илә ионлашмасы нәтичәсиндә (70—500 км һүндүрлүкләрдә) ион вә сәрбәст електронлар әмәлә кәлир (бах § 97). Мәһз бу сәбәбдән дә јер атмосферинин бу гатлары ионосфер адланыр. Ионосфер плазмасы електромагнит шүаларыны сындырыр, әкс етдирир вә удур. Плазманын ν тезликли радиодалғаларда шүаланманы сын-

Чәдвәл 1

Астрофизикада тәдгиг олунан електроматнит спектри.

Спектр областы	Далға узунлуғу	Јер атмосфериндән кечмәси	Мүшаһидә үсуллары	Гәбуледичиләр
Гамма—шүалар	∠0,1 Å	Атмосферин ~ 50 км һүндүрлүјүнәдәк чатырлар, сонра O_2, N_2 молекуллары тәрәфиндән күчлү удулурлар	Әсасән атмосфердәнкәнар астрономија үсуллары (космик ракетләр, сүн'и пејкләр васитәсилә), гисмән дә баллон астрономијасы үсулу	Фотон сајғачлары, ионизасија камералары, фотоемулсијалар, лјуминофорлар
Рентген—шүалар	1—100 Å	Гыса далғалы рентген—шүалар атмосферин ~ 50 км һүндүрлүјүнәдәк чатырлар, сонра O_2, N_2 молекуллары тәрәфиндән удулурлар; далға узунлуғу бөјүдүкчә бу шүалар ардычыл сурәтдә ~ 50-кмдән~120 ,км һүндүрлүјәдәк чатырлар, сонра O, N атомлары вә O_2, N_2 молекуллары тәрәфиндән удулурлар	Гамма—шүаланмасын мүшаһидәси үсуллары	Гамма—шүаланмада олдуғу кими
Узагултрабәнөвшәји шүалар	100—3100 Å	Гыса далғалы узаг ултрабәнөвшәји шүалар атмосферин ~100 км һүндүрлүјүнәдәк чатырлар, сонра O, N атомлары тәрәфиндән удулурлар, далға узунлуғу бөјүдүкчә бу шүалар ардычыл сурәтдә O, N атомлары (~120 км-дән), N_2 молекуллары (~160 км-дән), O_2, молекуллары (80—100-км-дән), нәһајәт O_3, молекуллары (~40 км-дәк) тәрәфиндән удулурлар	Атмосфердәнкәнар астрономија үсуллары	Фотоэлектрон күчләндиричиләр, фотоемулсијалар
Јахын ултрабәнөвшәји шүалар	3100—3900 Å	Зәиф удулурлар	Јердәки рәсәдханаларда тәтбиг олунан мүшаһидә үсуллары	Узаг ултрабәнөвшәји шүаларда олдуғу кими

1	2	3	4	5
Көрүнән шүалар	3900—7600 Å	Зәиф удулурлар	Јахын ултрабәнөвшәји шүаларын мүшаһидә үсуллары	Көз, фотоемулсијалар, фотокатодлар
Јахын инфрагырмызы шүалар	0,76—15 мкм	Тропопаузаја гәдәр чатырлар, сонра H_2O CO_2 вә башга молекулларын сых золаглары јарандығындан мүәјјән "пәнчәрәләрдә" јерин сәтһинә чатырлар	Гисмән "пәнчәрәләрдә" Јердәки рәсәдханаларда тәтбиг олунан мүшаһидә үсуллары	Болометрләр, термочүтләр, фотомүгавимәтләр, хүсуси фотокатодлар вә фотоемулсијалар
Узаг инфрагырмызы шүалар	15 мкм—1 мм	Стратосферин үст гатларына гәдәр чатырлар, сонра H_2O, CO_2 вә башгалары тәрәфиндән күчлү удулмаја мә'руз галырлар	Баллон астрономијасы үсулу	Јахын инфрагырмызы шүаларда олдуғу кими
Радиодалғалар	1 мм—20 м	(1—10) мм диапазонда тәгрибән 1—4,5 мм вә 8 мм далғаларда шүалар јерин сәтһинә чатырлар; бу диапазонун дигәр далғаларында шүалар атмосферин су бухары тәрәфиндән удулурлар; (1 см—20 м) диапазондакы далғалар Јер атмосфериндән сәрбәст кечирләр	Јердәки рәсәдханаларда тәтбиг олунан радиоастрономија үсуллары	Радиотелескоплар

дырма әмсалы

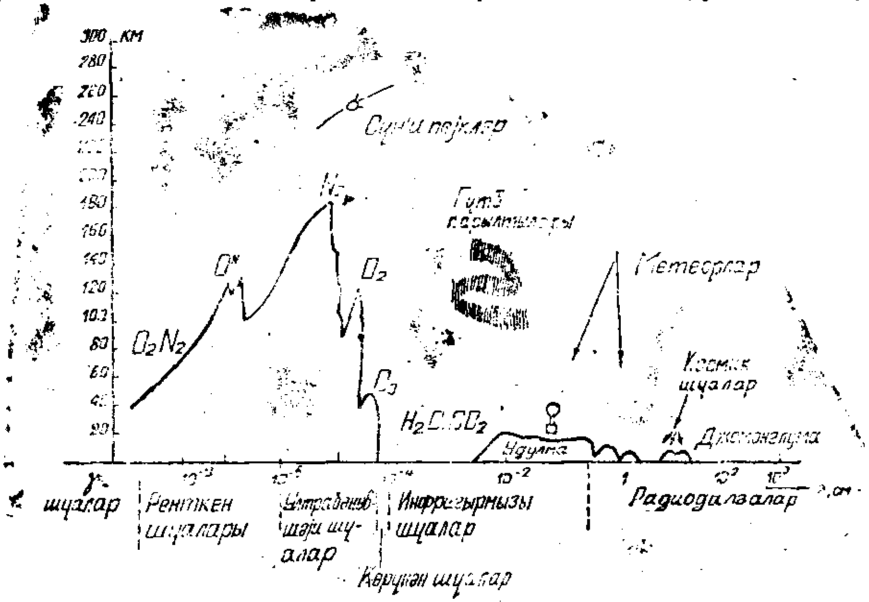
$$n = \sqrt{1 - \left(\frac{\nu_0}{\nu}\right)^2}$$

дүстуру илә тә'јин олунур. Бурадан көрүрүк ки, сындырма әмсалы $0 \leqslant n < 1$ гијмәтләр ала биләр. $n=0$ шәрти өдәнилән ионосфер гатындан радиодалғаларда електромагнит шүаланмасы әкс олунмалыдыр. $n=0$ олмасы үчүн исә $\nu = \nu_0$ олмалыдыр; одур ки, ν_0 бөһран тезлији адланыр вә

$$\nu_0 = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\pi m_e}} = 8{,}9 \cdot 10^3 \sqrt{n_e} \text{һс}$$

илә һесабланыр: бурада e—електронун јүкү, m_e—онун күтләси, n_e—исә сәрбәст електронларын консентрасијасыдыр (бах § 85).

ν_0-ын ифадәсиндән көрүрүк ки, бөһран тезлик, јә'ни ионосферин радиодиапазонда електромагнит шүаланмасыны бурахмаг сәрһәдди



Шәкил 73. Електромагнит спектринин јер атмосфериндән кечмәси Ординат охунда спектрин мүвафиг областында шүаланманын нүфуз етдији һүндүрлүкләр көстәрилмишдир

онун електрон консентрасијасынын квадрат көкү илә мүтәнасибдир. Ионосфердә ән бөјүк електрон консентрасијасы $n_e \simeq 2 \cdot 10^6$ см$^{-3}$-ә чата биләр (~ 300 км һүндүрлүкдә), $n_e \simeq 2 \cdot 10^6$ см$^{-3}$ -оланда исә $\nu_0 \simeq 1{,}3 \cdot 10^7$ һс, јахуд $\lambda \cong 20$ м-дир. Беләликлә $\lambda > 20$ м далға узунлуглу космик радиошүалар ионосфер гатларындан әкс олунараг јерин сәтһинә кәлиб чатмыр.

$\lambda > 20$ м далғаларда космик радиошүаланма јалныз ионосфердән үстдә бөјүк һүндүрлүкләрдә космик стансијалар вә сүн'и пејкләр васитәсилә мүшаһидә олуна биләр.

Астрономија вә о чүмләдән астрофизика мүшаһидәләриндә ән әсас чиһаз телескопдур. Одур ки, астрофизика чиһазларындан бәһс едәркән телескоплардан башламаг лазымдыр.

§ 68. ОПТИК ТЕЛЕСКОПЛАР

1. Үмуми мә'лумат. Һәр бир бөјүк кәшф кими телескопун да кәшфи тәсадүфи олмамышдыр. Артыг XVI јүзилликдә сәнәткар усталар ејнәк линзалары һазырлаја билирдиләр. Бу, әслиндә телескоп вә микроскопун кәшфи үчүн бөјүк аддым иди. 1609-чу илдә Галилеј тәрәфиндән телескопун кәшфи исә јухарыда гејд етдијимиз кими астрономијада ингилаб олду.

Телескопун үч функсијасы вардыр:

1) *көј чисимләриндән кәлән електромагнит шүаланмасыны топламаг,*

2) *фокал мүстәвидә објектин хәјалыны гурмаг,*

3) *нөгтәви објектләр арасындакы көрүнән бучаг мәсафәсини бөјүтмәк.*

Телескопун әсас оптик һиссәси објективидир. Објектив, адәтән, хүсуси боруда јерләшдирилир, чиһазын дикәр һиссәләри, о чүмләдән, гәбуледичи системи мүәјјән гурғуда чәмләшдирилир.

Објектив линзадан, күзкүдән вә ја бунларын комбинасијасындан ибарәт олур. *Објективи линза олан телескоп рефрактор адланыр* (рефрактор сындыран демәкдир—линза ишыг шүаларыны сындырыр); *објективи күзкү олан телескоп рефлектор адланыр* (рефлектор гајтаран демәкдир—күзкү ишыг шүаларыны гајтарыр). Галилејин телескопу рефрактор иди. Күзкүсүнүн диаметри 3 см, борусунун узунлуғу исә 15 см олан илк рефлектор Нјутон тәрәфиндән һазырланмышдыр.

Фотографик, фотоелектрик, спектроскопик мүшаһидәләр апараркән телескопун фокал мүстәвисиндә мүвафиг олараг фотопластинка, фотометрин кириш диафрагмасы, спектрографын јарығы јерләшдирилир. Визуал мүшаһидә апармаг үчүн исә телескопа окулјар әлавә олунур вә фокал мүстәвидә гурулан хәјала онун васитәсилә бахылыр.

Гајытма бучағы дүшмә бучағына бәрабәр олдуғундан, күзкүнүн α бучағы гәдәр дөнмәси хәјалын фокал мүстәвидә 2α гәдәр сүрүшмәсинә кәтирдији һалда, рефракторда бу сүрүшмә 2α-дан хејли кичик олур. Буну нәзәрә алараг астрометријада рефракторлардан истифадә едилир, чүнки бурада әсас мәсәлә објектин астрономик координатларыны мүмкүн гәдәр дәгиг тә'јин етмәкдир.

Рефракторун чатышмајан чәһәтләри астрометрик мүшаһидәләрә тә'сир көстәрмәдији һалда, астрофизик мүшаһидәләрин кејфијјәтини писләшдирир. Бурада әсас манеә рефракторун објективинин (линзанын) хроматик аберрасијаја малик олмасы вә ишыг иткисинин чох олмасыдыр. Доғрудан да бир линзалы објектив күчлү хроматик аберрасијаја

маликдир: сындырма әмсалы ишығын далға узунлуғу илә тәрс мүтәнасиб олдуғундан, мүхтәлиф рәнкләрә мәхсус шүалар мүхтәлиф фокусларда топланыр вә нәтичәдә хәјал рәнкли алыныр; ики нөв шүшәдән һазырланмыш бири габарыг, дикәри чөкүк линзадан ибарәт ахромат адланан ики линзалы објективә малик рефракторда хроматик аберасија зәифләјир; лакин үч линзадан ибарәт објективдә белә, хроматик аберрасија аз да олса галыр; дикәр тәрәфдән дә белә телескопда ишыг иткиси чох олур; хүсусилә ултрабәнөвшәји вә гырмызы шүалар хејли удулур, телескопун өзү исә баһа баша кәлир. Астрофизик мүшаһидәләр заманы исә бир тәрәфдән телескопда ишыг иткиси мүмкүн гәдәр аз олмалы, дикәр тәрәфдән дә фотоемулсија вә фотоелемент даһа кениш спектр областы үчүн һәссас олдуғундан, хроматик аберрасија олмамалыдыр. Беләликлә, күчлү ишыг иткиси вә хроматик аберрасијанын олмасы рефракторлары астрофизик мүшаһидәләр апармаг үчүн әлверишсиз едир.

Рефлекторда: 1) хроматик аберрасија јохдур; 2) күзкүнүн дөнмәсиндән төрәјә билән координат хәтасы астрофизик мүшаһидәләрә мане олмур; 3) күзкүнүн сәтһини, адәтән, алүминиум тозундан ибарәт чох назик тәбәгә илә бөјүк тәзјиг алтында өртмәклә онун гајтарма әмсалыны 90%-ә чатдырмаг олур. Бүтүн бунлары нәзәрә алараг астрофизикада рефлекторлардан истифадә едилир.

Рефлекторларын үстүнлүкләри тәкчә јухарыдакыларла мәһдудлашмыр. Бу үстүнлүкләрин нәдән ибарәт олдуғуну телескоплары сәчијјәләндирән әсас елемент вә параметрләрлә таныш олдугдан сонра көрәчәјик.

2. Телескоплары сәчијјәләндирән әсас елементләр вә параметрләр. Һәр бир телескопу сәчијјәләндирән әсас елементләр онун објективинин диаметри вә фокус мәсафәсидир. Диаметри D олан објективин сәтһи S, онун мәнбә тәрәфиндән ишыгланмасы E оларса, објектив тәрәфиндән топланан ишыг сели

$$\Phi = E \cdot S = \frac{\pi D^2}{4} E$$

олар. Беләликлә, *објектив, фокал мүстәвидә хәјалы гурмагла мәнбәдән кәлән ишығын топланмасыны, јә'ни телескопун биринчи вә икинчи функсијасыны тә'мин едир.*

Телескопун әсас параметрләриндән бири онун *нисби өлчүсү*, јахуд *ишыг гүввәсидир; бу параметр*

$$A = \frac{D}{F} \qquad (6.1)$$

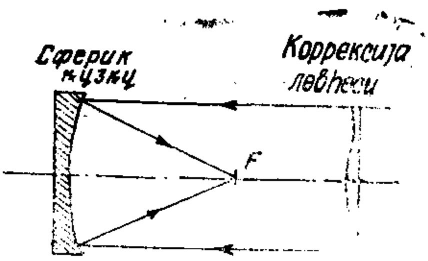
нисбәтиндән тапылыр; даһа дәгиг десәк телескопун ишыг гүввәси бу нисбәтин квадраты илә тә'јин олунур:

$$G = A^2 = \left(\frac{D}{F}\right)^2, \qquad (6.2)$$

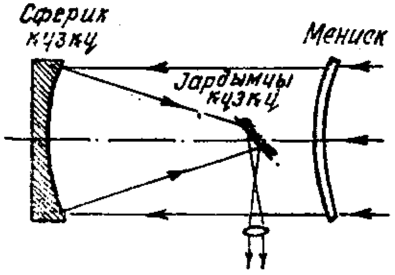
чүнки ишыг сели $\Phi \sim D^2$-дыр. Думанлыг, комет вә башга көрүнән өлчүјә малик олан објектин фокал мүстәвидә јаратдығы ишыгланма $E' \sim \left(\frac{D}{F}\right)^2$ олдуғундан, (6.2)-ә әсасән дејә биләрик ки, белә објект хүсусилә зәифдирсә, ону мүшаһидә етмәк үчүн телескопун бөјүк ишыг гүввәсинә малик олмасы зәруридир.

Лакин *A* бөјүк олдугда охданкәнар аберрасија да бөјүк олур вә ону арадан галдырмаг чәтинләшир; охданкәнар аберрасија нәтичәсиндә оптик охдан узаглашдыгча хәјал тәһриф олунур. Линза кими күзкү дә сферик аберрасијаја маликдир: баш оптик охдан узаглашдыгча күзкүдән гајыдан шүалар она јахын нөгтәдә топлашыр вә нәтичәдә хәјал јајылмыш алыныр. Сферик аберрасија сферик күзкүдә даһа күчлү олур. Күзкүнүн сәтһи фырланма параболоиди шәклиндә оланда сферик аберрасија хејли зәифләјир; параболоид адланан белә күзкүнүн оху үзрә онун сәтһинә дүшән шүалар гајыдараг демәк олар тәһрифсиз фокусда топланыр. Јухарыда дејиләнләри нәзәрә алараг, мүасир рефлекторларын објективини, адәтән, параболоид шәклиндә һазырлајырлар. Лакин јадда сахламаг лазымдыр ки, һәр бир телескопда дифраксија һесабына мәһдудијјәт галыр.

Демәли, параболоид шәкилли објектив белә, бә'зи мүшаһидәләрин кејфијјәтли олмасыны тә'мин етмир; мәсәлән, көјүн бөјүк саһәсинин (мәсәлән 5°х5° саһәсинин) хәјалыны алмаг лазым кәлдикдә белә телескоп јарамыр. Телескопун ишыг гүввәси бөјүдүкчә охданкәнар аберрасија күчләндијиндән параболик күзкүлү телескопларын ишыг гүввәси 1 : 3-дән бөјүк олмамалыдыр. Охданкәнар аберрасијасы олмајан бөјүк ишыг гүввәсинә малик телескоплар дүзәлтмәк мүмкүндүр. Белә телескопларын објективи күзкү илә линзанын комбинасијасындан һазырланыр. Күзкүлү—линзалы телескоп системини илк дәфә 1930-чу илдә алман астроному Шмидт һазырламышдыр. Одур ки, белә телескоплара Шмидт системли телескоплар дејилир (шәкил 74).



Шәкил 74. Шмидт телескопунун схеми.



Шәкил 75. Максутов телескопунун схеми.

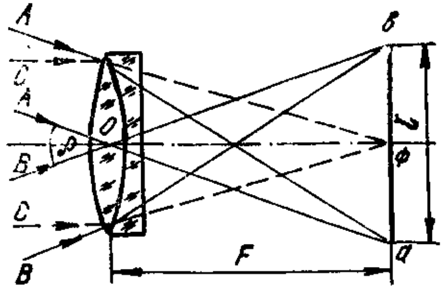
Бу системин објективи сферик күзкүдән вә онун гаршысында јерләшдирилән мүрәккәб шәкилли хүсуси линзадан ибарәтдир. Бу линза коррексија лөвһәси адланыр.

Астрономик оптика саһәсиндә мәшһур алим Д. Д. Максутов 1941-чи илдә башга бир рефлектор системи ихтира етмишдир.

Максутов системи ады илә мәшһур олан бу телескопун (шәкил 75) објективи сферик күзкүдән вә онун гаршысында јерләшдирилән чөкүк-габарыг линзадан ибарәтдир. Белә линза мениск адландығындан, телескоп да менискли телескоп адланыр. Чөкүк сәтһинә дүшән паралел шүалар онун габарыг сәтһиндә сынараг сәпилән шүалар кими күзкү сәтһинә дүшүр. Одур ки, алынан хәјал сферик аберрасијадан азад олур. Чох мараглы чәһәт бурасыдыр ки, мениск башга линзалардан фәргли олараг хроматик аберрасијаја малик дејилдир. Менискли телескопун објективинин һиссәләри сферик сәтһә малик олдуғундан онлары дәгиг һазырламаг хејли асандыр. Белә објектив нәинки аберрасијалардан, һәм дә кома вә дисторсија адланан нөгсанлардан да азаддыр. Оптикадан мә'лумдур ки, кома көрүш саһәсинин кәнарында хәјалын тәһриф олмасы, дисторсија исә көрүш саһәсинин кәнарында хәјалын мигјасынын мәркәзи һиссәдәкиндән фәргли олмасыдыр. Башга телескопларда олдуғу кими Максутов системиндә дә көрүш саһәсинин әјрилији чатышмајан чәһәт кими галыр.

Визуал вә фотографик мүшаһидәләр үчүн нәзәрдә тутулан телескоплар бир-бириндән фәргли әлавә параметрлә сәчијјәләнир.

Визиуал мүшаһидәлә дә окулјардан истифадә олунур. Визуал телескоплары сәчијјәләнди ән әлавә параметр *телескопун бөјүтмәсидир.* Објективин вә окулјарын фокус мәсафәләринә ујғун олараг F вә f, диаметрләринә D вә d десәк, телескопун бөјүтмәси $W=\frac{F}{f}$ вә ја $W=\frac{D}{d}$ васитәс ләифадә олунар. ***Телескопун бөјүтмәси визуал мүшаһидәләрдә телескопун үчүнчү функсијасыны тә'мин едир.*** Белә ки, көз ики нөгтәви мәнбәји онларын арасындакы бучаг мәсафәси 2′-дән кичик олмадыгда ајырд едә билдији һалда, бөјүтмәси W олан телескоп бундан W дәфә кичик бучаг мәсафәсиндә олан ики нөгтәви мәнбәји ајырд едә биләр. Мәсәлән, $W=120$-дирсә, ики нөгтәви мәнбә арасындакы бучаг мәсафәси 1″-дән кичик олмадыгда онлары телескоп ајырд едә биләр. Лакин ашағыда көрәчәјик ки, мүәјјән амилләр телескопун бөјүтмәсини мәһдудлашдырыр.



Шәкил 76. Објективи икилинзалы олан телескопун фокал мүстәвисиндә тәрс хәјалын гурулмасы.

Фотографик мүшаһидәләрдә телескопу сәчијјәләндирән әлавә параметр онун фокал мүстәвисиндә гурулан *хәјалын мигјасыдыр.* Објектин бучаг өлчүсү вә ја ики објект арасындакы бучаг мәсафәси ρ оларса, 76-чы шәкилдән көрүндүјү кими фокал мүстәвидә хәјалын хәтти өлчүсү

$$l=2F\,\mathrm{tg}\frac{\rho}{2}$$

олар. ρ кичик олдуғундан бу дүстуру $l = F\rho$ шәклиндә јазмаг олар вә онда ρ радианларла верилир. ρ бучаг ваһидләри илә верилдикдә, l

$$l = \frac{F \cdot \rho^{\circ}}{57^{\circ},3}, \qquad l = \frac{F \cdot \rho'}{3438'}, \qquad l = \frac{F \cdot \rho''}{206265''} \tag{6.3}$$

ифадәләри васитәсилә һесабланыр. Хәјалын l хәтти вә ρ бучаг өлчүләри васитәсилә

$$\mu = \frac{\rho}{l} \tag{6.4}$$

дүстуру илә тә'јин олунан μ ***параметри хәјалын мигјасы*** адланыр. l (вә F) адәтән, мм-ләрлә верилир вә (6.3), (6.4)-ә әсасән μ параметри ашағыдакы кими ифадә олунур:

$$\mu = \frac{\rho^{\circ}}{l} = \frac{57^{\circ},3}{F} \, [^{\circ}/\text{мм}],$$

$$\mu = \frac{\rho'}{l} = \frac{3438'}{F} \, ['/\text{мм}], \tag{6.5}$$

$$\mu = \frac{\rho''}{l} = \frac{206265}{F} \, [''/\text{мм}].$$

Телескопу сәчијјәләндирән параметрләрдән бири дә онун *көрүш саһәсидир*, јә'ни телескопда көрүнән көј областынын өлчүсүдүр. Көрүш W саһәсинин диаметри N, гөвс дәгигәләри илә

$$N = \frac{2000'}{W} = 2000' \frac{f}{F} \tag{6.6}$$

ифадәсиндән тапылыр. (6.6)-дан көрүрүк ки, көрүш саһәсинин бөјүк олмасы үчүн кичик фокуслу телескопдан истифадә етмәк лазымдыр. *Думанлыг, комет вә башга кениш өлчүлү зәиф објектләри визуал мүшаһидә етмәк үчүн телескоп бөјүк ишыг гүввәсинә вә кичик бөјүтмәјә малик олмалыдыр.*

Һәр бир телескоп өзүнүн ајырдетмә габилијјәти илә сәчијјәләнир. Телескопун окулјар бөјүтмәси ајырдетмәнин хүсуси һалыдыр. Үмумијјәтлә, телескопу сәчијјәләндирән параметрләрдән бири олан *ајырдетмә габилијјәти елә ән кичик бучаг мәсафәсидир ки, бир-бириндән бу мәсафәдә олан ики нөгтәви мәнбә (ики улдуз) һәлә ајры-ајрылыгда көрүнүрләр.* Лакин нәзәри ајырдетмә габилијјәти *ишығын дифраксијасы* нәтичәсиндә, еләчә дә јер атмосфериндә *хәјалын титрәмәси* нәтичәсиндә мәһдудлашыр. Ишығын дифраксијасы, јә'ни објективин кәнарларынын ишыг далғалары илә әһатә олунмасы нәтичәсиндә һеч бир аберрасијаја малик олмајан идеал телескопда белә, улдуз нөгтәви дејил, даирәчик шәклиндә көрүнүр; дифраксија диски адланан бу даирәчик, мәркәзиндән узаглашдыгча, интенсивлији зәифләјән бир нечә консентрик һалгадан ибарәт олур. Дифраксија дискинин диаметри јалныз ишығын λ далға узулуғундан вә објективин D диаметриндән асылыдыр вә

$$\theta = 1{,}22 \frac{\lambda}{D} \quad \text{радиан} = 251640'' \frac{\lambda}{D} \tag{6.7}$$

илә тә'јин олунур.

Визуал телескоп үчүн $\lambda=5100\ \text{Å}=5{,}1.10^{-4}$ мм, гэбул етмаклә, D-ни мм-ләрлә ифадә етсәк (6.7)-дән

$$\theta=\frac{130''}{D} \qquad (6.7)$$

алынар. Ајдындыр ки, ики јахын улдузу телескопда јалныз о вахт ајры-ајрылыгда көрмәк олар ки, онлар арасындакы бучаг мәсафәси (6.7)′ васитәсилә тә'јин олунан Θ-дан бөјүкдүр. Практик олараг хүсусилә бөјүк телескопларын бучаг ајырдетмәси атмосфердә һәјалын титрәмәси нәтичәсиндә мәһдудлашыр. Шамахы Астрофизика Рәсәдханасындакы ики метрлик телескопун (шәкил 77) нәзәри ајырдетмә-

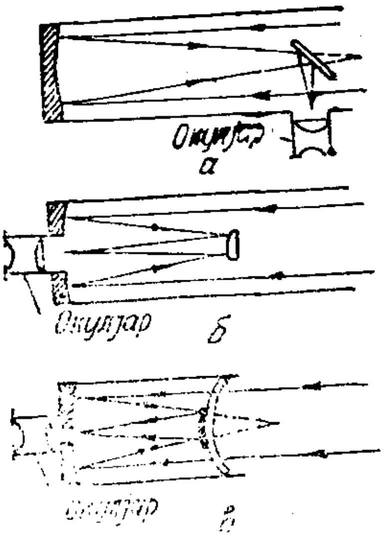
Шәкил 77. Шамахы Астрофизика Рәсәдханасынын ики метрлик телескопу.

си (6.7)′ дүстуруна әсасән 0″,065 олдуғу һалда атмосфер титрәјиши чох јахшы астроиглими олан Шамахы рәсәдханасында да бучаг ајырдетмәсини мәһдудлашдырыр.

Телескопу сәчијјәләндирән әсас параметрләрдән бири дә онун *оптик гүввәси, јахуд нүфузетмә гүввәсидир.* Оптик телескопларын бу характеристикасы барәдә мә'лумат улдуз өлчүләри адланан анлајышла таныш олдугдан сонра вериләчәкдир (бах § 71.2). Лакин габагчадан дејәк ки, телескопун оптик гүввәси, идеал атмосфер шәраитиндә ајсыз кечәдә ән зәиф објекти (улдузу) телескопда мүшаһидә етмәк имканы илә тә'јин олунур. Мәсәлән, Шимали Гафгаздакы Хүсуси Астрофизика Рәсәдханасында гурулмуш вә дүнјада ән бөјүк оптик телескоплардан олан алты метрлик телескопда көрүнә билән ән зәиф објект ади көзлә көрүнә билән ән зәиф улдуздан милјон дәфә зәифдир. Чох һәссас фотопластинкада исә бу телескоп васитәсилә бундан 40 дәфә зәиф објектин хәјалыны, јә'ни ади көзлә көрүнән ән зәиф улдуздан 40 милјон дәфә зәиф објектин хәјалыны алмаг олур.

Рефлекторларын мүхтәлиф оптик схемләри мөвчуддур. Белә оптик системләрин ән садәси баш фокуслу системдир. Белә схемә малик олан телескоп дүз фокуслу телескоп адланыр.

Илк белә рефлекторун мүәллифи олан Нјутон 1671-чи илдә инди Нјутон системи адланан схеми вермишдир: рефлекторун оптик охуна 45° мејилли јерләшдирилмиш мүстәви күзкү фокусу јана чыхарыр (шәкил 78а). 1672-чи илдә Кассегрен инди Кассегрен системи адланан схеми вермишдир: габарыг күзкү фокал мүстәвидән габагда јерләшдирилмәклә фокус узадылыр вә бу әлавә күзкүдән гајыдан шүалар објективин мәркәзиндән ачылан дәликлән кечәрәк фокусланыр (Максутов системиндә дә беләдир; шәкил 78б, 78в).



Шәкил 78. Рефлектор схемләри.

Башга телескоп системләри дә вардыр.

3. Телескоп гурғулары. Телескопун боруси ики гаршылыглы перпендикулјар оху олан хүсуси гурғуда јерләшдирилир ки, боруну бу охлар әтрафында дөндәрмәклә ону көјүн лазым олан һиссәсинә истигамәтләндирмәк мүмкүн олсун. Гурғулар ја ш а г у л и—а з и м у т а л, ја да е к в а т о р и а л о л у р. Ш а г у л и—а з и м у т а л г у р ғ у д а охлардан бири зенитә јөнәлир дикәри исә үфүг мүстәвисиндә олур. Беләликлә, телескоп објектин үфүги координатларына әсасән она тәрәф истигамәтләндирилир. Үфүги координатлар исә дәјишдијиндән објекти көрүш саһәсиндә сахламаг үчүн бору һәм үфүги, һәм дә шагули ох әтрафында даим дөндәрилмәлидир. Шагули—азимутал гурғудан, адәтән, експедисијаларда истифадә олунса да, јухарыда адыны чәк-

дијимиз 6 метрлик телескоп белә гурғуда гојулмушдур. Лакин бу гурғу електрон һесаблајычы машыны илә тәчһиз олунмуш вә програмлашдырылан автомат системин көмәји илә идарә едилир; нәтичәдә телескопун борусунун һәр ики ох әтрафында даим елә чеврилмәси тә'мин олунур ки, објект көрүш саһәсиндә истәнилән мүддәт дәгиг сахланыр.

Екваториал гурғуда охлардан бири дүнјанын гүтбүнә јөнәлир вә бу ох гүтб оху адланыр,: дикәр ох көј екватору мүстәвисиндә олур вә мејл оху адланыр. Екваториал гурғу садәчә екваториал да адланыр. Објектин мејли сутка әрзиндә дәјишмәз галдығындан телескопун борусуну анчаг гүтб оху әтрафында саат бучағынын бөјүдүјү истигамәтдә дөндәрмәк кифајәтдир. Бу әмәлијјат хүсуси саат механизми илә һәјата кечирилир. Саатларла давам едән експозисија илә објектин фотографијасыны алмаг тәләб олунанда саат механизминин дүз ишләмәмәси бөјүк манеәдир. Одур ки, објектин көрүш саһәсиндә ејни вәзијјәтдә галмасыны тә'мин етмәк үчүн бөјүк телескопун гурғусунда бу телескопун оптик охуна паралел олмаг шәрти илә кид (бәләдчи) адланан кичик телескоп јерләшдирилир; вахташыры бу кичик телескопда бахыш саһәсиндәки парлаг улдузлары визуал мүшаһидә етмәклә лазымы дүзәлиш апарылыр.

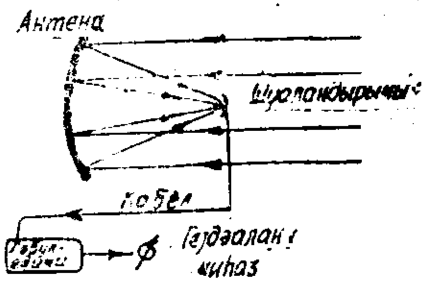
4. Күнәш телескоплары. Күнәш кифајәт гәдәр парлаг олдуғундан онун бөјүк мигјаслы хәјалындан еффектив истифадә етмәк имканы вардыр. Буну нәзәрә алараг бөјүк күнәш телескоплары узун фокуслу олур вә одур ки, белә телескоплар тәрпәнмәз гурулур. Дикәр тәрәфдән исә көј сферасынын фырланмасы нәтичәсиндә Күнәш даим өз јерини дәјишир—онун шүалары истигамәтини даим дәјишир. Телескопун тәрпәнмәз објективинә, јә'ни баш күзкүсүнә исә Күнәш шүалары даим ејни истигамәтдә галмагла дүшмәлидир. Буну тә'мин етмәк үчүн селостат адланан оптик системдән истифадә олунур. Селостат системи, адәтән, ики мүстәви күзкүдән—билаваситә селостат күзкүсүндән вә әлавә күзкүдән ибарәт олур. Селостат күзкүсү онун өз мүстәвисиндә олан вә дүнја охуна паралел олан, јә'ни јерин фырланма оху үзәринә дүшән ох әтрафында, көј сферасынын фырланмасы истигамәтдә, 48 саатлыг периодла фырланыр, әлавә күзкү исә мүәјјән вәзијјәтдә сахланыр. Селостат күзкүсүнүн көј сферасынын фырланма сүр'әтиндән ики дәфә кичик сүр'әтлә фырланмасы гајытма бучағынын дүшмә бучағына бәрабәр олмасы илә әлагәдардыр—селостат күзкүсү, α бучағы гәдәр дөнәндә онун үзәринә дүшән күнәш шүасы гајыдаркән 2α бучағы гәдәр дөнүр. Селостат күзкүсүндән даим ејни истигамәтдә әкс олунан күнәш шүалары әлавә күзкүјә дүшүр вә бу күзкүдән әкс олунан шүалар мүшаһидә мүддәтиндә дәјишмәз истигамәтдә телескопун објективинә — баш күзкүсүнә јөнәлдилир.

Күнәш шүалары баш күзкүјә үфүги истигамәтдә јөнәлдилирсә чиһаз, үфүги күнәш телескопу, шагули истигамәтдә јөнәлдилирсә шагули вә ја гүлләли күнәш телескопу адланыр.

Күнәш атмосферинин ади шәраитдә көрүнән вә фотосфер адланан алт гатындан башга, бу шәраитдә көрүнмәјән, үст гатлары да вардыр.

Фотосферә ән јахын гат хромосфер, даһа үст гат исә тач адланыр. Парлаглығына көрә хромосфер јүз дәфәләрлә, тач исә милјон дәфәләрлә Күнәшин көрүнән дискинин парлаглығындан зәифдир. Мәһз бу сәбәбдән онлар ади шәраитдә көрүнмүрләр, күнәш шүаларынын јер атмосфериндә вә телескопда сәпилмәси нәтичәсиндә күнәш диски әтрафында јаранан вә һалә вә ја ореол адланан парлаг сәма областы парлаглығларына көрә зәиф олан бу гатлары көрмәјә имкан вермир. Күнәш атмосферинин ади шәраитдә көрүнмәјән бу үст гатларыны там күнәш тутулмасы заманы мүшаһидә етмәк олур вә бу заман Күнәш һаггында гијмәтли мә'луматлар әлдә едилир.

Коронограф адланан хүсуси телескоплар васитәсилә Күнәш тачы ади күнләрдә дә мүшаһидә олунур. Коронограф дахилиндә «сүн'и ај» јерләшдирилмиш бир линзалы рефрактордур, бу «сүн'и ај» телескопун дахилиндә Күнәш дискинин гаршысыны тутур вә нәтичәдә сүн'и там күнәш тутулмасы јарадылыр. Белә телескопда тач һәм ағ ишыгда, һәм дә онун хүсусилә парлаг тач хәтләриндә мүшаһидә олунур. Коронограф екваториал гурғуда јерләшдирилир. (селостат ишығы чох сәпдијиндән коронограф үчүн о, јарамыр).



Шәкил 79. Радиотелескопун принсипиал схеми.

Күнәш хромосферини вә бурадакы ајры-ајры характерик деталлары мүшаһидә етмәк үчүн интерференсија—полјаризасија сүзкәчи (бах § 70.5) илә тәчһиз олунмуш хромосфер — фотосфер телескопундан вә башга васитәләрдән истифадә олунур.

§ 69. РАДИОТЕЛЕСКОПЛАР

Каинат објектинин радиодиапазонда шүаланмасыны мүшаһидә етмәк үчүн тәтбиг олунан чиһаз радиотелескоп адланыр. Радиотелескопун әсас елементләри онун антенасы (оптик телескопдакы објективи әвәз едир) вә күчләндиричијә малик һәссас радиогәбуледичидир.

Радиошүаланма антена үзәринә дүшәрәк екс олунуб шүаландырычыда топланыр, ондан кабел васитәсилә сигналлар гәбуледичијә өтүрүлүр, күчләндирилдикдән сонра өзү јазан чиһазда—потенсиометрдә гејдә алыныр (шәкил 79).

Антеналарын конструксијалары чох мүхтәлифдир. Миллиметрлик вә сантиметрлик далғалары гәбул етмәк үчүн антена диаметри бир нечә он метр олан параболик бүтөв метал күзкүдән ибарәт олур. Десиметрлик вә метрлик диапазонларда ишләјән радиотелескопун антенасы параболоидә јахын формалы метал шәбәкәдән ибарәт олур; белә антена

чох ағыр олмадығындан ону бөјүк өлчүдә дүзәлтмәк нисбәтән асан олур. Бу чүр бөјүк телескоп, адәтән, екваториал гурғуда гурашдырылыр.

Радиотелескопда адәтән нисбәтән енсиз тезлик интервалында радиошүалары гејд етмәк олур. Кениш далға узунлуглары диапазонунда космик радиошүаланмаларын мүшаһидәләрини апармаг үчүн белә телескопун антенасы чох сајда мүстәви метал күзкүләрдән дүзәлдилир. Бу күзкүләр фасиләсиз олараг јан-јана елә гурулур ки, алынан бүтөв сәтһин формасы параболоидин сегментинә охшамагла гапалы һалга шәклиндә олсун. Белә радиотелескоплар тәрпәнмәз, јә'ни стасионар олур, шүаландырычыларыны исә кичик интервалда сүрүшдүрмәк олур. Антенасы бу чүр олан ән бөјүк радиотелескоп Шимали Гафгазда күзкүсүнүн диаметри 6 метр олан рефлекторун јерләшдији рәсәдханада гурулмушдур. Бу телескопун јухарыдакы гајдада дүзәлдилән антенасы һәр биринин өлчүсү 2х 7,4м олан 900 әдәд мүстәви метал күзкүдән ибарәтдир; антенанын параболоид сегментинә јахын сәтһә малик һалгасынын диаметри 600 метрә бәрабәрдир; бу телескоп РАТАН—600 адланыр (РАТАН—«радиотелескоп Академии Наук» демәкдир). Објект зенитә јахын оланда шүаланма һалганын там сәтһинә дүшүр, үфүгә јахынлашдыгча һалга сәтһинин даһа кичик һиссәси шүаланманы гәбул едә билир (шәкил 80).

Белә антена там долмајан апертуралы антена адланыр. Бир нечә метрлик далғаларда ишләјән радиотелескопун антенасы мүәјјән гајдада дүзүлән бир нечә антена—диполдан ибарәт олур.

Шәкил 80. Бөјүк РАТАН—600 радиотелескопу.

Антенанын ән бөјүк һәссаслығы онун електрик оху истигамәтдәдир. Одур ки, мәнбә бу истигамәтдә оланда ондан гәбул олунан шүаланманын күчү дә ән бөјүк (P_{max}) олур. Беләликлә, радиотелескопун һәссаслығы нөгтәви мәнбәјин антенаја нисбәтән вәзијјәтиндән асылыдыр. Бу принсипә әсасән һәр бир антена *истигамәтләнмә диаграмы, јахуд истигамәтләнмә бучағы адланан вә радиотелескопун ајырд етмәсини тә'јин едән параметрлә сәчијјәләнир. Параболик* антенанын електрик оху онун оптик охуна јахындыр, оптик ох исә бу антенаны дүзбучаглы мүстәви антена шәклинә көтүрсәјдик она перпендикулјар оларды. Белә антенанын истигамәтләнмә диаграмы 81-чи шәкилдә көстәрилмишдир. Објект антенанын електрик охундан узаглашдыгча гәбул олунан шүаланманын күчү азалыр. Бу сәбәбдән електрик охундан мүәјјән φ бучағы гәдәр бучаг мәсафәсиндә гәбул олунан шүаланманын

күчү $P_{max}/2$ олур (шәкил 81). Параболик антена үчүн $P_{max}/2$-јә ујғун бучаг $\varphi = \frac{\omega}{2}$-дир. Шүаланма күчүнүн максимумунун јарысыңа бәрабәр гијмәтинә ујғун истигамәтләнмә бучағы тәгрибән антенанын бучаг ајырдетмәсинә бәрабәрдир. Антенанын ајырдетмәсинин мәһдуд олмасы оптик телескопларда олдуғу кими дифраксија илә әлагәдардыр вә (6.7)-дә олдуғу кими тә'јин едилир:

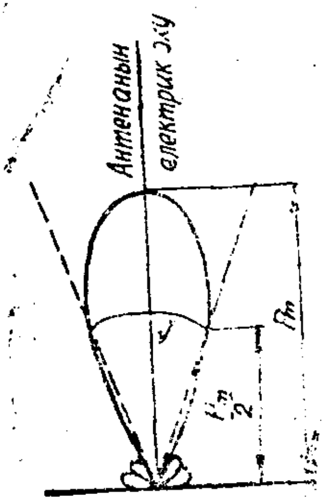
$$\theta = 1.22\frac{\lambda}{D} \text{ радиан} = 4200'' \frac{\lambda}{D} = 251640'' \frac{\lambda}{D};$$

бурада λ—радио далғасынын узунлуғу, D—антенанын диаметридир. Бу ифадәдән көрүнүр ки, ән бөјүк радиотелескоп олан РАТАН—600-дә (D=600 м) һәтта чох гыса радиодалғада белә (мәсәлән, λ=8 мм) мүшаһидә апарылдыгда телескопун ајырд етмәси

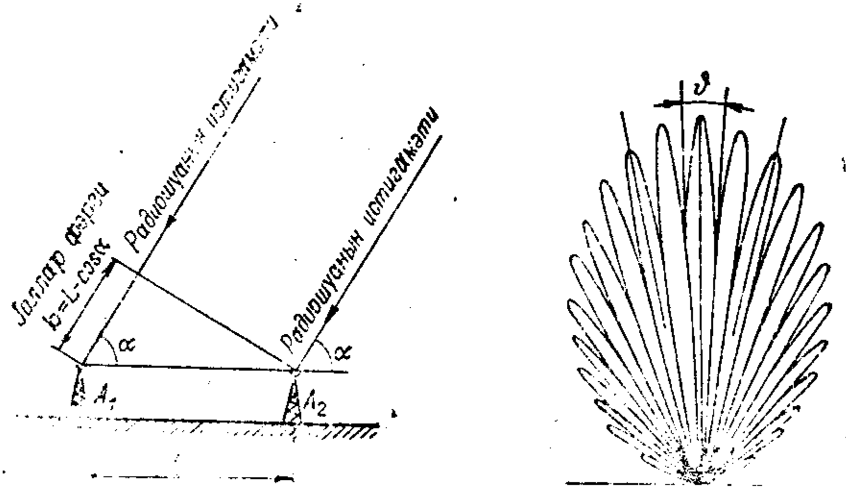
$$\theta = 251^{\prime}4'' \cdot \frac{0.008}{600} \approx 3'';$$

јә'ни араларындакы бучаг мәсафәси 3″-дән кичик олан нөгтәви објектләр бу нәһәнк телескопда ајрылыгда мүшаһидә олунмур. Һалбуки, орта күчлү оптик телескопда еффектив далға узунлуғунда ајырдетмә 0″,66-дыр (фәрг 50 дәфәдир).

Радиомүшаһидәләрдә ајырдетмәни артырмаг проблеми *радиоинтерферометр* адланан радиотелескопларын јарадылмасы илә һәлл олунду. 82-ҹи шәкилдә ики антеналы радиоинтерферометр вә онун истигамәтләнмә диаграмы көстәрилмишдир. Радиоинтерферометрин иш принсипи електромагнит шүаланмасынын интерференсијасына әсасланыр. Бирбириндән базис адланан L мәсафәсиндә јерләшән A_1 вә A_2 антеналарына паралел радиошүалар дүшдүјүнү гәбул едәк. Ајдындыр ки, A_1 антенасына дүшән шүанын јолу, A_2-јә дүшәнин јолундан $b=L\cos\alpha$ гәдәр узун олмалыдыр (α—радиошүаларын истигамәти илә үфүг арасындакы бучагдыр); b—јоллар фәрги адланыр; бунун һесабына електромагнит шүасы A_1 антенасына бир гәдәр кеч чатмалыдыр. Ишығын интерференсијасы нәзәријјәсиндән мә'лумдур ки, јоллар фәрги далға узунлуғунун там (n) мисилләринә бәрабәр олдугда јә'ни $b=n\lambda$ шәрти өдәнилдикдә електромагнит рәгсләри ејни истигамәтли олдуғундан топланмалы, јоллар фәрги јарымдалғаларын мисилләринә бәрабәр олдугда исә рәгсләр әкс истигамәтли олдугларындан, јә'ни $b=(n+\frac{1}{2})\lambda$ олдуғундан чыхылмалыдыр. Бурадан ајдындыр ки, радиоинтерферометрин истигамәтләнмә диаграмы енсиз јарпаглар чохлуғундан ибарәт олар. Истәнилән ики гоншу максимум вә ја ики гоншу минимум шүаланма күчләринә ује-



Шәкил 81. Антенанын истигамәтләнмә диаграмы.



Шәкил 82. Икиантеналы радиоинтерферометр вә онун истигамәтләнмә диаграмы.

гун јарпаглар арасындакы бучаг, радиоинтерферометрин *ајырдетмә габилијјәтини* характеризә едир. Дифраксија нәзәријјәсинә көрә бу ајырдетмә габилијјәти

$$\theta = 251640'' \frac{\lambda}{L} \qquad (6.8)$$

ифадәси илә тапылыр. (6.7)-дән фәргли олараг, (6.8)-дән көрүрүк ки, күзкүнүн (антенанын) диаметри интерферометрин антеналары арасындакы мәсафә илә әвәз олунур.

Илк радиоинтерферометрләрдә антеналар арасындакы мәсафә бир нечә километр олмушдур. Белә радиоинтерферометрин антеналары кабел васитәсилә бирләшдирилир. Бу чүр радиоинтерферометрлә радиогалактикалар кәшф олунмушдур (бах: § 144). Радиоинтерферометрин антеналарынын кабеллә бирләшдирилмәси зәрурәти шүбһәсиз ки, онун ајырдетмә габилијјәтини мәһдудлашдырыр. Доғрудан да, әкәр L = 10 км оларса, онда 10 см далға үчүн радиоинтерферометрин ајырдетмә габилијјәти (6.8) дүстуруна әсасән 2″,5 олардыр. Бурадакы мәһдудијјәти арадан галдырмаг үчүн радиоинтерферометрин антеналарыны кабеллә бирләшдирмәк үсулундан имтина етмәк, радиоинтерферометрин һәр бир антенасынын мүстәгил радиотелескоп кими ишләмәсини тә'мин етмәк лазым олмушдур. Мүасир елм вә техника буна наил олмаға имкан вермишдир. Белә ки, мүасир радиоинтерферометрләрдә һәр бир антенанын гәбул етдији сигнал атом стандартына мүвафиг вахтла бирликдә магнит лентинә јазылыр, сонра бунлар електрон—һесаблајычы

машынларда узлашдырылыр. Беләликлә, мүасир магнитофонлардан, дәгиг (атом) вахт хидмәтиндән вә дәгиг мәсафә өлчмәләриндән ибарәт комплекс системин көмәјилә вә електрон-һесаблајычы машынлардан истифадә етмәклә Каинат објектләринин радиошүаланмасы һаггында чох зәнкин мә'луматлар топламаг олур. Бу чүр радиоинтерферометрин антеналары арасындакы мәсафә—базис принсипчә он мин вә һәтта он минләрлә километр ола биләр. Һазырда мүхтәлиф гит'әләрдә гојулмуш антеналар чүтүндән ибарәт радиоинтерферометрләрдән кениш истифадә олунур.

Гејд етмәк лазымдыр ки, Каинат објектләринин бөјүк әксәријјәтиндән Јерә чатан радиошүаланма сели чох зәиф олур. Одур ки, радиотелескопларын гәбуледичиләринин һәссаслығыны кифајәт гәдәр бөјүтмәк тәләб олунур. Әсримизин 30-чу илләринин әввәлләриндә америкалы мүһәндис К. Јански илк дәфә космик радиошүаланманы кәшф етдији үчүн бу шүаланманын күч ваһиди һәмин алимин шәрәфинә Јански (јан) адланыр.

$$\text{Јан} = 10^{-23}\ \frac{\text{ерг}}{\text{см}^2\cdot\text{сан}\cdot\text{һс}} = 10^{-26}\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{һс}}.$$

Бу ваһидин белә кичик олмасы, гејд етдијимиз кими, космик радиошүаланма селинин әксәр һалда чох зәиф олмасы илә әлагәдардыр.

§ 70. ШҮАЛАНМА ГӘБУЛЕДИЧИЛӘРИ

1. Көз гәбуледичи кими. Бә'зи шүаланма гәбуледичиләри (мәсәлән, спектроболометр) мүстәсна олмагла ишыг гәбуледичиләри спектрин мүәјјән далға узунлуглары интервалына һәссас олур. Бу интервал һәмин гәбуледичинин бурахма золағы адланыр. Гәбуледичинин ән бөјүк спектрал һәссаслығына ујғун далға узунлуғуна *еффектив далға узунлуғу* дејилир. Ишыг гәбуледичисинин һәссаслығынын далға узунлуғундан асылылыг әјриси онун *спектрал характеристикасы* адланыр. Көз үчүн буна *көрмә әјриси* дејилир. Инсан көзүнүн көрмә әјриси тәгрибән (3900—7600 Å) интервалыны әһатә един вә бу интервал визуал област адланыр. Бу интервалда тәбии ишығын бүтүн рәнкләри јерләшир: бәнөвшәји (3900—4500 Å), көј (4500—4800 Å), мави (4800—5100 Å), јашыл (5100—5700 Å), сары (5700—5850 Å), нарынчы (5850—6200 Å) вә гырмызы (6200—7600 Å). Әлбәттә рәнкләр кәсилмәдән бир-биринә кечдијиндән көстәрилән сәрһәдләр бир нөв шәртидир (шәкил 83 *а*).

Көз үчүн еффектив далға узунлуғу күндүзләр 5550 Å, кечәләр исә бундан 450 Å гыса—5100 Å-дыр. Көзүн ән кичик шүаланма селини һисс етмәк габилијјәти, јә'ни көзүн һәссаслыг сәдди $\sim 10^{-9}$ ерг/сан јахуд $\sim 10^3\ \frac{\text{квант}}{\text{сан}}$-дир.

Инсанын көзү јүксәк адаптасија (ујғунлашма) габилијјәтинә—ишыгдан гаранлыға кечәркән көрмәни бәрпа етмәк габилијјәтинә маликдир. Бу сәбәбдән күнәшли күндүзә нисбәтән ајсыз кечәнин ишыглығы 10^8 дәфә зәиф олса да инсанын көзү көрмә габилијјәтини сахлајыр.

2. **Фотоемулсија ишыг гәбуледичиси кими.** Астрономијада, о чүмләдән астрофизикада елми фотографија кениш јер тутур. Фотографијанын астрономијаја тәтбиг үсулу астрофотографија адланыр. Фотографијанын ашағыдакы бөјүк үстүнлүкләри вардыр.

1. Көздән фәргли олараг фотоемулсија ишығы мүәјјән мүддәт топлаја билдијиндән даһа зәиф објектләри мүшаһидә етмәјә имкан верир;

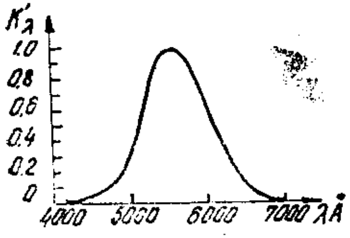
2. Фотографик мүшаһидә көзә нисбәтән даһа бөјүк көј саһәсини әһатә едир, јә'ни кениш панорама маликдир;

3. Көзүн һәссаслығы мүхтәлиф адамларда бир-бириндән фәргли олдуғу һалда, һәр бир фотоемулсијанын ишыға һәссаслығы бирчинсдир;

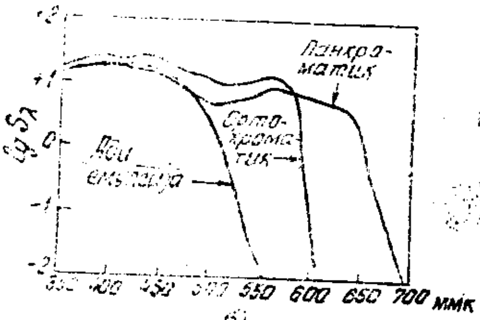
4. Фотографик мүшаһидә материалы узун мүддәт сахланыр вә истифадә олунур;

Фотоматериал шүшә вә ја плјонка үзәринә чәкилмиш фотоемулсијадан ибарәтдир. Фотоемулсија күмүшүн мүхтәиф һалоидли бирләшмәсиндән ($AgCl$, $AgBr$ вә с.) ибарәт дәнәчикләрдән тәшкил олунмуш тәбәгәдир. Ишығын тә'сири илә мүрәккәб фотокимјәви реаксија нәтичәсиндә күмүшүн һалоидли бирләшмәләриндән күмүш ајрылыр вә нәтичәдә фотолөвһә үзәриндә чисмин кизли хәјалы алыныр.

Ади фотоемулсијанын ишығы бурахма золағы (3000—5000 Å)-дир. Чох вахт бу диапазона *фотографик област* дејилир. Астрономијада мүхтәлиф спектрал характеристикаја малик фотоемулсијалардан истифадә олунур. 83-чү шәкилдә типик фотоемулсијаларын спектрал характеристикалары көстәрилмишдир. Ордината охунда верилән далға узунлуғунда емулсијанын спектрал һәссаслығынын логорифми верилмишдир. Спектрал һәссаслыг фотолөвһә вә ја фотоплјонкада гаралманы јарадан ишыг мигдарынын (E_λ-нын) тәрс гијмәтидир ($S_\lambda = \frac{1}{E_\lambda}$) Ортохроматик емулсија сары, панхроматик емулсија исә гырмызы шүалара даһа һәссасдыр. Белә фотоемулсијалар сенсибилизатор адланан хүсуси үзви рәнкләјичиләр әлавә етмәклә һазырланыр вә бу нөв емулсијалара сенсибилизә олунмуш емулсијалар дејилир. Бә'зән бурахма золағы 13000 Å



а)



б)

Шәкил 83. Көзүн вә типик фотографиг емулсијаларын спектрал характеристикалары.

далға узунлуғуна гәдәр давам едән инфрахроматик емулсијалардан да истифадә олунур.

Улдузун фотошәкили (фотохәјалы) даирәчијә бәнзәјир вә парлаг улдуз үчүн бу даирәчик даһа бөјүкдүр. Әлбәттә улдузун фотоәксинин даирәчик шәклиндә алынмасы јалныз фотографик еффектдир, чүнки улдузлар ән күчлү телескопда белә нөгтәви шүаланма мәнбәләридир.

Һәр бир фотоматериалын өз характеристик әјриси олур. Бу әјринин маһијјәтини баша дүшмәк үчүн бир нечә анлајышла таныш олмаг лазымдыр. **Фотоматериалын (фотолөвһә вә ја плјонканын) мүәјјән** ишыг мәнбәји тәрәфиндән ишыгландырылдығыны фәрз едәк. Фотоемулсијанын үзәринә дүшән ишығын интенсивлији $J°$ олсун. Емулсија данәчикләри тәрәфиндән гисмән удулма вә сәпилмә нәтичәсиндә бу интенсивлик $\Delta J = J^5 - J$ гәдәр зәифләмәлидир. $\frac{J°}{J}$ нисбәтинә негативин ишыг дүшән һиссәсинин гаралмасыны ифадә едән кәмијјәт кими баха биләрик. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, физиолог Вебер вә психолог Фехнер XIX јүзилликдә белә бир ганун кәшф етмишләр: һәр һансы гычыгландырычы тә'сирин һисс олунмасындакы дәјишиклик һәмин гычыгландырычы амилин нисби дәјишмәси илә дүз мүтәнасибдир. Вебер—Фехнер гануну адланан бу ганунун кениш тәтбиг даирәси вардыр. Инсан һиссијјатынын бу ганунла тәсвир олунан хүсусијјәтинә әсасән гаралма өлчүсү олараг јухарыдакы нисбәтин онлуг логорифмини гәбул етмәк олар:

$$D_1 = \lg \frac{J°}{J}. \tag{6.9}$$

Мәнбәјин фотографијасыны аларкән ишығын бир гисми сәпилмә нәтичәсиндә лөвһәнин хәјалла гоншу («тәмиз») јерләрини дә зәиф дә олса ишыгландырыр. Бу һалда зәифләмә $\Delta J = J° - J_0$ оларса,

$$D' = \lg \frac{J°}{J_0} \tag{6.10}$$

фонун гаралмасы (вуал) олар. (6.9) вә (6.10) ифадәләрини тәрәф-тәрәфә чыхсаг

$$D = D_1 - D' = \lg \frac{J_0}{J}. \tag{6.11}$$

(6. 11) васитәсилә тә'јин олунан D кәмијјәти һәгиги фотографик гаралма вә ја фотографик әксин гаралма сыхлығы адланыр. Вуалын сыхлығы 25—30%-дән бөјүк дејилсә, бу гајда илә тапылан D гәнаәтбәхш һесаб едилир. *Бу кәмијјәтә негативин гаралмасы да дејилир.* Негативин гаралма сыхлығы тәгриби олараг ишыгланма (E) илә експозисија мүддәти (D) һасилинин онлуг логарифми илә тә'јин олунур: $P = f(\lg E.\, t)$. *Бу ганун гаршылыглы әвәзетмә гануну адланыр.*

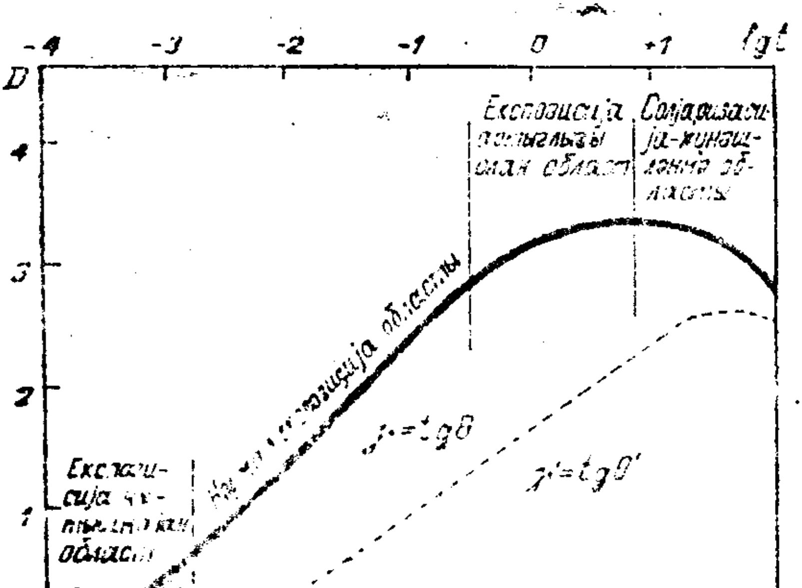
Негативин гаралмасы илә онун ишыгланмасынын логарифми арасындакы асылылыг әјрисинә һәмин негативин характеристик әјриси де-

јилир. Негативин характеристик әјрисини гурмаг үчүн ики үсулдан истифадә олунур:

1) експозисија мүддәтини сабит сахламагла мүхтәлиф парлаглыға малик ишыг мәнбәләри васитәсилә фотолөвһәнин вә ја фотоплјонканын мүхтәлиф јерләри мүхтәлиф мигдарда ишыгландырылыр: фотоматериал ашкарландыгдан вә үмумиjјәтлә, там ишләниб гурулдугдан сонра негативин һәмин јерләринин гаралма сыхлығы (D) өлчүлүр вә бу өлчмәләр ординат охунда гејд олунур, абсис охунда исә $\lg E \cdot t$ гејд олунур. Бу гајда илә $(\lg E \cdot t, D)$ координат системиндә алынан әјри һәмин фотоматериалын характеристик әјриси олур.

2) фотолөвһәнин вә ја фотоплјонканын парлаглығы дәјишмәјән ишыг мәнбәји васитәсилә ишыгланмасыны сабит сахламагла експозисија мүддәти дәјишдирилир. Сонра биринчи һалда олдуғу кими әмәлијјатлар апарылараг характеристик әјри гурулур.

Һәр ики үсулла алынан характеристик әјриләр 84-чү шәкилдә верилмишдир, бурада икинчи һала аид әјри гырыг хәтләрлә көстәрилмишдир.



Шәкил 84. Фотографик негативин характеристик әјриси. Алт абсис охундакы шкала експозисија мүддәтини сабит сахламагла фотоматериалын мүхтәлиф јерләринин мүхтәлиф мигдарда ишыгландырылмасы һалына аиддир; үст абсис охундакы шкала исә фотоматериалын ишыгландырылмасыны сабит сахламагла експозисија мүддәтинин дәјишдирилмәси һалына аиддир.

Биринчи (үст) әјридә әввәлчә гаралма ишыгланма илә дүз мүтәнасибдир, јә'ни $D=\kappa E$-дир. Әјринин бу һиссәси ишыг чатышмајан област, јахуд експозисија мүддәтинин азлығы областы адланыр.

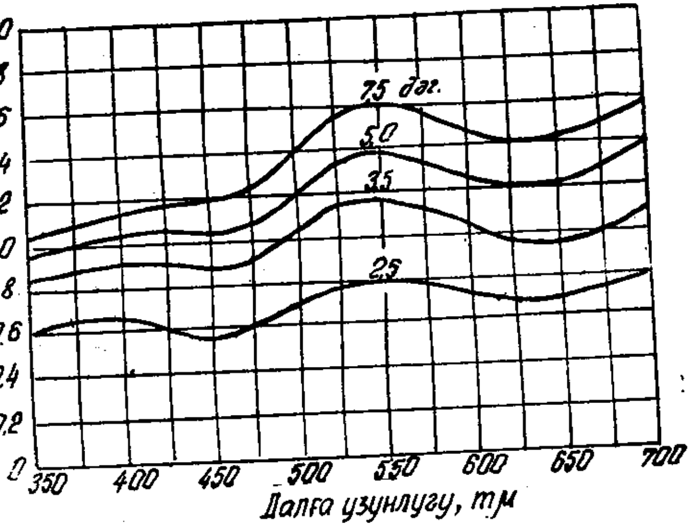
Характеристик әјринин дүзхәтли һиссәси нормал ишыгланма (јахуд нормал експозисија) областы адланыр. Ајдындыр ки, әјринин бу һиссәси $D=\Upsilon \lg E-A$ дүз хәтт тәнлији илә тәсвир олунур; бу дүз хәттин бучаг әмсалы $\Upsilon=\operatorname{tg}\Theta$—негативин контрастлығы адланыр. $\Upsilon>1$ $(\Theta>45°)$ оланда ишыгланманын кичик артымы бөјүк гаралмаја кәтирир вә белә фотоматериал контрастлы адланыр. Әксинә, $\Upsilon<1$ оларса, негатив орта контрастлы, $\Upsilon=1$ оланда исә нормал контрастлы адланыр.

Негативин гаралмасы D-јә һиссијјатын тәзаһүрү кими бахылса, дејә биләрик ки, характеристик әјринин дүзхәтли һиссәсиндә Вебер—Фехнер гануну әкс олунур. Дүзхәтли һиссәдән сонра $\lg E$-нин сонракы бөјүмәси гаралма сыхлығынын кичик сүр'әтлә бөјүмәсинә вә мүәјјән максимума чатмасына кәтирир; бу, һиссә ишыг артыглығы олан (јахуд експозисија артыглығы олан) област адланыр. $\lg E$-нин сонракы бөјүмәси нәинки гаралманы бөјүтмүр, һәтта ону чох кичилдир; бу област солјаризасија (күнәшләнмә) областы адланыр, чүнки ади фотографија алан заман Күнәш шүалары фотоматериала дүшәндә о јер аз гаралыр (solis латынча Күнәш демәкдир).

Икинчи (алтдакы) әјринин биринчи (үстдәки) әјри илә мүгајисәсиндән көрүнүр ки, сабит ишыгланмада мүхтәлиф експозисија мүддәтләриндә алынан гаралмалара әсасән гурулан характеристик әјри аз мејиллидир, јә'ни икинчи һалда негативин контрастлығы $\Upsilon'<\Upsilon$-дыр. Бу о демәкдир ки, експозисија мүддәти ишыгланмаја нисбәтән аз ефектлидир. Лабораторија фотографијасынын әксинә олараг астрономијада, адәтән, узун експозисија мүддәти лазым кәлир (әлбәттә Күнәшин мүшаһидәләри мүстәсна олмагла—бурада әксинә, ән кичик експозисија мүддәти кифајәтдир). Мәшһур астрофизик Шварстшилд XX әсрин лап әввәлләриндә көстәрмишдир ки, бу һалда бәрабәр гаралма Et-нин дејил, Et^{p}-нин $(p=\frac{\gamma'}{\gamma}<1)$ ејни гијмәтләриндә алыныр; t-нин E-јә нисбәтән аз ефектли олмасы мәһз бунунла әлагәдардыр. Шварстшилд әмсалы, јахуд көстәричиси адланан p-ни тапмаг лазым олдугда $\gamma'\leqslant p\gamma$ мүнасибәтиндән истифадә әлверишлидир.

Нәинки, мүхтәлиф фотоматериалын характеристик әјриси, һәтта мүхтәлиф шәраитдә ашкарланан бирчинс фотоматериалын характеристик әјриләри дә бир-бириндән фәргләнир. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, фотографиг емулсијанын γ контрастлығы далға узунлуғундан асылыдыр. Бу, 85-чи шәкилдән ајдын көрүнүр.

Астрономијада характеристик әјрини гурмаг үчүн ишыгланмалары мүәјјән мүнасибәтдә азалдан пилләли зәифләдичиләрдән истифадә едирләр. Бу әмәлијјат негативин калибрләнмәси адланыр. Мә'лум характеристик әјријә әсасән негативин мүхтәлиф јерләринин ишыгланмалары мүгајисә олунур. Нисби фотометрија үчүн, јә'ни парлаглыгларын нисбәтини тә'јин етмәк үчүн бу әмәлијјат кифајәтдир. Мүтләг фото-



Шәкил 85. Мүхтәлиф ашкарланма мүддәтләриндә фотографик емулсијанын γ контрастлығынын далға узунлуғундан асылылығы.

метрија үчүн, јә'ни парлаглығын мүтләг гијмәтләрини тә'јин етмәк үчү колибрләмә илә јанашы стандартлашдырма да апармаг лазымдыр. Б нун үчүн исә емулсијада мә'лум парлаглыға малик саһәчикләрин хәјал алынмалыдыр (гејри-нөгтәви објектләр үчүн); јахуд парлаглығы мә лум олан улдузун негативдә экси алынмалыдыр. Негативин гаралм сыны өлчмәк үчүн микрофотометр адланан чиһаздан истифадә олуну

Фотолөвһә вә ја фотоплјонканын бир гәбуледичи кими әсас чатыі мајан чәһәти гаралманын ишыгланмадан гејри-хәтти асылы олмас дыр. Гаралма фотоматериалын ишләнмәсиндән дә асылыдыр. Бүт бунларын нәтичәсиндә фотографик үсулла апарылан фотометрик өл мәләрин дәгиглији 5—7%-дән бөјүк олмур.

Лакин мүасир астрофизикада бә'зи фотометрик өлчмәләрин дәгі лијини даһа да артырмаг тәләб олунур. Бу мәгсәдлә фотоелектрик ф тометрија үсулларындан истифадә едилир.

3. Фотоелектрик гәбуледичиләр. Садә фотоелектрик гәбуледичи харичи фотоеффект һадисәсинә әсасән ишләјән фотоелементдир. Һ зырда мүрәккәб фотоелектрик гәбуледичиләрдән—фотокүчләндиричи ләрдән истифадә едилир.

Фотоелемент вә ја фотокүчләндиричидән ишыг гәбуледичиси к ми истифадә етмәк принсипи илә ишләјән вә електрофотометр ад нан чиһаз мүасир астрофотометријада кениш јајылмышдыр.

Чох зәиф олмајан ики улдузун ишыгланмалары нисбәти 1,005-д кичик олмадыгда мүасир улдуз електрофотометри васитәсилә һәм нисбәти дәгиг өлчмәк мүмкүндүр. Бу о демәкдир ки, мүасир фотоел тријанын дәгиглији фотографијанын дәгиглијиндән мүгајисәсиз ј јүкдүр.

Ишыг сүзкәчләриндән истифадә етмәклә улдуз електрофотометри васитәсилә улдузларын рәнк характеристикалары тә'јин олунур. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, улдуздан кәлән шүаланма селини даһа дәгиг тә'јин етмәк үчүн фотоелектријада, һәмчинин фотографијада хүсуси ишыг сүзкәчләри сечилмиш вә бунлар јени бејнәлхалг фотометрик систем кими гәбул олунмушдур. Бу јени фотометрик систем 1953-чү илдә американ астрофизикләри Морган вә Чонсон тәрәфиндән јарадылмышдыр. Һәмин системдә үч нөв ишыг сүзкәчиндән истифадә олунур. Бу ишыг сүзкәчләри ултрабәнөвшәји—U, көј—B вә сары-визуал—V спектр областларында ишығы бурахыр.

U, B, V системиндән башга дикәр чохрәнкли фотометрик системләр, мәсәлән, гырмызы, јахуд инфрагырмызы областларда фотометрик өлчмә ишләри апармаг үчүн системләр вардыр. Јери кәлдикчә фотометрик системләрдән истифадә мәсәләләриндән бәһс едәчәјик.

Муасир астрономија мүшаһидәләриндә електрон—оптик чевричиләрдән вә телевизија мүшаһидә системләриндән дә кениш истифадә олунур. Електрон-оптик чевиричи фотокатоддан, електрон линзасындан вә електронларын тә'сири илә ишыгланан екрандан ибарәтдир. Електрон линзасы мүсбәт јүкләнән електроддур; бу електрод електронлары нисбәтән бөјүк енержијә гәдәр сүр'әтләндирир вә онлары мүәјјән трајекторија үзрә һәрәкәт етмәјә мәчбур едир; бу о демәкдир ки, катодун мүәјјән нөгтәсиндән гопарылан електрон екранын она мәхсус нөгтәсинә чатыр вә одур ки, нәтичә е'тибари илә екранда фотокатодда алынан хәјал алыныр, лакин екрандакы хәјал фотокатоддакына нисбәтән чох парлаг олур. Електрон—оптик чевиричиләрин фотокатоду бөјүк квант чыхышына малик олдуғундан бунлар васитәсилә апарылан мүшаһидәләрдә ади фотографијадакындан даһа гыса експозисија мүддәти кифајәт едир. Башга сөзлә бу заман вахт ајырдетмә гүввәси бөјүк олур.

Һәссас телевизија борусуна малик олан телевизија системи бөјүк контрастла чох зәиф објектләрин хәјалыны алмаға имкан верир.

Астрономијада телевизија системиндән истифадә етмәк үчүн оптик телескоп өтүрүчү вә гәбуледичи телевизија гурғусу илә бирләшдирилир. Өтүрүчү телевизија борусу телескопун окулјарындан архада—објектин кифајәт гәдәр парлаг хәјалынын алындығы мүстәвидә јерләшдирилир. Өтүрүчү бору објектин оптики тәсвирини електрик сигналларына чевирир, сонра исә гәбуледичи телевизија екранында објектин хәјалы алыныр вә өјрәнилир. Һәмин електрик сигналлары радио далғалары васитәсилә узаг мәсафәләрә дә верилир, орада телевизија антеналары һәмин сигналлары гәбул едир, телевизија борусунда һәмин сигналлар тәсвирә чеврилир. Бу үсулдан һал-һазырда космик техникада кениш истифадә олунур.

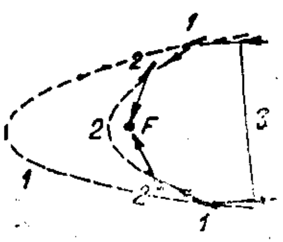
Инфрагырмызы областда ($\lambda > 1$ мкм) ишыг гәбуледичиси кими әсасән фотомүгавимәтләрдән истифадә олунур. Фотомүгавимәт, шүаландырылмасы артырылдыгча јүкдашыјычыларынын консентрасијасы вә ја јүрүклүјү артан мүәјјән јарымкечиричи кристалдан вә ја белә јарымкечиричи маддә

илә өртүлмүш назик тәбәгәли плјонкадан ибарәтдир; јаранан фотокечиричиликдән истифадә едәрәк миллиметрә гәдәр ән узаг инфрагырмызы шүаланманы гејд етмәк олур. Инфрагырмызы областда һәссас фотомүгавимәтлә ишләркән мүшаһидәнин бүтүн техники комплекси алчаг температурадәк сојудулмалыдыр. Бу мәгсәдлә сојудучу-криокен техникасы тәтбиг олунур. Бурада гејд етмәк лазымдыр ки, телескопун вә атмосферин истилик шүаланмасы бу диапазонда апарылан мүшаһидәләр үчүн бөјүк әнкәлдир. Инфрагырмызы областда мүшаһидәләр маје һелиумла сојудулан хүсуси болометрләрлә дә апарылыр. Болометрләрин иш принсипинин әсасында електрик мүгавимәтинин температурдан асылылығы гануну дурур. Истилик шүаланмасынын гәбуледичиси кими термочүтләр дә јајылмыш васитәдир. Бунларда ја термоелектрик еффектиндән, ја да истилијин тә'сири илә газ һәчминин бөјүмәси хүсусијјәтиндән истифадә олунур. Бу һалда сојудучуја еһтијач галмыр вә бу гәбуледичиләр күчлү истилик шүаланмасы селинә малик олан објектләри өјрәнмәк үчүндүр. Гејд етмәк лазымдыр ки, фотоелектрик гәбуледичиләрдән фәргли олараг истилик шүаланмасы гәбуледичиләринин һәссаслығы далға узунлуғундан демәк олар ки, асылы дејилдир.

Ултрабәнөвшәјн областда астрофизик мүшаһидәләр апармаг үчүн атмосфердән кәнарда ишләјән, јә'ни Јерин сүн'и пејкләриндә вә орбитал рәсәдханаларда гурулан оптик телескоплардан истифадә олунур. Бу телескопларда $\lambda > 1600$ Å далға узунлуглу шүалар хүсуси фотоемулсија васитәсилә гәбул олунур, $\lambda < 1600$ Å-дә исә шүаланма Һејтер—Мүллер фотон сајғачы васитәсилә гејдә алыныр.

Атмосфердән кәнарда рентҝен областда мүшаһидәләр мүхтәлиф нөв сајғачлардан вә ја хүсуси фотокатоду олан фотокүчләндиричиләрдән ибарәт гәбуледичиләрлә тәчһиз олунмуш рентҝен телескопларла апарылыр.

Рентҝен областда, хүсусилә гыса далғаларда (0,1—10 Å) мүшаһидәләр апармаг үчүн телескопун објективи хүсуси дәгигликлә чилаланмалыдыр. Муасир техникада белә имкан јохдур. Лакин рентке шүалары телескопун објективинә—күзкүјә онун нормалы илә 90°-јә ја хын бучаг алтында («чәп») дүшдүкдә бу күзкүнү хүсуси дәгигликл һазырламаға еһтијач олмур. Мүаси рентҝен телескопларында мәһз бу чә һәтә әсасланырлар. Космосда ишл јән белә рентҝен телескопунун схем 86-чы шәкилдә верилмишдир; рент кен шүалары 90°-јә чох јахын буча алтында күзкү сәтһинә дүшүр вә он дан демәк олар ки, там гајыдыр. Рент кен телескопунун објективи һиперб лик (1) вә параболик (2) күзкүләри сегментләри комбинасијасындан иб



Шәкил 86. Рентҝен телескопунун схеми.

рәтдир. (3) диафрагмы јалныз ән кәнар шүаларын објективә дүшмәсини тә'мин едир. Бу кәнар шүалар һиперболик сегментдән 90°-јә јахын бучаг алтында гајыдараг параболик сегментә дүшүрләр вә бурадан гајыдан шүалар телескопун мүвафиг гәбуледичи јерләшдирилән фокал мүстәвисиндә фокусланырлар.

Космик гамма шүаланманы мүшаһидә етмәк үчүн, енержиси 30 МеВ-дән кичик оланда хүсуси сајғачлардан, енержиси 30 МеВ-дән бөјүк олдугда исә ионизасија камералары вә нүвә емулсијаларындан истифадә олунур (Ƴ квантын енержиси Е>30 МеВ оланда онун маддә илә гаршылыглы тә'сири електрон позитрон чүтү јаранмасына сәбәб олур вә дедијимиз мүшаһидә техникалары васитәләри илә гејдә алыныр). Квантын енержиси $h\nu > 1000$ МеВ оларса онун тә'сири илә јаранан електрон позитрон чүтү јер атмосфериндә кифајәт гәдәр парлаг алышма јарадыр вә бунлар јер сәтһиндә хүсуси телескопларла гејдә алынырлар: мүһитдәки ишыг сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә һәрәкәт едән електрон вә ја позитрон Вавилов—Черенков еффектинә әсасән ишыг енержиси шүаландырыр; бу шүаланма чох кичик тәпә бучағына малик конусда топландығындан алышманын координатлары елә објектин өз координатларына ујғун олур.

Гамма, рентген, узаг ултрабәнөвшәји областларда астрофизика мүшаһидәләри шагули истигамәтләрдә бурахылан ракетләрдә, јерин сүн'и пејкләриндә јерләшдирилән мүвафиг астрофизика чиһазлары васитәсилә апарылыр. Планетләрин тәдгиги үчүн үч нөв планетләрарасы автомат стансијадан истифадә олунур: а) планетин јанындан кечиб кедән трајекторијалар үзрә һәрәкәт едән космик стансијалар; б) планетин сүн'и пејкинә чеврилән стансијалар; в) планетин сәтһинә ендирилән стансијалар.

Биринчи нөв космик стансија васитәсилә планет һаггында илкин, елми-техники кәшфијјат характерли мүшаһидәләр апарылыр. Планетин сүн'и пејки планетин мүәјјән бир һиссәси һаггында мүәјјән мәсафәдән—дистансион мә'лумат топламаға имкан верир. Планетә ендирилән стансија исә планетин атмосфери вә онун сәтһи һаггында билаваситә мә'лумат әлдә етмәк имканы јарадыр.

«Луна», «Луноход» кениш програмла Ајы өјрәнмәк үчүн, «Венера», «Марс» серијасындан олан стансијалар исә һәмин планетләри өјрәнмәк үчүн јарадылмышдыр. «Рејнджер», «Сервејор» серијасындан бурахылан стансијаларла Ај өјрәнилмиш, «Аполлон» стансијасы васитәсилә Аја астронавтлар енмиш, «Маринер» серијасындан олан стансијаларла Марс тәдгиг олунмушдур. Сон вахтлар бир сыра өлкәләрдә мүхтәлиф бејнәлхалг космик учушлар програмы һәјата кечирилир вә кенишләндирилир.

4. Спектрал чиһазлар. Улдузларын вә планетләрин спектри илк дәфә XIX јүзилликдә италјан астроному Секки тәрәфиндән мүшаһидә олунмушдур. О вахтдан кечән мүддәтдә спектрал мүшаһидә техникасы вә алынан материалын ишләнмәси методикасы кејфијјәтчә дәјишмишдир. Спектрал мүшаһидәнин әсасыны ишығы далға узунлугларына

көрә монохроматик тәркиб һиссәсинә ајырмаг, јә'ни дисперсија етмәк тәшкил едир.

Ишығын дисперсијасы призма, јахуд дифраксија гәфәси васитәсилә әлдә едилир. Бунлара ујғун олараг спектрал чиһаз Јер лабораторијаларында олдуғу кими призмалы вә дифраксијалы чиһаз адланыр. Астрофизикада истифадә олунан илк спектрал чиһаз призмалы спектроскоп олмушдур. Спектроскоп спектри јалныз визуал мүшаһидә етмәк үчүндүр.

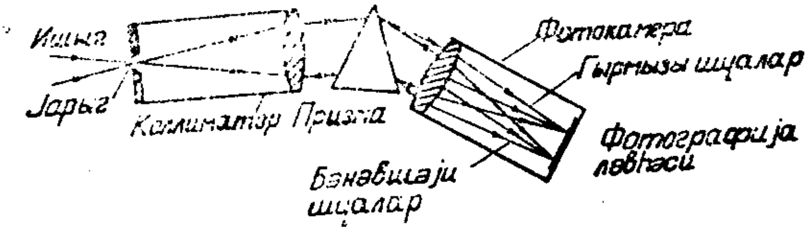
Фотографијанын кәшфиндән сонра спектрин фотографијасыны алмаг имканы јаранды вә беләликлә, көј чисимләрини мүшаһидә етмәк үчүн хүсуси спектрографлар дүзәлдилди. Сон 20—30 илдә көј чисимләринин спектринин фотоелектрик гејдә алынмасы кениш јајылмышдыр. Бу мәгсәдлә спектрометрләрдән кениш истифадә олунур.

Спектрал чиһазын әсас һиссәси олан *призма* вә ја *дифраксија гәфәси коллиматор* адланан оптик схемлә *камера* адланан оптик схем арасында јерләшдирилир. Коллиматор мәнбәдән кәлән ишыг шүаларыны паралелләшдирмәк үчүн истифадә олунур. О, јарыгдан вә ондан линзанын фокус мәсафәси гәдәр узаглыгда јерләшән габарыг линзадан ибарәтдир. Јарыға дүшән ишыг шүалары бу линзадан паралел чыхыр вә дисперсијаедичи оптикаја, јә'ни призмаја вә ја дифраксија гәфәсинә дүшүр. Бундан сонра монохроматик шүалардан ибарәт тәркиб һиссәсинә ајрылан ишыг шүалары икинчи објектив васитәсилә чиһазын фокал мүстәвисиндә топланыр. Бу икинчи објектив, габарыг линзакамерадыр. Әкәр камеранын фокал мүстәвисиндә фотоемулсијада спектрин акси алынырса, белә чиһаз *спектрограф* адланыр, әксин өзүнә исә *спектрограмм* дејилир. Камеранын фокал мүстәвисиндә икинчи јарыг гојуларса, спектрограф *монохроматора* чеврилир. Икинчи јарығы спектр үзрә сүрүшдүрдүкдә, јахуд дисперсијаедичини (мәсәлән, призманы) чевирдикдә спектрин бу вә ја дикәр енсиз областыны ајырмаг олар. Монохроматорун чыхыш јарығынын архасында фотоелектрик гәбуледичи јерләшдирилдикдә чиһаз *спектрометрә* чеврилир.

87-чи шәкилдә призмалы спектрографын оптик схеми верилмишдир.

Призмалы спектрографла јанашы астрономијада *дифраксија гәфәсли спектрографлар* да кениш истифадә олунур. Бурада дифраксија гәфәси әсасән әкс етдиричи олур. Әкседиричи дифраксија гәфәси, үзәринә паралел штрихләр чәкилмиш алүминләшмиш күзкүдән ибарәтдир. Бу штрихләр арасындакы мәсафә вә һәр бир штрихин дәринлији далға узунлуғу илә мүгајисә олуначаг гәдәр кичик олур. Штрихләр һәр јердә чох бөјүк дәгигликлә дүз вә паралел чәкилмәли, ејни дәринлијә малик олмалыдыр. Ону да әлавә едәк ки, спектрин көрүнән областы үчүн бир миллиметр ениндә золагда азы 600 белә штрих олмалыдыр. Дејиләнләрдән ајдын олур ки, дифраксија гәфәсини һазырламаг олдугча чәтин техники мәсәләдир.

Мә'лумдур ки, призмада ишығын рәнкләрә ајрылмасы ики мүһит сәрһәддиндә ишығын сынмасынын далға узунлуғундан асылы олмасына әсасланыр. Дифраксија гәфәсиндә ишығын рәнкләрә ајрылмасы



Шәкил 87. Призмалы спектрографын оптик схеми.

исә ишығын дифраксија вә интерференсијасы һадисәсинә әсасланыр Призмалы спектрографдан фәргли олараг дифраксијалы спектрографда бир нечә тәртибдә спектрләр алыныр вә нәтичәдә ишыг иткиси чохалыр. Одур ки, дифраксијалы спектрографлардан әввәлләр анчаг күнәшин мүшаһидәсиндә истифадә олунурду. Сонралар штрихләрә хүсуси профил вермәклә ишығын әсасән бир спектрдә топланмасы мүмкүн олду. Белә гәфәс истигамәтләнмиш гәфәс вә ја *ешеллетт* адланыр.

Астрофизики мүшаһидәләр заманы спектрограф, адәтән, рефлектора гошулур. Бу иш ики вариантда һәлл едилир:

1) Коллиматорун јарығы телескопун фокал мүстәвисиндә јерләшдирилир. Бу һалда чиһаз *јарыглы спектрограф* адланыр вә алынан спектрограма *јарыглы спектрограмм* дејилир.

2) Призма бир баша телескопун објективи гаршысында јерләшдирилир, јә'ни спектрографын коллиматору олмур. Бу һалда чиһаз *јарыгсыз спектрограф* адланыр вә алынан спектрограма *јарыгсыз спектрограмм* дејилир. Бу чиһаз објектив призмалы камера да адланыр.

Көј чисминдән кәлән шүалар телескопун објективинә паралел дүшдүјүндән објектив гаршысында гојулан призма гаршысында коллиматора еһтијач олмур. Ајдындыр ки, бу, чиһазда ишыг иткисинин хејли азалмасына сәбәб олур. Одур ки, зәиф објектләри, адәтән, објектив призмалы камералар васитәсилә мүшаһидә едирләр. Бу чиһазла дәјишән улдузлар өјрәнилир, улдузларын спектрләринин күтләви тәснифаты апарылыр, онларын шүа сүр'әтләри тә'јин олунур.

Јарыгсыз спектрографда призманын сындырма бучағы 1°,5—8° арасында, диаметрләри исә хејли бөјүк (100 см-дәк) олур. Ајдындыр ки, бу чиһаз васитәсилә телескопун бахыш саһәсиндә олан бүтүн улдузларын спектрограмы ејни заманда алыныр, лакин бу спектрограмлар чох гыса вә чох енсиз олур.

Спектрал чиһазы сәчијјәләндирән бир нечә параметр вардыр. Әсас параметрләрдән бири спектрографын *спектрал ајырдетмә гүввәси—ајырдетмә габилијјәтидир,*

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \qquad (6.12)$$

бурада λ—спектрал хэттин мәркәзинә ујғун далға узунлуғу, $\Delta\lambda$—ики гоншу хәтт арасындакы елә минимум мәсафәдир ки, бу мәсафәдә хәтләр ајры көрүнүр. R бөјүк олдугда спектрдән алынан информасија да бөјүк олар.

Еффектив ајырдетмә габилијјәти мүшаһидә олунан објектдән чох асылыдыр. Белә ки, објект зәифдирсә бөјүк ајырдетмә габилијјәти олан спектрографдан истифадә етмәк мүмкүн олмур, чүнки, белә спектрографларда ишыг иткиси дә бөјүк олур. Демәли, чох бөјүк ајырдетмә габилијјәтли спектрографла парлаг објектләр өјрәнилир. Мәсәлән, ән бөјүк ајырдетмә габилијјәтинә малик олан спектрографла әсасән Күнәши өјрәнирләр; мүасир күнәш спектрографларында ајырдетмә гүввәси $R=10^6$-ја чатдырылыр. Һалбуки, зәиф објектләр үчүн нәзәрдә тутулан објектив призмалы камераларын ајырдетмә гүввәси 100, һәтта 10 әтрафындадыр.

Спектрал чиһазларын ән мүһүм характеристикаларындан бири дә онларын *бучаг дисперсијасыдыр:*

$$C=\frac{\Delta\alpha}{\Delta\lambda}, \tag{6.13}$$

бурада $\Delta\alpha$ далға узунлуглары фәрги ... олан ики паралел ишыг дәстәсинин дисперсијаја уғрадыгдан сонра әмәлә кәтирдикләри бучаг мәсафәсидир. Спектрографын камерасында алынан спектрограм мүәјјән *хәтти дисперсија* илә сәчијјәләнир; бу да спектрографын әсас характеристикасыдыр. Хәтти дисперсија C' бучаг дисперсијасы C илә ашағыдакы кими әлагәдардыр.

$$C'=f\cdot C; \tag{6.14}$$

бурада f—камеранын фокус мәсафәсидир. Практикада чох вахт C' дејил, онун тәрс гијмәтиндән истифадә олунур:

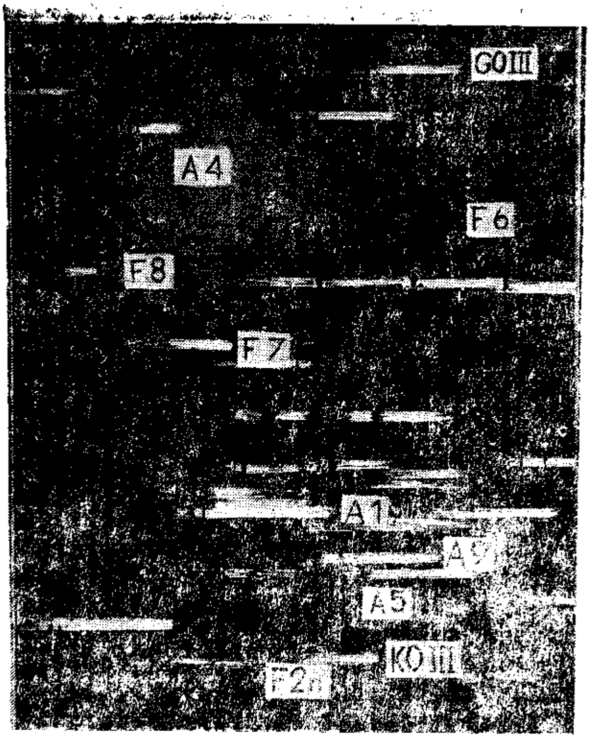
$$\frac{1}{C'}=\frac{1}{fC}=\frac{\Delta\lambda}{\Delta\alpha}\cdot\frac{1}{f}. \tag{6.15}$$

(6. 15)-дә $\Delta\alpha$-ны радианла вериб $f\Delta\alpha=\Delta l$ ишарә етмәклә $D=\frac{\Delta\lambda}{\Delta l}$ Å/мм јазсаг, хәтти дисперсијанын мә'насы даһа ајдын олар: спектрографын *хәтти дисперсијасы спектр үзрә 1 мм-дә јерләшән далға узунлуглары интервалынын ангстремләрлә ифадәсидир.* Мәсәлән, 100 Å/мм о демәкдир ки, спектрограм үзәриндә $\Delta l=1$мм-ә $\Delta\lambda=100$ Å далға узунлуглары интервалы ујғундур. Хәтти дисперсија бөјүк оланда ону мм/Å кими јазмаг әлверишлидир.

Астрономијада истифадә олунан спектрал чиһазын сечилмәси һәлл олунан мәсәләнин характериндән асылыдыр: улдуз спектрографы думанлыг үчүн нәзәрдә тутулан (вә небулјар спектрограф адланан) чиһаздан фәргли олур, күнәш спектрографларынын өз характерик хүсусијјәтләри вардыр вә с. Күнәш спектрографлары ән бөјүк дисперсијалы олур (мәсәлән, 0,1 Å/мм, јахуд 10 мм/Å); јухарыда дедик ки, бу

спектрографларын ајырдетмә гүввәси дә бөјүк олур (10^6-а чатыр), һалбуки, јарыгсыз спектрографда вә ја објектив призмалы камераларда хәтти дисперсија 1000 Å/мм-ә гәдәр, ајырдетмә гүввәси исә чох кичик — 100, һәтта 10 тәртибиндә олур. 88-чи шәкилдә Протсион адлы улдузун јарыглы спектрограмы, 89-чу шәкилдә исә улдузларын јарыгсыз спектрограмлары верилмишдидр. 88-чи шәкилдә улдуз спектринин јухары вә алт һиссәсиндә дәмир гөвсүнүн спектри мүгајисә спектри кими көстәрилмишдир. Үмумијјәтлә, улдуз спектрләриндә спектрал хәтлә-

Шәкил 88. Протсион улдузунун јарыглы спекторограмы (үстдә вә алтда дәмир гөвсүнүн мүгајисә спектри көстәрилиб).



Шәкил 89. Улдузларын спектрләринин објективли призма илә алынмыш фотографијасы. Бә'зи улдузлар үчүн спектрал синиф көстәрилмишдир.

рин вә золагларын ејниләшдирилмәси онларын спектрограмынын негативиндән истифадә етмәклә апарылыр. Бу мәгсәдлә әввәлчә спектрограмын үзәриндә бир нечә сечилмиш хәттин далға узунлуғу мүгајисә спектрләринин көмәјилә тапылыр. Бә'зи ист улдузларын спектрограмларында һидрокенин балмер серијасы хәтләри, јахуд башга атом вә ја ионларын бир сыра мәшһур хәтләри лап ајдынча көрүнүр. Лабораторија далға узунлуглары мә'лум олан хәтләрә вә спектрографын мә'лум хәтти дисперсијасына истинад едәрәк спектрограмдакы дикәр хәтләрин далға узунлуглары һесабланыр. Бу далға узунлугларыны лабораторијадан мә'лум олан мүхтәлиф елементләрин спектрал хәтләринә ујғун далға узунлуглары илә мүгајисә едәрәк, верилмиш спектрограмдакы мүшаһидә олунан хәтләрин һансы кимјәви елементә мәхсус олмасы мүәјјән едилир. Каинат објектләриндә, о ҹүмләдән, улдуз атмосфериндә кимјәви елементләрин мигдарыны тә'јин етмәк үчүн астрофизикада мүхтәлиф үсуллар вардыр. Бу үсулларын әсасыны спектрал анализ, өјрәнилән објектин физики гурулушу һаггында мә'лумат вә нәзәри физика бахымындан нәтиҹәләрин интерпретасијасы тәшкил едир.

5. **Интерференсија полјаризасија сүзкәҹләри.** Објектин спектрал тәркиби һаггында илкин тәхмини мә'луматы ишыг сүзкәҹләринин көмәји илә әлдә едирләр. Фотографик вә визуал спектр областларында чох вахт рәнкләнмиш шүшә сүзкәҹләриндән истифадә олунур. Рәнкиндән асылы олараг һәр бир сүзкәҹ бу спектрин мүәјјән областыны бурахыр. Бу сүзкәҹләрин бурахма золағынын ени јүз ангстремдән кичик олмур ($\Delta\lambda > 100$ Å) вә бунлар кениш золаглы абсорбсија сүзкәҹләри адланырлар.

Ишығын интерференсијасына әсасән дүзәлдилән дар золаглы сүзкәҹләрин бурахма золағы онларла ангстерма чатыр.

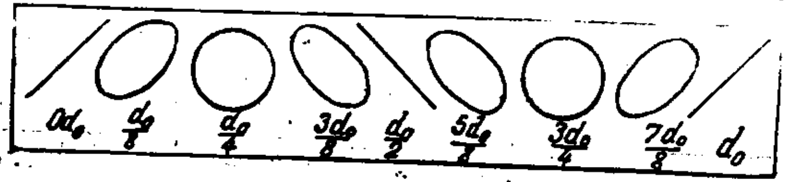
Нәһајәт елә сүзкәҹләр дә вар ки, онларын бурахма золағы $\Delta\lambda = 1$ Å олур. Бунлар интерференсија—полјаризасија сүзкәҹләри адланыр вә хүсуси схем вә технолокија илә һазырланыр.

Интерференсија—полјаризасија сүзкәҹинин оптик схеминә мүәјјән сајда полјароид вә кварс, јахуд исланд шпаты кристалы дахилдир. Күнәш мүшаһидәләриндә истифадә олунан интерференсија-полјаризасија сүзкәҹләри, адәтән, һидрокенин Балмер серијасынын баш хәтти H_α ($\lambda \approx 6563$ Å), јахуд бир дәфә ионлашмыш калсиумун K хәтти ($\lambda \approx 3934$ Å) үчүн дүзәлдилир. Паралел шүалар сели полјароиддән кечәрәк баш охуна перпендикулјар истигамәтдә кварс, јахуд исланд шпаты кристалы үзәринә дүшүр. Полјароид вә кварс кристалы елә јерләшдирилир ки, полјароидин оху кристалын оху илә 45°-лик буҹаг әмәлә кәтирир. Ади вә гејри-ади шүаларын сынма әмсаллары n_0 вә n_e бәрабәр олмадығындан (кварс үчүн $n_0 < n_e$, исланд шпаты үчүн исә $n_0 > n_e$) мүстәви полјаризә олунан ишыг кристал дахилиндә јајыланда ади вә гејри-ади топлананларын јоллар фәрги бөјүмәлидир. Кристал дахилиндә «әсас галынлыг» (d_0) адланан кәмијјәт

$$d_0 = \frac{\lambda}{n_e - n_0}$$

дүстуру илә тә'јин олунур вә бу јолда гејри-ади шүа фазача ади шүадан дүз $2d_0$ гәдәр кери галыр. 90-чы шәкилдә d_0 јолунун мүхтәлиф јерләриндә ишыг рәгсләринин характери—мүстәви полјаризә олунмуш далғаларын полјаризасијасындакы дәјишмәләр көстәрилмишдир. Кварс лөвһәдән чыхан λ далға узунлуглу ишыг, хәтти полјаризә олунур. Белә ишыг шүасында рәгсләрин мүстәвиси, полјаризә олунмамыш һалдакы рәгсләрин мүстәвисинә паралел олур. Бу полјароид әввәлкинә паралел гојулмушдурса рәгсләр ондан манеәсиз кечәрләр. Башга далға узунлуглу ишыг кварс лөвһәдән еллиптик полјаризә олунмуш шәкилдә чыхар вә икинчи полјароиддән гисмән кечәр. Әкәр далға узунлуғу λ-ја әсас галынлығын јарысына бәрабәр олан галынлыглы лөвһә ујғундурса, јә'ни гејри-ади шүа ади шүадан d_0 гәдәр кери галарса, бу далға узунлуғундакы ишығын хәтти полјаризасијасы илк мүстәвијә перпендикулјар мүстәвидә олар вә одур ки, бу шүалар икинчи полјароиддән һеч кечмәзләр.

Кварс үчүн $\lambda = 6563$ Å-дә јә'ни H_α -да $n_e - n_0 = 9{,}03 \cdot 10^{-3}$ (18°С-дә) олдуғундан $d_0 = 0{,}073$ мм-дир, исланд шпаты үчүн һәтта $d < 0{,}073$ мм-дир. Белә чох назик кварс лөвһә һазырламаг практик олараг чох чәтиндир. Одур ки, лөвһә d_0-ын там гијмәтләри дәфә (κ дәфә) бөјүк галынлыгда һазырланыр. Лакин бу һалда сечилән λ-дан башга κd_0 јолун-

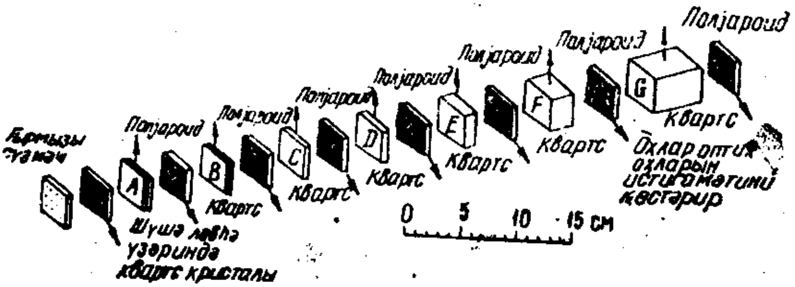


Шәкил 90. Мүстәви полјаризә олунан далғанын «әсас галынлығы» d_0 олан кристал лөвһәдән кечәркән полјаризасијасынын дәјишмәси:

$1/4\, d_0$ јолунда полјаризасија даирәви олур; $1/4\, d_0 + nd_0$ (n —там әдәддир) галынлығы, «дөрддә бир далға лөвһәсинә» ујғундур.

да бир нечә далға узунлуглу ишығын гејри-ади вә ади шүалары $2\kappa\pi$ гәдәр фаза фәргинә малик оларлар. Бу һалда фазалар фәрги $(2\kappa+1)\,\pi$ олан λ′ далға узунлуглу шүалар икинчи полјароид тәрәфиндән гисмән вә ја там сахланыр. Лөвһәнин галынлығыны ики дәфә бөјүтсәк икинчи полјароиддән манеәсиз кечән мүхтәлиф узунлуглу далғаларын сајы да ики дәфә артар вә с. Лөвһәни кифајәт гәдәр галын көтүрсәк (мәсәлән F лөвһәсини—(шәкил 91-ә бах)) ондан чыхан ишығын спектри чох назик парлаг золаглардан вә бунлар арасындакы тутгун областлардан ибарәт олар. Бу ишығы һәмин лөвһәдән ики дәфә назик олан лөвһәдән (E) кечирсәк, ики дәфә аз сајда әввәлки назикликдә парлаг золаглар көрәрик; бу ишығы E-дән ики дәфә назик олан кварс лөвһәдән (D) кечирсәк спектрдәки парлаг золаглар даһа ики дәфә азалмыш олар. Әлбәттә, һәр кварс лөвһәдән сонра шүаларын јолунда полјароид јерләш-

13*



Шәкил 91. Интерференсија—полјаризасија сүзкәчинин гурулуш схеми.

дирмәк лазымдыр. Кварс лөвһәләрин галынлығыны ардычыл олараг ики дәфә кичилтмәклә онлардан вә ујғун сајда полјароиддән ибарәт оптик системдән чыхан ишығын спектри бир-бириндән чох аралы (мәсәлән, 6409 Å вә 6563 Å далға узунлугларына мүвафиг) јерләшән хәтләрдән ибарәт олар. Бурада ишығын системә һансы истигамәтдә — ән галын лөвһәдән ән назик лөвһәјә, јахуд тәрсинә дахил олмасынын фәрги јохдур.

91-чи шәкилдә интерференсија — полјаризасија сүзкәчинин гурулуш схеми верилмишдир. Әлбәттә сүзкәчин елементләри бир-бирине чох сых сөјкәнмәлидирләр ки, ишығын гајытмасы һесабына итки олмасын, буна наил олмаг үчүн әлавә тәдбир көрүлүр—елементләрин аралары оптик һиссәләрин сындырма әмсалына јахын сындырма әмсалына малик олан хүсуси јағла долдурулур.

H_α да ишләјән интерференсија-полјаризасија сүзкәчи галынлыглары $9d_0$-дан $1152d_0$-а гәдәр олан 8 кварс лөвһәдән вә мүвафиг сајда (9) полјароиддән ибарәт ола биләр. Белә сүзкәч H -дан башга ондан хејли узагларда јерләшән хәтләрдә дә ишыг шүалары бурахыр $\lambda=5948$, 5446, 5022, 4648, 4362, 4099 Å). Бүтүн бунлары ади-гырмызы шүшә-ишыгсүзкәчи васитәсилә кәнар етмәк олар.

Күнәшин мүшаһидәләриндә тәтбиг олунан интерференсија-полјаризасија сүзкәчләринин бурахма золағы 0,5 Å-ә чатдырылыр. Күнәш атмосферинин нисбәтән аз енержијә малик олан үст гатларынын да чох күчлү ишыг енержиси шүаландырмасы, бурахма золағы белә енсиз олан интерференсија—полјаризасија сүзкәчләриндән истифадә етмәјә имкан верир. Гејд едәк ки, сүзкәч мүәјјән температур режиминдә олмалыдыр. 1°C температур фәрги золағын еффектив далға узунлуғунун 0,7 Å сүрүшмәсинә кәтирир. Буну нәзәрә алараг температуру дәрәчәнин һиссәләри гәдәр дәјишдирмәклә H_α хәттинин мүхтәлиф јерләриндә Күнәшин монохроматик мүшаһидәләри апарылыр. Температур режими хүсуси термостатла јарадылыр.

Галактик думанлыг кими зәиф објектләрин H_α-да монохроматик мүшаһидәләрини апармаг үчүн сүзкәчин бурахма золағы енли (мәсәлән, 25 Å) олмалыдыр. Мүшаһидә тәчрүбәләри көстәрир ки, белә интерференсија—полјаризасија сүзкәчләри думанлыгларын мүшаһидәләриндә чох еффектли олур. Тәсадүфи дејил ки, бу јолла чохлу диффуз думанлыг кәшф едилмишдир.

VII ФӘСИЛ

АСТРОФИЗИКА ТӘДГИГАТ ҮСУЛЛАРЫ

I һиссә

АСТРОФОТОМЕТРИЈА

§ 71. АСТРОФОТОМЕТРИЈА ВӘ ФОТОМЕТРИК КӘМИЈЈӘТЛӘР

Астрофотометријада Каинат објектиндән гәбуледичијә чатан ишығын мигдары өлчүлүр, тәтбиг олунан өлчмә үсуллары вә өлчмә чиһазларынын бу вә ја дикәр хүсусијјәтләри өјрәнилир. Каинат објектләри нөгтәви вә ја мүәјјән өлчүдә көрүнүрләр. Улдузлар, астероидләр вә с. ән күчлү телескопда белә нөгтәви мәнбәләр кими көрүнүрләр (биринчиләр јердән чох-чох узагларда, икинчиләр исә өлчүчә кичик олдугларындан); һәтта парлаг планетләрин өзләрини дә ади көзлә биз нөгтәви мәнбәләр кими көрүрүк. Нөгтәви мәнбә өзүнүн ишыгланмасы илә сәчијјәләнир. Објект мүәјјән көрүнән бучаг өлчүсүнә маликдирсә (Күнәш, Ај, думанлыглар, улдуз системләри вә с.) о ишыгланмасы илә јанашы парлаглығы илә дә сәчијјәләнир ((7.2) вә (7.4) дүстурларына бах).

Мәнбәјин ишыгланмасы онун гәбуледичидә (көздә, фотолөвһәдә, фотоелементдә вә башга гәбуледичидә) јаратдығы ишыгланмадыр. *Ишыгланма* астрофизикада чох әһәмијјәтли фотометрик кәмијјәтдир, чүнки астрофизикада билаваситә өлчүлә билән кәмијјәт мәһз ишыгланмадыр. *Ишыгланма* илә јанашы објектин *ишыглығы, шүаланмасынын интенсивлији вә сыхлығы, шүаланма сели, објектин парлаглығы* кими фотометрик кәмијјәтләр дә астрофизики тәдгигатлар үчүн зәрури параметрләрдир.

И ш ы г л а н м а ишыг селинин (ашағыја бах) она перпендикулјар олан бәрабәр ишыгланан сәтһә нисбәтидир.

О б ј е к т и н и ш ы г л ы ғ ы онун бүтүн истигамәтләрдә ваһид заманда шүаландырдығы енержинин мигдарыдыр.

О б ј е к т и н ш ү а л а н м а и н т е н с и в л и ј и онун шүаланмасы истигамәтинә перпендикулјар гојулмуш ваһид сәтһә ваһид чисми бучаг дахилиндә ваһид тезликләр интервалында ваһид заманда дүшән шүа енержисинин мигдарыдыр; интенсивлијә верилән бу тә'риф јеканә дејилдир, јә'ни интенсивлик сөзү алтында башга мә'на кәсб едән фотометрик кәмијјәт дә вардыр (ашағыја бах).

Ш ү а л а н м а с ы х л ы ғ ы ваһид һәчмдә ваһид тезликләр интервалында шүа енержисинин мигдарыдыр.

Шуаланма сели шуаланма саһәсиндә ваһид сәтһдән бүтүн истигамәтләрдә ваһид тезликләр интервалында ваһид заманда кечән шүа енержисинин мигдарыдыр.

Објектин парлаглығы онун елә шуаланма селидир ки, һәмин сел шуаланма истигамәтиндә ваһид чисми бучаг дахилиндә олмагла објектә тохунан вә бу истигамәтә перпендикулјар олан ваһид сәтһдән кечир; парлаглығын тә'рифиндән көрүрүк ки, објект тәрәфиндән ишыгланан ваһид сәтһи бу објектин шуаланма саһәсинин истәнилән нөгтәсиндә јерләшдирсәк, онда парлаглыг интенсивлик мә'насыны дашыјар; бу интенсивлик мәнбәин ишыг гүввәси адланыр вә јухарыда бәһс етдијимиз интенсивликдән фәргли фотометрик кәмијјәт олур; бу кәмијјәтә *орта интенсивлик* демәк даһа дүзкүн олар. Чүнки ишыг гүввәси објектин орта интенсивлијинин бу објект тәрәфиндән бәрабәр ишыгландырылан сәтһә нисбәтинә бәрабәрдир.

Астрофизикада истифадә олунан фотометрик кәмијјәтләр електромагнит шуаланмасынын бүтүн спектринә, мүхтәлиф диапозонларына (рентген, оптик, радио) вә мүәјјән тезлијинә аид ола биләр.

Гејд етдик ки, астрофизикада билаваситә өлчүлә билән кәмијјәт ишыгланмадыр. Мәсәлән, фотоелектрик үсулла ишыгланманы өлчмәк үчүн фотоелементин пәнчәрәси телескопун фокал мүстәвисиндә јерләшдирилир. Објектин ишыг селинин тә'сири илә јаранан фоточәрәјанын шиддәти ишыгланма илә мүтәнасиб олдуғундан, нәтичә е'тибарилә биз мәнбәин ишыгланмасыны өлчә биләрик. Мә'лумдур ки, үмуми шәкилдә ишыгланма

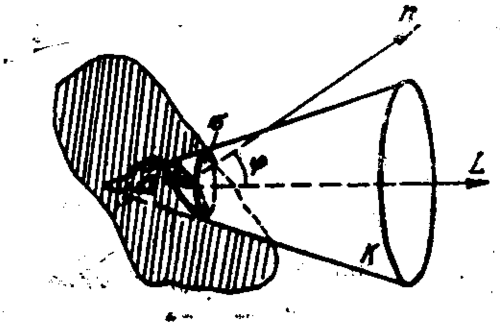
$$E = \frac{\Phi}{S} \cos i \tag{7.1}$$

дүстуру илә ифадә олунур. Бурада Φ—мәнбәјин ишыг сели, S—бәрабәр ишыгланан сәтһ (мәсәлән, фотоелементин пәнчәрәсинин саһәси), i—ишыг селинин дүшмә бучағыдыр. $i=0°$ олдугда шуалар сәтһә нормал дүшдүјүндән бу һалда мәнбәнин јаратдығы ишыгланма максимум олур:

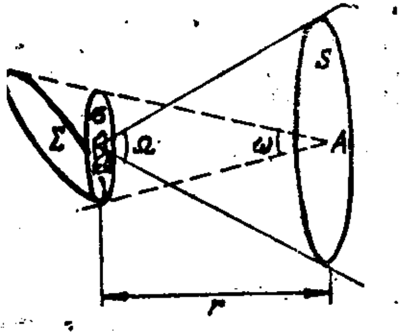
$$E = \frac{\Phi}{S} \tag{7.2}$$

Астрофотометријада мәһз бу ишыгланма өлчүлүр. Әввәлчә, ишыгланма вә парлаглығын тә'рифләринә әсасән бу ики фотометрик кәмијјәт арасындакы әлагәни тапаг. Бунун үчүн 92 вә 93-чү шәкилләрдән истифадә едәк.

Шуаландыран сәтһин Σ елементинә бахаг. Фәрз едәк ки, бу елемент чисми бучағы Ω олан елә K конусунун ихтијари кәсијидир ки, бу конусун L оху һәмин елементин n нормалы илә φ бучағы әмәлә кәтирир. Σ сәтһ елементинин бу конус дахилиндә шуаландырдығы селә Φ дејәк. Онда јухарыдакы шәртләр дахилиндә бахыш шуасына (L охуна) перпендикулјар олан $\sigma = \Sigma \cos \varphi$ сәтһиндән кечән сел дә Φ олар. Парлаглығын (В) тә'рифинә әсасән, 92-чи шәклә истинад етмәклә,



Шәкил 92. Шүаландыран сәтһин парлаглыгы.



Шәкил 93. Шүаландыран објектин јаратдыгы ишыгланма.

$$B = \frac{\Phi}{\Omega \Sigma \cos\varphi} = \frac{\Phi}{\Omega \sigma} \qquad (7.3)$$

јазарыг. Дикәр тәрәфдән чисми бучаг анлајышына әсасән 93-чү шәкилдән истифадә етмәклә $\Omega = \frac{S}{r^2}$ вә $\omega = \frac{\sigma}{r^2}$ јазарыг (објектин) сәтһинин һәмин објектә гәдәр мәсафәнин квадратына нисбәти онун чисим бучагыдыр). Бу ики ифадәдән $\Omega\sigma = S\omega$ мүнасибәти алыныр. Бу мүнасибәти вә (7.2)-ни (7.3)-дә нәзәрә алсаг

$$E = B\omega \qquad (7.4)$$

олар. (7. 4)-дән көрүрүк ки, објектин јаратдыгы максимум ишыгланма *онун орта парлаглыгы илә чисми бучагынын һасилинә бәрабәрдир.*

(7.4)-дә ишыгланманы Ф сели, орта парлаглыгы исә ишыг гүввәси (орта интенсивлик) васитәсилә ифадә етсәк

$$\frac{\Phi}{S} = \frac{\bar{I}}{S}\omega$$

јахуд

$$\Phi = \bar{I}\omega \qquad (7.5)$$

аларыг. Беләликлә, *мәнбәјин шүаланма сели бу мәнбәјин орта интенсивлији илә (ишыг гүввәси илә) чисми бучагынын һасилинә бәрабәрдир.*

(7.4)дән көрүрүк ки, мәнбәјин гәбуледичидә јаратдыгы ишыгланманы вә чисми бучагыны билмәклә онун орта парлаглыгыны тапа биләрик; буна аналожи олараг (7.5)-дән истифадә етмәклә мәнбәјин шүаланма сели вә чисми бучагыны биләрәк онун орта интенсивлијини тә'јин едә биләрик. (7.4) әсас е'тибарилә оптик мүшаһидәләрдә, (7.5) исә радиомүшаһидәләрдә тәтбиг олунур. Бу дејиләнләр, әлбәттә, көрүнән

өлчүјә малик олан објектләрә аиддир. Нөгтәви мәнбәләрин чисми бучағы сыфыр олдуғундан белә објектләрин јалныз јердә јаратдыглары ишыгланманы вә ја онларын ишыглығыны тә'јин етмәк олар.

§ 72. КӨРҮНӘН УЛДУЗ ӨЛЧҮЛӘРИ

Астрофизикада ишыгланманын физики аналогу олараг улдуз өлчүсү адланан кәмијјәтдән истифадә едилир. Әлбәттә, улдуз өлчүсү терминин објектин һәндәси өлчүсүнә аид дејилдир. Улдуз өлчүсү илк астрофотометрик анлајышдыр. Белә ки, һәлә Һиппарх ерамыздан әввәл II јүзилликдә көзлә сечилән улдузлары ишыгланмаларына көрә алты улдуз өлчүсүнә ајырмышды. О, гәбул етмишди ки, ән парлаг (ишыглы) улдузун улдуз өлчүсү 1, ән зәифинки исә 6-дыр. Парлаглығын улдуз өлчүсү васитәсилә гијмәтләндирилмәсинин физики, даһа доғрусу физиоложи вә психоложи әсаслары јалныз Һиппархдан ики мин ил сонра, XIX јүзилликдә Вебер вә Фехнер тәрәфиндән мүәјјән едилмишдир. Биз Вебер—Фехнер гануну илә артыг танышыг (§ 70.2); һәр һансы гычыгландырычы тә'сирин һисс олунмасындакы дәјишиклик һәмин гычыгландырычы амилин нисби дәјишмәси илә дүз мүтәнасибдир. Бу гануну улдуз өлчүсү анлајышына тәтбиг етсәк, Каинат објектинә гычыгландырычы, гәбуледичијә (көзә, фотоемулсијаја, фотоелементә вә с.) һиссијјат мәркәзи кими баха биләрик. Гычыгландырычынын објектив ме'јары онун гәбуледичидә јаратдығы ишыгланмадыр, улдуз өлчүсү исә бу ишыгланманын гәбуледичијә тә'сир дәрәчәсидир. Будада Вебер—Фехнер гануну белә ифадә олунур *гычыгландырычы (ишыгланма) һәндәси силсилә илә дәјишәндә, һиссијјат (улдуз өлчүсү) әдәди силсилә илә дәјишир*. Дејиләнләрә әсасән

$$m - m_0 = C_1 \lg \frac{E}{E_0} \qquad (7.6)$$

ифадәсини јазмаг олар. Бурада m вә m_0 ишыгланмалары E вә E_0 олан објектләрин ујғун улдуз өлчүләридир. Птолемејин Алмакестиндә 1000-дән артыг улдузун өлчүсү верилмишдир. Бу улдузларын улдуз өлчүләринин мүасир тә'јини көстәрир ки, ики улдузун улдуз өлчүләри фәрги ваһидә бәрабәр оларса, јә'ни $m - m_0 = 1$ оларса, онда улдуз өлчүсү m_0 олан улдуз, улдуз өлчүсү m олан улдуздан 2,5 дәфә парлагдыр.

Одур ки, (7.6)-ја әсасән

$$C_1 = -\frac{1}{\lg 2{,}5} \simeq -2{,}512.$$

1879-чу илдә инкилис астроному Погсон тәклиф етмишдир ки, $C_1 = 2{,}500$ гәбул едилсин, чүнки $\lg 2{,}512 = 0{,}4000 = \frac{1}{2{,}500}$ -дир. Беләликлә, (7.6) әвәзинә

$$m - m_0 = -2{,}5 \lg \frac{E}{E_0} \qquad (7.7)$$

јахуд

$$\lg \frac{E}{E_0} = -0{,}4(m - m_0) \qquad (7.8)$$

јазарыг.

(7.7), јахуд (7.8) Погсон дүстуру адланыр. Погсон дүстуру ики објектин ишыгланмалары нисбәти мә'лум олдугда онларын улдуз өлчүләри фәргини вә ја тәрсинә—мә'лум улдуз өлчүләри фәргинә көрә онларын ишыгланмалары нисбәтини тапмаға имкан верир. (7.8)-дән ајдындыр ки, *улдуз өлчүсү, мәнбәјин ишыг шүаларына перпендикулјар гојулмуш сәтһин һәмин мәнбә тәрәфиндән нисби ишыгланмасынын әсасы 2,512 олан мәнфи ишарәли логарифмидир.* Доғрудан да, (7.8)-дә $E_0=1$ гәбул етсәк (бу һалда $m_0=0$ олар), јә'ни Е нисби ишыгланма олса

$$m = -\lg_{2{,}512} E \qquad (7.9)$$

олар ($\lg_{2{,}512} 10 = 2{,}5$ олдуғу да нәзәрә алынмышдыр); үмумијјәтлә исә

$$\frac{E_1}{E_2} = 2{,}512^{-(m_1 - m_2)} \qquad (7.10)$$

(7.10) дүстуруна әсасән дејирик ки, бир објектин улдуз өлчүсү дикәринкиндән бир ваһид бөјүкдүрсә, онун көрүнән парлаглығы биринчидән 2,512 дәфә кичикдир, јахуд тәрсинә бир објектин улдуз өлчүсү дикәринкиндән бир ваһид кичикдирсә, онун көрүнән парлаглығы биринчидән 2,512 дәфә бөјүкдүр. Көрүндүјү кими парлаглығын бөјүмәси објектин улдуз өлчүсүнүн кичилмәси кими ифадә олунур. Јадда сахламаға дәјәр ки, бир објект дикәриндән 100 дәфә парлаг көрүнүрсә, бу о демәкдир ки, онун улдуз өлчүсү дикәринкиндән 5 ваһид кичикдир.

Улдуз өлчүләри әдәди гијмәтчә сыфыр, мүсбәт вә мәнфи ола биләр. Ајдындыр ки, улдуз өлчүсү сыфыр олан објектин парлаглығы улдуз өлчүсү мүсбәт олан објектинкиндән бөјүк вә әксинә, улдуз өлчүсү мәнфи олан објектинкиндән исә кичикдир.

Јери кәлмишкән гејд едәк ки, улдуз өлчүсү објектин өлчүлән ишыг селини сәчијјәләндирдијиндән бу кәмијјәт бүтүн Каинат објектләринә, истәр нөгтәви, истәрсә дә өлчүсү көрүнән објектләрә тәтбиг едилир. Күнәш Јерә ән јахын улдуз олдуғундан онун көрүнән (визуал) улдуз өлчүсү мәнфидир (-26^m, 78) вә о, улдуз көјүнүн ән парлаг објектидир (әлбәттә Јердәки мүшаһидәчи үчүн). Ә'јани мүгајисә үчүн 2-чи чәдвәлдә Күнәш системинин бир сыра чисимләринин көрүнән (визуал) улдуз өлчүсү вә чисми бучағы верилмишдир.

Бу чәдвәлдә верилән кәмијјәтләр Меркури вә Венеранын ән бөјүк елонгасијада, галан планетләрин исә гаршыдурмадакы вәзијјәтләринә аиддир. Гејд едәк ки, улдуз көјүндә ади көзлә көрүнән ән зәиф објектин улдуз өлчүсү $+5{,}5^m \div +6^m$-дир. Јә'ни објектин улдуз өлчүсү 6^m-дан бөјүкдүрсә ону анҹаг телескопда көрмәк олар.

Бә'зи објектләрин фотометрик характеристикалары. *Чәдвәл 2*

Објект	Көрүнән (визуал) улдуз өлчүсү	Чисми Сучаг (сте адан-ларла)
Күнәш	−26,78	$6{,}7\cdot10^{-5}$
Ај (бәдирләнмиш)	−12,7	$6{,}6\cdot10^{-5}$
Меркури	−0,2	$1{,}4\cdot10^{-9}$
Венера	−4,1	$2{,}5\cdot10^{-8}$
Марс	−1,9	$3{,}8\cdot10^{-9}$
Јупитер	−2,4	$3{,}4\cdot10^{-8}$
Сатурн	+0,8	$5{,}7\cdot10^{-9}$
Уран	+5,8	$2{,}7\cdot10^{-10}$
Нептун	+7,6	$9{,}8\cdot10^{-11}$
Плутон	+14,7	$3\cdot10^{-12}$
Зенитдә ајсыз кечә көјүнүн 1 кв. дәрәчәси	+3,5	$3\cdot10^{-4}$

Муасир улдуз електрофотометрләри васитәсилә чох зәиф олмајан улдузун улдуз өлчүсүнү $0^m,005$—$0^m,01$ дәгигликлә өлчмәк олур (бах § 70.3). Ән бөјүк дәгиглији ($0^m,005$) чох јүксәк даг рәсәдханаларында —шәффафлығы бөјүк олан атмосфер шәраитиндә әлдә етмәк олур. Муасир улдуз електрофотометрләриндә мүхтәлиф ишыг сүзкәчләриндән истифадә етмәклә улдузларын рәнк характеристикалары, полјаризасија анализаторларындан истифадә етмәклә исә улдуз ишығынын полјаризасија дәрәчәси бөјүк дәгигликлә тә'јин олунур.

Улдуз өлчүләри шкаласы нисби шкаладыр. Көј чисимләринин парлаглығыны улдуз өлчүләри илә ифадә етмәк үчүн онлардан биринин парлаглығыны улдуз өлчүсү илә ифадә етмәк имканы олмалыдыр, јә'ни шкаланын сыфыр башланғычы олмалыдыр. Бу исә парлаглығын өлчүлмәсиндә истифадә олунан ишыг гәбуледичисиндән асылыдыр.

Ади көзлә визуал фотометр адланан гәбуледичи васитәсилә тә'јин олунан улдуз өлчүсү визуал улдуз өлчүсү адланыр. Спектрин көрүнән областында еффектив далға узунлуғунун $\lambda_e = 5550$ Å олдуғуну билирик. XX јүзиллијин әввәлләриндә Һарвард (Кембрич, АБШ) университетиндә визуал улдуз өлчүләри шкаласы јарадылмыш вә бу шкалаја әсасән Кичик Ајы бүрчүнүн α улдузунун көрүнән улдуз өлчүсүнүн $m_v = 2^m,12$ олдуғу муәјјән едилмишдир. Үмумијјәтлә улдуз өлчүләринин сыфырынчы пункту илк дәфә шимал гүтб областына дахил олан улдузларын парлаглығыны мүхтәлиф үсулларла бөјүк дәгигликлә тә'јин етмәклә муәјјәнләшдирилмишдир.

Јер атмосфериндән кәнарда бүтүн көрүнән спектр областында $10^6 \frac{\text{квант}}{\text{см}^2\cdot\text{сан}}$ шүаланма селинә малик олан улдузун улдуз өлчүсү 0^m гәбул

едилмишдир. Спектрин јашыл шүалар областында бу сел $10^3 \frac{\text{квант}}{\text{см}^2\text{.сан.}\text{Å}}$ дир. Бир нечә улдузун визуал улдуз өлчүсү 0-а јахындыр: Вега (0^m, 1) Капелла (0^m,2) Арктур (0^m,2); улдуз көјүнүн ики ән парлаг улдузунун визуал улдуз өлчүсү исә мәнфидир. Бунлар Сириус (-1^m,58) вә Канопус (-0^m,86) улдузларыдыр. Телескопсуз, ади көзлә көрүнән улдузларын үмуми сајы 6000-ә јахындыр. Беләликлә, ејни заманда ади көзлә 3000-ә јахын улдузу көрмәк олар. Тәкчә бизим улдуз системиндә (бизим Галактикада) исә 2.10^{11} улдуз вардыр. Демәли, телескопсуз ади көзлә көрүнән улдузларын үмуми сајы нечә дејәрләр «дәрјада дамчылардыр».

Дедик ки, ади көзлә вә ја визуал фотометр васитәсилә тә'јин олунан көрүнән улдуз өлчүсү визуал улдуз өлчүсү (m_v) адланыр. *Визуал улдуз өлчүсүндән* башга, гәбуледичинин нөвүндән асылы олараг *фотографик* (m_{pg}), *фотовизуал* (m_{pv}), *UBV системиндә сары (V), көј (B), ултрабәнөвшәји (U) вә бүтүн далғалар областында шүаланмаја аид олан болометрик* (m_b) *улдуз өлчүләри вардыр.* Ајдындыр ки, фотографик улдуз өлчүсү фотоемулсијада алынан хәјала әсасән тә'јин олунур. Әкс хүсуси сары ишыг сүзкәчи илә тәчһиз олунмуш ортохроматик вә ја изоортохроматик емулсијада алындыгда көрүнән улдуз өлчүсү фотовизуал улдуз өлчүсү адланыр. Хүсуси сары ишыг сүзкәчи илә тәчһиз олунмуш сенсибилизә едилмиш фотоемулсијанын спектрал һәссаслығы көзүнкүнә чох јахын олдуғундан бу гајда илә тә'јин олунан фотовизуал улдуз өлчүсү визуал улдуз өлчүсүндән аз фәргләнир.

Болометрик улдуз өлчүсүнү тә'јин едәркән көј чисминдән кәлән ишыг селинин мүәјјән һиссәсинин јер атмосфериндә вә мүшаһидә васитәсинин оптик системиндә итирилдијини нәзәрә алмаг лазымдыр. Бу итки спектрин мүхтәлиф областларында мүхтәлиф (бах § 67, чәдвәл 1) вә һәр бир оптик систем үчүн селектив характер дашыјыр. Ајдындыр ки, көј чисминин там спектри үзрә шүаланмасыны гијмәтләндирмәк үчүн бу иткини нәзәрә алмаг лазымдыр. *Бүтүн спектр үзрә шүаланманы нәзәрә алмагла тә'јин олунан улдуз өлчүсү болометрик улдуз өлчүсү* (m_b) олур. Болометрик улдуз өлчүсү әввәлләр нәзәри һесабланырды. Сон вахтлар болометрик улдуз өлчүсү атмосфердәнкәнар мүшаһидә үсулу илә, јә'ни атмосфердәнкәнар астрономијада тапылыр.

Мүхтәлиф фотометрик системләрдә Күнәшин көрүнән (вә мүтләг) улдуз өлчүләри 3-чү чәдвәлдә верилмишдир.

Бу чәдвәлдән көрүрүк ки, Күнәшин Сары (V) улдуз өлчүсү вә визуал улдуз өлчүсү болометрик улдуз өлчүсүнә ән јахындыр. Әввәлә гејд едәк ки, бүтүн Каинат објектләринин болометрик улдуз өлчүсү улдуз өлчүләринин галан нөвләриндән кичик олмалыдыр; күнәшин сары вә визуал улдуз өлчүләринин болометрик улдуз өлчүсүнә чох јахын олмалары исә көстәрир ки, Күнәш әсасән јашыл вә сары спектр областында шүаландырыр вә бу шүалар јер атмосфериндә демәк олар ки, удулмур. Бу чәдвәлдән ејни заманда көрүрүк ки, Күнәшин оптик спектриндә ән бөјүк итки ултрабәнөвшәји областда, сонра көј областда вә нәһајәт фотографик областдадыр (§ 67-дә верилән 1-чи чәдвәлә әсасән

Чәдвәл 3

Мүхтәлиф фотометрик системләрдә Күнәшин көрүнән (вә мүтләг) улдуз өлчүләри.

Улдузөлчүлә системи	Көрүнән улдуз өлчүсү	Мүтләг улдуз өлчүсү
Визуал	$m_v = -26,^m78$	$M_v = +4,^m79$
Фотографик	$m_{pg} = -26,21$	$M_{pg} = +5,36$
Сары	$V = -26,80$	$M_V = +4,77$
Көј	$B = -26,17$	$M_B = +5,40$
Ултрабәнөвшәјн	$U = -26,05$	$M_U = +5,52$
Болометрик	$m_b = -26,85$	$M_b = +4,72$

белә дә олмалыдыр). 3-чү чәдвәлин ахырынчы сүтунунда Күнәшин парлаглығы мүтләг улдуз өлчүләриндә дә верилмишдир (мүтләг улдуз өлчүсү илә § 74-дә таныш олачајыг).

§ 73. КӨРҮНӘН УЛДУЗ ӨЛЧҮСҮ ВАСИТӘСИЛӘ ТЕЛЕСКОПУН ОПТИК ГҮВВӘСИНИН ГИЈМӘТЛӘНДИРИЛМӘСИ

§ 68.2-дә демишдик ки, алты метрлик телескопда көрүнә билән ән зәиф објект өз парлаглығына көрә ади көзлә күчлә сечилән улдуздан милјон дәфә зәифдир, чох һәссас фотолөвһәдә исә бу телескоп васитәсилә ади көзлә күчлә сечилән улдуздан 40 милјон дәфә зәиф објектин хәјалыны алмаг олур. Бу дедикләримизи улдуз өлчүсү васитәсилә шәрһ едәк, јә'ни көрүнән улдуз өлчүсү васитәси илә телескопун оптик гүввәсини—нүфузетмә габилијјәтини гијмәтләндирәк. Бунун үчүн исә әввәлчә телескопун оптик гүввәси анлајышыны јада салаг. § 68.2-дә демишдик ки, телескопун оптик гүввәси, ајсыз вә идеал атмосфер шәраитиндә телескопда күчлә сечилә билән зенитдәки ән зәиф улдузун улдуз өлчүсү илә ифадә олунур.

Телескопун оптик гүввәси дүстуруну чыхараг. Инсан көзү бәбәјинин диаметри $d=6$ мм, ән зәиф објекти сечмәк габилијјәти, јә'ни оптик гүввәси исә $m=6^m$ -дир. Диаметри D мм олан објектив көзә нисбәтән $(D/d)^2$ дәфә чох ишыг топлајыр. Одур ки, белә објективә малик олан телескопун ишыг селини топлама габилијјәти көзүнкүндән $(D/d)^2$ дәфә бөјүк олмалыдыр. Телескопун ән зәиф објекти сечмәк габилијјәти, јә'ни телескопун оптик гүввәсинә ујғун улдуз өлчүсү $m_т$ олсун. Онда (7.8) дүстуруна әсасән

$$\lg\left(\frac{D}{d}\right)^2 = -0,4(m - m_т)$$

олар. Бурадан

$$m_т = m + 5(\lg D - \lg d)$$

дүстуруну аларыг. $d=6$ мм, $m=6^m$ олдуғундан

$$m_т = 2^m{,}1 + 5\lg D \qquad (7.11)$$

олар D мм-лә верилир).

$D=6000$ мм олдугда (7.11)-дән $m_т=+21^m$ аларыг. Улдуз өлчүсү 21^m олан улдуз инсан көзүнүн күчлә сечә билдиjи улдуздан (6^m -дан) $2{,}512^{21-6} = 2{,}512^{15} = 10^6$ дәфә зәифдир. Беләликлә доғрудан да 6 метрлик оптик телескопда көрүнә билән ән зәиф обjект ади көзлә күчлә сечилән улдуздан милjон дәфә зәифдир.

Телескопун фотографик оптик гүввәси

$$m_ф = 5\,lg\,D + 3{,}1\lg t - 1^m \qquad (7.12)$$

дүстуру васитәсилә ифадә олунур. Бурада D телескопун обjективинин диаметри (мм-лә), t-експозисиjа мүддәтидир (дәгигәләрлә). Диаметри $D=6000$ мм олан оптик телескоп үчүн ән зәиф обjектин оптимал експозисиjа мүддәти $t=200$ дәгигәдир. D вә t-нин бу гиjмәтләриндә (7.12)-дән $m_ф \simeq 25^m$ аларыг. Беләликлә 6 метрлик телескоп васитәсилә ән һәссас фотолөвһәдә хәjалы алынан ән зәиф обjект ади көзлә зорла сечиләндән, һәгигәтән $2{,}512^{25-6} = 40 \cdot 10^6$ дәфә—40 милjон дәфә зәифдир.

Һесабламалар көстәрир ки, атмосфердән кәнарда jерләшдириләчәк кәләчәк рәсәдханаларда телевизиjа гошулмуш ән бөjүк оптик телескоп васитәсилә 34-чү улдуз өлчүсүнә малик зәиф улдузларын тәсвирини алмаг мүмкүн олачагдыр. Бу улдузлар һазырда көрүнмә һәддиндә мүасир телескопларда көрүнән улдузлардан он мин дәфәләрлә зәифдир.

§ 74. МҮТЛӘГ УЛДУЗ ӨЛЧҮСҮ

Көрүнән улдуз өлчүсү Каинат обjектинин һәгиги шүаланмасыны характеризә едә билмәз, чүнки шүаланманын сели обjектә гәдәр мәсафәдән асылыдыр. Әслиндә улдуз Jерә jахын олдуғуна көрә башгаларындан парлаг көрүнә биләр. Еләчә дә улдуз чох узагда олдуғуна көрә башгаларындан зәиф көрүнә биләр. Беләликлә, обjектләрин һәгиги парлаглыгларыны мүгаjисә етмәк үчүн онлары хәjалән еjни мәсафәjә кәтирмәк лазымдыр. Астрономиjада бу мәсафә 10 парсек гәбул олунмушдур. *Обjектин—10 пс мәсафәдәки улдуз өлчүсүнә мүтләг улдуз өлчүсү дejилир.*

Улдуза гәдәр һәгиги мәсафә r парсек, онун көрүнән парлаглығы E, көрүнән улдуз өлчүсү m олсун. 10 пс мәсафәдә бу улдузун E_0 парлаглығына уjғун улдуз өлчүсү, jә'ни мүтләг улдуз өлчүсү M оларса, онда

$$\frac{E}{E_0} = \frac{201}{r_2}$$

јазарыг, чүнки парлаглыг мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасибдир. Бу ифадәнин логарифмини (7.8) дүстуру илә мүгајисә етсәк

$$-0{,}4(m-M)=2(1-\lg r)$$

јахуд

$$M=m+5-5\lg r \tag{7.12}$$

дүстуруну аларыг. Улдузун π'' иллик параллаксы илә она гәдәр r мәсафәси арасындакы мә'лум $r=\frac{1}{\pi''}$ пс әлагәсинә әсасән (7.12) әвәзинә

$$M=m+5+5\lg\pi \tag{7.13}$$

олар, $(m-M)$ фәргинә мәсафә модулу дејилир.

(7.13) дүстуру васитәсилә Күнәшин визуал мүтләг улдуз өлчүсүнү тапаг. Күнәшин визуал көрүнән улдуз өлчүсү $m_v^1\odot=-26^m{,}78$, Күнәшә гәдәр орта мәсафә $r_\odot=1$а. в $=\frac{1}{206265}$ пс-дир. $m_v\odot$ вә $r_\odot$-ин бу гијмәтләрини ((7.12)-дә нәзәрә алсаг.

$$M_v\odot=-26^m{,}78+5^m{,}+26^m{,}58=+4^m{,}79$$

олар.

Беләликлә, Күнәшин визуал мүтләг улдуз өлчүсү $+4{,}^m79\simeq4{,}^m8$-дир, јә'ни 10 пс мәсафәдә Күнәш $\sim5^m$ улдуз өлчүсүнә малик зәиф улдуз кими көрүнәрди.

Мүтләг улдуз өлчүсү дә шүаланма областындан асылы олараг визуал, фотографик, Сары, Көј, Ултрабәнөвшәји вә болометрик ола биләр.

Күнәшин тимсалында мүхтәлиф улдуз өлчүләри системиндә мүтләг улдуз өлчүләринин гијмәтләри § 72-дә 3-чү чәдвәлдә верилмишдир.

II ҺИССӘ

АСТРОСПЕКТРОСКОПИЈА

§ 75. АСТРОСПЕКТРОСКОПИЈАЈА КИРИШ

Астроспектроскопијада Каинат објектләринин спектрләрини алмаг вә ишләмәк үсуллары вә бу спектрләрин тәһлилинин нәтичәләри өјрәнилир. Каинат објектләринин спектрләри ән зәнкин информасија мәнбәјидир. Одур ки, астроспектроскопија вә онун әсас голу олан спектрофотометрија астрофизиканын ән әсас тәдгигат үсулларындан биридир. Чох кениш вә дәрин тәтбиг даирәси олан бу үсул васитәсилә алынан

информасијанын сон нәтичәси Каинат објектләринин спектрләринин мүгајисәли тәһлили вә интерпретасијасыдыр. Каинат објектләринин спектрләриндә енержинин пајланмасы, спектрал хәтләрин јаранма механизмләри вә с. бу кими мәсәләләрин өјрәнилмәсиндә шүаланма ганунлары вә о чүмләдән мүтләг гара чисмин шүаланма ганунлары чох мүһүм јер тутур.

Астрофизика аспектиндә мүтләг гара чисмин шүаланма ганунлары илә таныш олмаздан әввәл бир сыра анлајышларла таныш олаг.

§ 76. ШҮАЛАНМАНЫН МҮҺИТДӘ ЗӘИФЛӘМӘСИ ВӘ МҮҺИТИН ОПТИК ГАЛЫНЛЫҒЫ

Шүаланма ону гисмән удан мүһитдән кечәндә мүәјјән гәдәр зәифләмәлидир. Мүһитин удма хүсусијјәтләри онун оптик галынлығы адланан кәмијјәтлә сәчијјәләнир. *Мүһитин оптик галынлығы* (τ) *бу мүһитә дүшән ишыг селинин* (Φ_0) *һәмин мүһитдән чыхан селә* (Φ) *нисбәтинин натурал логарифминә бәрабәрдир:*

$$\tau = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi}. \tag{7.14}$$

Чох заман шүаланма селини онун интенсивлији илә әвәз етмәклә (7.14) тәнлијини

$$\tau = \ln \frac{I_0}{I} \tag{7.15}$$

шәкилдә јазырлар. (7.15)-ин

$$I = I_0 e^{-\tau} \tag{7.16}$$

шәкилдә јазылышындан көрүрүк ки, оптик галынлығы τ олан мүһитә дүшән шүаланманын интенсивлији (I_0) орадан чыхаркән e^{τ} дәфә зәифләјир.

(7.14) вә (7.10) ифадәләринин мүгајисәсиндән ишығын зәифләмәсини улдуз өлчүләри васитәсилә ашағыдакы кими ифадә едә биләрик:

$$\Delta m = 1{,}09\tau \tag{7.17}$$

(7.16)-дан көрүнүр ки, $\tau=1$ оларса белә мүһитдән чыхан шүаланма интенсивлији һәмин мүһитә дүшән шүаланманын интенсивлијиндән $e=2{,}718$ дәфә зәиф олар. Демәли, τ-нун бир нечә ваһид гијмәтиндә шүаланма селинин удулмасы чох күчлү олур ($\tau=4$ оланда чыхан шүаланма сели дүшән селин $\sim 2\%$-ни тәшкил едир). *Оптик галынлығы $\tau>1$ олан мүһит оптик галын мүһит адланыр, $\tau<1$ оларса, мүһит оптик назик һесаб едилир.*

Оптик назик мүһит үчүн (7.16) әвәзинә

$$I = I_0(1 - \tau) \tag{7.18}$$

јаза биләрик ($\tau \ll 1$ оланда бу ифадә кифајәт дәгиглијә маликдир). (7.18)-дән

$$\tau = \frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{\Delta I}{I_0} \qquad (7.19)$$

јазарыг. $\frac{\Delta I}{I_0}$ нисбәти интенсивлијин нисби зәифләмәсидир. Беләликлә оптик назик мүһитин оптик галынлығы интенсивлијин нисби зәифләмәсини көстәрир.

Фәрз едәк ки, һәндәси галынлығы l вә сыхлығы ρ олан бирчинс мүһитин 1 $см^2$ сәтһинә дүшән күтләнин мигдары q-дүр. Мүһитин оптик галынлығы ондакы маддәнин мигдары илә мүтәнасиб олдуғундан, $q = \rho l$ олдуғуну да нәзәрә алараг

$$\tau = \varkappa\rho = \varkappa\varsigma l \qquad (7.20)$$

әлагәсини јаза биләрик.

(7.20) ифадәсиндән көрүрүк ки, мүтәнасиблик әмсалы $\varkappa$ ваһид күтлә (1г) үчүн һесабланмыш оптик галынлыгдыр. Башга сөзлә 1 $см^2$ сәтһә дүшән күтлә 1 г оларса $\tau = \varkappa$ олар. Одур ки, $\varkappa$—ваһид күтлә үчүн (мәсәлән, 1 г үчүн) һесабланмыш кәсилмәз спектрдә орта удулма әмсалы адланыр вә она маддәнин гејри-шәффафлыг әмсалы дејилир. Оптик галынлыг адсыз әдәд олдуғундан (7.20)-дән көрүрүк ки, $[\varkappa] = \frac{см^2}{г}$ дир.

Бир удучу һиссәчијин күтләсини күтлә ваһиди олараг гәбул едәк вә һүндүрлүјү l, ен кәсији 1 $см^2$ олан силиндрин бу һиссәчикләрлә долдурулдуғуну фәрз едәк. Онда бу силиндрдәки маддәнин мигдары

$$q = nl$$

олар.. Бурада n—һиссәчикләрин консентрасијасыдыр (1$см^3$ һәчмдәки сајыдыр). (7.20)-јә әсасән

$$\tau = \kappa nl \qquad (7.21)$$

јазарыг; бурада κ—бир удучу һиссәчик үчүн һесабланмыш удулма әмсалыдыр. $[nl] = см^{-2}$ олдуғундан (7.21)-дән көрүрүк ки, $[\kappa] = см^2$-дир, јә'ни бир удучу һиссәчик үчүн һесабланан удулма әмсалы саһә ваһидләри илә верилир. Бу о демәкдир ки, һиссәчијә шүаланманын гаршысыны кәсән екранчыг кими баха биләрик, јә'ни κ елә бир екранчығын саһәсидир ки, онун шүаланманын гаршысыны кәсмәк габилијјәти бир һиссәчијин удма габилијјәтинә еквивалентдир. Бурадан белә бир нәтичә чыхармаг олар: оптик галынлығы ваһид олан 1 $см^2$ ен кәсикли сүтунда удан һиссәчикләрин һәр биринин ен кәсијинин саһәси 10^{-8} $см^2$-дирсә, онда белә сүтундакы һиссәчикләрин сајы 10^8 олар; бу сүтунун һүндүрлүјү мә'лум олдугда исә удан һиссәчикләрин n косентрасијасыны тапарыг. Улдуз атмосферләри шәраитиндә әсас енержи сәвијјәсиндә (биринчи сәвијјәдә) олан һидрокен атомунун удма әмсалы тәгрибән 10^{-13} $см^2$-дир вә бу удулма, һидрокен атомларынын дискрет енер-

жи кечидләринә ујғун спектрал хәтләрдә баш верир. Кәсилмәз спектрдә бу әмсал $\sim 10^{-17}$ см^2-дир.

Астрофизикада **ваһид күтлә (1 г) вә бир атом** (бир удучу һиссәчик) үчүн һесабланмыш удулма әмсаллары илә јанашы һәчми удулма әмсалы да чох ишләнир. Һәчми удулма әмсалынын (α) физики мә'насы ваһид јолда (1 *см*-дә) удулан шүаланманын пајыдыр (һиссәсидир). ds јолунда удулманын пајы αds олдуғундан α узунлуғун тәрс гијмәти илә (мәсәлән см$^{-1}$ илә) ифадә олунур.

Јери кәлмишкән гејд едәк ки, ваһид күтлә үчүн һесабланмыш шүаланма әмсалы (j) вә хүсусилә ваһид һәчм үчүн һесабланмыш шүаланма әмсалы (ε) астрофизикада кениш истифадә олунур. Һәчми шүаланма әмсалы ваһид чисми бучаг дахилиндә ваһид заманда ваһид һәчмин шүаландырдығы енержидир. Бу енержи ваһид тезлик интервалында, јахуд да там спектрдә шүалана биләр.

Үмумиззәтлә, удулма вә шүаланма әмсаллары тезликдән, шүаланма саһәсиндә јерләшән нөгтәнин координатларындан вә истигамәтдән асылыдыр. Удулма әмсалы изотроп мүһитдә истигамәтдән асылы дејил, јә'ни елементар һәчмин кәсилмәз спектрдә шүаланма әмсалы бүтүн истигамәтләрдә ејни еһтималлыдыр. Удулма вә шүаланма әмсаллары үмуми һалда шүаланма тезлијиндән асылыдыр вә һәмин асылылыг $\varkappa_\nu$, k_ν, α_ν, j_ν, ε_ν кими ишарә олунур.

§ 77. ШҮАЛАНМАНЫН КӨЧҮРҮЛМӘСИ ТӘНЛИЈИ

Удан вә шүаландыран мүһитә I_ν интенсивликли шүа енержиси дахил олдуғуну фәрз едәк. Бу мүһитин ds јолунда шүа енержиси $\alpha_\nu ds$ гәдәр зәифләмәлидир. Бурада α_ν һәчми удулма әмсалыдыр. ds јолунда мүһитин өзүнүн шүаланмасы нәтичәсиндә көчүрүлән шүа енержиси $\varepsilon_\nu ds$ гәдәр күчләнмәлидир. Бурада ε_ν мүһитин һәчми шүаланма әмсалыдыр. Һәм удулма, һәм дә шүаланманы нәзәрә алсаг ds јолуну кечән шүаланма интенсивлији

$$I_\nu + dI_\nu = I_\nu - I_\nu \alpha_\nu ds + \varepsilon_\nu ds$$

олмалыдыр. Бурадан

$$\frac{dI_\nu}{ds} = -I_\nu \alpha_\nu + \varepsilon_\nu. \tag{7.22}$$

(7.22) удан вә шүаландыран мүһитдән кечәркән шүаланма интенсивлијинин дәјишмәсини тә'јин едән тәнликдир. Буна шүаланманын көчүрүлмәси тәнлији дејилир.

Фәрз едәк ки, мүһит үзәринә дүшән шүаланма енержисини јалныз удур, јә'ни $\alpha_\nu \neq 0$, $\varepsilon_\nu = 0$-дыр. Онда (7.22) тәнлији

$$\frac{dI_\nu}{dS} = -I_\nu \alpha_\nu \tag{7.23}$$

тәнлијинә чевирилир. Бу тәнлији интегралласаг

$$I_\nu(s) = I_\nu(0) e^{-\int\limits_0^s \alpha_\nu(s')ds'} = I_\nu(0) e^{-\tau_\nu} \qquad (7.24)$$

аларыг. Бурада $I_\nu(o)$ мүһитә дахил олан, $I_\nu(s)$ —шүаланма интенсивлијинин s јолуну кечдикдән сонракы гијмәти, $\tau_\nu = \int\limits_0^s \alpha_\nu (s')ds'$ -ики нөгтә арасында оптик мәсафә вә ја s һәндәси галынлыға малик мүһитин оптик галынлығыдыр. (7.24) Букер гануну адланыр. ((7.16) дүстуруна да бах). Мүһит һәм удан ($\alpha_\nu \neq 0$), һәм дә шүаландырардырса ($\varepsilon_\nu \neq 0$), онда (7. 22) тәнлијини интеграллямаг лазымдыр. Бу тәнлијин I_ν -јә көрә һәлли

$$I_\nu(s) = I_\nu(0) e^{-\tau_\nu} + \int\limits_0^s \varepsilon_\nu(s') e^{-\tau'_\nu} ds' \qquad (7.25)$$

олар. Бурада

$$\tau_\nu = \int\limits_0^s \alpha_\nu(s')ds', \quad \tau'_\nu = \int\limits_{s'}^s \alpha_\nu(s'')ds''$$

(7. 25)-дән көрүрүк ки, удучу вә шүаландырычы мүһитдән кечәрәк бу мүһитдән чыхан шүаланманын интенсивлији I_ν (s) ики топланандан ибарәтдир: биринчи топланан s јолунда удулма нәтичәсиндә зәифләмәси нәзәрә алынан илкин интенсивликдир; икинчи топланан исә s'-дән s-ә гәдәр јолда удулмасы нәзәрә алынмагла о-дан s-ә гәдәр јолда мүһитин өзүнүн шүаландырдығы шүа енержиси һесабына јаранан шүаланма интенсивлијидир. (7.25) шүаланманын көчүрүлмәси тәнлијинин интеграл јазылышыдыр. Шүа енержисинин мүһитдән кечмәси заманы мөвчуд олан мүхтәлиф физики просесләри нәзәрә алмагла шүаланманын көчүрүлмәси тәнлији мүәјјән сәрһәд шәртләри дахилиндә һәлл едилир. Бу, көј чисимләриндә мөвчуд олан физики шәраити өјрәнмәк үчүн чох вачиб мәсәләдир. Чох заман шүаланманын көчүрүлмәси тәнлији шүаланма әмсалы, удулма әмсалы вә шүаланма интенсивлији арасындакы әлагәдән ибарәт олан башга бир тәнликлә бирликдә систем шәклиндә һәлл едилир. Бу тәнлик шүа таразлығы тәнлији адланыр вә беләјазылыр:

$$4\pi \int\limits_0^\infty \varepsilon_\nu d\nu = \int\limits_0^\infty \alpha_\nu d\nu \int I_\nu d\omega.$$

Бурада сағ тәрәфдә икинчи интеграл интенсивлијин чисми бучаг үзрә интегралыдыр. Үмумијјәтлә, шүаланманын көчүрүлмәси мәсәләси вә һәмин мәсәләнин ријази һәлли чох мүрәккәбдир. Бунунла беләастрофизикада бу проблеми нисбәтән асанлашдыран имканлар вардыр. Мәсә-

лән, улдузларын мүәјјән гатларында вә планетләрин сәтһиндә шүаланма илә маддә арасында термодинамик таразлыг олдуғундан мүвафиг көчүрмә тәнлијинин һәлли хејли садәләшир. Ишығын шүаланмасы вә удулмасы механизминдән асылы олмајараг бу гатларын һәр биринә мүәјјән температура малик мүтләг гара чисим кими бахмаг олур. Локал термодинамик таразлыг адланан бу шәраитдә атмосфердә шүаланманын көчүрүлмәси мәсәләсинә бахаркән мүтләг гара чисмин шүаланмасы ганунларындан истифадә едилир.

§ 78. МҮТЛӘГ ГАРА ЧИСМИН ШҮАЛАНМАСЫ ГАНУНЛАРЫ ВӘ ОНЛАРЫН АСТРОФИЗИКАДА БӘ'ЗИ ТӘТБИГЛӘРИ

Термодинамик таразлыг һалында (7.22) тәнлији

$$\frac{\varepsilon_\nu}{\alpha_\nu} = B_\nu(T) \tag{7.26}$$

шәклиндә јазылыр. Чүнки бу һалда $\frac{dI_\nu}{ds} = 0$ олур. I_ν исә мүтләг гара чисмин шүаланма интенсивлији олан $B_\nu(T)$ Планк функсијасы илә әвәз едили .

(7.26) Кирхһоф ганунудур. Бу ганунa көрә *термодинамик таразлыг һалында чисмин шүаланма әмсалынын удма әмсалына нисбәти тезлик вә температурун универсал функсијасы олуб мүтләг гара чисмин шүаланма интенсивлијинә бәрабәрдир.* Мә'лумдур ки,

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT}-1} \tag{7.27}$$

$B(T)$—Планк функсијасы вә ја термодинамик таразлыг һалында олан чисмин шүаланма интенсивлији адланыр. (7.27)-дә h—Планк сабити, ν—шүаланма тезлији, c—ишығын сүр'әти, k—Болсман сабитидир. (7.27) дүстуру мүтләг гара чисмин шүаланмасынын верилмиш температурда шүаланма тезлијинә көрә пајланмасыны характеризә едир вә $\frac{\text{ерг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сан. стр. һс}}$, јахуд $\frac{\text{вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{стр. һс}}$ ваһидләри илә ифадә олунур.

(7.26)-да сағ тәрәфдә Планк функсијасы дурдуғундан чох вахт һәмин ифадәјә Кирхһоф—Планк гануну да дејилир.

(7. 27) бәрабәрлијинин һәр ики тәрәфини $d\nu$-јә вураг, јә'ни

$$B_\nu(T)d\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT}-1}\, d\nu \tag{7.28}$$

јазаг.

Тезлик шкаласындан далға узунлуғу шкаласына кечмәк үчүн $B_\nu |d\nu| = B_\nu |d\lambda|$ вә $|d\nu| = \frac{c}{\lambda^2}|d\lambda|$ олдуғуну нәзәрә алмаг лазымдыр. Одур ки, (7.28) и далға узунлуғу шкаласында

$$B_\nu d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT}-1} d\lambda \tag{7.29}$$

шәклиндә јазарыг. (7.27)-нин һәр ики тәрәфини π-јә вурмагла мүтләг гара чисмин шүаландырдығы монохроматик шүаланма селинин ифадәсини аларыг.

Кичик тезликләрдә $h\nu \ll kT$ олур вә бу һалда Планк дүстуру Релеј—Чинс дүстуруна чеврилир:

$$B_\nu(T) = \frac{2\nu^2}{c^2} \cdot kT; \tag{7.30}$$

$\frac{h\nu}{kT} \ll 1$ оланда $e^{h\nu/kT} \simeq 1 + \frac{h\nu}{kT}$ шәклиндә јазылы). Аст офизикада инфрагырмызы вә радиодиапазонда шүаланма мәнбәјинин интенсивлијини тә'јин едәркән мәһз Релеј—Чинс дүстурундан истифадә олунур. (7.30)-дан көрүрүк ки, бу һалда шүаланма интенсивлији тезлијин квадраты вә температурла мүтәнасибдир. Релеј—Чинс дүстурунун далға узунлуғу шкаласында ифадәси (7.29)-а әсасән

$$B_\lambda(T) = \frac{2c}{\lambda^4} kT \tag{7.31}$$

олар.

Бөјүк тезликләрдә $\left(\frac{h\nu}{kT} \gg 1 \text{ оланда}\right)$ Планк дүстуру Вин дүстуруна чеврилир:

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} e^{\frac{-h\nu}{kT}} \tag{7.32}$$

јахуд далға узунлуғу шкаласында

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-hc/\lambda kT} \tag{7.33}$$

олур.

Мүтләг гара чисмин максимум шүаланмасына ујғун далға узунлуғу Винин јердәјишмә ганунуна әсасән тапылыр:

$$\lambda_{max} = \frac{2,9}{T} \text{ мм} = \frac{29}{T} \cdot 10^6 \text{Å}. \tag{7.34}$$

(7.34)-дән көрүрүк ки, чисмин температуру бөјүдүкчә шүаланманын максимуму спектрин гыса далғалар областына тәрәф сүрүшүр.

Инди дә (7.34) дүстурунун нечә алындығына бахаг. (7.29)-да $\frac{ch}{\lambda kT} = a$ ишарә едәк вә $d\lambda = 1$ дејәк. Онда $B_\lambda(T) = \frac{2(kTa)^5}{c^3h^4(e^a-1)}$ олар.

Бу функсиjанын екстремумуна уjғун олан α-ны тапаг. Бунун үчүн $B_\lambda(T)$ функсиjасынын α-ja көрә биринчи тәртиб төрәмәсини алаг вә ону сыфыра бәрабәр едәк:

$$\frac{dB_\lambda(T)}{d\alpha} = \frac{2(kT)^5}{c^3h^4} \cdot \frac{5(e^\alpha - 1)\alpha^4 - \alpha^5 e^\alpha}{(e^\alpha - 1)^2} = 0.$$

Бурадан $5(e^\alpha - 1)\alpha^4 - \alpha^5 e^\alpha = 0$ jазарыг. Бу тәнлиjин һәллиндән $\alpha_{max} = 4{,}965$ аларыг. Онда $\lambda_{max} = \frac{ch}{kT\alpha_{max}}$-дан (7.34) алынар. Күнәшин спектриндә далға узунлугларына көрә енержинин паjланмасындан мә'лумдур ки, $\lambda_{max} = 4700$ Å гәбул этмәк олар. Онда (7.34) дүстурундан $T = 6150$ K аларыг.

Мүтләг гара чисмин бүтүн спектр үзрә шүаланма интенсивлиjи

$$B(T) = \int_0^\infty B_\lambda(T)d\lambda$$

васитәсилә тапылыр. Бурада (7.29)-у вә $\alpha = \frac{ch}{\lambda kT}$ әвәзләмәсини нәзәрә алсаг

$$B(T) = 2c^2h\int_0^\infty \frac{d\lambda}{\lambda^5(e^{ch/\lambda kT} - 1)} = \frac{2k^4T^4}{c^2h^3}\int_0^\infty \frac{\alpha^3 d\alpha}{e^\alpha - 1}$$

аларыг вә

$$\int_0^\infty \frac{\alpha^3 d\alpha}{e^\alpha - 1} = \frac{\pi^4}{15}$$

олдуғундан $B(T)$ үчүн

$$B(T) = \frac{2\pi^4 k^4}{15c^2h^3}T^4 = \frac{\sigma}{\pi}T^4$$

мүнасибәти алынар,
Бурада

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2h^3} = 5{,}67 \cdot 10^{-5}\,\frac{\text{ерг}}{\text{см}^2 \cdot \text{к}^4\,\text{сан}} = 5.67 \cdot 10^{-8}\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{к}^4}$$

Стефан—Болсман сабитидир. $B(T)$-нин jухарыда jаздығымыз ифадәсинә әсасән там шүаланма сели үчүн

$$\mathscr{E} = \pi B(T) = \sigma T^4 \qquad (7.35)$$

јазарыг. (7.35) ифадәси мә'лум Стефан—Болсман ганунудур. Бу ганундан еффектив температур ($T_{еф}$) анлајышы алыныр. *Көј чисминин еффектив температуру елә мүтләг гара чисмин температурудур ки, онун һәр квадрат сантиметринин бүтүн спектрдә шүаландырдығы енержи сели һәмин чисмин 1 см² сәтһинин бүтүн спектрдә шүаландырдығы селә бәрабәрдир.*

(7.35)-дән истифадә едәрәк $\mathcal{E}$ нун мә'лум гијмәтинә әсасән Күнәшин еффектив температуруну тапаг. Күнәшин бүтүн спектрдә шүаландырдығы енержи сели

$$\mathcal{E}_{\odot} = 6{,}33 \cdot 10^{7}\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\,.$$

(7.35)-ә әсасән

$$T_{\odot еф} = \sqrt[4]{\frac{\mathcal{E}}{\sigma}} = 5785\ \text{K} \qquad (7.36)$$

алыныр. Беләликлә Күнәшин еффектив температуру 5785 К-дир.

Еффектив температура аналожи олараг парлаглыг (вә ја шүаланма) температуру вә рәнк температуру анлајышлары да вардыр.

Көј чисминин парлаглыг вә ја шүаланма температуру елә мүтләг гара чисмин температурудур ки, онун һәр квадрат сантиметринин мүәјјән далға узунлуғунда шүаландырдығы енержи сели һәмин чисмин 1 см²-нин бу далға узунлуғунда шүаландырдығы енержи селинә бәрабәрдир.

Күнәш диски мәркәзинин спектриндә далға узунлугларына көрә енержинин пајланмасындан мә'лумдур ки, $\lambda = 5000$ Å-дә ваһид далға узунлуғу интервалында ($d\lambda = 1$ см) вә ваһид чисми буҹаг ($d\omega = 1$) дахилиндә шүаланма интенсивлији $4{,}07 \cdot 10^{14} \frac{\text{ерг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сан}}$ -дир. $B_\lambda(T)$-нин бу гијмәтиндә (7.29) дүстурундан $T = 6500$ К алыныр.

Бурадан дејирик ки, $\lambda = 5000$ Å далға узунлуғунда Күнәшин шүаланма, јахуд парлаглыг температуру 6500 К-дир:

Күнәш үчүн $\lambda = 1000$ Å-дә $\frac{h\nu}{kT} \gg 1$-дир. Одур ки, мә'лум $B(T)$-јә әсасән шүаланма (парлаглыг) температуруну (7.32) вә ја (7.33) дүстурундан тапырыг (4500 К).

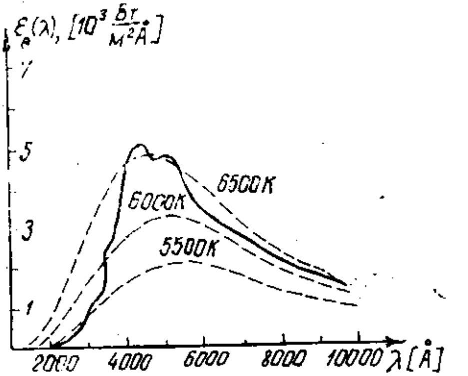
Рад одиапозонда, мәсәлән $\lambda = 1$ м далға узунлуғунда, $\frac{h\nu}{kT} \ll 1$-дыр. Одур ки, мә'лум $B(T)$-јә әсасән парлаглыг температуруну (7.31) дүстурундан тапырыг ($\sim 10^6$ К).

Көј чисминин рәнк температуру елә мүтләг гара чисмин температурудур ки, онун спектриндә мүәјјән далға узунлуглары интервалында енержинин нисби пајланмасы һәмин чисминки кимидир.

Күнәш диски мәркәзинин спектриндә далға узунлугларына көрә енержинин пајланмсындан мә'лумдур ки, λλ 4700—5400 Å далға узунлуглары интервалында енержинин нисби пајланмасы 6500 К-дә Планк

пајланмасында олдуғу кимидир; јахуд $\lambda\lambda$ 4300—4700 Å узунлуглары интервалында енержинин нисби пајланмасы 8000 К-дә Планк пајланмасында олдуғу кимидир.

94-чү шәкилдә Күнәш диски мәркәзинин оптик спектриндә енержинин пајланмасы (бүтөв гара әјри) вә мүхтәлиф температурларда планк әјриләри (гырыг хәтләрлә верилән әјриләр) тәсвир олунмушдур. Бу шәкил шүаланма (парлаглыг) вә рәнк температурлары һаггында анлајышлары ајдынлашдырмаға көмәк едә биләр. Мәсәлән, Күнәш спектриндә енержинин пајланмасы әјрисинин Планк әјриләри илә кәсишдији һәр бир нөгтәјә ујғун далға узунлуғунда шүаланма температуру мүвафиг планк әјрисинә ујғун шүаланма температуруна бәрабәрдир. Јахуд, Күнәш спектриндә енержинин пајланмасы әјрисинин планк әјриси илә үст-үстә дүшән һиссәсинә ујғун далға узунлуглары интервалында рәнк температуру һәмин планк әјрисинә ујғун шүаланма температуруна бәрабәрдир: еләчә дә, Күнәш спектриндә енержинин пајланмасы әјрисинин Планк әјриси парчасына паралел олан һиссәсинә ујғун далға узунлуглары интервалында рәнк температуру һәмин планк әјрисинә ујғун шүаланма температуруна бәрабәрдир.



Шәкил 94. Күнәш диски мәркәзинин оптик спектриндә енержинин пајланмасы (бүтөв хәтт) вә мүхтәлиф температурларда планк әјриләри (гырыг хәтләр); бурада интенсивлик 10^3 $\frac{Bт}{м^2 Å}$ ваһидләри илә верилмишдир

Күнәшин ефектив температуру, Вин ганунундан тапылан температур, шүаланма (парлаглыг) вә рәнк температурларынын бир-бириндән фәргли олдуғуну (бә'зи температурларын һәтта чох фәргли олдуғуну) көрүрүк. Бунун сәбәбини Күнәши өјрәнәндә изаһ едәчәјик (бах § 89).

§ 79. АСТРОСПЕКТРОСКОПИЈАДА ИСТИФАДӘ ОЛУНАН БӘ'ЗИ АНЛАЈЫШЛАР

Каинат објектләринин чох бөјүк әксәријјәти газ һалындадыр (улдузлар, думанлыглар, улдузларарасы фәза вә и.). Одур ки, әввәлчә астрофизика бахымындан идеал газ, чырлашмыш газ, шүаланма вә удулмаја сәбәб олан елементар просесләрлә таныш олаг.

1. **Идеал газ.** Газ һалында олан Каинат објектләринин әксәријјәтинә идеал газ кими баха биләрик.

Мә'лумдур ки, газ зәррәчијинин ән еһтималлы енержиси $\mathcal{E} = kT$ дүстуру илә тә'јин олунур; бурада k—Болсман сабити, T—мүтләг температурдур. Беләликлә, Болсман сабити бир зәррәчијин 1 К темпера-

тур үчүн һесабланмыш ән еһтималлы енержисидир. Бу енержи 1 еВ оларса

$$T_{1eB} \simeq 11600 \text{ K}$$

олар. Бу о демәкдир ки, ε енержисинә малик зәррәчикләрдән ибарәт шүаландыран газ мүһитинин кинетик температуру

$$T = 11600\,\varepsilon \tag{7.37}$$

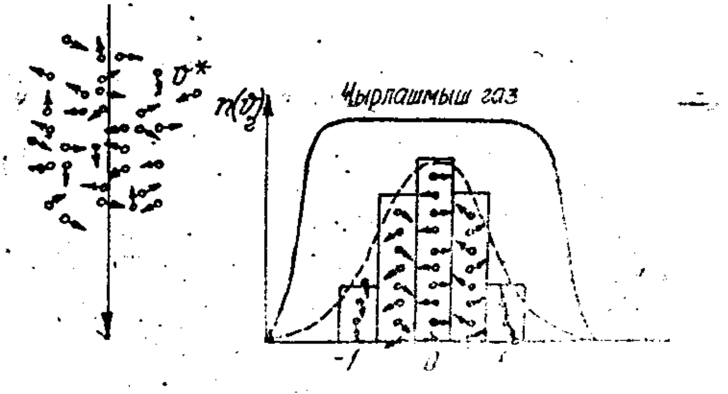
олар. Мәсәлән, $\varepsilon = 100$ еВ оларса, белә зәррәчикләрдән ибарәт газын кинетик температуру $\sim 10^6$ K олар. Газ зәррәчикләринин ән еһтималлы сүр'әтинин

$$v^* = \sqrt{\frac{Tk2}{m}} \tag{7.38}$$

дүстуру илә тә'јин олундуғуну билирик; бурада m—зәррәчијин күтләсидир.

Астрофизикада биринчи јахынлашмада гәбул едилир ки, зәррәчикләр ән еһтималлы енержи вә ән еһтималлы сүр'әтә маликдир. Онда биринчи јахынлашмада температуру (ε-нун гијмәтини биләрәк) (7.37) васитәсилә, сүр'әти исә (7.38)-дән гијмәтләндирмәк олар.

Газ зәррәчикләринин сүр'әтләрини гијмәтчә ејни гәбул етмәк мүмкүн олса да, онларын истигамәтләрини ејни һесаб етмәк олмаз, чүнки онларын һәрәкәти хаотикдир. Лакин бу истигамәтләр чохлуғуну мүәјјән принсипләр груплашдырмаг олар. Бунун үчүн шүа сүр'әти анлајышындан истифадә олунур; зәррәчијин v_r шүа сүр'әти фәза сүр'әтинин бахыш шүасы үзрә пројексијасыдыр. Хаотик һәрәкәт едән објектин зәррәчикләринин бир гисми бахыш шүасына перпендикулјар истигамәтдә һәрәкәт етдијиндән онларын шүа сүр'әтләри сыфыр олар. Галан зәррәчикләрин јарысы мүшаһидәчијә тәрәф, јарысы исә екс тәрәфә һәрәкәт етмәлидир; бу зәррәчикләрин билаваситә мүшаһидәчијә вә ондан екс тәрәфә јөнәләнләри сајча ән аз олмалыдыр. Дедикләримиз 95-чи шәкилдә тәсвир олунмушдур.



Шәкил 95. Мүхтәлиф шүа сүр'әтинә малик олан газ-зәррәчикләринин нисби пајланмасы.

Бу шәкилдә абсис охунда шүа сүр'әти, ординат охунда һәр бир шүа сүр'әтинә ујғун зәррәчикләрин консентрасијасы (n) верилмишдир. Даирәчикләр зәррәчикләри, онлара бирләшән охлар исә зәррәчикләрин фәза сүр'әтләри векторларыдыр. Бахыш шүасы ординат оху истигамәтиндәдир. $v_r=0$-дырса фәза сүр'әт векторлары бахыш шүасына перпендикулјардыр. $v_r<0$ мүшаһидәчијә јахынлашан, $v_r>0$ исә ондан узаглашан зәррәчикләрә аиддир. Бахыш шүасы истигамәтиндә фәза сүр'әтинә малик олан зәррәчикләрин сајы ән аз, бахыш шүасына перпендикулјар истигамәтдә фәза сүр'әтинә малик оланлар исә ән чохдур. Бу дејиләнләрә әсасән n (v_r) шәкилдә көстәрилән гырыг хәтләрдән ибарәт әјри илә тәсвир олунур. Белә әјри Гаусс әјриси адланыр. Бу әјринин аналитик ифадәси исә зәррәчикләрин сүр'әтләрә көрә Максвел пајланмасындан алыныр.

Биз зәррәчикләрин сүр'әтини гијмәтчә ејни-ән еһтималлы сүр'әт гәбул етмишдик. Әслиндә белә дејил, јә'ни зәррәчикләр һәм истигамәт, һәм дә гијмәтчә мүхтәлиф сүр'әтлә һәрәкәт едир. Шүа сүр'әтләри v_r вә v_r+dv_r интервалында олан зәррәчикләрин сајы $e^{-\left(\frac{v_r}{v_*}\right)^2}$ илә мүтәнасибдир, јә'ни бу сај v_r-ин бөјүмәси илә експоненсиал кичилир:

$$n(v_r)dv_r=\frac{n}{v^*\sqrt{\pi}}\,e^{-(v_r/v^*)^2}dv_r. \qquad (7.39)$$

Бурада n—һәр чүр сүр'әтә малик зәррәчикләрин консентрасијасыдыр.

(7.39) зәррәчикләрин сүр'әтләрә көрә Максвелл пајланмасы адланыр вә астрофизикада бу пајланмадан чох кениш истифадә олунур. Чүнки Каинат објектләринин әксәријјәтиндә сүр'әтләрә көрә пајланма Максвелл пајланмасыдыр.

2. Чырлашмыш газ. 95-чи шәкилдәки гырыг хәтләрлә верилән пајланмаја малик зәррәчикләрин јерләшдији һәчмә зәррәчикләр әлавә олундугча, јә'ни објектдә зәррәчикләрин консентрасијасы бөјүдүкчә сүр'әтләрә көрә пајланма әјриси өз формасыны сахламагла, јә'ни Гаусс әјриси олмагла даһа бөјүк саһәни әһатә етмәлидир. Чүнки бу саһә зәррәчикләрин консентрасијасы илә мүтәнасибдир. Лакин пајланма әјрисинин бу формасы мүәјјән температурда мүәјјән сыхлыға гәдәр гала биләр. Мәсәлән, $T=10^7$ K олдугда сыхлығын $\rho=10^3$ г/см^3-дән бөјүк гијмәтиндә пајланма мәзмунча дәјишир. Сәбәби бу һалда квант механикасына әсасән чырлашма адланан мүәјјән мәһдудијјәтин јаранмасыдыр. Бу мәһдудијјәт Паули принсипи адланыр. Бу принсипә көрә зәррәчикләрин импулслары јалныз дискрет гијмәтләрә малик ола биләр, ејни импулса малик чох јахын зәррәчикләр исә ола билмәз. Бу о демәкдир ки, мүәјјән температура малик газда сыхлыг мүәјјән сәрһәдди ашанда онун сонракы артмасы анчаг даһа бөјүк сүр'әтли зәррәчикләрин һесабына ола биләр. 95-чи шәкилдә гырыг хәтли әјридән көрүндүјү кими ән бөјүк шүа сүр'әтли зәррәчикләр әјринин ганадлары тәрәфдәдир. Демәли, чырлашан газда сүр'әтләрә көрә пајланма әјриси дүзбучаглы шәклини алмалыдыр. 95-чи шәкилдә бу әјри бүтөв хәтлә көстә-

рилмишдир. Беләликлә чырлашмыш газда тәзјиг температурдан асылы дејил вә јалныз сыхлыгдан асылыдыр. Ајдындыр ки, бу һалда сүр'әт дә температурдан асылы олмајыб јалныз сыхлыгдан асылыдыр (сыхлыг бөјүдүкчә, тәзјиг кими, сүр'әт дә бөјүјүр). Мүәјјән чырлашма һалы үчүн P тәзјиги ρ сыхлығындан $P \sim \rho^{\frac{5}{3}}$ кими асылыдыр. Бурадан көрүнүр ки, сыхлығын мүәјјән гијмәтиндән сонра (верилән температурда) газ чырлашырса, сыхлығын сонракы бөјүмәси газ тәзјигинин чох бөјүк сүр'әтлә јүксәлмәсинә кәтирир. Астрофизикада чырлашмыш газ һалына тез-тез раст кәлирик (ағ чыртданлар вә гырмызы нәһәнкләр адланан улдузларын нүвәсиндә вә башга сых вә ифрат сых објектләрдә).

3. Шүаланма вә удулмаја сәбәб олан елементар просесләр. Билирик ки, һәр бир атом мүәјјән дискрет енержи сәвијјәләриндә ола биләр. Бу сәвијјәләрин енержиләри мәнфидир ($E<0$). Мүәјјән атомун харичи електронунун бир енержи сәвијјәсиндән дикәринә кечмәси, јахуд бир еллиптик орбитдән дикәринә кечмәси јалныз һәмин атома мәхсус далғада квантын удулмасы, јахуд шүаланмасы илә нәтичәләнир. Ашағы енержи сәвијјәсиндән јухары енержи сәвијјәсинә кечид нәтичәсиндә хәтдә квант удулур, әкс һалда хәтдә квант шүаланыр. Бүтүн бу һаллара ујғун кечидләр, јә'ни дискрет енержи сәвијјәләри арасындакы кечидләр бағлы-бағлы кечидләр адланыр.

Атом мүсбәт енержи ($E>0$) һалларында да ола биләр. Бу һалда електрон атома бағлы дејил, сәрбәстдир вә нүвә әтрафында һиперболик орбитләр үзрә һәрәкәт едир. Електронларын мүсбәт енержи сәвијјәләри арасындакы кечидләри кәсилмәздир вә белә кечидләр сәрбәст-кечидләр адланыр. Ајдындыр ки, белә кечидләр нәтичәсиндә кәсилмәз шүаланма вә удулма баш верәр; јухары кәсилмәз енержи һалындан ашағы кәсилмәз енержи һалына кечид кәсилмәз шүаланмаја, әкс кечид исә кәсилмәз удулмаја сәбәб олмалыдыр.

Атомун мәнфи енержи һалындан мүсбәт енержи һалына кечмәси, јә'ни атомдан бир вә ја бир нечә електронун гопарылмасы бу атомун ионлашмасы адланыр. Ионлашма просесиндә електрон бағлы—сәрбәст кечидә мә'руз галыр. Атомун бир електронуну сәрбәстләшдирсә ионлашма дәрәчәси бир олур, икиси сәрбәстләшәндә атом ики дәфә ионлашыб дејирик вә и.

Атом ики јолла ионлаша биләр: бу јоллардан бири зәррәчиклә (атом, ион, електрон вә с.) тоггушма нәтичәсиндә ионлашмадыр—буна зәрбә ионлашмасы дејилир; башга јол шүаланманын тә'сири илә олан ионлашмадыр ки, буна да фотоионлашма дејилир.

Фотоионлашма заманы ишыг кванты удулур. Удулан бу квантын енержиси електронун атомдан ајрылмасына, галаны исә сәрбәстләшән електронун кинетик енержисинә сәрф олунур. Удулан квантын енержиси $h\nu$, електронун i-чи енержи сәвијјәсиндәки атомдан ајрылмасына сәрф олунан енержи, јә'ни i-чи енержи сәвијјәсиндән ионлашма потенсиалы χ_i, сәрбәстләшән електронун кинетик енержиси $\frac{mv^2}{2}$ олсун.

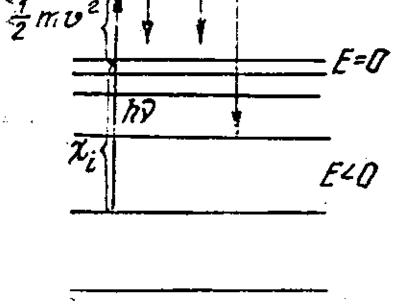
Мә'лумдур ки, Ејнштејнин фотоеффект дүстуру

$$h\nu = \chi_i + \frac{mv^2}{2} \tag{7.40}$$

шәклиндә јазылыр. Ајдындыр ки, о ишыг квантлары ионлашма төрәдә биләр ки, онларын енержиси $h\nu \geqslant \chi_i$ шәртини өдәсин. $\nu \geqslant \nu_i$ тезликли һәр бир квант ионлашмаја сәбәб олдуғундан фотоионлашма нәтичәсиндә удулма кәсилмәз спектрдә олмалыдыр.

Ионлашманын әкс просеси, јә'ни ионун сәрбәст електрону зәбт етмәси рекомбинасија адланыр. Рекомбинасијада сәрбәст-бағлы кечидләр баш верир. Рекомбинасија заманы ишыг кванты шүаланыр. Шүаланан бу квантын енержиси (7.40) дүстуру илә тә'јин олунур; одур ки, рекомбинасија шүаланмасы кәсилмәз шүаланмадыр. Бу дүстурдан көрүрүк ки, мүәјјән сәвијјәјә рекомбинасија едән сәрбәст електронун сүр'әти нә гәдәр бөјүкдүрсә, шүаланан квантын енержиси вә ја тезлији дә бир о гәдәр бөјүкдүр. Сәрбәст електронун сүр'әти сыфырдырса, о рекомбинасија едәндә шүаланан квантын енержиси рекомбинасија сәвијјәсиндән ионлашма потенсиалына бәрабәр олар. Бу енержијә ујғун далға узунлуғу ән бөјүк олур. Башга сөзлә рекомбинасија нәтичәсиндә кәсилмәз спектрдә шүаланма гырмызы сәрһәддә маликдир. Бу сәрһәддән гыса далғалара доғру шүаланманын интенсивлији азалыр вә нәһајәт һисс едилмәз олур. Рекомбинасија шүаланмасынын бу хүсусијјәти сәрбәст електронларын сүр'әтләрә көрә (7.39) пајланмасы илә әлагәдардыр: сүр'әт бөјүдүкчә сәрбәст електронларын консентрасијасы експоненсиал кичилир вә нәтичәдә ваһид һәчмдә ваһид заманда баш верән рекомбинасијаларын сајы азалыр. Бу исә өз нөвбәсиндә интенсивлијин кичилмәсинә кәтирир.

Јухарыда дедикләримиз 96-чы шәкилдә тәсвир олунмушдур. Ионлашма кими атомун ашағы дискрет енержи һалындан јухары дискрет енержи һалына кечмәси ишыг квантынын удулмасы, јахуд башга зәррәчикләрлә тоггушма нәтичәсиндә ола биләр. Биринчи просес фотоһәјәчанланма, икинчиси — зәрбә һәјәчанланмасы адланыр.



Шәкил 96. Атомун енержи сәвијјәләри вә кәсилмәз спектрдә удулма вә шүаланмаја сәбәб олан елементар просесләрин схематик тәсвири.

Атомун һәјәчанланмасы үчүн лазым олан енержи онун һәјәчанланма потенсиалы адланыр. Һидрокен атомунун ионлашма вә һәјәчанланма потенсиалы

$$\mathscr{E}_{ik} = \chi_i - \chi_k = 13{,}56\left(\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right) eB$$

дүстурундан тапылыр. Бурада i вә $к$ атомун һаллары ($i < к$ гәбул едирик), X_i, $X_к$ исә i вә $к$ сәвијјәләриндән онун ионлашма потенсиалларыдыр. Бу дүстурда $i=1$, $к=\infty$ оларса, Онда $\mathscr{E}_{1к} = \mathscr{E}_{1\infty} = 13{,}56$ eB аларыг. Бу, һидрокен атомунун биринчи сәвијјәдән ионлашма потенсиалыдыр. $i = 2$, $к=\infty$ оларса, јухарыдакы дүстурдан $\mathscr{E}_к = \mathscr{E}_{i\infty} = 3{,}39$ eB аларыг. Бу, һидрокен атомунун икинчи сәвијјәдән ионлашма потенсиалыдыр. Ју-

харыдакы дүстурда $i=1$, $\kappa=2$, $\kappa=3$ вә и. гәбул етсәк ујғун олараг $\mathscr{E}$ $=10{,}17$ еВ, $\mathscr{E}_{13}=12{,}05$ еВ вә с. аларыг. Бунлар һидрокен атомунун әсас сәвијјәдән икинчи, үчүнчү вә с. сәвијјәләрә һәјәчанланма потенсиалларыдыр. $i=2$, $\kappa=3{,}4{,}..$ гәбул етсәк $\mathscr{E}_{23}=1{,}88$ еВ, $\mathscr{E}_{24}=2{,}54$ еВ... аларыг. Бунлар һидрокен атомунун икинчи сәвијјәдән үчүнчү, дөрдүнчү сәвијјәләрә һәјәчанланма потенсиалларыдыр.

Бүтүн јухары дискрет сәвијјәләрдән мүәјјән ашағы сәвијјәјә кечидләр емиссија хәтләринин, әксинә кечидләр исә удулма хәтләринин јаранмасына сәбәб олур. $i=1$ сәвијјәсинә белә кечидләр әсас серијаны—Лајман серијасыны јарадыр, $i=2$ вә бундан јухары сәвијјәләрә үст сәвијјәләрдән кечидләр исә субординат серијаларын јаранмасына сәбәб олур. (Балмер серијасы, Пашен серијасы вә с). Икинчи сәвијјәдән әсас сәвијјәјә кечидләр нәтичәсиндә јаранан хәтт резонанс хәтт адланыр. Һәр бир серија дахилиндә ән јахын јухары сәвијјәдән кечидлә јаранан хәтт серијанын баш хәтти адланыр вә серијанын ишарәсинә әлавә олунмагла α индекси илә, сонракы хәтләр исә β, γ, δ... индексләри илә ишарә олунур. Мәсәлән, Лајман серијасынын хәтләрини ардычыл олараг көстәрдикдә L_α, L_β, L_γ вә с. кими ишарәләмәдән истифадә олунур. Һидрокен үчүн үст сәвијјәләрдән икинчи сәвијјәјә кечидләр Балмер серијасыны, үчүнчүјә кечидләр. Пашен серијасыны вә с. әмәлә кәтирир. Һидрокенин Балмер серијасынын хәтләри H_α, H_β, H_γ вә с. кими ишарә олунур.

Һидрокен атомунун спектрал серијаларына ујғун хәтләрин далға узунлуглары λ вә тезликләри ν

$$\frac{1}{\lambda}=\left(\frac{1}{i^2}-\frac{1}{k^2}\right)\frac{1}{912\ \text{Å}};\quad \nu=R\left(\frac{1}{i^2}-\frac{1}{k^2}\right)$$

дүстурларындан тапылыр; бурада $R=3.29.\ 10^{15}$ сан$^{-1}$–Ридберг сабитидир. $i=1$, $\kappa=2{,}3...$ гијмәтләриндә Лајман серијасы хәтләринин далға узунлуглары вә тезликләри алыныр. L_α үчүн $\lambda\simeq1216$ Å, $\nu=2{,}27\cdot10^{15}$ сан$^{-1}$ L_β үчүн $\lambda\simeq1026$ Å, $\nu=2{,}92\ .10^{15}$ сан вә с.). Беләликлә, һидрокенин Лајман серијасы спектрин узаг ултрабәнөвшәји областында јерләшир.

$i=2$, $\kappa=3{,}4...$ гијмәтләриндә исә һидрокенин Балмер серијасы хәтләринин далға узунлуглары алыныр (H_α үчүн $\lambda\doteq6563$ Å, H_β үчүн $\lambda=4861$ Å, H_γ үчүн $\lambda=4340$ Å, H_δ үчүн $\lambda\simeq4102$ Å вә с.). Беләликлә Балмер серијасынын хәтләри спектрин гырмызы областындан (H_α) бәнөвшәјијә гәдәр кениш диапазонда јерләшир. Пашен серијасынын хәтләри спектрин инфрагырмызы областындадыр.

Нәһајәт, к=∞-дан $i=1$ сәвијјәсинә кечид нәтичәсиндә Лајман континууму (L_c), $i=2$ сәвијјәсинә кечид нәтичәсиндә Балмер континууму (Ba_c) вә с. јараныр) бу кечидләр сәрбәст—бағлы кечидләрдир. Лајман континуунунун гырмызы сәрһәдди 912 Å (јахуд $3{,}29\cdot10^{15}$ сан$^{-1}$)-дир, јә'ни Лајман континуумунда кәсилмәз шүаланма $\lambda\leqslant912$ Å далға узунлугларында, јахуд $\nu\geqslant3{,}29\cdot10^{15}$ сан$^{-1}$ тезликләриндә јерләшир. Балмер континуумунун гырмызы сәрһәдди 3646 Å, јахуд $\nu=8{,}25\cdot10^{14}$ сан-дир, јә'-

ни Балмер континуумда кәсилмәз шүаланма $\lambda \leqslant 3646$ Å далғалар областында, јахуд $\nu \geqslant 8{,}25 \cdot 10^{14}$ сан$^{-1}$ тезликләр областында јерләшир.

Астрофизикада атомларын ионлашма вә һәјәчанланма һалларына көрә пајланмасы мәсәләси дә мүһүм јер тутур. Мә'лумдур ки, һәјәчанланма сәвијјәләринә көрә атомларын пајланмасы термодинамик таразлыг һалында

$$\frac{n_i}{n_1} = \frac{g_i}{g_1} e^{-\frac{\chi_1 - \chi_i}{kT}} \tag{7.41}$$

Болсман дүстуру илә тә'јин олунур. Бурада n_1—әсас, n_i исә i-чи енержи сәвијјәсиндә атомларын консентрасијасы, g_1, g_i-ујғун сәвијјәләрин статистик чәкиси (һәр һансы енержи сәвијјәсинә ујғун һалларын сајы) χ_1, χ_i-бу сәвијјәләрдән ионлашма потенсиалы, к-Болсман сабити, Т температурдур. Бу дүстурда $\chi_1 - \chi_i = h\nu_{1i}$ кими јазмаг олар ($h\nu$ квантын биринчи сәвијјәдән i-чи кечид енержисидир—һәјәчанланма потенсиалыдыр). (7.41) дүстуруну истәнилән енержи сәвијјәләри үчүн јазмаг олар

$$\left(\frac{n_k}{n_i} = \frac{g_k}{g_i} e^{-\frac{\chi_i - \chi_k}{kT}}, \; k > i \right).$$

Термодинамик таразлыгда ионлашма дәрәчәси

$$n_e \frac{n^+}{n_1} = \frac{g^+}{g_1} \cdot \frac{2(2\pi mkT)^{3/2}}{h^3} e^{-\chi_1/kT} \tag{7.42}$$

Саха дүстуру илә тә'јин олунур. Бурада n_e—сәрбәст електронларын консентрасијасы, n^+-ионларын әсас сәвијјәдә консентрасијасы, g^+ — онун әсас һалынын статистик чәкиси, m—електронун күтләси, h—Планк сабитидир.

Һидроен үчүн $g^+ = 1$, $g_1 = 2$, $\frac{\chi_1}{k} = 157200$ олдуғуну нәзә ә алсаг (7.42)-ни

$$n_e \frac{n^+}{n_1} = 2{,}24 \cdot 10^{15} T^{3/2} e^{-\frac{157200}{T}} \tag{7.42^1}$$

кими јазарыг.

Там термодинамик таразлыг һалында шүаланманын интенсивлији Планк, атомларын һәјәчанланма һалларына көрә пајланмасы Болсман, атомларын ионлашма һалларына көрә пајланмасы Саха, атомларын сүр'әтләрә көрә пајланмасы исә Максвелл дүстуру илә тә'јин олунмагла бу дүстурлара дахил олан температур бүтүн һалларда ејни олмалыдыр.

Каинатда елә објект јохдур ки, о, идеал термодинамик таразлыг һалында олсун. Һәтта елә објектләр вар ки, онлар үчүн атомларын һәјәчанланма вә ионлашма һалларына көрә пајланмасына ајрыча бахмаг

вә беләликлә дә Болсман вә Саха дүстурлары әвәзинә јени ифадәләр тапмаг лазым кәлир, шүаланма сыхлығы исә Планк сыхлығындан мүгајисәсиз дәрәчәдә фәргли олур.

4. Реал чисмин шүаланмасы. Каинат објектләри ичәрисиндә физики шәраит бахымындан ән садә објектләр газ думанлыгларыдыр. Бу објектләрдә физики шәраитин хејли садә олмасынын әсас сәбәби онларда маддәнин вә шүаланманын сыхлығынын чох кичик олмасыдыр. Ајдындыр ки, бу сәбәбдән газ думанлыгларындакы шәраит термодинамик таразлыгдан чох кәскин фәргләнмәли вә чох сејрәк газ мүһитинин шүаланма спектри чох зәиф кәсилмәз фонда парлаг хәтләрдән ибарәт олмалыдыр.

Һәр бир белә хәтдә шүаланма интенсивлији (I) мүһитин ρ сыхлығындан, шүаланманын мүһитдә кечдији l јолундан вә әлбәттә мүһитин ε шүаланма әмсалындан асылы олар:

$$I = \varepsilon \rho l. \tag{7.43}$$

(7.20) дүстуруна әсасән $\rho l = \frac{\tau}{\varkappa}$ олдуғундан (7.43)-ү

$$I = \frac{\varepsilon}{\varkappa} \tau \tag{7.44}$$

шәклиндә јазарыг. Ахырынчы ифадәдән көрүнүр ки, шәффаф (оптик назик) газ гатынын шүаланма интенсивлији бу гатын оптик галынлығы илә мүтәнасибдир; $\tau \ll 1$ олдугда белә мүһитин шүаланмасы Кирхһоф ганунундан чох кәскин сурәтдә фәргләнир вә бу һалда термодинамик таразлыгдан һеч чүр истифадә етмәк олмаз.

Инди фәрз едәк ки, бахылан објектин мүшаһидәчијә тәрәф јөнәлмиш һиссәсиндә шүаланманын чыхдығы гат оптик галындыр (јә'ни $\tau > 1$-дир). Онда (7.44) мүнасибәти позулур вә мүһитин өзүндә удулма һадисәси баш верир. $\tau > 1$ олмагла мүһитдә $\frac{\varepsilon}{\varkappa}$ нисбәти һәр јердә ејни оларса, онда објектдән чыхан шүаланманын интенсивлијинин бу мүһитин оптик дәринлијиндән асылылығы

$$I = \frac{\varepsilon}{\varkappa} (1 - e^{-\tau}) \tag{7.45}$$

шәкилдә ифадә едилир. $\tau \ll 1$ олан һалда (7.45) дүстуру (7.44) дүстуруна чеврилир, $\tau \gg 1$ оланда исә (7.45)

$$I = \frac{\varepsilon}{\varkappa} \tag{7.46}$$

шәклиндә јазылыр, јә'ни белә мүһитдә шүаланманын интенсивлији Кирхһоф гануну илә тә'јин едилир. Беләликлә, кифајәт гәдәр оптик галын ($\tau \gg 1$) мүһитдә термодинамик таразлыг шәрти өдәнилир.

Улдузларын (о чүмләдән Күнәшин) дахили гатлары оптик галындыр вә даһа дәрин гатлара кечдикчә τ даһа да бөјүјүр вә бу гатларда термодинамик таразлыг шәрти кифајәт гәдәр дәгиг өдәнилир. Әлбәттә улдузун мәркәзинә доғру температур дәјишдијиндән—бөјүдүјүндән һәр бир гатын мүәјјән температуруна ујғун локал термодинамик таразлыгдан даныша биләрик. Ајдындыр ки, $\tau \gg 1$ шәртини өдәјән улдузун дахили гатларыны шүаланма билависитә тәрк едә билмәз. Бу шүалар һәмин гатларда тамамилә удулур, гатлар өзү исә мүшаһидәчидән бир нөв тәчрид олунур, көрүнмүр. Улдузларын лап үст гатлары исә оптик назик олдуғундан онларын шүаланмадакы пајлары чох кичикдир. Беләликлә улдузу, о чүмләдән Күнәши вә үмумијјәтлә оптик дәринликләри ваһиддән бөјүк, ваһид вә ваһиддән кичик гатлардан ибарәт шүаланма мәнбәјини тәрк едән шүаланманын әсас һиссәси демәк олар ки, $\tau = 1$ шәртини өдәјән гатлардан чыхыр. Бурадан ајдын олур ки, мүшаһидәчинин көрә биләчәји гатлар мәнбәјин там гејри-шәффаф мүһитә чеврилдији дәрин дахили гатлардан үстдә јерләшән гатларыдыр.

Каинат објектләринин спектрләри чох мүхтәлифдир: кәсилмәз спектр вә онун фонунда удулма хәтләри, кәсилмәз спектр вә онун фонунда удулма вә шүаланма (емиссија) хәтләри вә ја золаглары, зәиф кәсилмәз шүаланма фонунда парлаг емиссија хәтләри вә с.

Астрофизикада тәсадүф олунан спектр нөвләриндән бири дә гадаған олунмуш хәтләрдир. Атом спектроскопијасындан мә'лумдур ки, гадаған олунмуш хәтләр сечмә гајдасы илә баш вермәјән кечидләрлә бағлы хәтләрдир.

Мүәјјән едилмишдир ки, интенсив гадаған олунмуш хәтләр јалныз метастабил енержи сәвијјәләриндән ашағы енержи сәвијјәләринә кечидләр нәтичәсиндә јараныр. Дикәр тәрәфдән исә атомун метастабил сәвијјәдә галма мүддәти ади сәвијјәләрдә галма мүддәтиндән милјон вә милјард дәфәләрлә бөјүкдүр. Демәли, метастабил сәвијјәдән спонтан кечидин олмасы үчүн атому бу сәвијјәдән чыхара билән амил олмамалыдыр; белә амил исә ја шүаланма, ја да зәрбә ола биләр. Одур ки, атомун узун мүддәт метастабил сәвијјәдә галмасы үчүн һәм шүаланманын, һәм дә мадднин сыхлығы кифајәт гәдәр кичик олмалыдыр. Күнәш тачы вә газ думанлыгларында, гејд олунан һәр ики шәрт бүтүнлүклә өдәнилир. Каинат објектләриндән бәһс едәркән вә онларын бир сыра физики хүсусијјәтләрини мүәјјәнләшдирәркән онларын спектрләри вә бу спектрләрин јаранма механизмләри илә таныш олмаг чох вачибдир.

5. Шүаланманын полјаризасијасы. Астрофизикада Каинат објектләринин електромагнит шүаланмасынын полјаризасијасыны өјрәнмәк мүһүм проблем һесаб едилир. Мә'лумдур ки, һәр бир електромагнит далғасында шүаланма мүәјјән јајылма мүстәвисинә маликдир. Рәгс едән електрик саһәсинин кәркинлик вектору мәһз бу мүстәвидә јерләшир. Мәнбәјин шүаланмасында полјаризасија јохдурса, бу мүстәвинин бүтүн вәзијјәтләриндә шүаланма интенсивлији сабит галыр. Мә'лумдур ки, полјаризә олунмајан ишыг тәбии ишыг адланыр. Әлбәттә, Каинат објектләринин әксәријјәтиндә, ишыг, тәбии ишыгдыр. Чүнки бу објект-

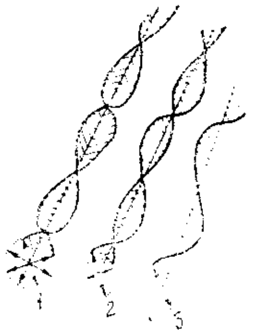
ләрин сајсыз-һесабсыз атомларынын чох мүхтәлиф истигамәтләрдә полјаризә олунмуш шүаланмалары топланыр вә нәтичәдә шүаланманын јајылмасында үстүн истигамәт олмур, ишыг тәбииләшир. Амма ишығын әкс олунмасы вә сәпилмәси һадисәләри күчлү олан һалларда полјаризәләшмә үчүн мүәјјән шәраит јараныр. Мәсәлән, планетләрин сәтһиндән әкс олунан Күнәш шүалары полјаризә олунур вә бу шүаларын полјаризасија дәрәчәси Күнәш шүасынын дүшдүјү јерин физики вә кимјәви тәбиәтиндән вә һәмин шүаларын гајытма бучағындан асылыдыр. Мәсәлән, фәрз едәк ки, Күнәш шүалары шүшәјәбәнзәр чисим үзәринә дүшүр вә бу шүаларын гајытма бучағы 58°-дир. Онда белә чисимдән гајыдан шүалар там (100%) полјаризә олур. Шүаларын полјаризасија дәрәчәси p фаизләрлә ашағыдакы мүнасибәтдән тапылыр:

$$p = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \cdot 100\%.$$

Мә'лумдур ки, полјаризасија варса полјаризаторун (кварс кристалын, чөл шпатынын, јахуд кристаллик маддә үзәринә емулсија чәкилмиш полјароид лөвһәсинин) мүәјјән вәзијјәтиндә шүаланма интенсивлији I_{max} оларса, она перпендикулјар вәзијјәтдә I_{min} олур вә полјаризасија дәрәчәси p јухарыдакы дүстурла тапылыр. Бу мисалдан ајдындыр ки, планетләрдән гајыдан ишығын полјаризасија тәбиәтини өјрәнмәклә доғрудан да онун сәтһинин физики вә кимјәви тәбиәти һаггында мүәјјән мә'лумат әлдә етмәк олар. Каинат шүалары Јер вә башга планетләрин атмосфериндә јајыларкән полјаризәләшир вә белә шүалар чох зәнкин мә'лумат мәнбәидир.

Ишығын сәпилмәсиндә вә ја шүаланмасында електронлар әсас рол ојнајырларса, бу ишыг полјаризә олунмалыдыр. Өзү дә сәпилән ишыг шүасы дүшән шүа илә 90° бучаг әмәлә кәтирирсә полјаризасија там (100%) олмалыдыр. Ишыг атмосфер молекуллары вә тоз зәррәчикләриндән дә сәпиләндә гисмән полјаризә олунур. Астрофизикада белә һаллара тез-тез тәсадүф едилир.

97-чи шәкилдә полјаризә олунмамыш тәбии (1), гисмән полјаризә олунмуш (2) вә там полјаризә олунмуш (3) ишығын тәсвири верилмишдир. Бурада охларын узунлуглары ишыг далғаларынын интенсивлији илә мүтәнасибдир.



Шәкил 97. Полјаризә олунмамыш (1), гисмән полјаризә олунмуш (2) вә там полјаризә олунмуш (3) ишыг; охларын узунлуғу ишығын интенсивлији илә мүтәнасибдир.

6. Магнит саһәсинин спектрал хәтләрә тә'сири. Зеједман еффектинә әсасән магнит саһәси спектрал хәтләрә тә'сир едир. Ән садә һалда магнит саһәсинин тә'сири беләдир: магнит гүввә хәтләри истигамәтиндә спектрал хәтләр ики компонентә парчаланыр вә һадисә узунуна Зеједман еффекти адланыр; магнит гүввә хәтләринә перпендикулјар истигамәтдә исә спектрал хәтләр үч компонентә парчаланыр вә һадисә енинә

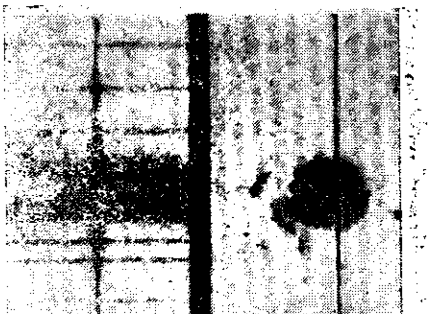
Зејеман еффекти адланыр; магнит гүввә хәтләринә перпендикулјар истигамәтдә исә спектрал хәтләр үч компонентә парчаланыр вә һадисә енинә Зејеман еффекти адланыр. Узунуна Зејеман еффектиндә компонентләр арасындакы мәсафә (јахуд енинә Зејеман еффектиндә кәнар компонентләр арасындакы мәсафә)

$$2\Delta\lambda = 9{,}4 \cdot 10^{-5} g \lambda^2 H \qquad (7.47)$$

дүстуру илә тапылыр. Бурада g—мүхтәлиф елементләр вә онларын хәтләри үчүн мүхтәлиф олан Ланде вуруғу, λ верилмиш хәттин сантиметрлә далға узунлуғу, H—магнит саһәсинин Гаусларла кәркинлијидир. Бу дүстурдан көрүрүк ки, $g \simeq 1$ гәбул етсәк $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$см-дә ($\lambda = 5000$ Å-дә) вә $H = 4000$ Гс-да $2\Delta\lambda = 0{,}094$ Å олар. Бу мисалда H үчүн гәбул етдијимиз гијмәт Күнәш ләкәләри адланан төрәмәләрдә мүшаһидә едилир вә белә саһә Күнәшдә ән күчлү локал магнит саһәси һесаб олунур. Бунунла белә магнит саһәсинин тә'сири илә јаранан компонентләр арасындакы мәсафә (хәттин парчаланмасы) чох кичик олур. Бу сәбәбдән Зејеман еффекти әксәр һалларда өзүнү спектрал хәттин кенишләнмәси кими көстәрир. Бу, 98-чи шәкилдән ајдын көрүнүр. Бу шәкилдә Күнәш ләкәсиндә Зејеман еффекти тәсвир едилмишдир. Шәклин сағ тәрәфиндә Күнәш ләкәси вә спектрографын јарығынын вәзијјәти, сол тәрәфиндә исә магнит саһәсинин тә'сири илә спектрал хәттин мәркәзи һиссәсиндә кенишләнмә (парчаланма) көстәрилмишдир.

§ 80. СПЕКТРАЛ ХӘТЛӘРИН КЕНИШЛӘНМӘСИ

Мә'лумдур ки, мүхтәлиф физики вә һәндәси еффектләрин тә'сириндән спектрал хәтләр сөзүн әсл мә'насында монохроматик олмур: хәтт мүәјјән енә малик олур—хәттин мәркәзи тезлијинә јахын тезликләрдә дикәр фотонлар да удулур. Бу удулманын еһтималы удулма әмсалындан асылыдыр. Удулма әмсалынын тезликдән асылылығы мүхтәлиф һалларда мүхтәлифдир. Спектрал хәтләрин кенишләнмәсинә сәбәб олан еффектләр ашағыдакылардыр: 1) шүаланманын сөнмәси (классик електрон нәзәријјәси бахымындан) нәтичәсиндә јаранан еффект, јахуд



Шәкил 98. Күнәш ләкәсиндә Зејеман еффекти; сағ тәрәфдә гара хәтлә спектрографын јарығынын вәзијјәти көстәрилмишдир; сол тәрәфдә ләкәнин магнит саһәсиндә спектрал хәттин мәркәзиндә кенишләнмә көстәрилмишдир

әсас сәвијјә мүстәсна олмагла атомун енержи сәвијјәләринин јајылмыш олмасы (квант механикасы бахымындан) нәтичәсиндә јаранан еффект; 2) атомларын истилик һәрәкәти нәтичәсиндә јаранан Доплер еффекти, 3) шүаландыран (удан) атома кәнар зәррәчикләрин тә'сири нәтичәсиндә јаранан тәзјиг еффекти, хүсусилә ион вә електронларын тә'сири илә јаранан Штарк еффекти.

Бүтүн бу сәбәбләрин маһијјәти хүсуси физика курсларында өјрәнилир. Хәттин кенишләнмәсинә сәбәб олан еффектләр астрофизикада чох кениш өјрәнилир вә онлара тез-тез истинад едилир.

Улдуз атмосферләриндә атом, ион вә електронларын консентрасијасынын, температурун, кимјәви тәркибин тә'јининдә, турбулент һәрәкәтләрин өјрәнилмәсиндә вә башга бир сыра астрофизика мәсәләләриндә спектрал хәтләрин кенишләнмәси механизмләрини ашкара чыхармаг вә гијмәтләндирмәк мүһүм јер тутур.

§ 81. ДОПЛЕР ЕФФЕКТИ ВӘ ОНУН АСТРОФИЗИКАДА БӘ'ЗИ САДӘ ТӘТБИГЛӘРИ

Әввәлчә бу еффектин маһијјәти илә таныш олаг. Ишыг мәнбәјинин бир санијәдә ν_0 сајда далға шүаландырдығыны гәбул едәк. Бу тезлијә ујғун далғанын узунлуғу λ_0 олсун $\left(\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}\right)$. Фәрз едәк ки, бу мәнбә $v_r \frac{км}{сан}$ сүр'әтлә мүшаһидәчидән узаглашыр. Онда мүәјјән анда мәнбә r мәсафәдә оларса, бир санијәдән сонра $(r + v_r)$ мәсафәдә олар. Демәли санијәнин әввәлиндә бурахылан далға $\frac{r}{c}$ санијәдән сонра мүшаһидәчијә чатырса, санијәнин сонунда бурахылан далға $\frac{r}{c} + \frac{v_r}{c}$ санијәдән сонра һәмин мүшаһидәчијә чатар, јә'ни ахырынчы ишыг далғасы $\frac{v_r}{c}$ санијә кечикәр. Беләликлә мүшаһидәчи ν_0 сајда далғаны бир санијәдә дејил, $1 + \frac{v_r}{c}$ санијә әрзиндә гәбул едәр, јә'ни мүшаһидә олунан шүаланма тезлији $\nu = \frac{\nu_0}{1 + v_r/c}$ олар. Мүшаһидә олунан тезлијә ујғун далға узунлуғу λ оларса онда сонунчу бәрабәрликдән

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda = \frac{v_r}{c}\lambda_0 \qquad (7.48)$$

ифадәсини аларыг. Бу, Доплер еффектинин ријази ифадәсидир. Ајдындыр ки, мәнбә узаглашанда $\lambda - \lambda_0 > 0$ олур, јә'ни мүшаһидә олунан спектрал хәтләр узун далғалара тәрәф сүрүшүр; буна спектрин гырмызы учуна тәрәф сүрүшмә дә дејилир. Мәнбә мүшаһидәчијә јахын-

лашарса $\lambda-\lambda_0<0$ олур, јә'ни мүшаһидә олунан спектрал хәтләр спектрин гыса далғалар областына тәрәф сүрүшүр; буна спектрин бәнөвшәји учуна тәрәф сүрүшмә дә дејилир. Бу дедикләримиздән вә (7.48)-дән ајдындыр ки, мәнбә узаглашарса шүа сүр'әти мүсбәт ($v_r>0$), јахынлашарса мәнфи ($v_r<0$) олур.

Доплер еффектинин релјативист варианты нисбилик нәзәријјәсиндә верилир. Бу вариант, сүр'әт ишыг сүр'әти илә мүгајисә олундугда нәзәрә алыныр. Гејд етмәк лазымдыр ки, нисбилик нәзәријјәсинә көрә Доплер еффекти бахыш шүасына перпендикулјар һәрәкәт едән мәнбә үчүн сыфырдан фәргли олур; бу, *енинә Доплер еффекти* адланыр. Истәр енинә, истәрсә дә ади Доплер еффекти нәтичәсиндә спектрал хәттин сүрүшмәси $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ илә мүтәнасибдир. Доплер еффектинин релјативист варианты илә космолокијада тез-тез растлашырыг.

Дедик ки, Доплер еффектинин астрофизикада тәтбиг даирәси чох кенишдир. Бунларын бә'зиләри илә таныш олаг. Јерин Күнәш әтрафында ~ 30 км/сан сүр'әтлә иллик һәрәкәтә малик олдуғуну билирик. Бу сүр'әтин вектору фәзада истигамәтини даим дәјишир. Јерин мүәјјән анда сүр'әт вектору истигамәтиндә һәр һансы бир улдуздан узаглашдығыны вә ја она јахынлашдығыны фәрз едәк. Онда бу улдузун спектрал хәтләри биринчи һалда спектрин гырмызы, икинчи һалда исә бәнөвшәји тәрәфинә $\Delta\lambda=\frac{v_r}{c}\lambda_0=10^{-4}\lambda_0$ гәдәр сүрүшәр. $\lambda_0=5000$ Å оларса сүрүшмә $\Delta\lambda=0{,}5$ Å олар ки, ону да тәчрүбәдә асанлыгла өлчмәк мүмкүндүр. Ајдындыр ки, сүр'әт вектору истигамәтиндә узаглашма вә ја јахынлашма елә улдузлара аид олар ки, онлар еклиптика мүстәвиси үзәриндә Күнәшә нисбәтән 90° шәргдә (бу заман улдуз мүшаһидәчидән узаглашар), ја да гәрбдә (бу заман исә улдуз мүшаһидәчијә јахынлашар) олсунлар.

Јерин Күнәш әтрафында һәрәкәти нәтичәсиндә улдузларын спектриндә мүшаһидә олунан сүрүшмә улдузларын еклиптика мүстәвисинә нәзәрән вәзијјәтиндән асылыдыр. Бу сүрүшмә еклиптиканын гүтбләринә доғру кичилир вә еклиптиканын гүтбүндә сыфыр олур. Јери Күнәшлә бирләшдирән хәтт үзәриндә јерләшән улдузлар үчүн дә $v_r=0$-дыр.

Јерин өз оху әтрафында фырланмасы нәтичәсиндә дә сәма чисимләринин спектр хәтләриндә сүрүшмә баш верир. Лакин бу фырланманын хәтти сүр'әти нисбәтән кичик, һәтта екваторда чәми $\sim 0{,}5$ км/сан олдуғундан бу сүрүшмә ән чоху $\sim 0{,}008$ Å-дир вә практики нәзәрә алмамаг олар.

Практикада објектин шүа сүр'әти онун сечилмиш спектрал хәтләринин λ далға узунлугларынын һәмин хәтләрин λ_0 лаборатор далға узунлуглары илә мүгајисәсиндән тапылыр. $\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0$ Доплер сүрүшмәси спектрокомпаратор вә ја микроскоп—микрометрләрин көмәји илә тә'јин едилир. $\Delta\lambda$ Доплер сүрүшмәси бу гајда илә тә'јин едилдикдән сонра шүа сүр'әти v_r (7.38) дүстуруна әсасән һесабланыр.

15*

Сонра Јерин иллик һәрәкәт сүр'әтинин бахыш шүасы үзрә проjексиjасыны v_r сүр'әтиндән чыхмагла улдузун Күнәш системинә нисбәтән шүа сүр'әти тапылыр.

Күнәшин фырланмасыны дәгиг өјрәнмәк үчүн мәһз Доплер еффектиндән истифадә олунур. Күнәш физикасыны өјрәнәркән бу мәсәлә әтрафлы шәрһ едиләчәкдир (бах: § 68).

Улдузларын фырланмасыны Күнәшинки кими кениш вә дәгиг өјрәнмәк чох чәтиндир; чүнки улдузлар ән нәһәнк телескопда белә нөгтәви мәнбә кими көрүнүр. Бүтүн чәтинликләрә бахмајараг улдузларын фырланмасыны өјрәнмәк үчүн мүәјјән методлар верилмишдир. Бу тәдгигатларда фырланма илә әлагәдар олараг улдузун спектрал хәтләринин Доплер еффекти нәтичәсиндә кенишләнмәсини мүәјјән едиб өјрәнмәк әсасдыр. Мүхтәлиф улдузларын фырланмасы мәсәләси илә § 120-дә әтрафлы таныш олачајыг.

Әввәлки параграфда (§ 80) гејд етмишдик ки, спектрал хәтләрин кенишләнмәсиндә атомларын истилик һәрәкәти нәтичәсиндә јаранан Доплер еффекти әсас роллардан бирини ојнајыр.

Фәрз едәк ки, Каинат објектинин спектриндә хәтләрин кенишләнмәси атомларын истилик һәрәкәтинин нәтичәсиндә баш вермишдир. 95-чи шәкилдә мүхтәлиф шүа сүр'әтинә малик олан зәррәчикләрин нисби мигдары, јә'ни ујғун зәррәчикләрин консентрасијасынын шүа сүр'әтләринә көрә пајланмасы тәсвир олунмушдур (бах: § 79). Шәкилдә бу пајланма гырыг хәтли әјри васитәсилә көстәрилмишдир. Бу пајланманын (7.39) дүстуру васитәсилә верилдијини дә билирик. Бу, Максвел пајланмасыдыр вә бу пајланмаја көрә зәррәчикләрин сајы $e^{-(v_r/v^*)^2}$ илә мүтәнасибдир. јә'ни $\left(\frac{v_r}{v^*}\right)^2$ бөјүдүкчә зәррәчикләрин сајы експоненсиал ганунла азалыр. Инди һәмин зәррәчикләри шүаландыран атомлар олдуғуну вә бу атомлардан ибарәт мүһитдә өзүндә удулма олмадығыны, јә'ни мүһитин оптик назик олдуғуну фәрз едәк. Бу һалда шүаланма интенсивлији бахыш шүасы истигамәтиндә јерләшән атомларын сајы илә мүтәнасиб олар. Атомларын сајы исә шүа сүр'әтиндән асылы олараг (7.39) гануну илә дәјишдијиндән шүаланан енержинин спектрал хәттин дахилиндә пајланмасы, јә'ни хәттин контуру 95-чи шәкилдәки пајланма кими олмалыдыр. Спектрал хәттин дахилиндә шүаланан енержинин (интенсивлијин вә ја шүаланма селинин) тезлијә көрә пајланмасы графикичә хәттин контуру вә ја профили дејилдијини билирик. Беләликлә, анҹаг атомларын истилик һәрәкәти нәтичәсиндә кенишләнән вә оптик назик мүһитдә јаранан спектрал хәттин контуру—профили

$$I = I_0 e^{-(v_r/v^*)^2} \qquad (749)$$

тәнлији илә ифадә олунур. Бу профил 99-чу шәкилдә көстәрилмишдир. (7.49) дүстурундан көрүрүк ки, $v_r = 0$ оланда $I = I_0$ олур; бу исә хәттин мәркәзи интенсивлијидир (95-чи вә 99-чу шәкилләрә бах вә мүгајисә ет); $v_r = v^*$ оланда (7.49) дүстурундан $I = \frac{I_0}{e}$ аларыг, јә'ни шүа сүр'әти v_r ән еһтималлы сүр'әтә бәрабәр оланда хәтт дахилиндә шүаланманын интенсивлији e дәфә кичилир. 99-чу шәкилдә $v_r = v^*$ һалы-

на ујғун олан нөгтәдә интенсивлик мәркәзи интенсивлијин $\frac{1}{e} \simeq 0,37$ һ. с-сәсини, башга сөзлә 37%-и тәшкил едир. Хәттин профилинин мәркәзи интенсивлијин бу гијмәтинә ујғун кәлән нөгтәләри арасында галан вә ангстремләрлә ифадә едилән мәсафә һәмин хәттин Доплер ени адланыр.

Хәттин профилинин $\Delta\lambda_D$ Доплер енинә ујғун јериндә $v_r = v^*$ олдуғундан

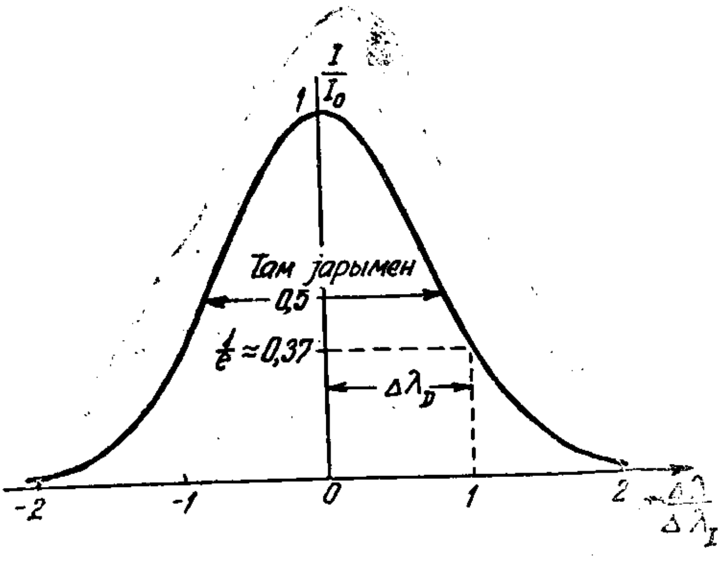
$$\Delta\lambda_D = \frac{v^*}{c}\lambda_0$$

олар. Шүаландыран атомун истилик һәрәкәтинин кинетик енержиси дүстурундан $\left(\frac{mv^2}{2} = kT\text{-дән}\right)$ тапылан ән еһтималлы сүр'әтин

$$v^* = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

ифадәсини јухарыда $\Delta\lambda_D$ үчүн јазылан ифадә илә мүгајисә етмәклә

$$T = \frac{mc_2}{2k}\left(\frac{\Delta\lambda_D}{\lambda_0}\right)^2 \qquad (7.70)$$



Шәкил 99. Спектрал хәтдә Доплер еффекти.

аларыг. Бурада T—атомларын анчаг истилик һәрәкәтини нәзәрә алмагла оптик назик мүһитин кинетик температурудур. Практикада чох вахт мүһит оптик галын олур вә одур ки, профил Гаусс әјриси илә тәсвир олунмур. Бу һалда температурун тә'јини мәсәләси чәтинләшир.

Мәркәзи интенсивлијин јарысына бәрабәр профил нөгтәләри арасындакы мәсафә контурун там јарымени адланыр вә $2\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}$ илә ишарә олунур. 99-чу шәкилдә $\frac{I_0}{I} = 1$ ординатыны тәнбөлән нөгтәдән хәттин контуруна гәдәр мәсафә хәттин јарыменидир ($\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}$ илә ишарә олунур).

Бир сыра улдузларын спектроскопик тәдгигиндән мә'лумдур ки, онларын атмосфериндә атомларын орта хаотик һәрәкәт сүр'әти v бу атомларын орта истилик һәрәкәт сүр'әтиндән бир нечә дәфә бөјүкдүр. Улдуз атмосферләриндә атомларын истилик һәрәкәти илә јанашы газларын хаотик һәрәкәтинин башга бир нөвүнүн дә олмасы тәсәввүрү бу дәлилә әсасән јаранмышдыр. Бу нөв һәрәкәт «турбулент» һәрәкәт адландырылмышдыр (ола билсин ки, бу, јер лабораторијасындан мә'лум олан турбулент һәрәкәтдән фәргләнир). Беләликлә атомларын там хаотик һәрәкәт сүр'әти үчүн јазмаг олар:

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_t^2}\,; \tag{7.51}$$

бурада v_0—атомларын орта истилик һәрәкәт сүр'әти (биз буну зәррәчикләрин ән еһтималлы сүр'әти гәбул етмишдик), v_t—шүаландырычы мүһитин турбулент һәрәкәт сүр'әтидир. Турбулент һәрәкәтләр нәтичәсиндә спектрал хәтләрин профили кенишләнмәлидир. Һесаб едилир ки, турбулент һәрәкәтдә иштирак едән газ күтләләринин хәтти өлчүсү улдуз атмосферинин галынлығындан чох кичик оларса беләә газ күтләләри өзләрини атомлар кими көстәрир, јә'ни бу һалда онлар атомларын истилик һәрәкәтиндән јаранан Доплер еффекти кими спектрал хәтләрин кенишләнмәсинә вә хәттин контуру илә әһатә олунан саһәнин бөјүмәсинә сәбәб олмалыдыр. Башга сөзлә бу һалда хәтләр әлавә кенишләнирләр вә удан вә ја шүаландыран атомларын сајы санки артыр—удулма вә ја шүаланма күчләнир. Турбулент һәрәкәтдә иштирак едән газ күтләләринин хәтти өлчүләри улдуз атмосферинин галынлығы илә мүгајисә олунандырса, онда да спектрал хәтт кенишләнир, лакин беләә кенишләнмә нәтичәсиндә хәттин контуру илә әһатә олунан саһә бөјүмүр. Башга сөзлә бу һалда турбулент һәрәкәтдә иштирак едән газ күтләләри һеч бир әлавә удулма вә ја шүаланмада иштирак етмир, спектрал хәттин кенишләнмәси исә јалныз хәттин $\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}$ јарыменинин бөјүмәсинә сәбәб олур.

Беләликлә, спектрал хәтләрин профилләрини өјрәнмәклә шүаландыран мәнбәдә газларын мүхтәлиф (микро вә макро) һәрәкәтләрини дә өјрәнмәк олур.

§ 82 АСТРОСПЕКТРОСКОПИЈАНЫН КАИНАТ ОБЈЕКТЛӘРИНИН КИМЈӘВИ ТӘРКИБИНИ ӨЈРӘНМӘЈӘ ТӘТБИГИ ҺАГГЫНДА ҮМУМИ АНЛАЈЫШ

Спектрал хәтләрин профилләрини мүкәммәл тәдгиг етмәклә Каинат објектинин кимјәви тәркибини өјрәнмәк, јә'ни објектдә һансы кимјәви елементләрин олмасы вә онларын нисби мигдары һаггында мүәјјән нәтичәјә кәлмәк олур. Објектин спектрал хәтләрини мүхтәлиф елементләрин јер лабораторијасында алынан спектрал хәтләри илә мүгајисә етмәклә һәмин објектдә һансы кимјәви елементләрин олмасы һаггында илк мә'лумат әлдә едилир. Бу заман она әсасланырлар ки, һәр елементин атом вә ја молекулу јалныз өзүнә мәхсус спектрә маликдир. Лакин Каинат објектиндә һәгигәтән һансы елементләрин олмасы, өзү дә һансы нисбәтдә олмасыны тапмаг чох чәтин ишдир. Доғрудан да, физики шәраит елә ола биләр ки, објектдә әслиндә мөвчуд олан бу вә ја дикәр елементә аид спектрал хәтләр мүшаһидә едилмәјә биләр. Мәсәлән, нә гәдәр ки, күнәш тутулмаларынын спектрографик мүшаһидәләри апарылмырды, илк дәфә Күнәшдә тапылан вә һелиум адландырылан елементин варлығы һагда һеч тәсәввүр белә јох иди. 1868-чи илдән сонра там күнәш тутулмалары заманы апарылан спектрографик мүшаһидәләрдән мүәјјән едилди ки, Күнәшдә елә бир елемент вар ки, о, Јердә мә'лум дејилдир. Бу елементә һелиум ады верилди (һелиос —јунанча Күнәш демәкдир). Беләликлә, мә'лум олду ки, күнәш фотосфери адланан вә Күнәшин оптик шүаланмасына сәбәб олан гатында физики шәраит еләдир ки, белә шәраитдә һелиум хәтләри јарана билмәз, фотосфердән үстдә хромосфер адланан күнәш атмосфери гатында исә һелиум хәтләринин әмәлә кәлмәси үчүн физики шәраит мөвчуддур. Лакин бу үст гатларын мүшаһидәси јалныз там күнәш тутулмасы заманы вә ади шәраитдә хүсуси чиһазларла мүмкүн олур (бах § 92). (Јердә һелиум Күнәшдә мүшаһидә едиләндән сонра—1895-чи илдә тапылмышдыр).

Инди мә'лумдур ки, һелиум бүтүн улдузларда вардыр вә һидрокендән сонра Каинатда ән чох јајылмыш кимјәви елементдир. Каинат күтләсинин 98 %-и улдузларын пајына дүшүр. Демәк каинат күтләсинин әсас һиссәсини һидрокен, сонра исә һелиум тәшкил едир.

Астрофизикада елә објектләр, (јахуд ејни објектин елә гатлары) вар ки, онларын спектрал хәтләринин һансы елементә мәхсус олдуғуну асанлыгла мүәјјән етмәк олмур. Бу да кимјәви тәркибин тә'јининдәки башга бир чәтинликдир. Мәсәлән, күнәш тачында чохлу емиссија хәтләри мүшаһидә олунур ки, онларын јүксәк дәрәчәдә ионлашмыш Fe, Ni, Ar, Ca кими елементләрә аид олдуглары XX әсрин отузунчу илләринин лап ахырларында мүәјјән едилмишдир (бах § 93). Буна бәнзәр һадисәјә газ думанлыгларында да тәсадүф едилмишдир. Белә ки, бүтүн газ думанлыгларынын спектриндә мүшаһидә олунан бир сыра чох парлаг емиссија хәтләринин һансы елементләрә мәхсус олмасы мәсәләси узун илләр ачыг галмышды. Һәтта Јердә мә'лум олмајан бу елементә «небулија» ады верилмишдир (небуле—инкилисчә

«думанлыг» демәкдир). Сонралар мә'лум олду ки, һәмин хәтләр OI, OII, OIII, NII вә с. ионлара мәхсусдурлар.

Каинат објектләринин кимјәви тәркибинин тә'јининдә башга чәтинликләр дә вардыр. Бунлардан икиси даһа характерикдир:

а) Објектин спектриндә бу вә ја дикәр елементә мәхсус спектрал хәтләр чох интенсивдирсә, бу һәлә һәмин елементин нисби чохлуғу демәк дејил. Мәсәлән, Күнәшин спектриндә калсиум хәтләри, хүсусилә бир дәфә ионлашмыш калсиумун бә'зи хәтләри ән интенсивдир. Лакин дәгиг тәдгигатлар көстәрди ки, бу елемент Күнәшдә хәтләри чох зәиф көрүнән бир чох елементләрдән мигдарча хејли аздыр.

б) Бу вә ја дикәр атома мәхсус спектрал хәтләр спектрин Јердән мүшаһидә олунмајан һиссәсиндә јерләшә биләр. Ајдындыр ки, һәмин хәтләри јалныз атмосфердәнкәнар астрономија үсулларыны тәтбиг етмәклә мүшаһидә етмәк олар.

Гејд етмәк лазымдыр ки, мүшаһидә олунан бүтүн улдузлар ејни кимјәви елементләрдән ибарәт олсалар да вә бунларда һидрокен вә һелиум ~99%-и, галан елементләр исә 1%-дән дә кичик һиссәни тәшкил етсә дә улдузларын нисби кимјәви тәркибләри тамамилә ејни дејил: елә улдузлар вар ки, онларда «һидрокен чатышмазлығы» (һидрокенин әксәр улдузлардакына нисбәтән бир гәдәр аз олмасы), «ағыр елементләрин чатышмазлығы» вә кимјәви тәркибә көрә башга аномалијалар мүшаһидә олунур. Бунлар улдузларын јаранмасы, тәкамүлү вә јашы һаггында мараглы мә'лумат әлдә етмәјә вә нәтичә чыхармаға имкан верир.

Улдузлар Каинатын үмуми күтләсинин әсас һиссәсини тәшкил етдијиндән космик фәзанын орта нисби кимјәви тәркиби улдузларын орта нисби кимјәви тәркиби кими олар.

4-чү чәдвәлдә орта Каинатда—орта космосда бә'зи характерик кимјәви елементләрин нисби пајланмасы верилмишдир.

Чәдвәл 4

Орта Каинатда—орта космосда бә'зи характерик кимјәви елементләрин нисби пајланмасы.

Елемент	Атомларын нисби сајы	Елемент	Атомларын нисби сајы
Һидрокен	1000000	Күкүрд	20
Һелиум	100000	Магнезиум	20
Оксикен	1000	Дәмир	6
Карбон	400	Натриум	2
Неон	200	Алүминиум	2
Азот	100	Аргон	2
Силисиум	60	Калсиум	1

Бу чәдвәлдә елә һәчм елементи көтүрүлмүшдүр ки, орада 10^6 сајда һидрокен атому вардыр. Галан елементләрин атомлары мәһз бу һәчмдә ифадә едилмишдир. Чәдвәлдән көрүнүр ки, доғрудан да һид-

рокен Каинатда ән чох јајылмыш кимјәви елементдир, сајча һелиум бундан тәгрибән 10 дәфә аздыр, галан бүтүн елементләрин нисби мигдары исә чох аздыр вә онлар һидрокенин сајча чәми 0,14%-ини тәшкил едир; мәсәлән, метал атомлары сајча һидрокендән 10^4 дәфә аздыр.

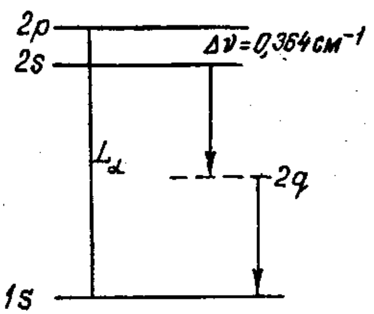
Астроспектроскопијаја аид верилән чох гыса вә үмуми мә'луматлардан көрүнүр ки, бу тәдгигат үсулу хүсусилә спектрофотометрија, астрофизика проблемләринин һәллиндә мисилсиз әһәмијјәт кәсб едир.

III һиссә

ФИЗИКАНЫН БИР СЫРА БӨЛМӘЛӘРИНИН АСТРОФИЗИКИ МӘХСУСИЈЈӘТЛӘРИ

§ 83. АТОМ СПЕКТРОСКОПИЈАСЫНЫН БӘ'ЗИ АСТРОФИЗИКИ МӘХСУСИЈЈӘТЛӘРИ

Атом физикасындан мә'лумдур ки, мүәјјән һәјәчанланмыш сәвијјәдән ән јахын ашағы сәвијјәјә спонтан кечидләр һәм бир, һәм дә ики квантын шүаланмасы илә нәтичәләнә биләр. 100-чү шәкилдә һидрокен атомунун әсас енержи сәвијјәси (1s) вә ики алт сәвијјәдән (2s, 2p) ибарәт јахын үст енержи сәвијјәси көстәрилмишдир. 2p үст сәвијјәдән 1s алт сәвијјәсинә кечид Лајман серијасынын алфа хәттиндә (L_α-да) шүаланма илә нәтичәләнир. Шәкилдә 2q сәвијјәси, һаггында бәһс етдијимиз ики сәвијјә арасындадыр. Демәли, үст сәвијјәдән алт сәвијјәјә кечид бирбаша дејил, әввәл 2q сәвијјәсинә, орадан да алт сәвијјәјә оларса бир квант дејил, ики квант шүаланар вә бунларын енержиләри чәми әлбәттә L_α квантынын енержисинә бәрабәр олар. Дикәр тәрәфдән аралыг 2q сәвијјәси ики сәвијјә арасында истәнилән јердә ола биләр. Одур ки, үст сәвијјәдән алт сәвијјәјә кечид аралыг 2q сәвијјәсинә, орадан да алт сәвијјәјә оларса шүаланма кәсилмәз олар. Нормал сәвијјәдән (2p-дән) белә кечидләрин еһтималы бирбаша кечид еһтималындан чох-чох кичикдир. Лакин метастабил сәвијјәдән (2s-дән) белә кечидләрин еһтималы бирбаша кечид еһтималындан бөјүкдүр.



Шәкил 100. Һидрокен атомунун икифотонлу шүаланма схеми.

Бунун нәтичәсиндә икифотонлу шүаланма кәсилмәз спектрин күчләнмәсиндә мүһүм рол ојнаја биләр. Гејд етмәк лазымдыр ки, белә шүаланманы јер лабораторијасында јаратмаг мүмкүн дејилдир. Лакин газ думанлыгларында газларын вә шүаланманын сыхлығы о гәдәр кичикдир ки, башга зәррәчикләрлә тоггушма вә ја шүаланманын тә'сири илә метастабил сәвијјәдән јухары сәвијјәләрә һәјәчанланма практики олараг баш вермир. Нә-

тичәдә 2s метастабил сәвијјәдә һидрокен атомларынын консентрасијасы кифајәт гәдәр бөјүк олур. Бу исә өз нөвбәсиндә ики фотонлу кәсилмәз шүаланманын күчлү олмасына кәтирир. Беләликлә, газ думанлыгларында кәсилмәз спектрдә шүаланмада рекомбинасијадан вә сәрбәст-сәрбәст кечидләрдән башга ики фотонлу кәсилмәз шүаланма да әһәмијјәтли рол ојнајыр.

Атом спектроскопијасынын астрофизики мәхсусијјәтләриндән бири дә јер лабораторијасындан фәргли олараг һидрокен атомларынын чох јухары енержи сәвијјәләринин ајырд едилмәси үчүн шәраитин олмасыдыр. Буну ајдынлашдырмагдан өтрү рекомбинасија просесинә бахаг.

Мә'лумдур ки, атомун һәр бир енержи сәвијјәсинә рекомбинасијасынын өз еһтималы вардыр. Бу еһтимал рекомбинасија әмсалы адланан кәмијјәтлә тә'јин олунур. Рекомбинасија әмсалы исә (һидрокен үчүн) 1 санијәдә бир протон вә бир електронун пајына дүшән рекомбинасијаларын сајыдыр. Һидрокен атому үчүн бүтүн сәвијјәләрә рекомбинасија әмсалы тәгрибән

$$C(T) \simeq 4 \cdot 10^{-13}\left(\frac{10^4}{T}\right)^{1/2} \qquad (7.52)$$

дүстуру илә һесабланыр; бурада T—газын кинетик температурудур. Һидрокен атомунун әсас сәвијјәсинә рекомбинасијаларын сајы үмуми рекомбинасијаларын $\sim$ 40%-ини тәшкил едир; икинчи сәвијјәјә рекомбинасијаларын сајы үмуми рекомбинасијаларын $\sim$ 20%-идир, сәвијјәнин нөмрәси бөјүдүкчә һәмин сәвијјәјә рекомбинасијаларын сајы да азалыр. Характерик рекомбинасија мүддәти, јә'ни рекомбинасија нәтичәсиндә сәрбәст електронларын ваһид һәчмдәки сајынын е дәфә азалмасы үчүн сәрф олунан вахт

$$\tau_p = \frac{1}{C(T)n_e} \qquad (7.53)$$

дүстуру илә тапылыр; бурада n_e—сәрбәст електронларын консентрасијасыдыр.

Улдуз атмосферләриндә вә газ думанлыглары үчүн характерик шәраитдә $T \simeq 10^4 K$-дир. Онда (7.52) дүстуруна әсасән $C(T) = 4 \cdot 10^{-13}$ см^3/сан олар. С(Т)-нин бу гијмәтиндә, һәмчинин улдуз атмосферләри вә газ думанлыгларында електрон консентрасијасынын характерик гијмәтләриндә, јә'ни ујғун олараг $n_e = 10^{13}$см$^{-3}$, $n_e = 10^3$ см$^{-3}$ олдугда (7.53)-әсасән τ_p ујғун олараг 0,25 сан вә $2{,}5 \cdot 10^9$ сан олар; јә'ни газ думанлыгларында електронларын сәрбәст галма мүддәти он илләр ола биләр. Әлбәттә, белә шәраити јер лабораторијасында јаратмаг гејри-мүмкүндүр.

Јухары енержи сәвијјәләринә рекомбинасија еһтималынын кичик олмасына, һәмчинин, сејрәк мүһитдә електронларын сәрбәст һалда галма мүддәтинин чох бөјүк олмасына бахмајараг улдузлар арасы мүһитдә чох јухары—һәтта јүзүнчүдән дә јухары енержи сәвијјәләринә електронларын рекомбинасија етмәк имканы вардыр. Белә рекомбинасија-

дан сонра атом бөјүк еһтималла ашағы енержи сәвијјәсинә кечир вә ән јахын ашағы сәвијјәјә кечид еһтималы ән бөјүк олур; $i \geqslant 27$ енержи сәвијјәләриндән гоншу ашағы сәвијјәләрә кечидләр $\lambda \geqslant 1$ мм радиодалғаларда шүаланмаја сәбәб олур. Улдузларарасы мүһитин мәһз бу далғаларда радиотелескоплар васитәсилә апарылан мүшаһидәләри көстәрди ки, һәгигәтән улдузларарасы мүһитдә чох јухары енержи сәвијјәләриндә јерләшән кифајәт гәдәр һидрокен атомлары вардыр вә бурада еффектив ионлашма вә рекомбинасија просесләри баш верир. Белә мүшаһидәләрлә улдузларарасы мүһитдә һидрокен атомларынын вә онларын төрәмәси олан протон вә електронларын (бу мүһитдә бу зәррәчикләр сајча бәрабәрдир) консентрасијасы, онларын пајланмасы, сүр'әтләри, мүһитин шүаланма температуру тә'јин олунмушдур.

Һидрокен атомунун енержи сәвијјәләринин ајырд едилмәси мүһитдән асылыдыр Бор нәзәријјәсинә әсасән һидрокен атомунун i-чи орбитинин радиусу $r_i = r_1 \cdot i^2$ см-дир. Бурада $r_1 = 0{,}53 \cdot 10^{-8}$ см-биринчи Бор орбитинин радиусудур. Әкәр атомларын консентрасијасы n оларса, зәррәчикләр арасындакы орта мәсафә

$$r_0 = \left(\frac{3}{4\pi n}\right)^{\frac{1}{3}}$$

дүстуру илә тә'јин олунар. Ајдындыр ки, $r_i < r_0$ олмалыдыр. Инди фәрз едәк ки, $n = 10^{15}$ см$^{-3}$-дүр. Онда $r_0 \simeq 0{,}62 \cdot 10^{-5}$ см олар. $r_i \simeq r_0$ олмаг үчүн $r_1 \simeq 0{,}53 \cdot 10^{-3} i^2$ ифадәсиндә $i = 34$ олмалыдыр, јә'ни һеч бир харичи тә'сири нәзәрә алмасаг тәгрибән $i = 34$-чү орбитдән харичдә електрон сәрбәст һала кечәр. Лакин кәнар зәррәчикләрин електрик саһәләринин, еләчә дә тәзјиг еффектинин тә'сири нәтичәсиндә атомларын јухары енержи сәвијјәләри бир-биринә гарышыр—әслиндә кәсилмәз сәвијјәләр зонасы јараныр вә бурада електрон артыг сәрбәстләшир. Бу шәрт Инглис—Теллер дүстуру адланан ифадә илә мүәјјән едилир:

$$i_* = \frac{1^3}{n^{2/15}}$$

Бурада i_*—ахырынчы ајырд едилән сәвијјәнин нөмрәсидир, јә'ни $i > i_*$ олан һалда енержи сәвијјәләри гарышыр. Бу дүстурдан көрүрүк ки, $n = 10^{15}$ оланда $i_* = 10$-дир. Јә'ни бу һалда артыг $n = 11$-чи сәвијјә ајрылмыр. $i_* \geqslant 100$ олмагдан өтрү $n < 10^7$ см$^{-3}$ олмалыдыр. Улдузларарасы газ мүһитиндә исә $n \ll 10^7$ см$^{-3}$-дир, јә'ни $i_* > 100$ енержи сәвијјәләринин ајрылмасы үчүн шәраит вардыр.

Бә'зи шәраитдә, мәсәлән, кифајәт гәдәр јүксәк температурда рекомбинасија просеси белә кедә биләр: електрон рекомбинасија едәркән шүаланма баш вермәдән әввәлдән иона бағлы олан електрон јухары енержи сәвијјәләриндән биринә кечир. Сонра исә һәр ики електрон әсас сәвијјәјә кечәрәк мувафиг емиссија хәтләринин күчләнмәсинә сәбәб олур. Буна диелектрон рекомбинасијасы дејилир. Һелиум үчүн $3 \cdot 10^5$ К температурда диелектрон рекомбинасија просесләри ади рекомбинасијадан 100 дәфә еффектлидир. Ајдындыр ки, диелектрон

рекомбинасијасы күчлү олан шəраитдə газын температуру јүксəлмəлидир. Диелектрон рекомбинасијаны нəзəрə алмагла ионлашма дəрəчəсинə əсасəн тə'јин олунан тач температурунун бу рекомбинасијаны нəзəрə алмадыгда тə'јин олунан температурдан ики дəфə бөјүк олмасы буна əјани сүбутдур. Диелектрон рекомбинасија башга објектлəрдə дə, мəсəлəн, јүксəк температурлу газ думанлыгларында, квазарларын əтрафындакы мүһитдə дə нəзəрə алыныр. Демəли, Каинат објектлəриндə реал физики шəраити ашкар етмəк үчүн физикадан нəзəри мə'лум олан, лакин јер лабораторијалары шəраитиндə јохланылмасы мүмкүн олмајан һаллары нəзəрə алмаг лазымдыр. Бир сыра космик просеслəрдə үчгат рекомбинасија адланан просеслəр дə нəзəрə алынмалыдыр. Үчгат рекомбинасија просесиндə ики електрон һидрокен иону илə тоггушур, електронлардан бири шүаланма баш вермəдəн онунла рекомбинасија едир, шүаланмаја ујғун квантын енержиси исə икинчи електронун кинетик енержисинə əлавə олунур. Електрон консентрасијасы бөјүк олан исти һидрокен газында үчгат рекомбинасијаны да нəзəрə алмаг лазымдыр (мəсəлəн күнəш алышмаларында).

Биз § 79. 4-дə гадаған олунмуш хəтлəрдəн бəһс етдик вə бу хəтлəрдəн бə'зилəринин газ думанлыгларында чох интенсив олмасындан данышдыг. Астрофизикада тəсадүф олунан чох мараглы гадаған олунмуш хəтлəрдəн бири дə нејтрал һидрокен атомуна мəхсус $\lambda=21,11$ см далға узунлуглу хəтдир. Бу хəт белə һəјəчанланыр: Протонун магнит моменти (протонун спини) илə електронун һəрəкəт мигдары моменти (електронун спини) паралел вə антипаралел ола билəр. Бу һаллар енержичə фəрглəнир вə һидрокенин əсас сəвијјəси үчүн һəмин фəрг $5,88 \cdot 10^{-6}$ еВ-дур. Спинлəр ејни истигамəтдə паралел оланда (буна *A* һалы дејəк) атом һəјəчанланмыш һалда олур. Електронун спини тəрсинə чеврилəндə (буна *B* һалы дејəк) атом нормал һала кечир. Атомун *A* һалында галма мүддəти, ону бу һалдан чыхаран амиллəр олмаса, јə'ни тоггушма илə атом јухары енержи сəвијјəлəринə һəјəчанланмаса вə ја ионлашмаса, $11 \cdot 10^6$ илдир. Бу мүддəтдəн сонра атом $5,88 \cdot 10^{-6}$ еВ енержили квант шүаландырыр ки, буна ујғун далға узунлуғу $\lambda=21,11$ см-дир. Һидрокен атомунун В һалындан А һалына кечмəси үчүн бу атом она $5,88 \cdot 10^{-6}$ еВ енержи верəн зəррəчиклə тоггушмалыдыр. $\lambda=21,11$ см далғада апарылан радиомүшаһидəлəр улдузларарасы мүһитин $\lambda=21,11$ см далғада шүаланма мəнбəји олдуғуну көстəрмишдир. Бу далғада апарылан радиоастрономик мүшаһидəлəр мараглы нəтичəлəрə кəтирмишдир.

§ 84. НУВƏ ФИЗИКАСЫНЫН БƏ'ЗИ АСТРОФИЗИКИ МƏХСУСИЈЈƏТЛƏРИ

1. Космик шүаларын бə'зи астрофизики мəхсусијјəтлəри. XX јүзиллијин əввəллəриндə тəчрүби олараг мүəјјəн едилди ки, Јерин сəтһиндəн узаглашдыгча габын ичəрисиндə олан газын ионлашмасы намə'лум харичи амилин тə'сири илə күчлəнир. Австрија физики Виктор Гессин 1912-чи илдə аеростатла 5000 метрəдəк һүндүрлүјə галхараг

апардығы тәчрүбәнин нәтичәси 1936-чы илдә тамамилә ајдынлашды: мүәјјән едилди ки, јүксәјә галхдығча габдакы газын ионлашмасынын күчләнмәсинә сәбәб космик шүалар адланан јүклү зәррәчикләрмиш.

Космик шүалар—чох бөјүк енержијә малик вә ишыг сүр'әтинә јахын сүр'әтлә һәрәкәт едән елементар зәррәчикләр вә мүхтәлиф кимјәви елементләрин атомларынын нүвәләриндән ибарәт јүклү зәррәчикләр селидир. Инди мә'лумдур ки, бу зәррәчикләрин енержиси 10^{14} МеВ-ә гәдәрдир. Ајдындыр ки, Каинат мәншәли космик шүалар билаваситә јерин сәтһинә чатмыр. Онлар јер атмосферинин үст гатларында атом вә молекулларла тоггушур, өз енержисинин бир гисмини бу зәррәчикләрә верир вә нәтичәдә чох сајда бөјүк енержили јени зәррәчикләр сели јараныр. Каинат мәншәли космик шүалар илкин, бунларын тә'сири илә јер атмосфериндә јенидән јарананлар исә икинчи космик шүалар адланыр. Бу зәррәчикләрин Јердә гејдә алынмасы илә позитрон, мезонлар, гиперонлар вә инди чох сајда мә'лум олан јүксәк енержили елементар зәррәчикләр кәшф олунмушдур.

Илкин космик шүаларын кимјәви тәркиби улдузларын кимјәви тәркибиндән һәм кејфијјәт, һәм дә кәмијјәтчә хејли фәрглидир. 5-чи чәдвәлдә мүгајисә үчүн космик шүаларда вә орта каинатда кимјәви елементләрин нисби мигдары верилмишдир.

Чәдвәл 5

Космик шүаларда вә орта каинатда кимјәви елементләрин атомларынын нисби сајы.

Кимјәви елементләр	Космик шүаларда	Орта каинатда
H	1000	
He	68	152
Li, Be, B	1,5	$1,5 \cdot 10^{-6}$
C, N, O, F	4,4	1,5
Галан елементләр (әсасән Si, S, Al, Ni, Ca)	1,9	0,15

Каинат објектләринин орталашмыш кимјәви тәркиби әксәр улдузларын орта кимјәви тәркиби демәкдир, чүнки билдијимиз кими Каинатын үмумиликдә күтләсинин 98%-и дискрет мәнбәләрдә—улдузларда топлашмышдыр. Чәдвәлдән көрүрүк ки, илкин космик шүаларын кимјәви тәркиби доғрудан да һәм кејфијјәт, һәм дә кәмијјәтчә әксәр улдузларын кимјәви тәркибиндән фәрглидир: 1) Li, Be, B кими јүнкүл елементләрин мигдары космик шүаларда орта каинатдакына нисбәтән милјон дәфә чохдур; 2) Ca, Fe, Ni вә башга ағыр кимјәви елементләрин мигдары космик шүаларда он дәфәләрлә чохдур; 3) һелиумун мигдары космик шүаларда нисбәтән аздыр. Li, Be, B кими јүнкүл елементләр илкин истилик-нүвә јаначағы олдуғундан онлар нүвә реаксијалары нәтичәсиндә улдузларда тез «јаныб» түкәнир (ашағыја бах). Космик шүаларда бу елементләрин мигдары она көрә чохдур

ки, космик шүалардакы јүксәк енержили протон вә алфа зәррәчикләр улдузларарасы мүһитдә ағыр нүвәләрлә тоггушараг бу нүвәләри парчаланма просесиндә јүнкүл нүвәләрә чевирир. Космик шүалардакы Li, Be, B кими елементләрин мүшаһидә олунан мигдарыны алмаг үчүн јухарыда гејд олунан тоггушма еlә бир мүһитдә баш вермәлидир ки, бу мүһитдә отурачағынын ен кәсији 1 $см^2$ олан силиндр дахилиндәки маддәнин мигдары 3г олсун. Бизим Күнәш системинин дахил олдуғу улдузлар системинин, јә'ни бизим Галактиканын ән бөјүк диаметри 30.000 пс-дир. Диаметри бизим галактиканын диаметринә бәрабәр олан сфера дахилиндә улдузларарасы мүһитдә маддә сыхлығынын бәрабәр пајландығыны гәбул едәк. Белә сферада улдузларарасы мүһитин орта сыхлығы 10^{-26} г/$см^3$ оларды. Улдузларарасы газын әксәријјәти һидрокен атомларындан ибарәт олдуғундан бу сыхлыға малик мүһитдә һәр $см^3$-дә 0,01 атом, јахуд һәр 100 $см^3$ һәчмдә 1 атом оларды. Ен кәсији 1 $см^2$ олан силиндр дахилиндә белә сыхлыға малик олан газын мигдарынын 3 г олмасындан өтрү бу силиндрин һүндүрлүјү

$$l = \frac{3 \text{ г/см}^2}{10^{-26} \text{г/см}^3} = 3 \cdot 10^{26} \text{ см} = 10^8 пс$$

олмалыдыр. Бу, бизим Галактиканын ән бөјүк диаметриндән мин дәфәләрлә бөјүкдүр. Космик шүаларын мүшаһидә олунан мигдары әсасән бизим Галактикада јаранан космик шүаларын һесабынадыр. Одур ки, космик шүаларын јолунун бизим Галактиканын ән бөјүк хәтти өлчүсүндән мин дәфәләрлә бөјүк олмасы бу шүаларын спиралвари чох узун трајекторија үзрә јајылмасы илә изаһ едилир. Белә трајекторијанын өзү исә бизим Галактикада үмуми магнит саһәсинин олмасы илә бағлыдыр. Билирик ки, јүклү зәррәчикләр анчаг магнит гүввә хәтләри бојунча сәрбәст һәрәкәт едир. Бу һәрәкәт спиралвари трајекторија үзрә ирәлиләмә һәрәкәтидир. Галактикада магнит саһәсинин гүввә хәтләри гапалы олдуғундан космик шүаларын Галактиканы тәрк етмәси үчүн онлар кәркинлији 10^{-6}—10^{-5}Е-дән кичик олмајан магнит саһәсиндә узун јол кечмәлидир. Бизим Галактикада интенсивлији 10^{-6}—10^{-5}Е олан магнит саһәсинин варлығы астрономик мүшаһидәләрдә тәсдиг едилмишдир. Бу, биринчи нөвбәдә мүәјјән груп узаг улдузларын шүаланмасындакы полјаризасијанын дәгиг өлчүлмәси илә сүбута јетмишдир. Белә ки, бу улдузларын ишығынын ејни дәрәчәдә (10%) полјаризә олундуғу тапылмыш вә мүәјјән едилмишдир ки, полјаризасија мүстәвиси бүтүн мүшаһидә областы дахилиндә өз вәзијјәтини јавашча дәјишир. Полјаризасија дәрәчәси вә полјаризасија мүстәвисинин вәзијјәтинин дәјишмәси хүсусијјәтләринә әсасән мүәјјән едилмишдир ки, белә полјаризәләшмәнин механизми улдузларарасы мүһитдә ејни истигамәтдә сәмтләнмиш чохлу узунсов тоз һиссәчикләринин олмасыдыр. Белә сәмтләнмәјә сәбәб мәһз бизим Галактиканын үмуми магнит саһәсидир.

Космик шүаларын Галактикада онун ән бөјүк хәтти өлчүсүндән мин дәфәләрлә узун јол кечмәси көстәрир ки, бизим Галактиканын магнит саһәсинин гүввә хәтләри бир-биринә долашмыш шәкилдәдир.

Белә долашыг дүшмүш гүввә хәтләри бојунча узун јол кечән космик шүаларын һәрәкәти, бир нөв, газларын диффузијасыны хатырладыр.

Космик шүаларын јајылма сүр'әтини ішыг сүр'әтинә јахын (мәсәлән 10^5 км/сан) гәбул етсәк, $l = 3 \cdot 10^{21}$ км јолу кечмәк үчүн $t = \frac{3 \cdot 10^{21}}{10^5} = 3 \cdot 10^{16}$ сан $\simeq 10^9$ ил тәләб олунар. Демәли илкин космик шүаларын јашы милјард илләрләдир. Космик шүаларын консентрасијасыны 10^{-11} см$^{-3}$, орта енержисини 10^{10} еВ $\simeq 10^{-2}$ ерг гәбул етсәк онларын енержи сыхлығы үчүн 10^{-13} ерг/см^3 аларыг. Нәһајәт, бизим Галактиканын радиусу 15000 пс$\simeq 4{,}5 \cdot 10^{22}$ см гәбул едилмәклә онун һәчми $\sim 5 \cdot 10^{68}$ см^3 олдуғундан илкин шүаларын бизим Галактикада там енержиси $5 \cdot 10^{55}$ ерг олар. Космик шүаларын бизим Галактикада әмәлә кәлдији милјард илдә, јә'ни $3 \cdot 10^{16}$ санијә әрзиндә бу гәдәр енержинин топланмасы үчүн һәр санијәдә

$$\frac{5 \cdot 10^{55} \text{ерг}}{3 \cdot 10^{16} \text{сан}} \simeq 1{,}7 \cdot 10^{39} \text{ ерг/сан}$$

енержи истеһсал олмалыдыр. Бизим Галактикада белә күчә малик олан енержи мәнбәләри вардыр. § 128-дә көрәчәјик ки, бунлар илк нөвбәдә ифрат јени улдузлардыр. Бу улдузларын партлајышы нәтичәсиндә белә енержи һасил ола биләр. Бу улдузларын партламасы нәтичәсиндә чох јүксәк енержили вә бөјүк сүр'әтли космик шүалар јараныр вә һәмин јүклү зәррәчикләр сели улдузларарасы фәзаја јајылараг тәдричән Галактиканын үмуми космик шүалар селинә гарышыр. Космик шүаларын бир чох астрофизики тәзаһүрләри илә § 136-да таныш олачағыг.

Нүвә физикасынын астрофизики мәхсусијјәтләри ичәрисиндә ән мараглы кәшфләрдән бири дә улдузларын дахили енержи мәнбәји проблеми илә әлагәдардыр.

2. Нүвә физикасы вә улдузларын дахили енержи мәнбәји. 1938-чи илдә алман физики Бете көстәрди ки, Күнәшин дахили енержи мәнбәји мүәјјән истилик—нүвә синтез реаксијаларындан ибарәтдир. Мүасир тәсәввүрләрә көрә улдузларын шүаландырдыглары енержи онларын дахили гатларында кедән истилик—нүвә синтез реаксијаларынын нәтичәсиндәдир. Бунларын ичәрисиндә әсас јери һидрокенин һелиума чеврилмәси тутур.

Истилик—нүвә синтез реаксијалары јүксәк температурда атом нүвәләринин гаршылыглы чеврилмәсинә дејилир. Мәсәлән, дөрд һидрокен нүвәсиндән, јә'ни дөрд протондан ики протон вә ики нејтрондан ибарәт бир һелиум нүвәси (алфа-зәррәчик) әмәлә кәлир. Бу реаксија просесиндә ики протон ики нејтринонун (ν) шүаланмасы илә мүшајиәт олунмагла ики нејтрона чеврилир. Бу дедикләримиз ашағыдакы схемлә тәсвир олунур:

$$4H^1 \rightarrow He^4 + 2\nu + 4{,}3 \cdot 10^{-5} \text{ ерг} \tag{7.54}$$

Елементар зәррәчикләрин гаршылыглы чеврилмәсиндә үмуми електрик јүкү, ағыр зәррәчикләрин (барионларын) вә јүнкүл зәррәчикләрин (лептонларын) сајы сахланыр. Одур ки, поротонун (p) нејтрона (n) чеврилмәси вә нејтронун протона чеврилмәси ардычыл олараг белә јазылыр:

$$p \to n + e^{+} + \nu, \tag{7.55}$$

$$n \to p + e^{-} + \bar{\nu}. \tag{7.56}$$

Бурада e^{+} —позитрон-антизәррәчик, ν—нејтрино, e^{-} —електрон, $\bar{\nu}$ — антинејтрино-антизәррәчикдир.

(7.55)-дән көрүрүк ки, реаксијаја гәдәр (солда) бир мүсбәт јүк вардыр. Одур ки, реаксијадан сонра да (сағ тәрәфдә) бир мүсбәт јүк олур. Реаксијаја гәдәр бир барион (p) олдуғундан реаксијадан сонра да бир барион (n) олур. Нәһајәт, сағда әлавә бир лептон-антизәррәчик (e^{+}) олдуғундан реаксијада бир дәнә дә лептон-зәррәчик (ν) олмалыдыр: нәтичәдә сағда лептонларын үмуми јүкү сыфыр олур; бурада нәзәрә алырыг ки, антизәррәчијин лептон (јахуд мүвафиг олараг барион) јүкү мәнфидир.

(7.56) реаксијасы да (5.55) реаксијасына аналожи изаһ олунур.

(7.54) дүстурунун сағ тәрәфиндәки, $4{,}3 \cdot 10^{-5}$ ерг дөрд протондан бир алфа—зәррәчик әмәлә кәләркән ајрылан енержидир. Белә ки, ајрылан енержи дөрд протонун күтләси илә бир алфа—зәррәчијин күтләси фәрги, јә'ни күтлә дефекти илә мүтәнасибдир; бу күтлә дефекти $1{,}00813 \times 4 - 4{,}00389 = 0{,}02863$ атом ваһидинә бәрабәрдир; бунун грамларла мигдары $\Delta m = 0{,}02863 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-24}$ г $= 0{,}04781/10^{-24}$ г-дыр, бу күтләјә ујғун енержи үчүн

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Ејнштејн дүстурундан $0{,}04781 \cdot 10^{-24} \cdot (3{,}10^{10})^2 = 4{,}3 \cdot 10^{-5}$ ерг аларыг.

Температур $15 \cdot 10^6$ дәрәчәдән бөјүк дејилсә һидрокенин һелиума синтези әсасән протен—протон дөвријәси илә олур. Әввәлчә ики протондан бир дејтериум (D^2) әмәлә кәлир вә бу заман ашағыдакы реаксија кедир:

$$H^1 + H^1 \to D^2 + e^{+} + \nu \quad (1\ 44\ \text{МеВ};\ 1\ 4 \cdot 10^9\ \text{ил}). \tag{7.57}$$

Бурада вә ашағыда јазылан реаксијалардан сонра мө'тәризәдә, ајрылан енержи вә реаксијанын орта баш вермә мүддәти верилир. Бу реаксијалар нәтичәсиндә нејтриноларын алдыглары максимум енержи 0,42 МеВ олур. Гејд етмәк лазымдыр ки, гәбул етдијимиз температурда бу реаксија чох ләнк кедир: ики протондан ибарәт рабитәли системин јаранмасы еһтималы чох кичикдир (бу сәбәбдән дә тәбиәтдә He^2 изотопуна тәсадүф олунмур); (7.57) реаксијасы она көрә кедир ки, бу реаксијада протонун бири нејтрона чеврилир вә бу заман (7.55)-ә әсасән бир позитрон вә бир нејтрино шүаланыр. (7.57) реаксијасынын еффектив кәсији чох кичик олдуғундан онун характерик вахты да чох

бөјүкдүр. Мәсәлән, $14 \cdot 10^6$ дәрәчә температур вә 100 г/см^3 сыхлыгда һидрокен газынын верилән һәчминдә протонларын сајынын ики дәфә азалмасы үчүн 10 милјард ил вахт тәләб олунур.

(7.57) реаксијасы нәтичәсиндә јаранан дејтериум бир протонла синтез едир вә нәтичәдә бир He^3 изотопу әмәлә кәлир вә γ кванты шүаланыр:

$$D^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma.$$
$$(5{,}49 \text{MeB}, 5 \text{ санијә}) \cdot (7{,}58)$$

Нәһајәт протон-протон дөвријјәсинин сонунчу реаксијасы ики He^3 изотопундан бир He^4 нүвәсинин әмәлә кәлмәси вә бу заман ики протонун азад олмасыдыр:

$$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2H^1 \ (12{,}85 \text{ MeB}, 10^6 \text{ил}). \quad (7.59)$$

Бу јолла протон-протон дөвријјәси нәтичәсиндә әмәлә кәлән He^4 нүвәләринин сајы үмуми сајын 80%-ини тәшкил едир. He^4 нүвәләринин 19,77%-и ашағыдакы реаксијалар нәтичәсиндә әмәлә кәлир:

$$He^3 + He^4 \rightarrow Be^7 + \gamma,$$
$$Be^7 + e^- \rightarrow Li^7 + \nu(E_{\nu\,max} = 0{,}86 \text{ MeB})$$
$$Li^7 + H^1 \rightarrow Be^8 + 2He^4. \quad (7.60)$$

He^4 нүвәсинин галан 0,23%-и исә

$$Be^7 + H^1 \rightarrow B^8 + \gamma;$$
$$B^8 \rightarrow Be^8 + e^+ + \nu(E_{\nu max} = 14{,}4 \text{ Мев}), \quad (7{,}61)$$
$$Be^8 \rightarrow 2He^4$$

нүвә реаксијалары һесабынадыр.

Гәбул етдијимиз температурда, јә'ни $\sim$ 15 милјон дәрәчәдә карбон-азот дөвријәсинин дә аз да олса пајы вардыр. $T > 15 \cdot 10^6$ дәрәчәдә исә карбон-азот дөвријјәси әсасдыр. Бу реаксијалар ашағыдакы ардычыллыгла кедир:

$$C^{12} + H^1 \rightarrow N^{13} + \gamma \ (1{,}95 \text{ MeB}, 13 \cdot 10^6 \text{ ил}),$$
$$N^{13} \rightarrow C^{13} + e^+ + \nu(E_{\nu,max} = 1{,}18 \text{ MeB}); \ (2{,}22 \text{ MeB}, 7 \text{ дәгигә}),$$
$$C^{13} + H^1 \rightarrow N^{14} + \gamma \ (7{,}54 \text{ MeB}, 2{,}7 \cdot 10^6 \text{ ил}), \quad (7.62)$$
$$N^{14} + H^1 \rightarrow O^{15} + \gamma \ (7{,}35 \text{ MeB}, 320 \cdot 10^6 \text{ ил});$$
$$O^{15} \rightarrow N^{15} + e^+ + \nu(E_{\nu,max} = 1{,}68 \text{ MeB}); \ (2{,}71 \text{ MeB}, 82 \text{ санијә}),$$
$$N^{15} + H^1 \rightarrow C^{12} + He^4 \ (4{,}96 \text{ MeB}, 110.000 \text{ ил}).$$

(7.62)-дән көрүрүк ки, карбон-азот дөвријјәсиндә карбон вә азот катализатор ролуну ојнајыр.

Истилик—нүвә реаксијалары нәтичәсиндә ајрылан енержи температурдан (*T*) вә сыхлыгдан (ρ) вә еләчә дә нүвә јаначағынын (бурада һидрокен газынын) күтләчә нисби консентрасијасындан вә һәмчинин катализатор ролу ојнајан газларын нисби мигдарындан асылыдыр.

Протон—протон реаксијаларында 1 *г* маддә һесабы илә 1 сан-дә ајрылан енержи

$$\varepsilon_{pp} = 10^{-2} \rho X^2 \left(\frac{T}{10^6}\right)^4 \frac{\text{ерг}}{\text{г} \cdot \text{с}}, \qquad (7.63)$$

јахуд 1 кг маддәдә 1 санијәдә ајрылан енержи

$$\varepsilon_{pp} = 10^{-6} \rho X^2 \left(\frac{T}{10^6}\right)^4 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}, \qquad (7.64)$$

бурада *T*—температур, ρ—сыхлыг, *X*—күтләчә һидрокенин нисби консентрасијасыдыр. Бу реаксијада ајрылан енержинин Т-дән асылылығы $\varepsilon_{pp} \sim T^4$ кимидир, јә'ни мүтләг гара чисмин шүаланмасындакы температурдан асылылыг кимидир.

Карбон-азот реаксијалары нәтичәсиндә 1 г вә 1 кг маддәдә 1 санијәдә ајрылан енержи ујғун олараг

$$\varepsilon_{CN} = 6{,}6 \cdot 10^{-20} X X_{CN} \left(\frac{T}{10^6}\right)^{20} \frac{\text{ерг}}{\text{г} \cdot \text{сан}}, \qquad (7.65)$$

$$\varepsilon_{CN} = 6{,}6 \cdot 10^{-24} \rho X X_{CN} \cdot \left(\frac{T}{10^6}\right)^{20} \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}. \qquad (7.66)$$

Бурада X_{CN}—карбон вә азотун орта нисби мигдарыдыр. Бу реаксијада $\varepsilon_{CN} \sim T^{20}$, јә'ни ајрылан енержи температурдан чох күчлү асылыдыр. Бу о демәкдир ки, температурун артмасы илә ајрылан енержи чох сүр'әтлә артыр вә нәтичәдә һидрокенин «јанмасы» даһа да сүр'әтләнир.

Температурун даһа бөјүк гијмәтләриндә (мәсәлән јүз милјон дәрәчәдә) һидрокен газы улдузун дахилиндә **бүтүнлүклә «јаныб»** гуртарыр, тамамилә һелиума чеврилир вә бундан сонра әсас јаначаг һелиум олур. Бу шәраитдә һелиум карбона **чеврилир:**

$$3He^4 \rightarrow C^{12} + \gamma. \qquad (7.67)$$

Бу реаксија үчгат алфа-просес (3α-просес) адланыр.

Бу реаксија нәтичәсиндә ајрылан енержи

$$\varepsilon_{3\alpha} = 10^{-8} \rho^2 Y^3 \left(\frac{T}{10^8}\right)^{30} \frac{\text{ерг}}{\text{г} \cdot \text{сан}} \qquad (7.68)$$

ахуд

$$\varepsilon_{3\alpha} = 10^{-12} \rho^2 Y^3 \left(\frac{T}{10^8}\right)^{30} \frac{\text{Вт}}{\text{кг}} \qquad (7.69)$$

дүстуру илә тә'јин олунур. Бурада У—күтләчә һелиумун нисби мигдарыдыр. Бу дүстурлардан көрүрүк ки, $\varepsilon_{3\alpha} \sim T^{30}$-дур, јә'ни 3α—просесдә температурдан асылылыг CN реаксијасындакы температур асылылығындан да күчлүдүр. 3α—просесдә ајрылан енержи *pp*-дә ајрыландан 10 дәфә бөјүкдүр.

Индијәдәк һаггында бәһс етдијимиз *pp*, CN, 3α реаксијалары ујғун олараг Күнәш вә Күнәш типли улдузлара, күнәшдән исти вә күтләчә массив улдузлара, нәһајәт күнәшдән чох исти вә күтләси Күнәшин күтләсиндән чох бөјүк олан улдузлара аиддир. Күтләчә массив чох исти улдузда һелиум 10 милјон ил әрзиндә «јаныб» гуртарыр, сонра улдуз чазибә сыхылмасына мә'руз галыр вә онун дахили гатларында температур 500 милјон дәрәчәјә чатыр. Белә улдузларда бир нечә јүз мин ил әрзиндә ашағыдакы схемдә нүвә реаксијалары кедир.

$$\begin{aligned} C^{12} + He^{4} &\rightarrow O^{16} + \gamma, \\ O^{16} + He^{4} &\rightarrow Ne^{20} + \gamma, \\ N^{20} + He^{4} &\rightarrow Mg^{24} + \gamma. \end{aligned} \tag{7.70}$$

Нәһајәт сыхылма нәтичәсиндә улдузун дахилиндә температур 3 милјард дәрәчәдән бөјүк оланда даһа ағыр нүвәләрин синтези баш верир:

$$\begin{aligned} C^{12} + C^{12} &\rightarrow Na^{23} + H^{1} \\ C^{12} + C^{12} &\rightarrow Ne^{20} + He^{4}, \\ O^{16} + O^{16} &\rightarrow S^{32} + \gamma. \end{aligned} \tag{7.71}$$

Һәмин реаксијалар улдузларын тәркибиндә дәмирин әмәлә кәлмәсинә гәдәр давам едир. Бунлардан башга улдузларын дахилиндә

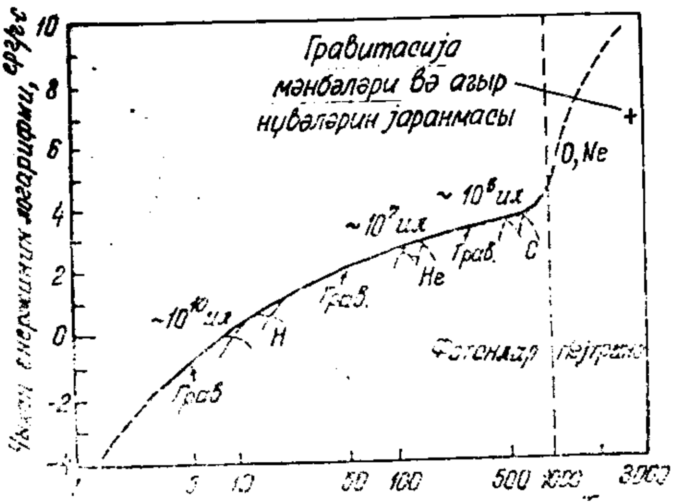
$$\begin{aligned} C^{12} + C^{12} &\rightarrow Mg^{23} + n \\ O^{16} + O^{16} &\rightarrow S^{31} + n \end{aligned} \tag{7.72}$$

реаксијалары да кедир. Белә реаксијалар сәрбәст нејтронлар селинин јаранмасына сәбәб олур. Бу нејтронлар атом нүвәләри тәрәфиндән јаваш-јаваш тутулур. Белә ки, атом нүвәси нөвбәти нејтрону тутана гәдәр әввәл тутулан нејтрон протона чеврилир вә нәтичәдә дајаныглы изотоп јараныр. Бу просесләр нәтичәсиндә дәмирдән ағыр нүвәләр јараныр вә бисмута (Bi^{209}) гәдәр ағыр нүвәләрин әмәлә кәлмәси бу јолла давам едир.

Јухарыда гејд етдијимиз кими јени нөв истилик—нүвә реаксијасына кечид улдузун гравитасија сыхылмасы илә мүшајиәт олунур вә бу да температурун јүксәлмәсинә кәтирир. Температур артдыгча ајрылан енержи кәсилмәдән бөјүјүр. 1 г нүвә јаначағынын 1 санијәдә јанмасындан ајрылан енержинин температурдан асылылығы 101-чи шәкилдә верилмишдир. Бу шәкилдә нүвә јаначағынын нөвләри, һәр нөвүн

јанма мүддәти вә гравитасија сыхылмасы мәрһәләләри көстәрилмишдир.

Температурун милјард дәрәчәјәдәк гијмәтинә кими улдузун нүвәсиндән онун сәтһинә енержи фотонларла көчүрүлүр. Милјард дәрәчәдән бөјүк температурда вә сыхлығын 10^7 г/см^3 гијмәтиндә енержи көчүрүлмәси нејтрино васитәсилә олур. Бунун сәбәби белә шәраитдә нејтрино вә антинејтрино ҹүтүндән ибарәт күчлү селин әмәлә кәлмәсидир.



Шәкил 101. Бир грам нүвә јаначағынын бир санијәдә јанмасындан ајрылан енержинин температурдан асылылығы. Шәкилдә нүвә јаначағынын нөвләри, һәр нөвүн јанма мүддәти вә гравитасија сыхылмасы мәрһәләләри көстәрилмишдир (Т ° —милјон дәрәчәләрлә верилмишдир).

Енержинин фотонларла көчүрүлмәси илә нејтронларла көчүрүлмәси сәрһәдди шәкилдә гырыг шагули хәтлә көстәрилмишдир. Енержи дашыјычысы олан нејтрино сели улдузу манеәсиз тәрк етдијиндән улдузун нүвәси сојујур, о, чох бөјүк сүр'әтлә сыхылыр, сыхылдыгча дахили гатларын температуру јенидән артыр, температур артдыгча нејтрино сели күчләнир вә нәтиҹәдә улдузун дахилиндә партлајыш баш верир. Бу партлајыш ҹәми $\sim 10^{-2}$ санијә давам едир. Парлаглығын максимум дөврүндә ағыр кимјәви елементләрин нүвәләринин синтези давам едир. Һәм дә бу истилик—нүвә реаксијалары чох сүр'әтли кедир: нејтронлар чох бөјүк сүр'әтлә ағыр нүвәләрлә синтез едир, гејд етдијимиз кими нүвә икинҹи нејтронла синтез едәнәдәк биринҹи нејтрон протона чеврилир, зәнҹирвари реаксија уран вә ториум да дахил олмагла атом күтләси $A \simeq 270$ олан нүвәләрин јаранмасына гәдәр давам едир. Бу просесин давамијјәт мүддәти $\Delta t < 100$ санијә олур. Бу просесләр улдузун әтрафында өртүк јаранмасына кәтирир. Өртүјүн сыхлығы 100 г/см^3, температуру бир нечә милјон дәрәҹә олур. Бу шәраитдә дә истилик—нүвә реаксијалары кедир—протонларын ағыр нүвәләр тәрәфиндән тутулмасы баш верир. Нүвәјә јахын

өртүкдә оксикен вә карбон нүвә јаначағы олур. Просесин сонракы мәрһәләләри вә онларын тәзаһүрләри һаггында улдузлардан вә онларын тәкамүл јолларындан бәһс едәндә данышачағыг. Бундан башга конкрет објектләрдән — Күнәшдән, мүәјјән улдузлардан бәһс олунанда нүвә физикасынын јухарыда таныш олдуғумуз мәхсусијјәтләринин билаваситә шаһиди олачағыг.

§ 85. АСТРОФИЗИКАНЫН ПЛАЗМА ФИЗИКАСЫ ИЛӘ ӘЛАГӘСИ ҺАГГЫНДА ҮМУМИ АНЛАЈЫШ

Каинат әсасән газлардан ибарәтдир. Космос шәраитиндә һәтта нејтрал һидрокен атомларындан ибарәт газда плазма хүсусијјәтләринин тәзаһүрләри вардыр. Чүнки нејтрал һидрокендән ибарәт област демәк олар ки, һәр јердә там ионлашмыш һидрокендән ибарәт област илә һәмсәрһәддир, әлагәлидир. Беләликлә Каинатын әсас күтләси плазма һалындадыр. «Плазма» анлајышы илк дәфә 1929-чу илдә мәшһур физик Ленгмјур тәрәфиндән газ бошалмалары боруларында маддәнин физики һалыны тәсвир етмәк үчүн ишләдилмишдир. Лакин һәлә плазма анлајышы мејдана кәлмәздән әввәл астрофизикада улдуз атмосферләри өјрәнилдијиндән, әслиндә маддәнин плазма һалы чох әввәлләр өјрәнилмәјә башланмышдыр. Мәшһур астрофизикләр Шварстшилд вә Саха һәлә XX јүзиллијин лап әввәлләриндә улдуз атмосферләрини нәзәри тәдгиг етмишләр. Саха улдуз спектләринин тәснифатыны физики бахымдан әсасландырмышдыр. 1921-чи илдә мәшһур астрофизик Милн газларын ионлашма дәрәчәсинин температурдан асылылығыны, јә'ни Саха тәнлијини тәһлил етмәклә улдуз атмосферләринин нәзәријјәсини јаратмыш вә улдуз спектрләринин әсас хүсусијјәтләрини изаһ етмишдир. Бир сөзлә, плазма анлајышы јаранмаздан әввәл астрофизикләр плазманы сәма чисмләринин тәбии һалы кими өјрәнмәјә башламышлар.

Лакин XX јүзиллијин 60-чы илләринә гәдәр астрофизикләрин Каинат плазмасы физикасыны өјрәнмәси биртәрәфли олмушдур. Бурада јалныз астроспектроскопија үсулунун тәтбиг едилмәси нәзәрдә тутулур. Бу чох күчлү үсул инди, билдијимиз кими, електромагнит шүаланмасынын бүтүн диапазонларыны әһатә едир. Астрофизика вә атом физикасынын вәһдәти радиодиапазон мүстәсна олмагла галан диапазонларда алынан спектрләрин интерпретасијасыны вермәјә имкан јаратмышдыр. Радиоспектләрин интерпретасијасы үчүн атом физикасынын имканлары мәһдуддур. Мәһз бу сәбәбдән радиоспектрләрин мүкәммәл интерпретасијасыны вермәк үчүн шүаланманын башга механизмләри дә нәзәрә алынмалыдыр. Бу механизмләр ашағыдакылардыр:

1) Ионларын јахынлығындан кечәркән сүр'әтләнән вә ја тормозланан електронларын шүаланмасы илә нәтичәләнән механизм; бу, сәрбәст-сәрбәст кечидләр нәтичәсиндә шүаланма, јахуд тормозланма шүаланмасы механизмидир.

2) Гејри-релјативист електронларын магнит саһәсиндә шүаланмасы механизми; бу, тсиклатрон шүаланма механизмидир.

3) Релјативист електронларын магнит саһәсиндә шүаланма механизми; бу, синхротрон шүаланма механизмидир.

Сон ики механизм магнит—тормозланма шүаланмасы механизми адланыр.

Јухарыда адларыны чәкдијимиз механизмләрин астрофизикада тәтбигинә олан тәләбат плазма физикасынын астрофизикаја тәтбигини чох кенишләндирмишдир. Сонралар космосда кәшф олунан бир сыра бөјүк енержи мәнбәләри, онларын гејри-истилик механизмләрә малик олмалары, ајрылан енержинин електромагнит далғаларына чеврилмәси дәлилләри алимләри јени еффектив енержи мәнбәләри ахтармаға вадар етди. Космосда релјативист електронларын јаранмасы имканларынын кениш олмасы, мүрәккәб магнит саһәләринин варлығы плазманы даһа дәриндән өјрәнмәји тәләб етди.

Плазманын әсас хүсусијјәтләри вә плазма далғалары. Мә'лумдур ки, там вә ја гисмән ионланмыш газа плазма дејилир. Лакин плазманы нејтрал газдан чидди фәргләндирән чәһәт тәкчә бу дејил. Плазманы ади газдан фәргләндирән әсас чәһәт орасыдыр ки, ади газларда атом вә молекуллар јалныз бир-биринә чох јахынлашанда гаршылыглы тә''сирдә олдуглары һалда, плазмада гаршылыглы тә'сир бир-бириндән узагда олан зәррәчикләр арасында да давам едир. Бунун сәбәби ади газдан фәргли олараг плазмада Кулон гаршылыглы тә'сир гүввәсинин зәррәчикләр арасындакы мәсафәдән зәиф асылы олмасыдыр. Плазмада бир-бириндән узаг зәррәчикләр арасындакы гаршылыглы тә'сир бу зәррәчикләрин һәрәкәтинә даим тә'сир көстәрир. Плазмада Кулон гүввәсинин бөјүк мәсафәләрдә дә тә'сир көстәрмәси вә електронларын мүтәһәррикләји плазмада коллектив просесләрин, јә'ни мүхтәлиф рәгсләрин вә далғаларын јаранмасына сәбәб олур. Әслиндә плазмада коллектив просесләр һәр бир јүклү зәррәчијин ејни заманда чох сајда јүклү зәррәчикләрлә гаршылыглы тә'сирдә олмасынын тәзаһүрүдүр. Ади газларда олдуғу кими плазмада да *сәс далғалары* јараныр вә јајылыр. Чүнки плазмада да сыхлығын мәһәлли дәјишмәси баш верир вә сыхлығын бу һәјәчанланмасы рәгси һәрәкәтин—сәс далғаларынын јаранмасына кәтирир. Мә'лумдур ки, сәс далғаларынын јајылмасы сүр'әти температурдан (**Т**-дән) вә адиабат әмсалы Υ-дан асылыдыр. Һәмин асылылыг

$$v_{\text{сәс}} = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}} \qquad (7.73)$$

шәкилдә ифадә едилир. Бурада R—универсал газ сабити, μ—молјар күтләдир.

Сәс далғалары илә јанашы, гејд етдијимиз кими, плазмада мүхтәлиф електромагнит далғалары да јараныр. Мәсәлән, електронларын ионлара нисбәтән истәнилән јердәјишмәси күчлү електрик саһәси јарадыр вә бу саһә зәррәчији әввәлки һалына гајтармаға чалышыр. Нә-

тичәдә плазмада електронларын рәгсләри—*електронлара мәхсус плазма дағлары јараныр.* Бу далғалар онлары кәшф едән мәшһур физик Ленгмјурун шәрәфинә *ленгмјур далғалары адланыр.* Електронларын рәгсләри ленгмјур далғаларынын јајылмасы истигамәтиндә олдуғундан *бу далғалар узунуна далғалардыр.* Ленгмјур далғаларынын тезлији—ленгмјур тезлији

$$\nu_{pe}=\sqrt{\frac{e^2 n_e}{\pi\, m_e}} \tag{7.74}$$

дүстуру илә ифадә олунур. Бурада n_e—електронларын плазмада концентрасијасы, е вә m_e електронун јүкү вә күтләсидир. $\nu<\nu_{pe}$ тезликли далғалар плазмада јајыла билмир. Белә далғалар харичдән плазмаја дүшәндә әкс олунур (бах § 67).

Плазма електрон вә ион газларынын гарышығы олдуғундан орада ленгмјур далғалары илә јанашы *ион-сәс далғалары да* јаранмалыдыр. Ионларын сыхлашмасы вә сејрәкләшмәсиндән ибарәт *узунуна ион—сәс далғалары ионларын* һәрәкәти нәтичәсиндә јаранан вә електрик саһәси илә өтүрүлән гаршылыглы тә'сирә бағлыдыр.

Плазмада магнит саһәси варса бу саһәнин плазма илә гаршылыглы тә'сириндән доған рәгсләр нәтичәсиндә хүсуси далғалар јараныр. Бу далғалар онлары даһа мүкәммәл тәдгиг етмиш мәшһур физик Алвенин шәрәфинә *алвен далғалары* адланыр. *Алвен далғалары енинә далғалардыр* вә магнит гүввә хәтләри бојунча алвен сүр'әти илә јараныр:

$$v_A=\frac{H}{\sqrt{4\pi\rho}}, \tag{7.75}$$

бурада H—магнит саһәсинин кәркинлији, ρ—плазманын сыхлығыдыр. Гејд едәк ки, ади газ магнит саһәсиндәдирсә, ләнк дә олса орада да алвен далғалары јарана биләр. *Алвен далғалары магнитоһидродинамик далғалардыр.* Чүнки јухарыда гејд етдијимиз кими бу далғалар плазма (вә ја газ) илә магнит саһәсинин гаршылыглы тә'сириндән доған рәгсләр нәтичәсиндә јараныр. Белә рәгсләрин јаранмасы үчүн плазмада әлверишли шәраит вардыр.

Сәрбәст јүкләрин олмасы нәтичәсиндә плазма јүксәк електрик кечиричилијинә маликдир. Бу сәбәбдән плазма електрик вә магнит саһәләри илә еффектив гаршылыглы рабитәдә олур. Електрик кечиричилијинин бөјүк олмасы нәтичәсиндә космик плазмада јаранан електрик чәрәјаны вә она бағлы магнит саһәси узун мүддәт сөнмүр. Плазманын магнит саһәси илә гаршылыглы тә'сири ашағыдакы кими баш верир: мүәјјән анда плазма зәррәчикләри мүәјјән гүввә хәттинин үзәриндәдирсә, һәмин магнит гүввә хәттинин дәјишән конфигурасијасындан асылы олмајараг, бу зәррәчикләр һәмишә бу магнит гүввә хәттинин үзәриндә галыр; тәрсинә, плазма зәррәчикләринин һәрәкәтиндән асылы олмајараг һәмин гүввә хәтти бу зәррәчикләрдән кечмәлидир. Маг-

нит саһәсинин плазмада «донмасы» еффекти адланан бу һадисә мәһз плазмада магнитоһидродинамик далғаларын јаранмасына шәраит јарадыр. Плазманын һәрәкәтинин кинетик енержиси $\frac{\rho v^2}{2}$ онун магнит енержиси $\frac{H^2}{8\pi}$-дән бөјүк оларса магнит саһәсинин конфигурасијасы плазманын һәрәкәти илә, әкс һалда исә плазманын һәрәкәти магнит саһәси илә мүәјјән олунур.

Сүр'әтли вә јаваш магнит—сәс далғалары да плазма үчүн характерик далғалардыр. Бунларын биринчисиндә газ тәзјиги илә магнит тәзјигинин тә'сирләри топланыр, икинчисиндә исә һәмин тә'сирләр бир-бириндән чыхылыр. Биринчидә далғаларын јајылма сүр'әти сәсин сүр'әтинә, дикәриндә исә алвен сүр'әтинә јахын олур.

Тоггушмајан далғалар адлы просес космик плазма үчүн хүсусилә әһәмијјәтлидир. *Белә далғаларын јаранараг јајылмасы мүмкүн олан плазма тоггушмајан плазма адланыр.* Бу далғаларын јаранмасы ашағыдакы кими изаһ олунур: плазмада јүклү зәррәчикләр олдуғундан онларын һәрәкәтләри електромагнит саһәсинин јаранмасына сәбәб олур, електрик вә магнит саһәләри зәррәчикләр тоггушмадан онлар арасында гаршылыглы тә'сири өтүрүр. Белә плазмада електронларын сәрбәст гачыш јолу коллектив һадисәләрин характерик өлчүләриндән чох бөјүк оланда тоггушмајан далғалар јараныр вә кениш өлчүдә плазманын рәгси вә далғави хүсусијјәтләри мејдана чыхыр. Бир сыра спектрләр, хүсусилә радиодиапазонда јерләшән спектрләр мәһз тоггушмајан плазмада јараныр. Белә спектрләр плазманын јерләшдији мүһит барәдә бә'зән ән әсас, һәтта јеканә мә'лумат мәнбәји олур.

Јухарыда бәһс етдикләримиздән ајдын олур ки, ади газда әслиндә електромагнит шүаланмасы илә әлагәси олмајан јалныз сәс далғалары вә кичик сүр'әтли алвен далғалары јарандығы һалда, плазмада коллектив просесләр—чох мүхтәлиф рәгсләр вә далғалар јараныр вә мүхтәлиф спектрләрә малик олан бу далғалар бу вә ја дикәр шәкилдә електромагнит саһәләри илә, демәли електромагнит шүаланмасы илә әлагәдардыр.

Плазма далғалары илә јүклү зәррәчикләрин гаршылыглы тә'сири мүхтәлиф тәзаһүрләрә маликдир. Фәрз едәк ки, електрон верилмиш електромагнит далғасынын сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә бу далғанын јајылмасы истигамәтдә һәрәкәт едир. Електронун белә һәрәкәти нәтичәсиндә, о далғанын ән јүксәк нөгтәсини, јә'ни електронларын максимум сых олан јерини өтәр. Бу һалда кулон дәфетмә гүввәси һесабына зәррәчикләрин һәрәкәти јавашыјыр, далға исә сүр'әтләнир. *Бу черенков күчләнмәси ефекти адланыр.* Далғаны сүр'әтләндирән бир зәррәчик дејил, зәррәчикләр селидирсә, ефект даһа күчлү олур.

Әксинә, електрон далғадан кичик сүр'әтлә һәрәкәт едирсә, далға ону ирәлијә итәләјәр, өзү исә енержисини итирәр. *Бу, Ландау сөнмәси адланыр.* Бу јолла плазма електронларынын бир гисминин сүр'әти релјативист сүр'әтә јахынлаша биләр.

Плазмада мүхтәлиф узунлуг вә тезлијә малик олан далғалар јаранарса *плазма турбулентлији* јараныр. Далғаларын плазма илә гар-

шылыглы тә'сири вә плазманын шүаланмасы нәтичәсиндә бир далға дикоринә чеврилә биләр, јә'ни трансформасија едә биләр.

Плазма үчүн истилик дајанығсызлығы чох характерикдир. Бунун маһијјәти беләдир: фәрз едәк ки, плазмада һәчм елементи ваһид заманда харичдән нә гәдәр енержи алырса, ону да шүаландырыр. Бу һал шүа таразлығы һалы адланыр. Гәбул едәк ки, баш верән шүаланма рекомбинасијалар нәтичәсиндәдир. Ваһид һәчм елементиндән ваһид заманда рекомбинасија шүаланмасы нәтичәсиндә ајрылан енержи

$$\varepsilon \simeq 1,6 \cdot 10^{-26} \frac{\rho^2}{\sqrt{T}} \quad \frac{\text{ерг}}{\text{см}^3 \cdot \text{сан}} \qquad (7.76)$$

дүстуру илә һесабланыр. (7.76)-дан көрүрүк ки, һансы сәбәбдәнсә плазманын сыхлығы бөјүјүрсә, бу заман ајрылан енержи (7.76) гануну илә артыр. Демәли онда, һәчм елементи даһа чох енержи итирәр вә плазманын температуру T кичиләр. *Бу, истилик дајанығсызлығыдыр.* Беләликлә, плазмада истилик дајанығсызлығынын олмасы үчүн сыхлыг мүәјјән интервалда дәјишкән олмалыдыр. Белә шәраитдә әввәл бирчинсли олан плазма сых вә ону әһатә едән сејрәк мүһит олмагла ики фазаја ајрылмалыдыр.

Плазма физикасынын астрофизики мәхсусијјәтләри. Плазма физикасы мәсәләләри муасир астрофизикада чох кениш јер тутур.

Бу мә'нада физика вә астрофизиканын бир бөлмәси кими «плазма астрофизикасы» јаранмышдыр.

Әлбәттә, плазма астрофизикасы лабораторија плазмасы физикасындан бә'зи чәһәтләри илә фәргләнир. Бу чәһәтләр ашағыдакылардыр:

1. Лабораторија гурғуларында јарадылан плазманын өлчүләри кичик олдуғундан кифајәт гәдәр бөјүк тезликли електромагнит шүаланмасы үчүн бу плазма демәк олар там шәффафдыр. Әлбәттә, лабораторија плазмасында електромагнит шүаланмалары јараныр, лакин һәтта плазманын мәхсуси тезлијинә јахын тезликләрдәки електромагнит шүаланмалары үчүн лабораторија плазмасы оптик назикдир. Плазма астрофизикасында бунун әксинәдир. Чүнки астрофизикада плазма системләринин нисби өлчүләри чох бөјүкдүр. Одур ки, космик плазма хүсусилә бөјүк тезликли електромагнит шүаланмалары үчүн гејри-шәффафдыр, јә'ни оптик галын мүһитдир. Бу о демәкдир ки, һәмин шүаларын хејли гисми плазмада удулур, плазма енержисинин хејли һиссәси кифајәт гәдәр бөјүк тезликли електромагнит шүаланмасына чеврилир. Космик плазмада јүксәк тезликли електромагнит далғалары интенсив плазма турбуленсијасы јаранмасына, јахуд әксинә електромагнит далғалары турбулентлијин күчлү диссипасијасына сәбәб ола билир. Космик плазманын бу хүсусијјәтләриндән көрүрүк ки, плазма астрофизикасыны лабораторија плазмасы физикасындан фәргләндирән бир чәһәт дә космик плазманын шүаланма илә чох сых гаршылыглы әлагәдә олмасыдыр.

2. Лабораторија плазмасында јүклү зәррәчикләрин далғалар тәрәфиндән сүр'әтләндирилмәси һадисәси баш верирсә дә бу сүр'әтлән-

мә күчлү дејилдир. Бунун сәбәби јенә дә лабораторија плазмасынын һәндәси өлчүләринин кичик олмасыдыр. Мәсәлән, лармор радиусу, ичәрисиндә плазма олан габын өлчүләриндән бөјүк оларса сүр'әтләнән зәррәчик габын диварларына тохунараг өз сүр'әтини ја азалдар, ја да тамамилә итирәр. Космик плазмада исә һәтта тәдричлә сүр'әтләнән зәррәчикләр сон мәрһәләдә чох бөјүк сүр'әт, һәтта релјативист сүр'әт ала билир (космик шүалара чеврилир). Башга сөзлә, чох бөјүк енержили вә релјативист сүр'әтли зәррәчикләрин кенерасијасы космик плазмада кедән коллектив просесләрин зәрури тәзаһүрүдүр.

3. Мә'лумдур ки, лабораторија плазмасында бирчинс атомлардан ибарәт плазма јаратмаг бөјүк проблемдир. Космик плазма исә демәк олар бирчинсдир: плазма параметрләринин дәјишмәсинин характерик мигјаслары коллектив просесләрин өлчүләриндән тәртибләрчә бөјүкдүр. Лабораторија плазмасындан фәргли олараг, космик плазмада кәскин сәрһәдд јохдур. Одур ки, бирчинс плазманын нәзәри моделләри космик плазмаја даһа јахшы ујғун кәлир.

Јухарыда гејд етдијимиз үч чох мүһүм әламәтләринә көрә космик плазма физикасы лабораторија плазмасы физикасындан фәргләнир. Одур ки, бир чох алимләр һаглы олараг космик плазма физикасыны плазма астрофизикасы адландырырлар.

§ 86. ЗӘРБӘ ДАЛҒАЛАРЫ ҺАГГЫНДА ҮМУМИ АНЛАЈЫШ

Истәр ади газда, истәрсә дә плазмада зәррәчикләр сәсин сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә һәрәкәт едирләрсә онда зәрбә далғалары јараныр. Мәсәлән, фәрз едәк ки, газын нисбәтән кичик һәчминдә гәфләтән чох бөјүк мигдарда енержи ајрылыр. Бу һадисә партлајыш адланыр. Бунун нәтичәсиндә енержи ајрылан һәчмдә температур вә онунла да әлагәдар тәзјиг кәскин бөјүјәр. Бу тәзјиг партлајыш баш верән һәчм елементлини әһатә эдән һәјәчанланмајан газын тәзјигиндән чох бөјүк олдуғундан һәмин һәчм елементи һәјәчанланмамыш сојуг әтрафа доғру кенишләнәр. Исти вә сојуг мүһит, бир-бириндән һәрәкәт едән назик сәрһәдлә ајрылырлар; *бу назик сәрһәд зәрбә далғасы адланыр. Газын физики параметрләри олан сыхлыг, тәзјиг вә температурун сычрајышла бөјүдүјү сәтһин өзү зәрбә далғасынын чәбһәси адланыр. Зәрбә дал*ғасынын чәбһәси һәјәчанлашмамыш газа нисбәтән сәсин сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә һәрәкәт едир. Беләликлә, зәрбә далғасы газын физики параметрләринин сычрајышла дәјишән сәрһәдди олмагла бәрабәр сәсин сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә һәрәкәт едир.

Зәрбә далғасы «нөгтәдә» кичик һәчмдә баш верән партлајыш нәтичәсиндә јаранырса буна *сферик зәрбә далғасы* дејилир; енержинин ајрылмасы һәр һансы ох бојунча оларса *силиндрик зәрбә далғасы* јараныр; енержи ајрылмасы сонсуз кениш мүстәвидә баш верирсә *мүстәви зәрбә далға* јајылыр.

Газда јајылан ади далғаларда физики параметрләрин дәјишмәси һәјәчанлашмамыш мүһитдә һәмин параметрләрин гијмәтләриндән кичик олур. Бунун әксинә олараг зәрбә далғаларында физики параметр-

ләрин дәјишмәси һәјәчанлашмамыш мүһитдә һәмин параметрләрин гијмәтләриндән чох бөјүк олур. Бу сәбәбдән зәрбә далғаларында сәс сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә һәрәкәт едән газын механики енержиси сычрајышла истилијә вә башга енержи формаларына кечир. Зәрбә далғасынын күчү бу далғанын сүр'әтинин сәсин сүр'әтинә нисбәти илә тә'јин олунан Мах әдәди илә характеризә олунур: бөјүк Мах әдәдинә күчлү дә зәрбә далғасы ујғундур.

Зәрбә далғасынын чәбһәсиндә күтлә селинин, импулсун вә енержинин сахланмасы ганунлары өдәнилир. Ашағыда бу ганунларын садә јазылыш формалары верилмишдир.

$$\rho_1 D = \rho_2 (D - v). \tag{7.77}$$

Бу тәнлик зәрбә далғасы чәбһәсиндә күтлә селинин сахланмасыны тәсвир едир; бурада ρ_1—далға чәбһәсинин өнүндә, ρ_2—далға чәбһәсинин архасында газын сыхлығы, D—зәрбә далғасы чәбһәсинин һәјәчанлашмамыш газа нисбәтән сүр'әти, v—далға чәбһәсинин архасында газын сүр'әтидир ($v < D$-дир). 102-чи шәкилдә зәрбә далғасынын профили верилмишдир.

Импулсун сахланмасы үмуми шәкилдә белә верилир:

$$p_1 + \rho_1 D^2 = p_2 + \rho_2 (D - v)^2 \tag{7.78}$$

Бу тәнликдә p_1 вә p_2 ујғун олараг далға чәбһәсинин өнүндә вә архасында газын тәзјигләридир.

Нәһајәт енержинин сахланмасы гануну

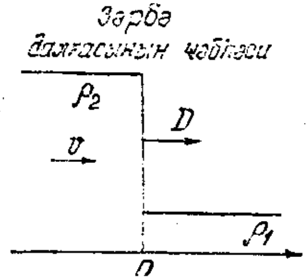
$$E_1 + \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{D^2}{2} = E_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{(D - v)^2}{2} \tag{7.79}$$

тәнлији илә тәсвир олунур.

Сахланма ганунларыны тәсвир едән (7.77)—(7.79) тәнликләр системинин һәллиндән $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ вә $\frac{T_2}{T_1}$ нисбәтләри тапылыр.

1944-чү илдә мәшһур академик Л. И. Седов көстәрди ки, мүәјјән (Q) енержинин ајрылмасы илә нәтичәләнән партлајыш сыхлығы бирчинс олан мүһитдә баш верирсә, онда бу просес заманы јаранан сферик зәрбә далғасынын һәр бир t анында сүр'әти

$$D = \frac{2}{5}\left(\frac{Q}{\rho_1}\right)^{1/5} t^{-3/5} = \frac{2}{5}\left(\frac{Q}{\rho_1}\right)^{1/2} r_ф^{-3/2} \tag{7.80}$$

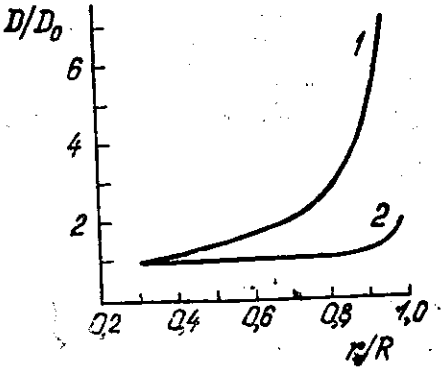


Шәкил 102. Зәрбә далғасынын профили:
D—зәрбә далғасы чәбһәсинин һәјәчанлашмамыш газа нисбәтән сүр'әти, v—далға чәбһәси архасында газын сүр'әтидир v ($< D$-дир).

дүстуру илә тә'јин олар; бурада $r_ф$ —далға чәбһәсинин радиусудур, јә'ни онун партлајыш нөгтәсиндән мәсафәсидир. Күчлү сферик зәрбә далғасынын гејри-бирчинс мүһитдә јајылма сүр'әти үчүн ашағыдакы тәгриби ифадә алынмышдыр:

$$D \simeq C_0(\rho_1 r^3)^{-1/6}; \qquad (7.81)$$

бурада r—далға чәбһәсинин радиусу ($r = r_ф$), ρ_1—r мәсафәсиндә мүһитин сыхлығыдыр; C_0—башланғыч шәртләриндән тапылан мүәјјән сабитдир. Белә ки, ајрылан енержи мә'лум оларса, t_0 анында далға чәбһәсинин r_0 радиусуну вә D_0 ани сүр'әтини тапмагла (7.81)-дән мә'лум ρ_1 сыхлығында C_0 гијмәтләндирилир. Сыхлыг $\rho_1 \sim r^{-2}$ гануну илә дәјиширсә, $\rho_1 r^2$ һасили сабит галмалыдыр. (7.81)-дән көрүрүк ки, бу һалда зәрбә далғасынын сүр'әти дә сабит галар. Сыхлыг сүр'әтлә азаларса ($\rho \sim r^{-m}$, $m > 2$ оларса) зәрбә далғасынын сүр'әти далға чәбһәси радиусунун мүәјјән гијмәтиндән сонра кетдикчә бөјүмәлидир. 103-чү шәкилдә нисби (адсыз) D/D_0 сүр'әтинин адсыз r/R радиусундан асылылығы јухарыдакы ики шәртә әсасән көстәрилмишдир (R—зәрбә далғасынын јајылдығы сферанын радиусудур). Бу шәкилдә $\frac{R}{r} = 0{,}3$-дән е'тибарән ики һала ујғун асылылыг тәсвир олунмушдур. Бурада (1) әјриси $m > 2$, (2) әјриси исә $m = 2$ һалына ујғундур. $m > 2$ оланда D/D_0 нисбәти, далға чәбһәсинин $\frac{R}{r} = 0{,}3$ гијмәтиндән е'тибарән кетдикчә артан сүр'әтлә бөјүјүр, $m = 2$ оланда исә һәмин кәмијјәт демәк олар сабит галыр.



Шәкил 103. Күчлү зәрбә далғасынын ики шәраитдә һәрәкәти; (1) әјриси мүһитин сыхлығынын сүр'әтлә дәјишмәси исә сыхлығын мәсафәдән квадратик асылы олмасы гануну илә дәјишмәсинә ујғундур.

Зәрбә далғасы чәбһәсиндән архада газын һәрәкәт сүр'әти партлајыш нөгтәсиндән истигамәтләнмәклә $v = \frac{3}{4} D$ кими тә'јин едилир. Фәрз едәк ки, зәрбә далғасы күтләси $m(r)$ олан газ күрәси дахилиндә јајылыр. Онда бу күрәнин мәркәзиндән һәр бир r мәсафәсиндә параболик сүр'әт $v_п = \sqrt{\frac{2Gm(r)}{r}}$ олар. G—гравитасија сабитидир. Нә гәдәр ки, $v < v_п$-дир далға чәбһәси архасында јерләшән газ күтләси бир гәдәр күрәнин мәркәзиндән узаглашдыгдан сонра әсас күтлә тәрәфиндән чәзб олунараг тормозланачагдыр. Газ параболик сүр'-

әтдән бөјүк сүр'әт аларса ($v > v_{II}$) онда бу газын јерләшдији гат (ајдындыр ки, һәм дә үст гатлар) әсас күтләдән ајрылараг күрәнин ҹазибә саһәсиндән чыхар вә бу газ күтләләринин һәрәкәтинә мане олаҹаг хариҹи амилләр мејдана чыхана гәдәр күрәдән истәнилән гәдәр узаглашмагда давам едәр. Әкәр газ гатларынын әсас күтләдән ајрылараг ондан узаглашмасы $m > 2$ шәрти өдәнилән мүһитдәдирсә, онда партлајыш нөгтәсиндән мүхтәлиф башланғыҹ мәсафәләрдә мүхтәлиф гатларын узаглашмасы сүр'әтләри мүхтәлиф олар вә нәтиҹәдә бу газлар узаг әтраф фәзаја сәпиләр. Башга сөзлә, партлајыш просесиндә ајрылан гатларын әсас күтлә илә әлагәси бүтүнлүклә кәсиләр. Әсас күтләни тәрк едән гатларын јајылдығы мүһитдә $m = 2$ шәрти өдәниләрсә, бу гатлар сабит сүр'әтлә әсас күтләдән узаглашар вә узун мүддәт бу күтлә илә әлагәли компакт систем тәшкил едәр.

§ 87. ГЕЈРИ-ИСТИЛИК ШҮАЛАНМА МЕХАНИЗМЛӘРИ

Биз § 85-дә тормозланма шүаланмасы илә таныш олдуг. Бу шүаланма сәрбәст-сәрбәст кечидләр нәтиҹәсиндә јарандығындан кәсилмәздир. Мә'лумдур ки, кәсилмәз шүаланма рекомбинасија нәтиҹәсиндә дә јараныр. Истәр тормозланма, истәрсә дә рекомбинасија шүаланмалары истилик шүаланмасыдыр. Мүтләг гара ҹисим кими шүаландыран космик објектләрдә бу истилик шүаланмаларынын интенсивлији Планк дүстуру илә тә'јин едилир. Узун далғаларда (инфрагырмызы вә радиодиапазонда) Планк дүстуру Релеј—Ҹинс дүстуруна, ултрабәнөвшәји областда исә Вин дүстуруна чеврилир (бах § 78).

Лакин чохлу космик објектләр вар ки, онларын шүаланмасыны һәр һансы истилик шүаланма механизми илә изаһ етмәк мүмкүн дејилдир. Даһа доғрусу бу објектләрин шүаланма интенсивлији $I(\nu) \sim \nu^{-\alpha}$ ($\alpha > 0$) гануну илә дәјишир, јә'ни тезлик бөјүдүкҹә шүаланманын интенсивлији кичилир. (Һалбуки, истилик шүаланмасынын интенсивлији мәсәлән (7.30) дүстурундан көрүндүјү кими, тезликдән $\sim\nu^2$ шәкилдә асылыдыр, јә'ни тезлик бөјүдүкҹә интенсивлик бөјүјүр). *Интенсивлији* $\sim \nu^{-\alpha}$ *($\alpha > 0$) гануну илә дәјишән шүаланма гејри-истилик шүаланмасы адланыр.* Гејри-истилик шүаланмасынын астрофизикада раст кәлдијимиз механизмләри илә таныш олаг.

1. Синхротрон шүаланма. Магнит саһәсиндә һәрәкәт едән релјативист електронларын шүаланмасына синхротрон шүаланма дејилир.

Мә'лумдур ки, електронун бирҹинс магнит саһәсиндә һәрәкәти онун магнит гүввә хәтләри бојунҹа ирәлиләмә һәрәкәтиндән вә бу хәтләрин әтрафында фырланмасындан ибарәтдир. Бу заман електрон ν_0

$$\nu_0 = \frac{eH}{2\pi mc} = 2{,}8 \cdot 10^6 H \qquad (7.82)$$

тезликли електромагнит далғасы шүаландырыр. Бурада H магнит саһәсинин интенсивлији (бу саһәнин истигамәти електронун һәрәкәт сүр'әтинә перпендикулјардыр), e вә m—електронун јүкү вә күтләси, c—ишығын сүр'әтидир.

Бөјүк өлчүлү улдуз системләринин—галактикаларын магнит саһәси чох кичикдир 10^{-6}—10^{-5}Е) · (7,82)-дән көрүндүјү кими бу системләрин магнит саһәсинин кәркинлији һәтта $H \simeq 10^{-2}$Е олса, $\nu_0 \simeq 3 \cdot 10^4$ сан$^{-1}$, јахуд $\nu_0 = 10^6$ см $= 10$ км олар. Анчаг гејри-релјативист електрон белә шүаландырыр.

Електрон релјативистдирсә, онда онун енержиси $E \gg mc^2$ шәртини өдәјир вә електронун магнит саһәсиндә шүаландырмасы характери кәскин дәјишир. Бу һалда бир дәнә ν_0 тезлији әвәзинә електрон кәсилмәз спектрдә шүаландырыр вә бу шүаланманын максимуму

$$\nu_m = \nu_0 \left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 = 2{,}8 \cdot 10^6 H \left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 \qquad (7.83)$$

тезлијинә јахын олур. Бурада ν_0—(7.82) дүстуру илә тә'јин олунур. Әкәр $E \gg mc^2$ бәрабәрсизлији кифајәт гәдәр күчлүдүрсә, онда шүаланманын хејли гисми астрофизикада мүшаһидә олунан гејри-истилик шүаланма диапазонларына ујғун далғаларда ола биләр. Мәсәлән, $H = 10^{-5}$Е оларса, (7.82)-дән тезлик үчүн $\nu_0 \simeq 30$ сан$^{-1}$ аларыг. Инди фәрз едәк ки, бу саһәдә $E \simeq 10^{10}$ еВ ерг енержијә малик релјативист електронлар һәрәкәт едир. Онда (7.83) дүстурундан $\nu_m \simeq 5 \cdot 10^9$ сан$^{-1}$, јахуд $\lambda \simeq 6$ см аларыг, јә'ни радиодалғада шүаланмаја ујғун λ аларыг. (7. 83)-дән көрүрүк ки, магнит саһәси күчлү оланда (мәсәлән H-10^3 Е), синхротрон шүаланма спектрин рентген областында ола биләр.

Гәбул едәк ки, електронларын $n(E)$ сајынын E енержисиндән асылылығы

$$n(E) = \frac{K}{E^{\gamma}} \qquad (7.84)$$

гануну илә верилир. Бурада K вә Υ сабитләридир. Синхротрон шүаланмада һәчми шүаланма әмсалы

$$\varepsilon_\nu = C(\gamma) K H^{\frac{\gamma+1}{2}} \nu^{\frac{1-\gamma}{2}} \qquad (7.85)$$

дүстуру илә тә'јин едилир. Бурада $C(\gamma)$—γ-дан асылы сабитдир. K әмсалы да сабит олдуғундан (7.85)-и белә јазмаг олар:

$$\varepsilon_\nu = \text{const} \cdot H^{\frac{\gamma+1}{2}} \nu^{\frac{1-\gamma}{2}}. \qquad (7.86)$$

(7.86) дүстурундан көрүрүк ки, $\gamma > 1$ оларса тезлик кичилдикчә ε_ν бөјүјүр; γ-нын әдәди гијмәти мүшаһидәләрдән тапылыр. Мә'лум олур

ки, бир сыра космик објектләр үчүн һәгигәтән $\gamma > 1$-дир, јә'ни бу објектләрин шүаланмасы синхротрон механизмин нәтичәсиндәдир.

Синхротрон шүаланманын әсас хүсусијјәти онун полјаризә олунмасыдыр. Бурада шүаланманын електрик вектору магнит саһәсинә перпендикулјардыр.

2 Електромагнит далғаларынын релјативист електронлардан комптон сәпилмәси. Фотон вә електрон тоггушанда онларын арасында енержи вә импулс мүбадиләси ола биләр. *Бу просес комптон сәпилмәси адланыр. Бу мүбадилә заманы електрон енержи әлдә едиб фотон исә енержи итирирсә Комптон еффекти баш верир. Бунун әксинә оланда, јә'ни електрон енержи итириб фотон енержи газанырса, бу просес тәрс комптон еффекти адланыр.*

ν_0—фотонун илкин тезлији, E—релјативист електронун енержиси олсун. Комптон сәпилмәси нәзәријјәсинә әсасән електронлардан сәпилән фотонун тезлији

$$\nu = 2\nu_0 \left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 \gg \nu_0 \qquad (7.87)$$

дүстуру илә тә'јин едилир.

Беләликлә релјативист електронлар кичик тезликли шүаланма саһәсиндә һәрәкәт едирләрсә, онда комптон сәпилмәси нәтичәсиндә мәнбә јүксәк тезликли шүаланма мәнбәји ола биләр. Мәсәлән синхротрон радиошүаланма мәнбәји олан објект комптон сәпилмәси нәтичәсиндә ејни заманда рентген вә гамма шүаланмасы мәнбәји ола биләр. Релјативист електронларын енержијә көрә пајланмасы (7.84) дүстуру илә тә'јин олунурса онда комптон шүаланмасы интенсивлијинин тезликдән асылылығы синхротрон шүаланмада олдуғу кими $\sim \nu^{\frac{1-\gamma}{2}}$ гануну илә верилир. Одур ки, бу ики гејри-истилик шүаланма механизмини бир-бириндән ајырмаг үчүн әлавә мүшаһидә мә'луматлары олмалыдыр. Бурада комптон шүаланмасынын синхротрон шүаланмадан фәргли олараг магнит саһәсиндән асылы олмамасы критери ола биләр.

Нәһајәт плазмада белә бир гејри-истилик шүаланма механизми дә мөвчуддур. Плазмада узунуна далғалардан бири плазмонлардыр. Бунларын ади сәс далғаларына бәнзәрлији вардыр. Бу бәнзәрлик ондан ибарәтдир ки, плазмонлар електронларын сыхлығынын плазмада бир јердә бөјүк, башга јердә кичик олмасы нәтичәсиндә јараныр. Лакин һәјәчанланма, сәс далғаларындан фәргли олараг, тоггушма илә дејил, електрик саһәси вектору далғанын јајылмасы истигамәтдә јөнәлмәклә електрик саһәләринин гаршылыглы тә'сири илә јараныр.

Плазмонларын релјативист зәррәчикләрдән сәпилмәси електромагнит шүаланмасына сәбәб олур.

Бу һалда шүаланманын интенсивлији $\sim \nu^{-\frac{\gamma+3}{2}}$ гануну илә баш верир. Бу асылылығын (7.86) асылылығы илә мүгајисәсиндән көрүрүк ки, синхротрон вә еләчә дә комптон шүаланмасындан фәргли олараг бурада тезликдән асылылыг даһа кәскиндир. Бу механизмдән плазманын чох гәрибә хүсусијјәтә малик олдуғу көрүнүр: *плазмада механики рәгсләр електромагнит шүаланмасына чеврилир.*

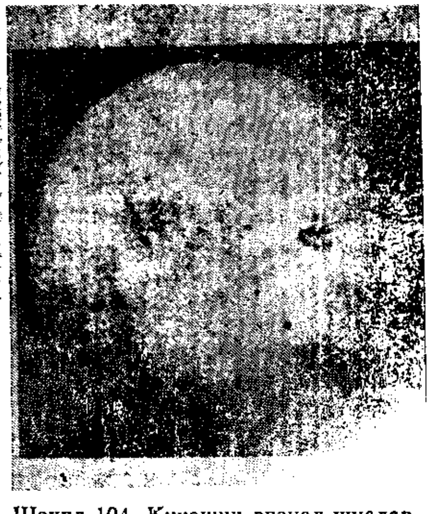
КҮНӘШ ФИЗИКАСЫ

Күнәш ади улдузлардан биридир. Күнәш улдузлара нисбәтән Јерә мүгајисәсиз дәрәчәдә јахын олдуғундан онун һаггында биз даһа чох мә'лумата маликик. Күнәши өјрәнмәк бир нечә бахымдан олдугча әһәмијјәтлидир.

Һәр шејдән әввәл Күнәш планетимизи лазыми истилик енержиси илә, ишыгла тә'мин едир. Күнәшсиз Јердә чанлы варлыг мүмкүн олмазды. Күнәш шүаланмасы Јерин атмосферинә, онун магнит саһәсинә мүхтәлиф тә'сирләр көстәрир, мүхтәлиф кеофизики һадисәләрә сәбәб олур. Јердә глобал иглим шүбһәсиз ки, Күнәшлә әлагәдардыр.

Күнәши өјрәнмәјин башга бир әһәмијјәти онун әвәзсиз лабораторија олмасыдыр. Күнәшин тәдгиги атом физикасынын, нүвә физикасынын, һидродинамиканын, електродинамиканын, плазма физикасынын, о чүмләдән магнитоһидродинамиканын инкишафына хејли көмәк едир. Һидрокенин һелиума чеврилмәси илә нәтичәләнән истилик—нүвә реаксијалары илк дәфә Күнәшин тимсалында әсасландырылмышдыр. Исти плазманын узун мүддәт сахланмасы үчүн магнит саһәсиндән истифадә идејасы илк дәфә Күнәшдә баш верән бир сыра просесләрин тимсалында диггәти чәлб етмишдир. Күнәш физикасыны өјрәнмәјин физики әһәмијјәти һаггында чох сајда мүхтәлиф дәлилләр мөвчуддур.

Нәһајәт, Күнәш Јерә ән јахын улдуз олдуғундан улдузлар үчүн үмуми олан чәһәтләри Күнәшдә даһа мүкәммәл өјрәнмәк олур. Бурада алынан нәтичәләрдән башга улдузлар үчүн еталон кими истифадә олунур. Улдузларда баш верән бир сыра просесләрин Күнәшдәкиләрә бәнзәрлији вә һәтта аналогу ашкар едилир. Бу чәһәт улдузларын тәдгигини хејли дәрәчәдә асанлашдырыр вә белә тәдгигатлар заманы алынан нәтичәләри дәгигләшдирмәјә вә үмумиләшдирмәјә имкан верир.



Шәкил 104. Күнәшин визуал шүаларда фотографијасы. Шәкилдә ләкәләр вә дискин кәнарларына доғру парлаглығын зәифләмәси көрүнүр.

§ 88. КҮНӘШИН ӘСАС ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРЫ

Визуал шүаларда Күнәш кәскин кәнара малик даирәви диск шәклиндә көрүнүр. Телескоп васитәси илә Күнәшин хәјалыны ағ екрана пројексијаласаг, јахуд фотографијасыны алсаг көрәрик ки, онун пар-

лаглығы дискин мәркәзиндән кәнарларына доғру азачыг зәифләјир (шәкил 104). Бу зәифләмә оптик областда далға узунлуғу кичилдикчә бөјүјүр вә ултрабәнөвшәји шүаларда даһа күчлүдүр. Күнәшин (елә-чә дә башга улдузларын) мүшаһидә олунан парлаглығы онун фотосфер адланан атмосфер гатындан чыхан кәсилмәз спектрдәки шүаланма һесабынадыр. Елә «фотосфер» сөзүнүн өзү јунанча «ишыг сферасы» демәкдир. Беләликлә визуал шүаларда, јахуд ади телескопда көрүнән күнәш онун фотосферидир. Күнәш фотосфериндә тутгун деталлар мүшаһидә олунур. Бунлар күнәш ләкәләри адланыр. Фотосферин үзәриндә һәмишә дүјү дәнәләринә бәнзәр парлаг деталлар да көрүнүр. Бунлара грануллар дејилир. Һәр бир гранулун хәтти өлчүсү бир нечә јүз километр, јашама мүддәти бир нечә дәгигә олур. Һалбуки, елә күнәш ләкәләри вардыр ки, онларын хәтти өлчүсү 100000 км-ә чатыр, јашама мүддәти исә бир нечә ај ола билир. Өлчүсү бир нечә мин километр, јашама мүддәти бир нечә саат олан ләкәләр дә мүшаһидә олунур.

Күнәш фотосфериндән үстдә күнәш атмосферинин даһа ики гаты јерләшир. Фотосфердән үстдәки атмосфер гаты хромосфер (рәнкли сфера) адланыр, онун һүндүрлүјү бир нечә мин километрдир. Хромосфердән үстдә милјонларла километр давам едән тач гаты јерләшир. Хромосферин парлаглығы јүз дәфәләрлә, тачынки исә милјон дәфәләрлә фотосферинкиндән зәифдир. Мәһз бу сәбәбдән Күнәш атмосферинин үст гатлары парлаг фотосфер фонунда көрүнмүр. Бу гатлар анчаг там күнәш тутулмасы заманы, јахуд хүсуси телескоплар васитәсилә мүшаһидә олунур (бах § 68.4).

Күнәшин бучаг өлчүсү вә радиусу онун фотосферинә көрә тапылыр. Күнәшлә Јер арасындакы орта мәсафәдә, јә'ни бир астрономик ваһид мәсафәдә (1 а. в.$=149{,}6\cdot10^6$ км олдуғуну билирик) Күнәшин көрүнән бучаг радиусу $16'$-дир. Одур ки, Күнәшин хәтти радиусу $R = 696000$ км-дир.

Јерин орта радиусу 6371 км олдуғундан көрүрүк ки, Күнәшин радиусу Јеринкиндән ~ 109 дәфә бөјүкдүр. Билирик ки, Күнәшин күтләси Јеринкиндән 333.000 дәфә бөјүкдүр. Јерин күтләси $5{,}98\cdot10^{24}$ кг олдуғундан Күнәшин күтләси $m_\odot = 1{,}99\cdot10^{30}$ кг $\simeq 2\cdot10^{33}$ г алыныр. Күнәши күрә гәбул едәрәк онун мә'лум радиусуна көрә һәчми үчүн $V_\odot = 1{,}4\cdot10^{33}$ см^3 аларыг. Күнәшин мә'лум күтлә вә һәчминә әсасән онун орта сыхлығы $d_\odot = 1{,}41$ г/см^3-дур. Күнәшин сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чили $g_\odot = G\dfrac{m_\odot}{R_\odot^2} = 274$ м/сан$^2 = 2{,}74\cdot10^4$ см/сан^2-дыр, јә'ни Јерин сәтһиндә сәрбәстдүшмә тә'чилиндән 28 дәфә бөјүкдүр. Күнәш үчүн параболик сүр'әт $v_{\odot п} = \sqrt{\dfrac{2Gm_\odot}{R_\odot}} = 618$ км/сан-дир, јә'ни Јерә нәзәрән параболик сүр'әтдән 56 дәфә бөјүкдүр. Күнәшдән пүскүрүлән јүклү зәррәчикләрин вә атылан газ күтләләринин сүр'әтинин Күнәшин параболик сүр'әтиндән бөјүк олмасы ади һалдыр. Одур ки, бунларын

Күнәши тәрк едәрәк планетләрарасы фәзаја јајылмасы, о чүмләдән, бир гисминин Јерәтрафы фәзаја нүфуз етмәси дә ади һадисәдир.

Күнәшин ишыглығыны дәгиг билмәјин бөјүк әһәмијјәти вардыр. Чүнки улдузларын вә башга бир сыра објектләрин ишыглығы күнәш ишыглығы ваһидләри илә верилир. Күнәшин ишыглығыны дәгиг билмәк үчүн онун ваһид заманда шүаландырдығы енержинин гијмәтини билмәк лазымдыр. Бу енержини јер атмосфериндән кәнарда бир астрономик ваһид мәсафәдә күнәш шүаларына перпендикулјар олан 1 $см^2$ сәтһин 1 дәгигәдә Күнәшдән гәбул етдији истилик енержисинин мигдары илә тә'јин едирләр. Бу истилик мигдарына күнәш сабити дејилир. Космик техниканын астрономијаја тәтбигинә гәдәр күнәш сабити мүәјјән үсулла Јердә гијмәтләндирилирди. Јерин сүн'и пејкләриндә гојулмуш хүсуси чиһазлар васитәсилә күнәш сабитинин гијмәти дәгигләшдирилмишдир. Күнәш сабити

$$E = 1,96 \frac{\text{калори}}{\text{см}^2 \cdot \text{дәгигә}} = \frac{1,37 \cdot 10^6\,\text{ерг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сан}} = \frac{1370\ \text{Вт}}{\text{м}^2}. \qquad (8.1)$$

Күнәш сабитинин Јердә тә'јин олунмасында хәта $\sim$ 1 %-дир. Сон вахтлар сүн'и пејкләрдә апарылан өлчмәләр көстәрир ки, күнәш сабити 1%-дән кичик амплитуд илә дәјишир. Күнәш сабитинин тә'јини хәтасы 0,01%-ә ендириләндән сонра бу кәмијјәтин дәјишмәсинин реаллығы вә тәбиәти ајдынлашачагдыр. Бунун чох бөјүк тәтбиги әһәмијјәти вардыр. Чүнки Јерин иглиминин кечмишдә дәјишмәси вә онун кәләчәкдә нечә олачағы проблеми хејли дәрәчәдә Күнәшин шүаланкәлә мә күчүндән асылыдыр. Күнәш сабитинин әдәди гијмәтинин дәјишмәси проблеминин тәдгиги Күнәшин өзүндә кедән глобал дәјишикликләри өјрәнмәк үчүн дә чох вачибдир. Күнәш сабитинин (8.1) гијмәтини Јерлә Күнәш арасындакы $a = 149{,}6 \cdot 10^{11}$ см орта мәсафә радиуслу сферанын сәтһинә вурмагла Күнәшин $L_\odot$ ишыглығыны тапарыг.

$$L_\odot = E \cdot 4\pi a^2 = 4,85 \cdot 10^{33}\,\frac{\text{ерг}}{\text{сан}} = 3,85 \cdot 10^{26}\,\text{Вт} \qquad (8.2)$$

Күнәш ишыглығынын (8.2) гијмәтинә вә мә'лум радиусуна әсасән Күнәшин ваһид сәтһинин ваһид заманда шүаландырдығы $\mathscr{E}_\odot$ енержиси үчүн, jә'ни Күнәшин шүаланма сели үчүн

$$\mathscr{E}_\odot = \frac{L_\odot}{4\pi R_\odot^2} = 6,33 \cdot 10^7\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \qquad (8.3)$$

аларыг.

Күнәш енержисинин Јерин пајына дүшән гисми

$$\alpha = \frac{\pi R_{\text{j}}^2}{4\pi a^2} = \frac{1}{4}\left(\frac{R_{\text{j}}}{a^2}\right)^2 = \frac{1}{2,2 \cdot 10^9} \qquad (8.4)$$

олар; бурада $R^{\dot{}}=6371$ км Јерин орта радиусудур, a—Јерлә Күнәш арасындакы орта мәсафәдир. (8.4)-дән көрүрүк ки, Күнәшин там шүаланмасынын ики милјарддан да аз бир гисми Јерин пајына дүшүр.

(7.36)-дан Күнәшин еффектив температурунун $T_{\text{ефф}}=5785$ К олдуғуну билирик. Бу, (8.3)-дән мә'лум $\mathscr{E}_{\odot}$ -ә әсасән $\varepsilon=\sigma T^{4}_{\text{ефф}}$ Стефан-Болсман ганунундан тапылыр.

Күнәш ләкәләринин мүшаһидәләриндән көрүнүр ки, онлар күнәш дискинин шәрг кәнарындан гәрб кәнарына доғру, јә'ни солдан сағә јерләрини дәјишир. Бу о демәкдир ки, Күнәш Јерин доланмасы истигамәтдә, јә'ни еклиптиканын шимал гүтбүндәки хәјали мүшаһидәчијә көрә саат әграбинин әкси истигамәтдә фырланыр. Һәр бир фырланан чисмин мүәјјән фырланма оху олдуғу кими Күнәшин дә фырланма оху вардыр. Бу охун узантысынын күнәш сәтһини кәсдији нөгтәләр Күнәшин гүтбләри адланыр. Күнәшин мәркәзиндән кечмәклә фырланма охуна перпендикулјар олан диарә күнәш екватору адланыр. Күнәш екваторундан олан бучаг мәсафәси һелиографик енлик адланыр. Күнәш екватору еклиптика илә $i=7°15^{1}$ бучаг әмәлә кәтирир. Бу сәбәбдән Јерин Күнәш әтрафында доланмасы нәтичәсиндә ләкәләрин көрүнән јоллары ил әрзиндә дәјишир: декабр вә ијунда ләкәләрин јердәјишмәси дүзхәтли, јазда габарыг тәрәфи шимала, пајызда исә чәнуба јөнәлән гөвсләр үзрә олур. Минләрлә ләкәнин мүшаһидәләриндән алынан башга бир нәтичә дә одур ки, Күнәш бәрк чисим кими фырланмыр. Күнәшин ω фырланма бучаг сүр'әти (онун бир суткада дөнмәси) һелиографик енликдән асылыдыр:

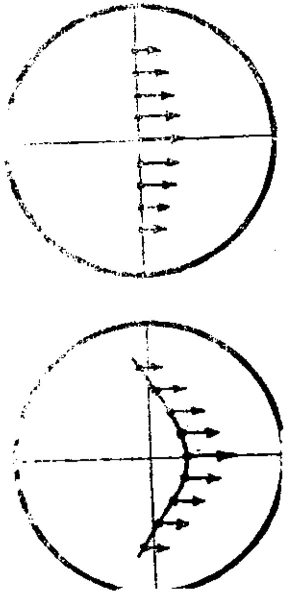
$$\omega=14°,4-2°,7\ \sin b. \qquad (8.5)$$

Бурада b—һелиографик енликдир. (8.5)-дән көрүнүр ки, бучаг сүр'әти Күнәшин екваторундан гүтбләринә доғру мүәјјән ганунла кичилир. Күнәшин екваторунда $b=0°$ олдуғундан (8.5)-дән $\omega=14{,}4°$/сутка аларыг; бурадан Күнәшин екваторунда там фырланма периоду үчүн $\frac{360°}{14{,}4°/\text{сутка}}=25$ сутка алыныр. Күнәшин гүтбләриндә $b=\pm 90°$ олдуғундан (8.5)-ә әсасән $\omega=11{,}7°$) сутка олур; бурадан Күнәшин гүтбләри рајонунда там фырланма дөврү үчүн $\frac{360°}{11{,}7°/\text{сутка}}\simeq 30$ сутка алыныр. Беләликлә Күнәшин фырланма дөврү онун екваторундан гүтбләринә доғру 25 суткадан 30 суткаја гәдәр дәјишир. Күнәшин бу дөврү онун сидерик фырланма *периоду* адланыр. Јер Күнәшин әтрафында Күнәшин фырланмасы истигамәтдә доландығындан Күнәшин фырланма периоду Јердәки мүшаһидәчијә көрә узун олмалыдыр. Бу, Күнәшин *синодик фырланма периоду* адланыр. Күнәшин екваторунда бу период 27 суткаја, гүтб рајонларында 32 суткаја бәрабәрдир. Күнәш бәрк чисим кими фырланмадығындан онун гүтбләриндән кечән даирәләр, јә'ни һелиографик меридианлар мүхтәлиф һелиографик енликләр үчүн мүхтәлиф олмалыдыр. Шәрти олараг гәбул едилмишдир ки, Күнәшин меридианлары $\pm 16°$ һелиографик енликләрә малик нөгтәләрдән кечир. Бу нөгтәләрдә Күнәшин сидерик фырланма периоду 25,38 сутка, синодик фырланма периоду исә 27,28 суткадыр. Күнәш нөгтәсинин һелиографик узунлуғу мүәјјән вахт аны вә нөгтәјә бағлы башланғыч меридиан-

дан һесабланыр. Шәрти олараг 1854-чү ил јанварын 1-дә гринвич меридианында орта күнорта анында күнәш екваторунун еклиптика илә кәсишдији нөгтәдән кечән меридиан башланғыч меридиан һесаб едилир.

Күнәш ләкәләри екватордан тәгрибән $\pm 40°$-јә гәдәр енликдә мүшаһидә олунур. Јухары һелиографик енликләрдә ләкә олмадығындан бу енликләрдә Күнәшин фырланмасы вә үмумијјәтлә Күнәшин фырланмасындакы инчәликләр Күнәшин спектрал хәтләринин доплер сүрүшмәсинә әсасән тәдгиг олунур.

105-чи шәкилдә Күнәшин фырланма схеми көстәрилмишдир. Јухарыдакы шәкилдә ләкәләр мәркәзи меридиан боју дүзүлмүшләр: ашағыдакы шәкилдә исә Күнәшин бир дәфә там фырланмасындан сонра ләкәләрин вәзијјәти көстәрилмишдир. Бу ики шәклин мүгајисәсиндән Күнәшин бәрк чисим кими фырланмадығы вә онун фырланма бучаг сүр'әтинин һелиографик енликдән асылы олдуғу кејфијјәтчә ајани көрүнүр.



Шәкил 105. Күнәшин фырланмасы схеми:
јухарыда ләкәләр мәркәзи меридиан үзрә дүзүлмүшләр; ашағыда Күнәшин там фырланмасындан сонра ләкәләрин дүзүлүшү көстәрилмишдир (үфүғи хәтт күнәш екваторунун шәкил мүстәвиси илә кәсишмәсидир)

§ 89. КҮНӘШИН СПЕКТРИ, КҮНӘШ СПЕКТРИНДӘ ЕНЕРЖИНИН ПАЈЛАНМАСЫ, КҮНӘШИН КИМЈӘВИ ТӘРКИБИ.

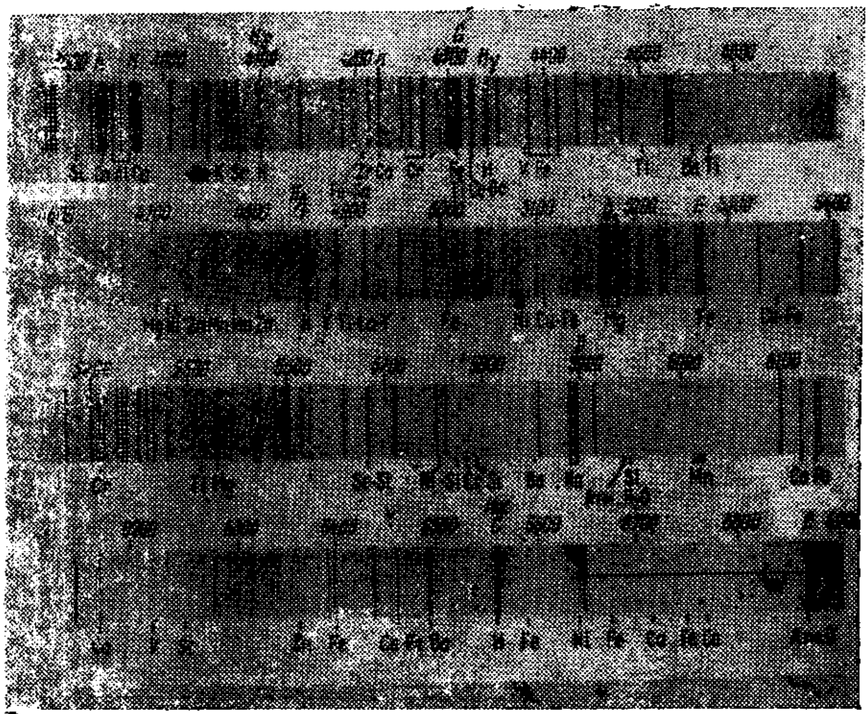
Тәгрибән 1900 Å-дән инфрагырмызы областадәк Күнәшин оптик спектри чох интенсив кәсилмәз шүаланмадан вә бу кәсилмәз спектр фонунда он миндән артыг енсиз вә тутгун удулма хәтләриндән ибарәтдир. 106-чы шәкилдә спектрин көрүнән областында Күнәшин спектри көстәрилмишдир. Күнәшин спектриндәки удулма хәтләринә 1814-чү илдә илк дәфә онлары мүшаһидә едән австрија физики Фраунһоферин шәрәфинә *фраунһофер хәтләри* дејилир.

Тәгрибән 2000 Å-дән гыса далғалара тәрәф күнәш спектри кејфијјәтчә дәјишир: кәсилмәз спектрин интенсивлији сүр'әтлә зәифләјир вә тәгрибән 1900 Å-дән гыса далғалара тәрәф фраунһофер хәтләрини минләрлә емиссија хәтләри (парлаг хәтләр) әвәз едир. 107-чи шәкилдә узаг ултрабәнөвшәји областда Күнәшин спектри көстәрилмишдир.

Әлбәттә Күнәшин спектринин узаг ултрабәнөвшәји областы вә һәмчинин рентген вә гамма шүаланмалары атмосфердәнкәнар астрономија үсуллары илә мүшаһидә олунур (бах: § 67).

Күнәш спектринин $\lambda \leqslant 15$ мкм инфрагырмызы областы јер атмосферинин әсасән су бухарына, гисмән дә оксикен молекуллары вә карбон газына мәхсус удулма золаглары илә зәнкиндир. Бу золагларын арасындакы «ачыг пәнчәрәләр»дән Күнәшин инфрагырмызы спектри ($\lambda \leqslant 15$ мкм-дә) Јердән мүшаһидә олунур. $\lambda > 15$ мкм далғаларда инфрагырмызы күнәш шүаланмасы јер атмосферинин јухарыда адларыны чәкдијимиз молекуллары тәрәфиндән тамамилә удулур. Одур ки, $\lambda = 15$ мкм-дән 1 мм-ә гәдәр диапазонда Күнәшин спектри балон астрономијасы вә ја атмосфердәнкәнар астрономија үсуллары илә алыныр.

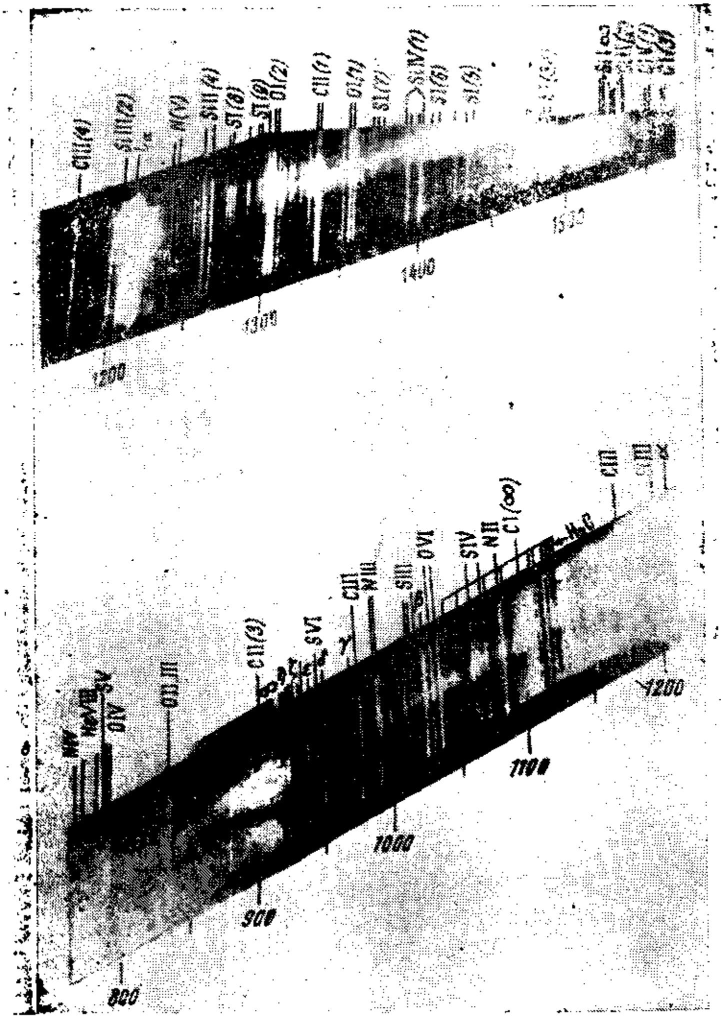
Күнәшин радиошүаланмасы ($1 \div 4$) мм вә 8 мм-дән метрләрәдәк далғаларда өјрәнилир (бах: § 67).



Шәкил 106. Күнәшин көрүнән областда спектри.

Беләликлә Јердән вә онун атмосфериндән харичдә апарылан мүшаһидәләрдән мә'лум олур ки, Күнәш електромагнит далғаларынын бүтүн диапазонларында шүаланма мәнбәјидир.

Күнәшин кәсилмәз спектриндә енержинин бир гисми фраунһофер хәтләриндә удулур. Бу удулма әсасән фотосфердә, гисмән дә хромосфер дә олур. Фраунһофер хәтләринин сајы гыса далғалара тәрәф чохалыр. $\lambda < 0{,}45$ мкм-дә бу хәтләр һесабына удулма күчләнир вә $\lambda < 0{,}3$ мкм-дә фраунһофер хәтләринин сајы о гәдәр чох олур ки, кәсилмәз спектрин бу областдакы енержисинин јарысындан чоху һәмин хәтләрдә удулур. Нәтичәдә узаг ултрабәнөвшәји областда Күнәшин шүаланма-



Шәкил 107. Күнәшин узаг ултрабәнөвшәји областда спектри.

сы, температуру 5785 K олан мүтләг гара чисмин шуаланмасындан хејли зәиф олур, јә'ни узаг ултрабәнөвшәји областда Күнәшин кәсилмәз спектриндәки енержисинә ујғун температур онун еффектив температурундан хејли кичик олур.

§ 78-дә верилән 94-чү шәкилдә λλ 2.000—10.000 A далға узунлуглары диапозонунда күнәш диски мәркәзинин кәсилмәз спектриндә енержинин пајланмасы әјриси (бүтөв гара хәт) вә температурун үч гијмәтиндә планк әјриләри (гырыг хәтләр) тәсвир олунмушдур. Бу параграфда Күнәшин еффектив температуру, Вин температуру, мүхтә-

лиф далға узунлугларында парлаглыг (шүаланма) температуру вә нәһајәт, мүхтәлиф далға узунлуглары интервалында рәнк температуру һаггында бәһс етмишдик. 6-чы чәдвәлдә Күнәшин адларыны чәкдијимиз температурлары верилмишдир.

Чәдвәл 6.

Күнәшин харичи гатларынын мүхтәлиф методларла тапылмыш температурлары.

Метод	Нәтичә (К-лә)	Температурун (температуру характеризә едән параметрин) ады
Максимум шүаланмаја ујғун далға узунлуғуна көрә (Вин ганунуна әсасән)		
$\lambda_{max}=4700$ Å	6150	Вин температуру
$\gamma_{max}=4300$ Å	6750	—"—
Там шүаланма селинә көрә (Стефан-Болсман ганунуна әсасән)	5785	Еффектив температуру
Монохроматик шүаланма интенсивлијинә көрә (Планкын шүаланма дүстуруна әсасән)		
1000 Å	4500	Планк (шүаланма) температуру
2500 Å	5060	—"—
5500	6400	—"—
1 м	10^6	—"—
Енержинин нисби пајланмасына көрә		
4700—5400 Å	6500	Рәнк температуру
4300—4700 Å	8000	—"—

Чәдвәлдән көрүндүјү кими мүхтәлиф методларла тапылан температурлар гијмәтчә бир-бириндән чидди фәргләнир.

Бу фәргин дәрин физики мә'насы вардыр. Башга сөзлә бу фәрг бизи ашағыдакы нәтичәләрә кәтирир:

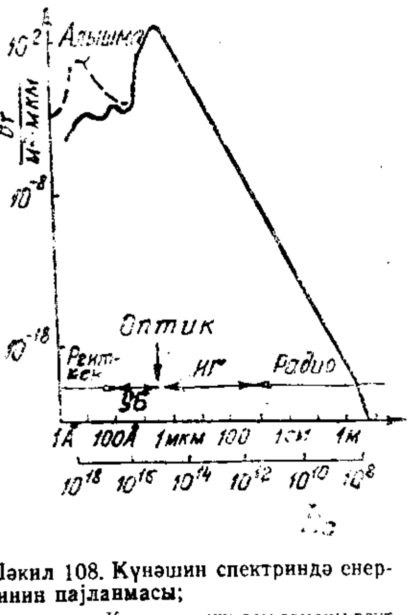
1. Күнәшин шүаланмасы мүтләг гара чисмин шүаланмасындан фәргләнир (әкс һалда мүхтәлиф үсулларла тапылан температурлар ејни оларды).

2. Күнәшин мүхтәлиф гатларынын температуру мүхтәлифдир. Күнәш чох исти газлардан ибарәт олдуғундан онун гејри-шәффафлығы далға узунлуғундан чидди асылыдыр: ултрабәнөвшәји далғаларда күнәш фотосфери аз шәффафдыр нәинки көрүнән шүаларда, радиодалғаларда исә Күнәш фотосфери там гејри-шәффафдыр. Шәффафлығын далға узунлуғундан белә асылы олмасы о демәкдир ки, ултрабәнөвшәји далғалардан көрүнән далғалара доғру шүаланма даһа дәрин фотосфер гатындан чыхыр; радиодалғалар областында исә шүаланма анчаг фотосфердән үстдәки атмосфер гатларындан чыха биләр, өзү дә далға узунлуғу бөјүдүкчә бу шүалар даһа үст атмосфер гатларындан чыхыр. 6-чы чәдвәлдән көрүрүк ки, фотосферин мүәјјән гатында температур минимум олмалыдыр вә узаг ултрабәнөвшәји далғаларда Күнәшин шүаланмасы бу гата ујғундур. Бу гатдан һәм ашағы, һәм дә јухарыја доғру температур сүр'әтлә бөјүјүр.

3. 5000—6000 К-дә бир чох метал атомлары, 10—15 мин Келвиндә исә әсас елемент олан һидрокен атомлары ионлашдығындан Күнәшдә температур режиминә көрә дејә биләрик ки, күнәш маддәси әсасән ионлашмыш һалдадыр. Јалныз температур минимуму әтрафында чох назик атмосфер гатында (~ 100 км галынлыглы гатда) һидрокен демәк олар ки, там нејтрал һалдадыр. Беләликлә, Күнәш бүтөвлүкдә јүксәк дәрәчәдә ионлашмыш плазма һалындадыр.

6-чы чәдвәлдән вә онун шәрһиндән ајдындыр ки, температуру характеризә едән һәр бир параметр физики мә'насы олан реал кәмијјәтдир, јә'ни бу параметрин һәр бири мүәјјән гатын реал температурудур вә бу температура малик атмосфер гатындакы физики шәраитә ујғундур. Мәсәлән, 4500 К Күнәшин сәтһинә јахын гатда фотосферин температурудур, радиодиапазонда $\lambda=1$ м далғада парлаглыг температуру Күнәш атмосферинин үст гатында (тачында) мөвчуд олан физики шәраитә ујғун температурдур (бу, һәмин гатда електрон вә ја парлаглыг температурдур).

Оптик вә инфрагырмызы диапазонда кәсилмәз шүаланманын әсас һиссәси орта температуру Күнәшин еффектив температуруна јахын олан фотосфер гатындан чыхыр; кичик температурлу областларда шүаланма исә фотосферин үст гатына вә хромосферин она гоншу гатына аиддир; радиошүаланма вә рентген шүаланмасынын әсас һиссәси орта температуру $\sim 10^6$ К олан тач гатларына аиддир. Биз мүвафиг параграфда фотосфердән бәһс едәркән температурун дәринликдән асылы олараг пајланмасы мәсәләсинә бир дә нәзәр салачајыг.



Шәкил 108. Күнәшин спектриндә енержинин пајланмасы;

Гырыг хәтлә Күнәш алышмасы заманы рентген вә узаг ултрабәнөвшәји областларда шүаланманын күчләндији тәсвир олунмушдур: УБ ултрабәнөвшәји, ИГ—инфрагырмызы демәкдир

108-чи шәкилдә рентген шүаланмадан радиодиапазонадәк чох кениш областда *Күнәшин кәсилмәз спектриндә енержинин пајланмасы* верилмишдир; бурада гырыг хәтлә күнәш алышмасы заманы онун шүаланмасынын күчләндији тәсвир олунур; бу шәкилдә ИГ—инфрагырмызы, УБ—ултрабәнөвшәји диапазонлары көстәрир. Шәкилдән көрүнүр ки, күнәш алышмасы заманы әсасән рентген диапазонда шүаланма он, һәтта јүз дәфәләрлә күчләнир; бу заман узаг ултрабәнөвшәји областда да аз да олса күчләнмә вардыр; узаг ултрабәнөвшәји вә рентген диапазонларда Күнәшин шүаланмасынын далға узунлуғундан асылылығы монотон характер дашымыр: далға узунлуғу бөјүдүкчә шүаланма кичик амплитуд илә каһ азалыр, каһ да чохалыр.

Күнәшин радиодиапазонда шүаланма интенсивлиjи дә дәјишир вә бу дәјишмә далга узунлуғу бөјүдүкчә күчләнир. Күнәшин оптик шүаланмасында белә ашкар дәјишкәнлик практики олараг мүшаһидә едилмир вә илк јахынлашмада бу шүаланманын интенсивлиjи сабит гәбул едилир.

Һазырда Күнәшин спектрал хәтләринин тәһлилинә әсасән Менделејев чәдвәлиндәки елементләрдән 72-си Күнәшдә ашкар едилмишдир. Күнәш спектринин оптик областында ән интенсив хәтләр бир дәфә ионлашмыш калсиумун Фраунһофер тәрәфиндән Н вә К һәрфләри илә ишарәләнмиш удулма хәтләридир (бу хәтләрин далға узунлуглары уjғун олараг 3968 Å вә 3934 Å-дир). Интенсивликләринә көрә оптик областда нөвбәти јери һидрокенин Балмер серијасынын H_α, H_β вә H_γ хәтләри тутур (бу хәтләрин далға узунлуглары уjғун олараг λ 6563 Å, 4861 Å вә 4340 Å-дыр). Интенсивликләринә көрә нөвбәти јери натриум, магнезиум, дәмир, титан вә башга металларын нејтрал атомларынын фраунһофер хәтләри тутурлар. Дедик ки, $\lambda < 1900$ Å далғаларда Күнәшин спектриндә минләрлә парлаг емиссија хәтләри вардыр. Бунлардан ән парлағы һидрокенин Лајман серијасынын баш хәтти олан Лајман α—L_α хәттидир (λ 1216 Å). Бу серијанын L_β хәтти дә интенсивдир. Спектрин бу областында нејтрал һелиумун 584 Å вә ионлашмыш һелиумун 304 Å хәтләри дә күчлү парлаг хәтләрдәндир. Узаг ултрабәнөвшәjи областда FeX—FeXIV вә јүксәк дәрәчәдә ионлашмыш башга елементләрин атомларына мәхсус нисбәтән парлаг хәтләр вардыр.

Узаг ултрабәнөвшәjи вә рентген областларда күнәш спектри һаггында күнәш хромосфери вә тачындан данышанда бәһс едәчәјик.

Күнәшин спектриндә спектрал хәтләрин тәһлили көстәрир ки, күнәш күтләсинин тәгрибән 70%-ни һидрокен, 29%-нә јахыныны һелиум вә 1%-дән азачыг чохуну Күнәшдәки галан 70 кимјәви елемент тәшкил едир.

§ 90. КҮНӘШИН ДАХИЛИ ГУРУЛУШУ

Күнәшин сәтһини билаваситә, ондан үстдәки гатлары там күнәш тутулмасы заманы, ја да хүсуси телескопларда мүшаһидә едә билдијимиз һалда, сәтһдән алтдакы гатлары, јә'ни дахили гатлары мүшаһидә едә билмирик; дахили гатлар гара гатран кими гејри-шәффафдыр—бу гатлардан шүаланма билаваситә харичә чыхмыр. Күнәшин тәки мүшаһидә олунмадығындан дахили гурулушу онун атмосфер гатында мүшаһидә олунан мүәјјән һадисәләрә әсасланараг нәзәри өјрәнилир. Бунун үчүн Күнәш фотосфериндән алтда—конвектив зона адланан гатларда баш верән һидродинамик вә магнитоһидродинамик просесләрин тәзаһүрү кими онун атмосфер гатларында јаранан мүхтәлиф рәгс вә далғаларын ашкара чыхарылмасы вә тәдгигинә хүсуси фикир верилир. Бу рәгс вә далғалара Јердә баш верән зәлзәләләрлә әлагәдар олараг јајылан сејсмик далғалара аналожи һадисәләр кими бахмаг олар. Одур ки, Күнәшдә рәгс вә далғаларын ашкара чыхарылмасы вә өјрәнилмәсиндән бәһс едән јени саһә—һелиосејсмолокија јаранмыш вә инди бу саһә сүр'әтлә инкишаф едир. Һелиосејсможи

тәдгигатлар Күнәшин дахили гурулушу, һәтта нүвәси һагда мараглы нәтичәләрә кәтирмәлидир. Бу тәдгигатларда күнәш атмосфериндә физики параметрләрин дәринликдән асылы олараг дәјишмәси ганунларынын Күнәшин мәркәзинә доғру екстраполјасијасындан да истифадә олунур. Бу заман Күнәшин күтләси, радиусу, ишыглығы, кимјәви тәркиби вә фырланмасы нәзәрә алыныр.

Күнәшин дахили гурулушуну өјрәнәркән онун енержи мәнбәјини мүәјјән етмәк чох вачибдир. Күнәшин јашыны билмәк онун енержи мәнбәјини мүәјјән етмәјә көмәк едән шәртдир, чүнки һәр бир енержи мәнбәјинин мүәјјән фәалијјәт мүддәти вардыр. Одур ки, әввәлчә кеоложи мә'луматлара әсасән Күнәшин јашыны гијмәтләндирмишләр. Јердә чөкүнтү сүхурларынын тәркибиндәки садә микроорганизмләрин тәһлили көстәрир ки, бунларын јашы 3 милјард илә јахындыр. Гәдим јер сүхурларынын кимјәви тәркиби һаггында кеоложи мә'луматлар вә ај сүхурларынын кимјәви тәркиби вә гурулушунун тәһлили көстәрир ки, Күнәш системи тәгрибән 4,5—5 милјард ил бундан әввәл јаранмышдыр. Беләликлә Күнәш тәгрибән 5 милјард илдир ки, мөвчуддур вә сон 3 милјард ил мүддәтиндә онун ишыглығы күман ки, илк јахынлашмада сабит галмышдыр. Күнәшин ишыглығы

$L_{\odot} = 3{,}85 \cdot 10^{33} \frac{\text{ерг}}{\text{сан}} = 3{,}85 \cdot 10^{26}$ Вт олдуғундан, онун $t = 3 \cdot 10^9$ ил $\simeq 10^{17}$ сан мүддәтиндә космик фәзаја шүаландырдығы енержи $E_{\odot} = E_{\odot} \cdot t = 4 \cdot 10^{43}$ Чоула еквивалентдир. Күнәшин күтләси $m_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг олдуғундан онун һәр килогримына $\frac{E_{\odot}}{m_{\odot}} = 2 \cdot 10^{13}$ Ч/кг енержи ајрылмасы ујғун кәлир. Бу, күнәш маддәсинин калорилик дәрәчәсидир. Буну мүхтәлиф истилик мәнбәләри илә мүгајисә едәк.

1) Кимјәви јаначагларын ичәрисиндә ән калорилиси партлајычы маддәләрдир. Ән күчлү партлајычы маддәнин бир килограмына дүшән енержи 10^7 Ч-а еквивалентдир. Бурадан ајдындыр ки, ән еффектив кимјәви јаначаг белә Күнәшин енержи мәнбәји ола билмәз, белә мәнбә чәми

$t = \frac{m_{\odot}}{L_{\odot}} \times 10^7 \simeq 5 \cdot 10^{10}$ сан $\simeq 1700$ ил мүддәтиндә јаныб түкәнәрди.

2) XIX әсрдә күман едирдиләр ки, Күнәшин енержи мәнбәји онун гравитасија енержисидир. Мә'лумдур ки, газлардан ибарәт күрә сыхыланда гызыр вә истилик енержиси шүаландырыр. Әкәр Күнәшин мәншәји газларын гравитасија сыхылмасына бағлыдырса, онда белә сыхылма енержи ајрылмасы илә нәтичәләнмәлидир. Бу енержијә гравитасија енержиси дејилир (јахуд потенсиал енержи дејилир). Гравитасија енержиси $E = -\frac{3}{2}\frac{Gm^2}{R}$ дүстуру илә тә'јин едилир. Бу енержинин јарысы шүаланмаја, галан јарысы исә улдузун температурунун јүксәлмәсинә сәрф олунур. Беләликлә Күнәшин гравитасија енержиси тәртибчә $\frac{Gm_{\odot}^2}{R} \simeq 4 \cdot 10^{41}$ Ч-а еквивалентдир. Бу исә Күнәшин 3 мил-

јард илдә шүаландырдығы енержидән ($E_{\odot}$-дән) 100 дәфә кичикдир. Демәли Күнәшин гравитасија енержиси дә онун узун мүддәтли шүаланма мәнбәји ола билмәз.

3) 1938-чи илдә алман физики Бете көстәрди ки, Күнәшин енержи мәнбәји онун нүвәсиндә һидрокенин һелиума чеврилмәси илә нәтичәләнән истилик—нүвә реаксијаларыдыр. Бу мәсәлә § 84.2-дә мүфәссәл шәрһ олунмушдур. Бураја ону әлавә етмәк лазымдыр ки, һидрокенин һелиума чеврилмәси илә бағлы олан истилик-нүвә реаксијалары нәтичәсиндә дөрд протон бир һелиум нүвәсинә чевриләркән $4 \cdot 10^{-12}$ Ҹ енержи ајрылдығындан, бир килограм һидрокенин «јанмасы» нәтичәсиндә

$$\frac{10^{3}}{1{,}67 \cdot 10^{-24} \cdot 4} \times 4 \cdot 10^{-12} \simeq 6 \cdot 10^{14} \text{ Ҹ}$$

енержи ајрылыр. Беләликлә әкәр Күнәш илк вахтлар анчаг һидрокендән ибарәт олсајды вә һәмишә индики темплә шүалансајды (елә индики ишыглыға малик олсајды) онун һидрокен јаначағы $\sim$100 милјард ил кифајәт едәрди.

Мүасир мүшаһидәләрә көрә истилик—нүвә реаксијалары Күнәшин, еләчә дә башга әксәр улдузларын әсас енержи мәнбәјидир. Лакин температурдан асылы олараг бу реаксијаларын нөвләри мүхтәлиф улдузлар үчүн мүхтәлиф олур (бах: § 84.2).

Гәбул едәк ки, Күнәш, һәр биринин күтләси $1/2m_{\odot}$ олан ики күрәдән ибарәтдир вә онларын күтлә мәркәзләри арасындакы мәсафә $R_{\odot}$-дур. Белә күрәләр арасындакы чазибә гүввәси $F_g = G\frac{m_{\odot}^2}{4R_{\odot}^2}$ олар. Бу ики күрәнин сәрһәддиндә тәзјиг $P_g = \frac{F_g}{\pi R_{\odot}^2} = Gm_{\odot}^2/4\pi R_{\odot}^4$ олар. Бу тәзјиг $P_{\Gamma} = \rho_{\odot}\frac{AT}{\mu}$ газ тәзјигини таразлајыр. Одур ки, $\rho_{\odot} = \frac{m_{\odot}}{4/3\pi R_{\odot}^3}$ олдуғуну да нәзәрә алмагла ики гүввәнин таразлығындан ($P_g = P_{\Gamma}$ шәртиндән) $T \simeq \frac{1}{3}\frac{G}{A}\mu\frac{m_{\odot}}{R_{\odot}}$ ифадәсини алырыг. Бурадан Күнәшин мәркәзи температуру үчүн $T_0 = \frac{G}{A}\mu\frac{m_{\odot}}{R_{\odot}}$ дүстуру алыныр. $m_{\odot} = 1{,}99 \cdot 10^{33}$ г, $R_{\odot} = 6{,}96 \cdot 10^{10}$см $\cdot$ $\mu = 0{,}6$ олдуғуну биләрәк, бурадан Күнәшин мәркәзи температуру үчүн $T_0 \simeq 14 \cdot 10^6$ К аларыг.

Күнәшин нүвәсиндә сыхлыг $\rho = 130$ г/см^3-дур. Температур вә сыхлығын мә'лум гијмәтинә әсасән идеал газлар үчүн Клапејрон—Менделејев тәнлијиндән истифадә етмәклә Күнәшин нүвәсиндә тәзјигин гијмәти үчүн $P_0 = 3 \cdot 10^{17} \frac{\text{дин}}{\text{см}^2} = 3 \cdot 10^{11}$ атм $= 3 \cdot 10^{15}$ Па аларыг.

Күнәшин мәркәзиндән $\sim 0{,}3R_{\odot}$ мәсафәдә температур $5 \cdot 10^6$ К-дән, тәзјиг исә 10^{10} атм-дән кичикдир. Температур $5 \cdot 10^6$ К-дән, тәзјиг исә 10^{10} атм-дән кичик дејилдирсә, онда һидрокен газында протон-про-

тон реаксиjалары кедә биләр. Одур ки, (0.2—0.3) $R_{\odot}$ радиуслу күнәш нүвәсиндә истилик-нүвә реаксиjаларынын кетмәси үчүн шәраит вардыр. Әлбәттә ән интенсив реаксиjа Күнәшин мәркәзинә jахын гатларда кетмәлидир. Карбон-азот реаксиjалары мәһз бурада баш верә биләр. Протон-протон реаксиjалары исә нүвәнин сәрһәддинә доғру зәифләмәклә еффектив мәнбә ролу оjнаjыр (бах: § 84.2). Күнәшин мәркәзиндән (0,2—0,3) $R_{\odot}$ мәсафәдә һасил олан истилик—нүвә енержиси ики jолла орадан чыхыр—нејтрино сели вә γ шүаланма илә.

Әввәлчә нејтрино селинә бахаг. § 85. 2-дә көрдүк ки, 4 протонун бир һелиум нүвәсинә синтези нәтичәсиндә аjрылан енержи $\Delta E = 4{,}3 \cdot 10^{-5}$ ерг-дир. Күнәшин ишыглығы исә $L_{\odot} = 3{,}85 \cdot 10^{38} \frac{\text{ерг}}{\text{сан}}$ -дир. Одур ки, һәр саниjә Күнәшин мәркәзи һиссәсиндә $\frac{L_{\odot}}{\Delta E} = 10^{38}$ һелиум нүвәси әмәлә кәлир. Һәр бир зәррәчик әмәлә кәләндә ики нејтрино jарандығындан бир саниjәдә Күнәш нүвәсиндә jаранан нејтриноларын саjы $2 \cdot 10^{38}$ олмалыдыр. Нәзәри һесабламалара көрә нејтрино үчүн (вә антинејтрино үчүн) удулма әмсалы чох кичик $-k_{\nu\nu^-} \simeq 6 \cdot 10^{-14}$ см^2-дир (мүгаjисә үчүн гејд етмәк лазымдыр ки, Балмер сериjасынын сәрһәддиндә удулма әмсалы $6{,}3 \cdot 10^{-18}$ см^2-дир, jә'ни $\sim 10^{26}$ дәфә бөjүкдүр). Күнәш нүвәсиндә сыхлығы $\rho \simeq 100$ г/см^3, Күнәш плазмасында исә бүтүнлүклә һидрокендән ибарәт һесаб етсәк зәррәчикләрин консентрасиjасы үчүн $n = \frac{\rho}{m_H} \simeq 10^{26}$ см$^{-3}$ аларыг. Онда һәр бир атома дүшән һәчм $\frac{1}{n} = 10^{-26}$ см^3 олар.

Зәррәчикләрин һәр биринин сүр'әтинин v^*, ен кәсиjинин исә удма әмсалы тәртибдә олдуғуну гәбул едәк. Онда зәррәчиjин $\frac{1}{n}$ см^3 һәчмини кечмә мүддәти

$$t = \frac{1/n}{v^* k_{\nu\nu^-}} = \frac{1}{n v^* k_{\nu\nu^-}}$$

олар.

Бунун тәрс гиjмәти 1 саниjәдәки тоггушмаларын саjыдыр:

$$N = n v^* k_{\nu\nu^-}.$$

Нөвбәти тоггушмаjа гәдәр зәррәчиjин кечдиjи jол, jә'ни сәрбәст гачыш jолунун узунлуғу исә

$$l = v^* \cdot t = \frac{1}{n k_{\nu\nu^-}}.$$

n вә $k_{\nu\nu}$-ун jухарыдакы гиjмәтләрини ахырынчы ифадәдә jазсаг нејтринонун сәрбәст гачыш jолу үчүн

$$l \simeq 10^{17} \text{ см}$$

гиjмәтини аларыг. Беләликлә Күнәшин нүвәсиндә һасил олан нејтриноларын сәрбәст гачыш jолунун узунлуғу, jә'ни нөвбәти тоггушмаjа

гәдәр зәррәчијин кечә биләчәји јолун узунлуғу һәтта Планет системинин өлчүсүндән дә хејли бөјүкдүр (Күнәшлә ән узаг Плутон арасындакы орта мәсафә $\sim$ 40 а. в. = 6.10^{14} см-дир).

Беләликлә нејтрино сели Күнәши дәрһал тәрк едәрәк космик фәзаја јајылыр. Елементар һесабламалар көстәрир ки, Күнәшдән Јерә гәдәр мәсафәдә һәр квадрат сантиметр саһәјә санијә әрзиндә дүшән Күнәшин нејтрино селиндә $\frac{2\cdot 10^{38}}{4\pi a^2} \simeq 70\cdot 10^9$ нејтрино олмалыдыр.

Күнәшин нүвәсиндә һасил олан нејтрино селиндә әксәр нејтрино-нун дашыдығы енержи кичик (0,42 МеВ—бах § 84.2) олдуғундан онларын Јердә гејдә алынмасы чох чәтин техники проблемдир. Күнәшин нејтрино селини мүшаһидә етмәк проблеми илә һазырда дүнјанын мүтхәлиф өлкәләриндә (мәсәлән, Гәрбдә, АБШ-да) бир груп алимләр мәшғул олурлар. Күнәшин нејтрино селинә малик олмасы сүбут едиләрсә Күнәшин вә башга улдузларын дахили енержи мәнбәјинин һәгигәтән бу вә ја дикәр истилик—нүвә реаксијалары олдуғуна шүбһә јери галмамалыдыр.

Күнәш атмосферинин мүхтәлиф гатларында баш верән рәгсләр вә јајылан далғаларла јанашы Күнәшин нејтрино селинин гејдә алынмасы проблеми һәлл едиләрсә Күнәшин дахили гурулушу һаггында даһа реал фикир сөјләмәк мүмкүн олмалыдыр.

Күнәшин нүвәсиндә һасил олан гамма шүаланмаја кәлинчә, о, Күнәши дәрһал тәрк едә билмир. Күнәшин нүвәсиндә вә үмумијјәтлә онун тәкиндә күнәш маддәси гамма шүаланма үчүн там гејри-шәффафдыр. Күнәшин тәкиндә һәр бир гат мүәјјән тезликдән бөјүк тезликләр үчүн там гејри-шәффафдыр—бир сөзлә әввәлләр гејд етдијимиз кими Күнәшин тәки бир нөв гара гәтраны хатырладыр. Одур ки, гамма шүалар Күнәшин тәкиндә чох дәфәләрлә ионлашмыш атомлар тәрәфиндән дәрһал удулур, нәтичәдә онлар ја даһа јүксәк дәрәчәдә ионлашыр, ја да јүксәк енержи сәвијјәләринә һәјәчанланыр. Бу гајда илә һәјәчанланмыш атом нүвәләри јенидән квантлар шүаландырыр. Јенидән шүаланма нисбәтән кичик енержили квантларда олур. Чүнки гамма квантларын тә'сири илә јүксәк енержи сәвијјәсинә һәјәчанланан атом илкин сәвијјәјә бирбаша дејил, пилләләрлә гајыдыр. Нәтичәдә удулан јүксәк енержили гамма квантлар нисбәтән кичик енержили рентжен квантларда шүаланыр. Гамма квантларын тә'сири илә ионлашан атомлар сәрбәст електронларла рекомбинасија едәндә дә шүаланма нисбәтән кичик енержили квантларда олур (мүәјјән сәвијјәјә рекомбинасија рентжен областда кәсилмәз шүаланма верир, сонракы пилләли кечидләр исә рентжен диапазонунда мүәјјән хәтләрдә шүаланма илә нәтичәләнир). Сонра удулан рентжен диапазонундакы квантлар бунлардан кичик енержили квантларда, јә'ни чох узаг ултрабәнөвшәји областда јенидән шүаланмаја кәтирир. Беләликлә Күнәшин нүвәсиндән јухары гатлара кечдикчә бөјүк енержили квантларын кичик енержили квантлара парчаланмасы ашағыдакы ардычыллыгла олур: гамма квант$\Rightarrow$ сәрт рентжен $\Rightarrow$ јумшаг рентжен $\Rightarrow$ узаг ултрабәнөвшәји шүаланма$\Rightarrow$ ултрабәнөвшәји шүаланма $\Rightarrow$ көрүнән областда шүаланма$\Rightarrow$ инфрагырмызы шүаланма вә с.

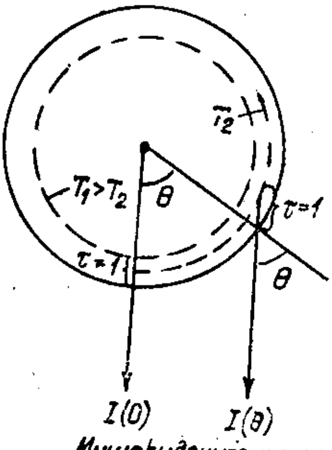
Квантлар јухарыдакы ардычыллыгла Күнәшин мәркәзиндән онун сәтһинә көчүрүлүр вә мүшаһидәчи спектрин узаг вә јахын ултрабәнөвшәји, көрүнән, јахын вә узаг инфрагырмызы областларында шүаланмалары ҝејдә алыр. Бу шүаланмалар Күнәшин фотосфериндән чыхыр. Беләликлә Күнәшин тәкиндән онун сәтһинә јахын гатлара гәдәр шүаланма енержиси удулма вә јенидән шүаланма нәтиҹәсиндә јаранан шүа көчүрмә јолу илә өтүрүлүр. Бу зона Күнәшин мәркәзиндән (0,3—0,7) $R_\odot$ мәсафәјәдәк јерләшән дахили гатлары әһатә едир. Бу һиссәјә *шүатаразлығы зонасы* дејилир (шүа таразлығы олдуғундан бу зонада ваһид заманда нә гәдәр шүа енержиси удулурса, о гәдәр дә шүаланыр). Күнәш сәтһиндән 0,3 $R_\odot$ дәринлијә гәдәр олан гатларда енержинин көчүрүлмәсиндә шүаланма илә јанашы Күнәш маддәсинин өзү дә иштирак едир; Күнәшин сәтһиндән $\sim$ 0,1 $R_\odot$ гәдәр мәсафәдә јерләшән дахили гатларда исә енержинин көчүрүлмәсиндә әсасән маддәнин јалныз өзү иштирак едир; буна конвексија јолу илә шүаланманын көчүрүлмәси дејилир; зонанын өзү исә там *конвексија зонасы* адланыр. Беләликлә Күнәшин мәркәзиндән 0,9 $R_\odot$ мәсафәдән онун сәтһинә гәдәр олан 0,1 $R_\odot$ галынлыглы гат *там конвексија зонасыдыр*. Конвексија ики сәбәбдән јараныр. Бу сәбәбләрә бахаг. Күнәшин сәтһиндән онун дахилинә доғру температур сүр'әтлә артыр, шүа көчүрмә просеси енержини өтүрмәјә мачал тапмыр вә нәтиҹәдә конвексија јараныр Доғрудан да, фәрз едәк ки, мүәјјән газ күтләси Күнәшин үст гатларына доғру ашағыдан јухарыја һәрәкәтә башлајыр. Гәбул едәк ки, бу јердәјишмә заманы газын һәҹми адиабатик кенишләнир. Бу кенишләнмәјә сәбәб јухарыја доғру газын тәзјиг вә сыхлығынын азалмасы ола биләр. Адиабатик кенишләнмә оланда бу һәҹмдә температур вә сыхлыг адиабатик ганунла дәјишәр, јә'ни тәзјиглә температур $P^{1-\gamma}\cdot T^{\gamma}=\mathrm{const}$ шәртини өдәјәр ($\gamma=C_p/C_v$, C_p вә C_v—сабит тәзјиг вә сабит һәҹмдә газын истилик тутумларыдыр). Бурадан ајдындыр ки, кенишләнән һәҹмин температуру әтрафынкындан кичик оларса (јә'ни һәмин һәҹмдә сыхлыг әтрафынкындан бөјүк оларса) ҹазибәнин тә'сири илә бу газ һәҹми керијә, јә'ни һәрәкәтә башладығы гата гајыдар. Әксинә һәмин һәҹмдә температур әтрафынкындан бөјүк оларса, јә'ни бахылан һәҹмдә сыхлыг кичик оларса, һәҹм елементи јухарыја—Күнәшин сәтһинә доғру галхмагда давам едәр вә конвексија баш верәр. Конвексијанын давам етмәси үчүн икинҹи шәрт һәрәкәт едән ҝејри-бирҹинс һәҹм елементләриндә газларын там дејил, гисмән ионлашмыш һалда олмасыдыр: ионлашма енержиси һесабына бахылан һәҹм елементиндә температур демәк олар ашағы дүшмүр, әтраф гатларда исә сәтһә доғру температур сүр'әтлә кичилир вә нәтиҹәдә јухарыја доғру һәрәкәт едән елементар һәҹм дахилиндә температур узун мүддәт әтрафын температурундан бөјүк олур. Елә ки, һәҹм елементи сәтһә јахын гата чатыр, о, шүаланма һесабына сојујур, бу һәҹм елементиндә физики шәраит әтрафынкы илә ејни олур, конвексија просесиндә иштирак едән һәҹм елементи әтраф мүһитә гарышыр, бу елементин конвектив һәрәкәти сөнүр. Белә-

ликлə, Күнəшдə онун мəркəзиндəн 0,7 $R_{\odot}$ мəсафəдəн үст гатлара доғру газлар там дејил, гисмəн ионлашдығындан, бурадан там нејтрал газлардан ибарəт сəтһə јахын гата гəдəр зона конвексија зонасы олур.

Конвексијанын сөндүјү гат Күнəшин ади көзлə көрдүјүмүз үст гатыдыр. Билдијимиз кими бу Күнəш фотосферидир, ондан үстдə исə хромосфер вə тач јерлəшир. Күнəш атмосфери адланан бу гатларла танын олаг.

§ 91. ФОТОСФЕР

Дедик ки, Күнəшин визуал ишыгланмасы фотосфердəн чыхан кəсилмəз шүаланма нəтичəсиндəдир. Дикəр тəрəфдəн исə билирик ки, шүаланма əсасəн оптик галынлығы $\tau \simeq 1$ олан гатдан чыхыр (бах: § 79.4). Башга сөзлə Күнəшин кəсилмəз шүаланмасы бу шүаланмада оптик галынлығы $\tau \leqslant 1$ олан вə фотосфер адланан гатдан чыхыр. Фотосферин һəндəси галынлығы дискин кəнарына доғру парлаглығын əн кəскин сурəтдə азалмасына ујғун гатын галынлығы тəртибиндəдир. Мүшаһидəлəрдəн мə'лумдур ки, парлаглығын кəскин зəифлəмəсинə ујғун дискин кəнарынын бучаг өлчүсү тəгрибəн 0″,5-дир. Јердəн Күнəшə гəдəр мəсафəдə белə бучаға ујғун гатын хəтти өлчүсү 360 км-дир. $\left(150 \cdot 10^6 \cdot \sin\ 0''5 = \frac{150 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5''}{2\ 6265''} = 360 \text{ км}\right)$. Дискин кəнарына доғру парлаглығын зəифлəмəси көстəрир ки, фотосфердə температур дəринликдəн асылы олараг бөјүјүр. Буну 109-чу шəкил васитəсилə изаһ едəк. Бу шəкилдə күнəш диски, онун мəркəзинə вə кəнара јахын нөгтəсинə јөнəлмиш паралел истигамəтлəр—бахыш шүалары, бахыш шүаларынын оптик галынлығы ваһид олан гата гəдəр нүфуз етмəси көстəрилмишдир. Бурадан көрүрүк ки, Күнəшин радиусу илə күнəш дискинин мəркəзинə јөнəлəн истигамəт арасындакы бучаг 0° олан һалдə ($\theta = 0°$ оланда) бу истигамəт һансы һəндəси дəринлијə нүфуз едирсə, $\theta \neq 0°$ олан һала ујғун истигамəтдə о гəдəр нүфуз едир. Лакин $\theta \neq 0°$ дə $\tau = 1$ олан гат $\theta = 0°$-дə $\tau = 1$ олан гатдан үстəдир (Күнəшин мəркəзиндəн узагдадыр). Демəли парлаглығын кəнара доғру зəифлəмəси үчүн үст гатын температуру кичик олмалыдыр. Мүшаһидəлəр көстəрир ки, спектрин көрүнəн областы үчүн күнəш дискин кəнарынын интенсивлији мəркəзинин интенсивлијиндəн 2,9 дəфə кичикдир. Парлаглығы кəнара доғру зəифлəмəси ултрабəнөвшəји областда даһа күчлүдүр. Инфрагырмызы областда исə парлаглыг



Шəкил 109. Күнəш дискинин кəнарына доғру парлаглығын зəифлəмəсинин сəбəби.

демәк олар ки, диск үзрә сабит галыр. Күнәш диски үзрә парлаглығын дәјишмәсинин далға узунлуғундан бу чүр асылы олмасы фотосфердә кәсилмәз удулма әмсалынын далға узунлуғундан асылылыг хүсусијјәти илә әлагәдардыр. Белә ки, бу удулма әмсалы инфрагырмызы шүалар үчүн чох бөјүк олдуғундан һәмин областда шүаланма үст гатлардан чыхыр; әксинә ултрабәнөвшәји шүалар үчүн кәсилмәз удулма әмсалы кичик олдуғундан бу областда шүалар нисбәтән дәрин фотосфер гатларындан чыхыр; дикәр тәрәфдән исә 109-чу шәкилдән көрүндүјү кими бу һалда парлаглығын кәнара доғру зәифләмәси дә күчлү олур. Бу мүһакимә илә фотосфердә рәнк температурларынын мүхтәлиф олмасыны изаһ едә биләрик. Мәсәлән, $\lambda\lambda$ 4700—5400 Å интервалда рәнк температуру 6500 K, $\lambda\lambda$ 4300—4700 Å интервалда исә 8000 K (чәдвәл 6-ја бах) олмасы көстәрир ки, биринчи интервал үчүн кәсилмәз удулма әмсалы бөјүкдүр, бунун нәтичәсиндә исә бу интервалда шүаланма үст гатлардан, јә'ни нисбәтән сојуг гатлардан чыхыр.

Фотосфер һаггында ән кениш мә'лумат фраунһофер хәтләрини өјрәнмәклә әлдә едилир. Бу хәтләрдә фотосферин шәффафлығы һәмин хәтләрлә гоншулугда јерләшән кәсилмәз спектрдә фотосферин шәффафлығындан хејли кичикдир, јә'ни бу хәтләрдә удулма әмсалы гоншу кәсилмәз спектрдәки тезликләрдә удулма әмсалындан хејли бөјүкдүр. Бу исә о демәкдир ки, удулма хәтләриндә шүаланма фотосферин даһа үст гатларындан чыхыр. Бу гатлар исә нисбәтән сојуг олдуғундан шүаланманын мигдары да аздыр. Удулма әмсалы фраунһофер хәттинин мәркәзиндә ән бөјүкдүр вә онун ганадларына доғру кичилир. Бу о демәкдир ки, фраунһофер хәттинин мәркәзиндә фотосферин үст һиссәсини, бә'зи чох күчлү хәтләрдә исә (мәсәлән H_α, H вә K CaII хәтләриндә) һәтта хромосферин фотосферә гоншу һиссәсини мүшаһидә едирик, хәттин ганадларына доғру исә кетдикчә даһа дәрин фотосфер гатлары көрүнүр. Бу имкандан истифадә едәрәк фраунһофер хәтләринин профилини тәһлил етмәклә күнәш атмосферинин фотосфер гатларынын вә хромосферин ашағы гатларынын температуруну, тәзјиг вә сыхлығыны тә'јин едир вә бу гатларда кедән мүхтәлиф физики просесләри—мәсәлән, күнәш атмосферинин мүхтәлиф гатларында микро вә макротурбуленсијаны өјрәнирләр.

Фотосфердән арасы кәсилмәдән чыхан оптик вә инфрагырмызы шүаланманын мәнбәји даһа дәрин гатлардан фотосферә дахил олан күнәшин дахили шүаланма енержисидир. Фотосфери тәрк едән шүа енержисинин сабит галмасы көстәрир ки, фотосфердә шүа таразлығы мөвчуддур: ваһид заманда алт гатлардан фотосферә нә гәдәр енержи дахил олурса, о гәдәр дә енержи фотосфери тәрк едир. Күнәш фотосферинин өзүндә шүа енержисинин үст гатлара көчүрүлмәсиндә әсас ролу мәнфи һидрокен ионлары (H^-) ојнајыр. Мәнфи һидрокен иону һидрокен атому вә она бағлы бир әлавә електрондан ибарәт системдир. Бу системин јалныз бир дајаныглы һалы вардыр вә мәнфи һидрокен ионунун ионлашма потенсиалы чәми 0,75 еВ-дир. Буна ујғун далға узунлуғу 16600 Å-дир. Демәли 16600 Å-дән гыса далғаларда шүаланма мәнфи һидрокен иону тәрәфиндән удуланда, о, мүтләг ионлашыр-

нејтрал һидрокен атомуна чеврилир. Мәнфи һидрокен ионунун удма әмсалы ~ 8000 Å-дә максимумдур, ондан кичик (4000 Å-дәк) вә узун далғаларда (16600 Å-дәк) арасыкәсилмәдән кичилир. Беләликлә фотосферин дәрин вә исти гатларындан енержи мәнфи һидрокен ионлары тәрәфиндән удулараг, јенидән шүаланма просесләри нәтичәсиндә шүакөчүрмә јолу илә фотосферин харичи гатларына өтүрүлүр вә спектрин көрүнән вә инфрагырмызы областларында ону тәрк едир. Мәнфи һидрокен ионунун јаранмасы үчүн нејтрал һидрокен атому илә јанашы Күнәш фотосфериндә сәрбәст електронлар да олмалыдыр. Һидрокен атомлары фотосфердә нејтрал һалдадырлар. Сәрбәст електронлар исә бурада асан ионлашан метал атомларынын (Na, Ca, Ti вә с.) ионлашмасы нәтичәсиндә аз да олса јараныр. Һесабламалар көстәрир ки, фотосфердә һәр 10^8 нејтрал һидрокен атомуна бир дәнә мәнфи һидрокен иону дүшүр вә бу, H^- -нин фәал ролу үчүн тамамилә кифајәт едир. Спектрин $\lambda < 0{,}4$ мкм областында удулма вә јенидән шүаланмада әсас ролу нејтрал һидрокен вә метал атомлары, $\lambda > 1{,}7$ мкм-дә исә електронларын ионун кулон саһәсиндә сәрбәст-сәрбәст кечид просесләри ојнајыр.

Фотосфер үчүн сәчијјәви хүсусијјәтләрдән бири дә орада һидростатик таразлығын олмасыдыр: фотосферин һәр бир һәчм елементинә тә'сир едән ағырлыг гүввәси газ тәзјиги гүввәси илә таразлыгда олур.

Фотосфердә һүндүрлүјү H, ен кәсији 1 см^2 вә дахилиндә температуру сабит олан силиндрә бахаг. Бу силиндрин үст вә алт сәтһиндә газ тәзјиги ујғун олараг P_1 вә P_2, сыхлыг ρ_1 вә ρ_2 олсун. Һидростатик таразлыг варса

$$P_2 - P_1 = \rho g H; \tag{8.6}$$

бу ада g—Күнәшин сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чилидир. Модел һесабламаларында (8.6) әвәзинә $dp = -g\rho dr$ вә $g = G\frac{m(r)}{r^2}$ олдуғуну нәзәрә алараг

$$\frac{dp}{dr} = -G\frac{m(r)}{r^2}\rho \tag{8.7}$$

тәнлијиндән истифадә едилир. Модел һесабламасы дедикдә һәр шејдән әввәл фотосфердә температур вә сыхлығын дәринликдән асылылығынын тапылмасы нәзәрдә тутулур.

Фәрз едәк ки, (8.6)-да

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}. \tag{8.8}$$

Идеал газын һал тәнлијинә әсасән

$$\rho = \frac{1}{2}(\rho_1 + \rho_2) = \frac{\mu}{2AT}(P_1 + P_2) \tag{8.9}$$

тәнлијини јазарыг. Бурада μ молекулјар күтлә, A—универсал газ сабитидир. (8.9)-у (8.6)-да нәзәрә алсаг

$$P_2 - P_1 = \frac{\mu g}{AT} H \frac{P_1 + P_2}{2} \tag{8.10}$$

олар. Бурада $\frac{AT}{\mu g}$ узунлуг ваһиди илә өлчүлмәлидир, чүнки H—узунлуг ваһиди илә өлчүлүр. Одур ки, бу кәмијјәтин чох мүһүм физики мә'насы вардыр: галынлығы

$$H = \frac{AT}{\mu g} \tag{8.11}$$

олан гатда температур сабитдирсә, онда һәмин гатда тәзјиг вә сыхлыг тәгрибән 3 дәфә дәјишәр. Доғрудан да (8.11)-ә әсасән (8.10)-дан $P_2 = 3 P_1$ алыныр. Даһа дәгиг десәк, H—сабит температурлу елә гатын галынлығыдыр ки, орада тәзјиг вә сыхлыг натурал логарифмин e әсасы дәфә дәјишир. (8.11) васитәсилә тапылан H, һүндүрлүк шкаласы јахуд да бирчинс атмосферин галынлығы адланыр.

(8.11) дүстуруну Күнәш фотосферинә тәтбиг едәк. Күнәш фотосферинде һидрокен әсасән нејтрал һалда олдуғундан $\mu = 1$ гәбул едирик. $T \simeq 6000$ K, $g = 2{,}74 \cdot 10^4$ см/сан^2, $A = 8{,}32 \cdot 10^7 \frac{\text{ерг}}{\text{мол K}}$ олдуғуну нәзәрә алсаг (8.11)-дән H үчүн тәгрибән 180 км аларыг. Бу, фотосферин һәндәси галынлығыны характеризә едир. Қәсилмәз спектрдә күнәш фотосферинин ваһид оптик галынлығы бирчинс атмосфердә ($H \simeq 180$ км галынлыглы гатда) јараныр. Фотосферин галынлыгы илә күнәш радиусунун мүгајисәсиндән көрүрүк ки, күнәш фотосфери онун радиусунун $\frac{1}{3000}$ һиссәсини тәшкил едир, јә'ни Күнәш назик фотосферли улдуздур,: шүаланманын көчүрүлмәси мәсәләсинә бахаркән белә һәндәси өлчүјә малик олан фотосфери мүстәви—паралел гатлардан ибарәт гәбул етмәк олур.

Бәс Күнәшин радиусу Күнәшин мәркәзиндән онун һансы гатына гәдәр олан мәсафәдир? Шәртләшмишләр ки, $\lambda = 5000$ Å-дә оптик галынлығы $\tau = 1$ олан гатын радиусу Күнәшин радиусудур, Күнәш атмосферинин һүндүрлүјү исә бу гатдан е'тибарән һесабланыр. Бу гатдан дахилә доғру дәринлик шәрти олараг мәнфи, харичә доғру мүсбәт һесаб едилир.

(8.7) һидростатик таразлыг тәнлијиндән вә шүа таразлығы шәртиндән истифадә етмәклә (7.22) көчүрмә тәнлијини һәлл едәрәк, фотосферин әсас параметрләри вә бу параметрләрин дәринликдән асылы олараг дәјишмәси, јә'ни фотосферин модели һесабланыр. 7-чи чәдвәлдә $\lambda = 5000$ Å үчүн $\tau = 1$ олан гатдан бир гәдәр алтда вә үстдә Күнәш атмосферинде физики параметрләрин пајланмасы верилмишдир. Бу чәдвәлдән көрүрүк ки, $\tau = 1$ олан гатда (сыфырынчы гатда) темпера-

тур 6430 К, тәзјиг $13{,}5\cdot 10^4$ дин/см², сыхлыг $3{,}5\cdot 10^{-}$ г/см³-дур. Бу гатдан дахилә доғру физики параметрләр-температур, тәзјиг вә сыхлыг кәсилмәдән артыр, харичә-јухарыја доғру исә температур мүстәсна олмагла кәсилмәдән азалыр; $\tau=0{,}001$-дә, јахуд 560 км һүндүрлүкдә температур минимум (4180 К) олур, бундан үст гатлара доғру о, јенидән артыр, тәзјиг вә сыхлыг исә кичикмәкдә давам едир. Минимум температур гаты кечид областы адланыр.

Чәдвәл 7

Күнәш атмосферинин мүәјјән гатларында физики параметрләрин пајланмасы

τ 5000 Å	Һәндәси дәринлик, км	Температур К	Тәзјиг $P\times 10^{-4}$ дин/см²	Сыхлыг $\rho\times 10^8$ г/см³
10^{-4}	840	5280	0,008	0,025
10^{-3}	560	4180	0.091	0,36
$5\cdot 10^{-3}$	320	4560	0,85	3,1
0,1	136	5140	4,7	15,2
1,0	0	6430	13,5	35,0
5,0	—56	8100	18,0	37,0
10	—72	8650	20,0	38,0

Биз § 90-да конвексија анлајышы илә таныш олдуг вә дедик ки, фотосфердән алтда $\sim 0{,}1\ R$ гәдәр галынлыглы гатда там конвексија просеси кедир. Конвексијада иштирак едән вә конвексија јувачығы адланан һәр бир һәчм елементи өз өлчүсү гәдәр јухары галхараг әтрафа јајылыр вә онун јеринә јениси, лакин кичик өлчүлүсү әмәлә кәлир; нәһајәт ән кичик өлчүјә малик конвексија елементләри фотосферә чатыр вә ону бир нөв «бомбалајырлар». Бунун нәтичәсиндә бир тәрәфдән фотосфер һәјәчанланыр, дикәр тәрәфдән исә о, рәгс етмәјә башлајыр. Конвексија елементләринин фотосфери һәјәчанлашдырма тә'сири өзүнү грануљасија адланан структурда көстәрир. Белә ки, хүсусилә әлверишли мүшаһидә шәраитиндә Күнәшин телескопик фотошәкилләриндән ајдын көрмәк олур ки, онун сәтһи торвары шәкилдәдир, јахуд дүјү дәнәләринә, јахуд топа булудлара бәнзәр парлаг елементләрлә өртүлүдүр (шәкил 110). Әтраф мүһитә нәзәрән бир гәдәр парлаг көрүнән бу дәнәләр грануллар, һәмин дәнәвари гурулушун өзү исә грануљасија адланыр. Беләликлә гәбул етмәк олар ки, грануллар фотосферә чатан конвексија елементләринин фотосфери һәјәчанландырмасы тәзаһүрләридир (һәр бир елемент фотосферә галхыр, сојујараг кери төкүлүр). Грануларын бучаг өлчүсү $0''.4$—$1''$-дир, јашама мүддәти 5—10 дәгигәдир. Јох олан гранул јениси илә әвәз олунур, јени гранул һәм өлчү, һәм форма, һәм дә јашама мүддәтинә көрә әввәлкиндән фәргли ола биләр. Грануллар вә онларын арасындакы бир гәдәр тутгун аракәсмәләрин спектрал хәтләринин тәһлили көстәрир ки, гранула аид хәтләр бәнөвшәји, аралыг областа аид хәтләр исә әксинә гырмызы тәрәфә сүрүшүр. Бу о демәкдир ки, гранулларда газлар јухарыја, ара-

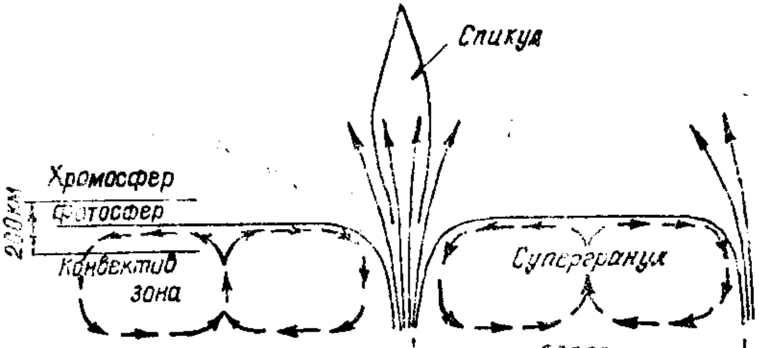
Шэкил 110. Күнәш гранулјасијасы.

лыг областларда исә ашағыја доғру һәрәкәт едир. Гранулларын бахыш шүасы истигамәтдә һәрәкәт сүр'әти 1—2 км/сан-дир.

Гранулларла јанашы Күнәш фотосфери супергрануллар адланан даһа бөјүк өлчүлү елементләрлә дә зәнкиндир. Супергранулун үфүги өлчүсү орта гранулункундан 30—40 дәфә бөјүк олуб 20 000—30 000 км-ә чатыр. Ејни заманда Күнәшин сәтһиндә 5000-ә гәдәр супергранул олур. Бу о демәкдир ки, фотосфер тамамилә супергранулларла өртүлмүшдүр. Мүәјјән едилмишдир ки, супергранулларда газлар онун мәркәзиндән кәнарына доғру 0.4 км/сан сүр'әтлә јајылыр. Зејеман еффекти әсасында тапылмышдыр ки, супергранулларын мәркәзи һиссәсиндә магнит индуксијасы $B<1$ Гс, кәнарларында исә $\sim$ 20 Гс-дир. Күнәшин сәтһи шагули магнит саһәсиндән ибарәт шәбәкә илә өртүлмүшдүр. Һәр бир шагули магнит боручуғунун күнәш сәтһиндә үфүги өлчүсү (100—300) км, магнит индуксијасы исә $B\simeq2000$ Гс тәртибиндәдир. Ајдындыр ки, бу гурулуш Јердә апарылан мүшаһидәләрдә ајырд едилмәздир. 111-чи шәкилдә супергрануллардакы һәрәкәт нәтичәсиндә Күнәш сәтһиндә јаранан магнит саһәсинин структуру (гурулушу) тәсвир олунмушдур.

§ 92. КҮНӘШ ХРОМОСФЕРИ ВӘ ТАЧЫ

1. Күнәш хромосфери. Дедик ки, хромосфер фотосфердән үстдә јерләшән күнәш атмосферинин нисбәтән сејрәк гатыдыр. Хромосферин парлаглығы фотосферинкиндән јүз дәфә зәиф олдуғундан ону фотосферин парлаг фонунда көрмәк олмур. Там күнәш тутулмасы заманы фотосферин парлаг диски Ај тәрәфиндән тамамилә өртүләндә ал гырмызы рәнкли хромосфер мүшаһидә олунур (хромосферин һәрфи мә'насы да рәнкли сфера демәкдир). Там күнәш тутулмасы заманы хромосферин мүшаһидәси көстәрир ки, онун спектри олдугча зәиф кәсилмәз спектр фонунда парлаг хәтләрдән ибарәтдир. Бу хәтләр тутул-



Шәкил 111. Супергранулјасијалардакы һәрәкәт нәтичәсиндә Күнәшин сәтһиндә јаранан магнит саһәсинин структуру

мадан кәнарда күнәш спектриндә мүшаһидә олунан фраунһофер хәтләринин јериндә алыныр, јә'ни хәтләринин тәркибинә көрә хромосфер спектри илә фотосфер спектриндә фәрг јохдур, јеканә фәрг ондан ибарәтдир ки, хромосфер спектриндә бу хәтләр парлагдыр. Хромосферин спектриндә фотосфер спектриндән фәргли олараг нејтрал вә ионлашмыш һелиумун парлаг хәтләри дә мүшаһидә олунур. Атмосфердәнкәнар мүшаһидәләрдә хромосферин спектриндә дејиләнләрлә јанашы He II ионуна мәхсус λ=304 Å, ионлашмыш магнезиумун λ=2796 Å, һәмчинин C, N, O, Si вә башга атомлара мәхсус ионларын да хәтләринин олдуғу мүәјјән едилмишдир. Хромосфер спектриндә адларыны чәкдијимиз хәтләрин јаранмасы үчүн 20000—25000 K температур олмалыдыр. Бурадан ајдын олур ки, күнәш хромосфериндә белә исти (вә даһа исти) областлар вардыр (әслиндә хромосфердә температурун пајланмасы чох мүрәккәбдир).

Мүасир мүлаһизәләрә көрә хромосферин фотосферә јахын вә галынлығы 1000 км олан гатында температур демәк олар сабитдир вә

фотосферин температуру илә мүгајисәдә бир гәдәр дә кичикдир (5000 К). Һүндүрлүк бөјүдүкчә температур дәнк дә олса јүксәлир вә 1500—2000 км һүндүрлүкдә (10÷12) мин дәрәчә олур. Бу һүндүрлүкдән јухарыда хромосфер гејри-бирчинсдир. Бурада о, температуру (12÷20) мин дәрәчә олан ајры-ајры лифләрдән ибарәтдир. Бу мә'нада хромосфер статик дејил, динамик таразлыгдадыр. Күман едилир ки, хромосфер лифләри вә 4000 км-дән јухарыда тач фонунда мүшаһидә олунан вә Күнәш сәтһиндән 10000 км һүндүрлүјә гәдәр давам едән нисбәтән сојуг газ шырнаглары фотосфер пүскүрмәләринин тәзаһүрләридир.

Адыны чәкдијимиз газ шырнаглары спикуллар адланыр. Спикулларын ен кәсијинин хәтти өлчүсү $\sim$ 1000 км, зәррәчикләринин консентрасијасы $\sim 10^{12}$ $см^{-3}$, температуру (12÷20) мин дәрәчәдир. Адәтән спикуллар 20 км/сан сүр'әтлә, бә'зән дә тә'чилле јухарыја доғру һәрәкәт едир. Бә'зән спикуллар бүтөвлүкдә ашағыја—Күнәшин сәтһинә доғру да һәрәкәт едир (дүшүр). Спикулларын јашама мүддәти 8—15 дәгигә, галхма мүддәти 1.5 дәгигәдир. Хромосфердә ејни вахтда 10^6 сајда спикул олур. Ола билсин ки, спикуллар (вә лифләр) грануласија илә, бәлкә дә конвектив зонанын өзү илә әлагәдардыр. Чүнки бу лиф вә спикулларын сајы грануларын сајына јахындыр (Күнәшдә ејни заманда $3 \cdot 10^6$ гранул олур).

Там Күнәш тутулмасы заманы хромосферин мүшаһидәләри көстәрир ки, хромосфер һалгасынын бучаг өлчүсү (16″—20″)-дир. Бу бучаг өлчүсүнә (12—15) мин километр хәтти өлчү ујғундур. Әлбәттә јухарыда гејд етдијимиз кими хромосфер (1500—2000) км-дән е'тибарән гејри-бирчинс олуб әсасән лифләр вә спикуллардан ибарәтдир, бу төрәмәләрин арасыны исә исти тач маддәси долдурур.

2. Күнәш тачы. Тач Күнәш атмосферинин үст гатыдыр. Тачын һәтта алт һиссәсинин парлаглығы фотосферинкиндән милјон дәфә зәифдир. Одур ки, ону јалныз там Күнәш тутулмасы заманы, јахуд да коронографла мүшаһидә етмәк олур.

Тачын формасы Күнәш фәаллығындан асылыдыр: Күнәш фәаллығынын максимуму дөврүндә тач Күнәш дискини һәр тәрәфдән демәк олар ејни галынлыгда әһатә едир—тач сферик симметрик олур; фәаллығын минимум дөврүндә исә тач Күнәш екватору үзрә узаныр (шәкил 112).

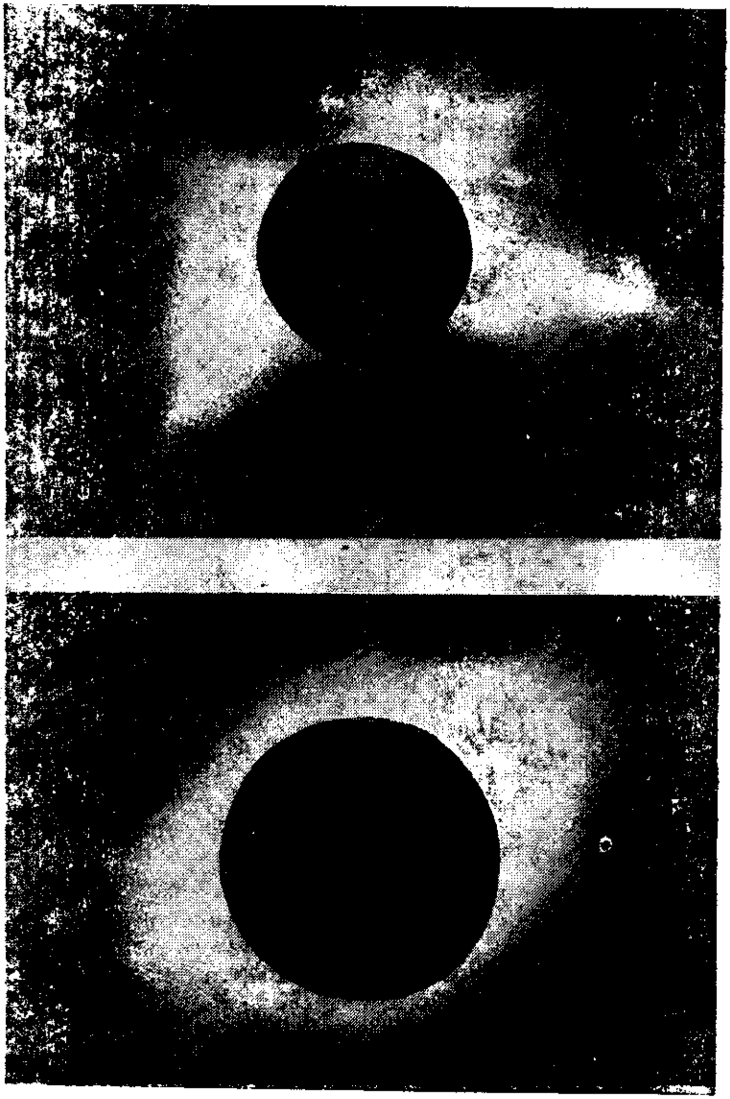
Тачын спектри үч нөвдән—*K*, *E*, *F* компонентләриндән ибарәтдир.

К компоненти кәсилмәз спектрдән вә онун фонунда күчлү, лакин чох јајылмыш фраунһофер хәтләриндән (мәсәлән, CaII-нин H вә K хәтләриндән) ибарәтдир.

Е компоненти емиссија хәтләриндән ибарәтдир.

F компоненти кәсилмәз спектрдән вә онун фонунда фраунһофер хәтләриндән ибарәтдир, јә'ни кејфијјәтчә фотосфер спектри кимидир (ашағыја бах).

K компонентиндә кәсилмәз спектрдә енержинин далға узунлуғуна көрә пајланмасы фотосферин кәсилмәз спектриндә енержинин пајланмасы кимидир. Белә мәнзәрә, фотосферин кәсилмәз шүаланмасы та-



Шәкил 112. Тачын көрүнүшүнүн Күнәш фәаллығындан асылы олмасы: үстдә Күнәш фәаллығынын максимум дөврүндә, алтда исә Күнәш фәаллығынын минимум дөврүндә тачын фотографијасы верилмишдир.

чын сәрбәст електронларындан сәпилдикдә ола биләр. Чүнки сәрбәст електронлардан сәпилмә далға узунлуғундан асылы дејил. Ишыг квантларынын бир зәррәчикдән Томсон сәпилмә әмсалы $\sigma_0 = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{mc^2}\right)^2$ дүстуру илә ифадә олунур. Бурада e—електронун јүкү, m—онун күтләси, c—ишығын сүр'әтидир. e, m вә c-нин мә'лум гијмәтләрини јухарыдакы дүстурда јазсаг $\sigma_0 = 6{,}65 \cdot 10^{-25}$ см^2 аларыг. Бу о демекдир ки, һәр бир см^2 сәтһә дүшән шүаланманын $6{,}65 \cdot 10^{-25}$ һиссәси бир електрон тәрәфиндән сәпилир. Буну вә тачын алт гатынын парлаглығынын фотосферинкиндән милјон дәфә кичик олдуғуну нәзәрә алараг тачын хромосферә гоншу һиссәсиндә сәрбәст електронларын орта консентрасијасыны гијмәтләндирә биләрик. Доғрудан да, тачын бу һиссәсинин галынлығы l, бурада сәрбәст електронларын орта консентрасијасы n_e, тачын парлаглығы $I_к$, фотосферинки $I_о$ оларса, $I_к = \sigma_0 l n_e I_0$, $I_к = 10^{-6} I_\ominus$ ифадәләриндән $n_e = \frac{1}{10^6 \sigma_0 l}$ аларыг; тачын хромосферә јахын гатынын галынлығыны $l = 10^{10}$ см гәбул етсәк вә σ_0-ын гијмәтини дә нәзәрә алсаг бу гат үчүн $n_e \simeq 10^8$ см$^{-3}$ аларыг. Беләликлә тачын алт гатында сәрбәст електронларын орта консентрасијасы $\sim 10^8$ см$^{-3}$-дир. Тач әсасән һидрокендән ибарәт олдуғундан вә орада һидрокен атомлары там ионлашдығындан $n_e \approx n^+$ олар, јә'ни алт тачда зәррәчикләрин үмуми орта консентрасијасы $\sim 2 \cdot 10^8$ см$^{-3}$-дир.

Тачын үст гатларына доғру консентрасијасы кичилир. Үмумијјәтлә тачы шәрти олараг үч һиссәјә бөлмәк олар: дахили, орта вә харичи тач. Дахили тачын галынлығы (0,2—0,3) $R_\ominus$, орта тачынкы (0,3—1,3) $R_\ominus$ һесаб едилир. Харичи тач $\sim$ 1,3 $R_\ominus$-дән башлајыр. Дахили тач Е компоненти илә сәчијјәләнир. Бу компонент јүксәк дәрәчәдә ионлашмыш Fe, Ca Ni, Ar атомларынын емиссија хәтләринин мүшаһидә едилмәси илә характеризә олунур. Бу хәтләрдә шүаланма тачдан чыхан кәсилмәз шүаланманын 1 %-ини тәшкил едир. Бунларын ичәрисиндә гырмызы FeX, λ 6374 Å вә јашыл Fe XIV, λ 5303 Å тач хәтләри хүсусилә парлагдыр. Бу хәтләрин һәјәчанланмасы үчүн дәмир атомлары 9 вә 13 дәфә ионлашмалыдыр. Дәмирин 9 дәфә ионлашмасы үчүн зәрбә илә ону ионлашдыран електронун кинетик енержиси $\varepsilon = 233$ еВ олмалыдыр. (7.37) дүстуруна әсасән енержинин бу гијмәтиндә тачын кинетик температуру үчүн $\sim 2{,}5 \cdot 10^6$ К аларыг. Демәли, FeX хәтләринин әмәлә кәлдији дахили тач гатларынын температуру $\sim 2{,}5 \cdot 10^6$ К-дир. Fe XIV-ә мәхсус јашыл хәттин әмәлә кәлдији областда исә температур даһа бөјүкдүр; белә ки, дәмирин 13 дәфә ионлашмасы үчүн $\varepsilon = 355$ еВ олмалыдыр, (7.37)-дән исә ε-нин бу гијмәтиндә $T \simeq 3{,}8 \cdot 10^6$ К алынар. Беләликлә, дахили тач гејри-бирчинс вә даһа истидир.

Әкәр узаг ултрабәнөвшәји областда емиссија хәтләри әсасән хромосфердә вә хүсусилә онун чох исти областларында, һәмчинин тача говушуг гатларында әмәлә кәлирсә, ренткен областда истәр кәсилмәз, истәрсә дә хәтти спектр әсасән тач гатларында јараныр.

Гејд етмәк лазымдыр ки, үмумијјәтлә тач вә хромосферин спектрләриндәки чидди фәрг тачда електрон консентрасијасынын хромосферинкиндән тәртибләрчә кичик олмасынын—тачда $\sim 10^8$ см$^{-3}$, хромосфердә исә $\sim 10^{12}$ см$^{-3}$ олмасынын нәтичәсидир. Белә ки, хәтдә һәчми шүаланма әмсалы n_e^2 илә дүз мүтәнасиб олдуғу һалда, сәрбәст електронлардан сәпилмәдә һәчми кәсилмәз удма әмсалы n_e илә дүз мүтәнасибдир; бунун нәтичәсиндә хромосфердә n_e-нин бөјүк олмасы хәтти спектрин кәсилмәзә нисбәтән чох күчләнмәсинә, тачда n_e-нин кичик олмасы исә кәсилмәз спектрин хәттијә нисбәтән чох күчләнмәсинә сәбәб олур, башга сөзлә, хромосферин спектри парлаг хәтти спектрдән (чох зәиф кәсилмәз фонда), тачынкы исә К компонентинә мәхсус спектрдән ибарәт олур.

Сәрбәст електронлардан сәпилмә шүаланманын полјаризасијасына сәбәб олдуғундан тач шүаланмасы полјаризә олунмуш шүаланмадыр. Даһа доғрусу тачын K вә E компонентләри полјаризә олунмушлар. Мүшаһидәләр көстәрир ки, орта тача доғру полјаризасија дәрәчәси бөјүјүр, $\sim 0{,}5\ R_\odot$ мәсафәдә максимум (50%) олур, сонра зәифләјир. Шүаланманын F компоненти «харичи тач»а мәхсусдур. Әслиндә F компоненти билаваситә тача аид дејил—бу компонент фотосфер шүаланмасынын планетләрарасы фәзада тоз һиссәчикләриндән сәпилмәсинин нәтичәсидир.

§ 93. КҮНӘШИН РАДИОШҮАЛАНМАСЫ

Мүшаһидәләр көстәрир ки, Күнәшин радиошүаланмасы әсасән ики компонентдән ибарәтдир:

1) сакит—һәјәчанланмамыш радиошүаланма;

2) спорадик — һәјәчанланмыш радиошүаланма.

Спорадик радиошүаланма Күнәшдә баш верән партлајыш характерли физики просесләрин нәтичәсидир. Бу һагда нөвбәти параграфда бәһс едиләчәкдир.

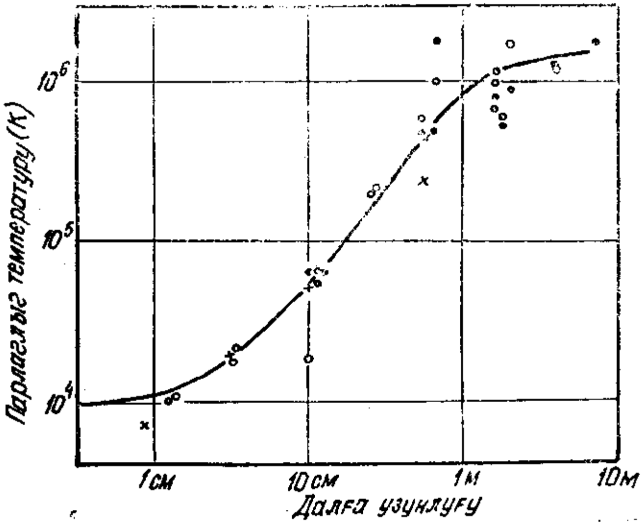
Сакит күнәш радиошүаланмасына кәлинчә, бу шүаланманын механизми истилик шүаланмасыдыр. Даһа конкрет десәк сакит күнәш радиошүаланмасы сәрбәст електронларын ионларын (протонларын) кулон саһәсиндә сәрбәст-сәрбәст кечидләри нәтичәсиндә јараныр. Сакит күнәш радиошүаланмасынын I_ν интенсивлијинин тезликдән асылылығы (7.30) Релеј-Чинс дүстуру илә ифадә олунур. Радиошүаланманын мә'лум $I_\nu = B_\nu$ (T) интенсивлијинә әсасән верилмиш тезлијә ујғун парлаглыг температуру тапылыр. Практикада әслиндә өлчүлән кәмијјәт радиошүаланманын селидир:

$$H_\nu = \bar{I}_\nu \Omega; \tag{8.12}$$

Бурада $\bar{I}_\nu$ —орта шүаланма интенсивлији, Ω—Күнәш дискинин чисми бучағыдыр. Планк функсијасы илә ифадә олунан $\bar{I}_\nu$ -јә ујғун температура шүаланма селинин мигдарыны сәчијјәләндирән параметр кими баха биләрик. (8.12)-дә $\bar{I}_\nu$ (7.30) дүстурундакы B_ν(T) интенсивлији олдуғундан, бу дүстурдакы температур ν тезлијинә ујғун орта парлаг-

лыг температурудур. 113-чү шәкилдә сакит күнәшин $T=\bar{T}$, орта парлаглыг температурунун далға узунлуғундан асылылығы көстәрилмишдир. Бурадан көрүрүк ки, $\lambda=1$ см далға узунлуғуна гәдәр Күнәшин парлаглыг температуру $\sim 10^4$ *К*-дир. Бу, хромосферә аид ола биләр. Доғрудан да оптик дәринлијин далға узунлуғундан асылылығы көстәрир ки, сантиметрлик далғаларда Күнәшин оптик дәринлији мәһз хромосфер гатларында ваһидә јахындыр, јә'ни бу шүаланмалар әсасән Күнәш хромосфериндә јаранып (миллиметрлик далғаларда шүаланма хромосферин лап алт гатларына аиддир).

Тәгрибән метрлик далға узунлуғунадәк диапазонда һәм хромосфер вә һәм дә тач радиошүаланма мәнбәјидир. 113-чү шәкилдән көрүрүк ки, доғрудан да десиметрлик диапазонда далға узунлуғу бөјүдүкчә парлаглыг температуру јүксәлир вә бу јүксәлмә хромосфердән тача доғру температурун артмасына ујғундур. Демәли, бу далғаларда шүаланма доғрудан да һәм хромосфердән, һәм дә тачдан чыхыр. Метрлик далғаларда исә тачын оптик дәринилји ваһид вә ондан бөјүк олур. Бурада јада салмаг лазымдыр ки, далға узунлуғу бөјүдүкчә оптик дәринлик бөјүјүр, демәли шүаланма тачын даһа јухары гатларындан чыхыр. 113-чү шәкилдән көрүрүк ки, ~ 1 м далға үчүн парлаглыг температуру $\sim 10^6$ *К*-дир. $\lambda > 1$ м-дә температур бир нечә милјон дәрәчәјә чатыр вә $\lambda > 10$ м-дә температур далға узунлуғундан асылы олмур. Бу далғаларда шүаланма харичи тачдан чыхыр: $\lambda=10$ м үчүн Күнәшин сәтһиндән 1,5 $R_{\odot}$ гәдәр үстдә олан тач гатынын оптик дәринлији ~ 1-дир. Ајдындыр ки, сакит Күнәшин орта парлаглыг темпе-



Шәкил 113. Сакит Күнәшин орта парлаглыг температурунун радио диапазонда далға узунлуғундан асылылығы.

ратурунун радиодиапазонда далға узулуғундан асылылығы долајы јолла температурун Күнәш атмосфериндә һүндүрлүкдән асылы олараг дәјишмәсини верир. Чүнки һәр бир далға узунлуғу үчүн оптик дәринлијин ваһид олдуғу гатын фотосфердән һүндүрлүјү бу һүндүрлүкдә һәмин далға үчүн орта парлаглыг температуруна ујғундур.

Радиометодлар Күнәшин сәтһиндән он милјонларла километр мәсафәјәдәк тачы изләмәјә имкан верир. Белә имкан онунла әлагәдардыр ки, Күнәшин еклиптика үзрә көрүнән иллик һәрәкәти заманы һәр ил ијун ајында Күнәш Буға бүрчүндәки Јенкәчәбәнзәр Думанлығын гаршысындан кечир. Чох күчлү радиошүаланма мәнбәји олан һәмин думанлығын бу радио шүаланмасы Күнәшин сәтһиндән он милјонларла километр мәсафәдә јерләшән харичи тач гатларындан кечәрәк бизә чатыр. Јенкәчәбәнзәр Думанлығын радиошүаланмасы гејри-бирчинс харичи тач гатларындан (јығнагларындан) сәпилир. Бунун нәтичәсиндә думанлығын радиопарлаглығы зәифләјир. Тачын бу харичи һиссәси *ифрат тач* адланыр. Бу истигамәтдә тәдгигатлар көстәрир ки, күнәш «атмосфери» әслиндә Јерин орбитинә гәдәр давам едир. Кометләрин гујруғунда маддәләрин һәрәкәти динамикасыны өјрәнмәклә мүәјјән едилмишдир ки, Күнәш тачындан кәнара—планетләрарасы фәзаја, даим плазма ахыр вә бу ахынын сүр'әти Күнәшдән узаглашдыгча бөјүјүр. Јерә гәдәр мәсафәдә һәмин сүр'әт 300—400 км/сан-јә чатыр.Планетләрарасы фәзада күнәш тачы плазмасынын арасы кәсилмәдән белә кенишләнмәси *күнәш күләји* адланыр. Бу плазманын планетләрарасы фәзада космик чиһазларла тәдгигинә әсасән тапылмышдыр ки, Јерин јахын әтрафында күнәш күләјинин дашыдығы електрон вә протонларын консентрасијасы 1—10 см$^{-3}$-дүр.

Күнәш күләји Јерин сәтһиндәки магнит саһәсиндән 1000 дәфә зәиф магнит саһәсинә (5—7 нанотесла) малик олса да бу саһә планетләрарасы фәзада бөјүк рол ојнајыр.

Алвен көстәрмишдир ки, чох зәиф магнит саһәсиндә олдугча сејрәк плазмада бүтөв мүһит хүсусијјәтләри олур. Күнәш күләји чох зәиф дә олса магнит саһәсинә малик олдуғундан о, өзүнү маје вә ја газ кими апарыр вә белә мүһитдә һәр чүр далғалар, о чүмләдән зәрбә далғалары јајылыр вә мәһз биринчи нөвбәдә бу далғалар планетләрарасы фәзада мараглы һадисәләрә сәбәб олур (бах: §§ 97, 106).

§ 94. ХРОМОСФЕР ВӘ ТАЧЫН ГЫЗМАСЫ

Әлбәттә һәм хромосфердә вә һәм дә тачда мүәјјән дәјишикликләр баш верир (бунларла нөвбәти параграфда таныш олачағыг). Анчаг бурасы ашкар фактдыр ки, хромосфер вә тач даим мөвчуддур; лакин хромосфер вә тачда билавәситә енержи һасил олмур—үмумијјәтлә күнәш атмосфери билавәситә енержи мәнбәјинә малик дејилдир. Демәли хромосфер вә тач даим енержи илә тәчһиз олунмалыдыр. Тәбиидир ки, бу енержинин дә мәнбәји Күнәшин нүвәсиндә кедән истилик нүвә реаксијаларыдыр. Мәһз бу енержинин көчүрүлмәси һесабына Күнәшин сәтһ гатларында конвектив зона јараныр. Конвексија елементләри өзләри илә һәм истилик, һәм дә кинетик енержи дашыјыр.

Фотосфердә грануллар васитәсилә конвектив елементләрлә көчүрүлән кинетик енержинин мигдары санијәдә азы $8 \cdot 10^{22}$ Ч-дур. Хромосфер вә тач да мәһз һәр санијә бу гәдәр енержи шүаландырыр. Бурадан белә нәтичәјә кәлмәк олар ки, хромосфер вә тачы енержи илә тәчһиз едән мәнбә конвексија зонасындан фотосферә өтүрүлән кинетик енержидир (фтосферин оптик шүаланмасы үчүн хромосфер вә тач там шәффафдыр, одур ки, бу шүаланма хромосфер вә тач үчүн истилик мәнбәји ола билмәз). Ону да гејд едәк ки, ади истилик кечирмә јолу илә хромосфер тач васитәсилә гыздырылыр. Демәли тачын гыздырылма механизмини тапмаг лазымдыр. Дедик ки, бу гыздырылма мәнбәини конвектив елементләрин кинетик енержисиндә ахтармалыјыг. Доғрудан да, конвектив елементләрин фотосферә етдикләри зәрбәләр нәтичәсиндә фотосфердә мүхтәлиф дөвр вә амплитуда малик мүхтәлиф характерли рәгси һәрәкәтләр баш верир; бунлар, әсасән бир сыра фраунһофер хәтләринин профил вә интенсивликләринин дәјишмәсини тәдгиг етмәклә ашкар едилмишдир. Бу рәгсләрин төрәмәләри олан акустик далғалар удулмадан тача чатыр. Тачда сыхлыг харичә доғру сүр'әтлә мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасиб азалдығындан бу далғалар сејрәк плазмада јајыларкән зәрбә далғаларына чеврилирләр. Зәрбә далғалары исә акустик далғаларын әксинә олараг чох тез сөнүр (диссипасија едир). Бу заман һәмин далғаларын кинетик енержиси истилијә чеврилир вә тачы гыздырыр. Әслиндә биз шәрти олараг гәбул етдик ки, конвексија фотосфердә акустик далғалар јарадыр. Конвексијанын јаратдығы далғаларын әмәлә кәлмә механизми вә онларын нөвләри һәлә там ајдын дејилдир. Лакин бир даһа гејд етмәк лазымдыр ки, *тачын гызмасынын сәбәби конвектив зонадан тача көчүрүлән енержидир, тач исә өз нөвбәсиндә истиликкөчүрмә јолу илә хромосфери гыздырыр.*

§ 95. КҮНӘШИН ФӘАЛ ТӨРӘМӘЛӘРИ. КҮНӘШ ФӘАЛЛЫҒЫ ВӘ ОНУН ЈЕРӘ ТӘ'СИРИНИН БӘ'ЗИ ТӘЗАҺҮРЛӘРИ

Күнәш ләкәләри, мәш'әлләри, флоккуллары, протуберанслары вә алышмалары Күнәшин фәал төрәмәләридир. Бунларын олдуғу јерләр исә Күнәшин фәал областлары адланыр.

Күнәш ләкәләри. Бунлар күнәшинән характерик төрәмәләридир. Бунун сәбәбләри чохдур. Һәр шејдән әввәл ләкәләр Күнәшин үмуми фәаллығыны мүәјјән едир. Ләкәләр Күнәш фотосфериндә Күнәш дискиндә әмәлә кәлир. Әввәлчә о нөгтәви формада олур вә ләкәчик (pore) адланыр, заман кечдикчә бөјүјүр, бир нечә саатдан бир нечә аја гәдәр илк ләкә әмәлә кәлән областда ләкә әмәләкәлмә, инкишафетмә вә јох олма просеси давам едир. Ләкәләр адәтән груп шәклиндә јаранырлар. Һәр групда чох вахт ики вә даһа чох ләкә олур. Групун сағ тәрәфиндәки ләкә, jә'ни фырланан Күнәш сәтһиндә гәрб тәрәфдә—ирәлидә кедән ләкә баш ләкә, дискин сол тәрәфиндәки ләкә, jә'ни архада кедән ләкә гујруг ләкә адланыр. Баш вә гујруг ләкәләрин әтрафында

хырда ләкәләр дә олур. Баш ләкә даhа бөјүк саhәјә малик олур вә ән ахырда јох олур. Ән бөјүк ләкәнин хәтти өлчүсү 10^5 км-э чата билир. Ләкәләрин спектрләриндә хәтләрин Доплер сүрүшмәси көстәрир ки, ләкәнин алт hиссәсиндә газлар ләкәдән ајрылыр, үст hиссәсиндә исә ләкәјә дахил олурлар. Газларын бу hәрәкәтинин сүр'әти 2—3 км/сандыр. Ләкәләр үчүн әсас характерик чәhәт онларын күчлү магнит саhәсинә малик олмасыдыр. Күнәш ләкәләриндә магнит саhәсинин кәркинлији бә'зән 4500 Е-ә чатыр. Һалбуки, Күнәшин үмуми магнит саhәсинин кәркинлији 1 Е-дир. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, Күнәшин үмуми магнит саhәсинин гүтблүјү вахташыры дәјишир, јә'ни чәнуб гүтбү шимал вә шимал гүтбү чәнуб олур. Бу көстәрир ки, магнит саhәси Күнәшин бүтүн дәринликләрини әhатә етмир—магнит саhәси Күнәшин конвектив зонасы илә әлагәдардыр вә вахташыры мүәјјән шәраитдә бу саhә магнит боручуглары илә Күнәш атмосферинә чыхыр. Ләкәләрин магнит саhәси Зејеман еффектинә әсасән өлчүлүр вә өјрәнилир. Күнәш диски мәркәзиндә јерләшән ләкәнин магнит саhәсинин өлчүлмәси көстәрир ки, бурада Зејеман еффекти узунуна еффектдир, јә'ни бахыш шүасы саhә истигамәтинә паралелдир. Демәли ләкәләрин магнит саhәси күнәш сәтhинә адәтән перпендикулјардыр. Узунуна Зејеман еффектиндә спектр хәтти экс истигамәтли даирәви полјаризә олунмуш ики компонентә ајрылыр вә бунлар арасындакы мәсафә (7.47) дүстуру илә hесабланыр. Ләкәнин магнит саhәсинин кәркинлији ән бөјүк олдугда белә, компонентләри ајрылыгда мүшаhидә етмәк мүмкүн дејилдир. Бу компонентләр бир-биринә говушараг хәттин кенишләнмәси илә нәтичәләнир. Полјаризасија гурғусу васитәсилә әввәлчә бу хәттин сол, сонра да сағ кәнары өртүлүр. Бу заман көрүнән тәрәф көрүнмәјән тәрәфә нисбәтән (7.47) ифадәсинә әсасән $2\Delta\lambda$ гәдәр сүрүшмүш олур. Бу үсулла кәркинлији бир нечә он Ерстед олан саhәни өлчмәк олур. Мүшаhидәләр көстәрир ки, магнит саhәси ләкәнин мәркәзи hиссәсиндә ән бөјүкдүр, кәнарлара доғру саhә зәифләјир. Ләкә бөјүдүкчә саhә монотон бөјүјүр. Ләкәнин фотошәклиндән көрүрүк ки, онун мәркәзи hиссәси чох тутгун, кәнарлары исә нисбәтән аз тутгун вә шүа гурулушлудур (шәкил 114). Ләкәнин ән тутгун мәркәзи hиссәси, ләкәнин нүвәси, аз тутгун кәнарлары исә јарымкөлкәси адланыр. Бунлар 114-чү шәкилдә ајдын көрүнүр. Ләкәнин нүвәси hәјәчанланмајан фотосфердән тәгрибән он дәфә аз парлагдыр, јарымкөлкәнин парлаглығы исә әтраф фотосферин парлаглығынын $\frac{3}{4}$ hиссәсини тәшкил едир. Бурадан Стефан—Болсман ганунуна әсасән hесаблаја биләрик ки, ләкәнин еффектив температуру, 4000—4500 К-дир, јә'ни Күнәшин еффектив температурундан (5785 К-дән) хејли кичикдир. Буна сәбәб нәдир? Бу суала ики вариантда чаваб вермәк олур. Лакин hәр чаваб магнит саhәси илә бағлыдыр. § 85-дән билирик ки, $\frac{H^2}{8\pi} > \frac{\rho v^2}{2}$ оларса, јахуд $v_A > v$ оларса магнит саhәси плазманын магнит гүввә хәтләринә перпендикулјар истигамәтдә hәрәкәтинә мане олур, hәтта

Шәкил 114. Күнәш сәтһи үзәриндә грануллар.

ону там тормозлаја билир. Конвектив зонада енержинин хејли һиссәси фотосферә конвексија васитәсилә көчүрүлүр. Магнит саһәси күчлү олан јерләрдә бу саһә тәрәфиндән конвексија бир нөв сөндүрүлдүјүндән ләкә әмәлә кәлән јердә конвексија олмур. Нәтичәдә ләкәнин шүаландырдығы енержи конвексија зонасындан алдығы енержидән чох олар вә ләкә сојујар, тутгун көрүнәр. Јенә дә магнит саһәсинә бағлы олан икинчи мүмкүн изаһ ондан ибарәтдир ки, конвексијанын тә'сири илә күчлү магнит саһәсиндә чох интенсив алвен далғалары һәјәчанланыр. Һәмин далғалар сели васитәсилә ләкәләр областындан хромосфер вә тача чохлу енержи көчүрүлүр. Нәтичәдә ләкә кичик магнит саһәсинә малик әтраф фотосферә нисбәтән еффектив сурәтдә сојујур вә тутгун көрүнүр.

Билирик ки, ләкәләр анчаг $\pm$ 40° һелиографик енликләр арасындакы золагда мүшаһидә олунур.

Ләкәләрин XVII јүзиллијин әввәлләриндән апарылан мүшаһидәләри көстәрмишдир ки, онларын Күнәш сәтһиндә көрүнмәси мүәјјән ганунаујғунлуға маликдир. Ләкә әмәләкәлмә фәалијјәти W Волф әдәди илә тә'јин олунур:

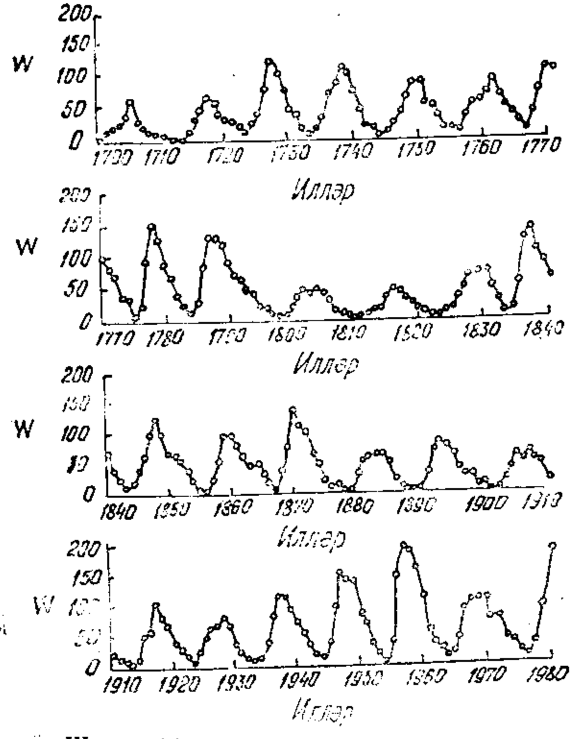
$$W = 10g + f; \tag{8.13}$$

бурада g—ләкә групларынын сајы, f—бүтүн ләкәләрин үмуми сајыдыр. Одур ки, Күнәшдә ләкә јохдурса (8.13)-дән W=0, бир ләкә варса, онда W=11 олар, чүнки јеканә ләкә һәм бир груп, һәм дә ләкәнин өзү һесаб едилир; јахуд Күнәш сәтһиндә ики ләкә групу, груплардан бирин-

дә ики, дикәриндә исә 5 ләкә варса (8.13)-дән $W=10\cdot 2+7=27$ аларыг. Ләкәәмәләкәлмә фәалијјәтиндәки ганунаујғунлуг ашағыдакылардыр:

1. Әсри орталашдырмаја әсасән мүәјјән едилмишдир ки, ләкәләрин сајы (вә тутдуглары саһә) 11 иллик дөврлә дәјишир: Күнәш фәаллығынын минимумунда Күнәшдә ајларла һеч бир ләкә мүшаһидә олунмаја биләр, сонра ләкәләрин сајы вә онларын саһәси артыр, 4—5 илдән сонра максимума чатыр вә бу дөвр, Күнәш фәаллығынын максимум дөвру адланыр. Ајларла Күнәш максимум фәаллығында галыр, сонра ләкәләрин сајы тәдричән азалыр вә 6—7 илдән сонра јенидән минимум олур. 115-чи шәкилдә орта иллик Волф әдәдинин 1700—1980-чи илләр арасында дәјишмәси көстәрилмишдир.

2. Күнәш фәаллығынын һәр јени тсикли минимум мәрһәләдән башлајыр. Тсикл ләкәләрин ән бөјүк һелиографик енликләрдә $\pm$ (30—40°) көрүнмәси илә башлајыр, бундан сонра ләкәләрин сајы вә саһәси артыр, ејни заманда ләкәәмәләкәлмә просеси Күнәш екваторуна јахынлашыр, ләкәләрин максимум сајы адәтән $\pm$ 15°-лик һелиографик енликләрдә олур, сонра ләкәләрин сајы азалыр, ејни заманда ләкәәмәләкәлмә просеси екватора тәрәф сүрүшүр, екватор јахынлығында ($\pm$5°-јәдәк) ләкәләрин әмәләкәлмәси, тсиклин минимум дөвру илә тамамланыр, сонра јени тсикл башлајыр.



Шәкил 115. Орта иллик Волф әдәдинин дәјишмәси.

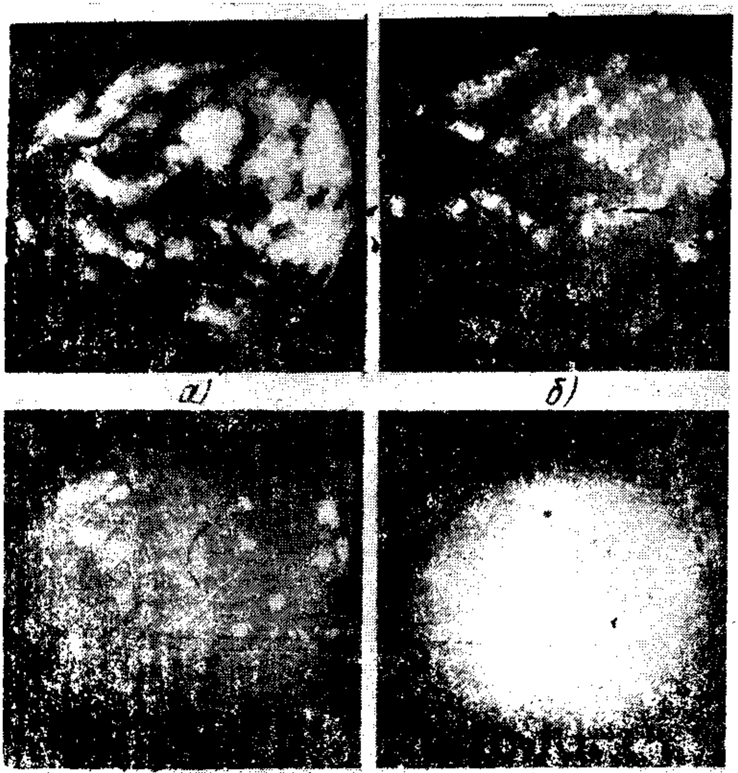
3. Мүәјјән бир тсиклдә Күнәшин шимал јарымкүрәсиндә баш ләкә вә онун әтрафындакы мүшајиәтедичи кичик ләкәләр шимал гүтблүдүрсә, архада кедән (гујруг) ләкә вә онун әтрафындакы кичик ләкәләр чәнуб гүтблү, чәнуб јарымкүрәсиндә исә ләкәләрин гүтбләшмәси бунун әксинә олур. Нөвбәти тсиклдә исә ләкәләрин гүтбләшмәси тәрсинә дәјишир. Бу мә'нада Күнәшин орта әсрлик тсиклини 11 иллик дејил, 22 иллик һесаб едирләр. Ләкәләрин гүтблүјүнүн belә дәјишмәсиндән башга Күнәшин үмуми магнит саһәсиндә дә гүтблүјүн јухарыда гејд етдијимиз дәјишмәси баш верир.

Күнәш мәш'әлләри. Ләкә группары әтрафында һәјәчанланмајан фотосферә нисбәтән парлаг көрүнән ($\sim 20\%$) төрәмәләр мүшаһидә олунур. Бунлар Күнәш мәш'әлләри адланыр. Күнәш мәш'әлләри дискдә даһа бөјүк саһәләр тутурлар. Мәш'әлләрин јашама мүддәтләри ајларла олур вә бу мүддәтдә онларын парлаглыгы чох аз дәјишир. Мәш'әлләр Күнәш дискинин мәркәзи әтрафында демәк олар ки, көрүнмүрләр, дискин кәнарларында исә даһа кәскин (контрастла) көрүнүрләр. Бу о демәкдир ки, фотосферин мүәјјән сәвијјәсиндә мәш'әлләрин температуру гоншу һәјәчанланмамыш областларынкындан 200°—300° јүксәкдир вә онлар һәјәчанланмамыш фотосфердән бир гәдәр үстдә јерләшир. Мәш'әлләрдә магнит саһәси ләкәләрдәкинә нәзәрән зәифдир вә мәш'әлләрин әмәлә кәлмәсинин сәбәби дә бунунла бағлыдыр. Белә ки, магнит саһәси зәиф оланда бу саһә конвексија елементләринин үфүги истигамәтдәки һәрәкәтләринә мане олур вә нәтичәдә бу елементләрин шагули һәрәкәтләри асанлашыр, јә'ни конвексија нәтичәсиндә һәјәчанланмајан фотосфер саһәләринә дахилдән даһа чох енержи көчүрүлүр вә һәмин һиссәләрин температуру артыр, бу областлар әтрафла мүгајисәдә бир гәдәр парлаг көрүнүр (шәкил 116).

Флокуллар. Ләкә группары вә фотосфер мәш'әлләриндән үстдә һәјәчанланмамыш хромосферә нисбәтән парлаг областлар мүшаһидә олунур. Бунларын парлаглыгы һүндүрлүјүн артмасы илә бөјүјүр. Бу төрәмәләр флокуллар адланыр. 117-чи шәкилдә һидрокенин H_α ионлашмыш калсиумун К, һидрокенин L_α хәтләриндә Күнәшин монохроматик шәкилләри вә фотосферин ағ ишыгда фотошәкли көстәрилмишдир. Бунлар демәк олар ки, ејни вахтда алынмышдыр. Монохроматик әксләр ардычыл олараг хромосферин 2—3 мин км, 5—6 мин км вә 8—10 мин км һүндүрлүкдә јерләшән гатларына аиддир. Шәкилдән көрүнүр ки, флокуллар доғрудан да мәш'әл вә ләкә областларынын үстүндә көрүнүрләр вә һүндүрлүк бөјүдүкчә флокулларын саһәси вә парлаглыгы да бөјүјүр. Хромосфер чох сејрәк-

Шәкил 116. Күнәш мәш'әлләри. Шәкилдә бөјүк ләкә дә көрүнүр.

дир вә кәсилмәз спектрдә шүаланма үчүн шәффафдыр. Одур ки, о, мүтләг гара чисим кими шүаландыра билмәз. Башга сөзлә флокулларын һәјәчанланмамыш хромосферә нисбәтән парлаг олмасыны онларын әтраф хромосферә нисбәтән бөјүк температура малик олмасы илә изаһ етмәк олмаз, јә'ни бурада Стефан—Болсман гануну тәтбиг едилә билмәз. Флокулларын парлаг олмасыны онларда сыхлығын әтраф хромосферә нисбәтән бир нечә дәфә бөјүк, температурун исә хромосфердәки гәдәр вә ја ондан бир гәдәр јүксәк олмасы илә изаһ едә биләрик,



а) б) в) г)

Шәкил 117. Һидрокенин L_α (*а*), ионлашмыш калсиум K(б) һидрокенин H_α (в) хәтләриндә Күнәшин монохроматик әксләри вә фотосферин ағ ишығда фотографијасы (г); кадрлар тәгрибән ејни вахтда алынмышдыр.

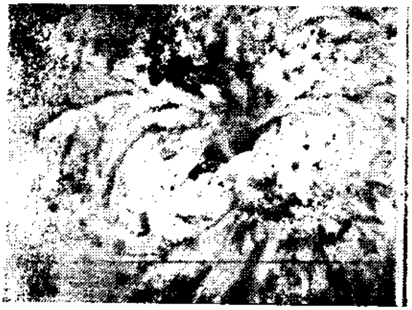
Протуберанслар. Күнәшин H_α хәттиндә чәкилмиш монохроматик әксиндә Күнәш дискинин кәнарында парлаг газ пүскүрмәләри мүшаһидә олунур (шәкил 118). Бунлар протуберанслар адланыр. Протуберанслар һидрокен хәтләриндә күчлү шүаланмаја маликдир. Бу сәбәбдән протуберанслар бурахма золағынын ени $\leqslant 1$ Å олан вә H_α—хәттиндә

Шәкил 118. Ерунтив протуберансын бир саат мүддәтиндә мүшаһидә олунмуш дөрд һалы.

ишләјән интерференсија—полјаризасија сүзкәчләри васитәсилә асанлыгла мүшаһидә олунур. Күнәш дискинә проjексија олунан протуберанслар тутгун лифләр шәклиндә көрүнүр. 117, *в* шәклиндә бу лифләр ајдын көрүнүр. Протуберанслар бир чох нөвә маликдир: *сакит протуберанслар*—һәфтәләрлә, һәтта ајларла дәјишмәз галыр; *еруптив* (партлајыш характерли) *протуберанслар*—сакит протуберансларын гәфләтән фәаллашмасы илә башлајыр, бу заман сүр'этли газ атылмалары баш верир вә чох заман белә протуберанслар тезчә јох олур; тачда газларын конденсасијасы нәтичәсиндә јаранан *тач протуберанслары—фәал* протуберанслардыр. Тач протуберанслары әмәлә кәлдикдән сонра санки бүтөв бир күтлә кими Күнәш сәтһинә тәрәф дүшүрләр. Протуберансларда магнит саһәси вардыр. Сакит протуберансларда магнит саһәсинин кәркинлији 20*Е*-дән 200*Е*-ә гәдәр, еруптив протуберансларда исә 1000 *Е*-ә гәдәр олур. Протуберансларын узунлуғу $2 \cdot 10^5$ км, галынлығы бир нечә мин километрә чатыр. Протуберансларын сыхлығы тачынкындан 100—1000 дәфә бөјүкдүр, температурлары исә 6—8 мин дәрәчәдир. Тач төрәмәләри олан протуберансларла инди таныш олачағымыз күнәш алышмалары арасында сых әлагә вардыр.

Күнәш алышмалары. Хәтти өлчүләри ләкәләрин өлчүсү тәртибдә (10^9—10^{10} см) вә фәаллығына көрә ләкәләрлә синхрон олан Күнәш алышмалары адланан төрәмәләр Күнәш фәаллығынын ән күчлү, ән парлаг тәзаһүрүдүр (шәкил 119). Күнәш алышмалары онун атмосфериндә баш верән партлајыш характерли гејри-стасионар просесдир. Ән күчлү күнәш алышмасы заманы чох гыса вахт әрзиндә (10^2—10^3 сан.)

ајрылан енержи 10^{32} ергә чатыр. Мүгајисә үчүн гејд едәк ки, Јердә ән күчлү зәлзәлә заманы ајрылан енержи 10^{24} ергдир. Күнәш шүаланмасы заманы километрлик радиодалғалардан сәрт гамма шүалара гәдәр бөјүк бир диапазону әһатә едән електромагнит далғалары шүаланыр. Бу заман узаг ултрабәнөвшәји вә хүсусилә рентген областларда шүаланма даһа күчлү олур. 108-чи шәкилдән көрдүк ки, алышма заманы рентген вә узаг ултрабәнөвшәји областларда шүаланма бу областларда Күнәшин ади шүаланмасындан тәртибләрчә бөјүкдүр (бир күчлү алышма заманы бу областларда ајрылан енержини Күнәш үч илдә шүаландырыр).



Шәкил 119. Бөјүк Күнәш алышмасы. Алышма областында ләкәләр групу вә јахынлыгда тутгун лифләр көрүнүр

Алышма заманы оптик областда шүаланма өзүнү әсасән парлаг хәтләрдә көстәрир. Белә ки, бу заман фраунһофер хәтләриндә күчлү шүаланма — емиссија мүшаһидә олунур, бә'зән чох күчлү алышма заманы, о, һәтта ағ ишыгда-кәсилмәз спектрдә көрүнүр (бу, *ағ алышма* адланыр). Күчлү емиссија һидрокенин Балмер серијасы хәтләриндә (биринчи нөвбәдә H_α-да), CaII-нин H вә K хәтләриндә, һелиум вә ионлашмыш һелиум хәтләриндә, еләчә дә чохлу метал хәтләриндә мүшаһидә олунур. Оптик областда H_α-да алышма хүсусилә кәскин (контраслы) көрүнүр. Бу хәтдә күчлү алышманын интерференсија—полјаризасија сүзкәчи васитәсилә алынан монохроматик хәјалындан көрүнүр ки, онун парлаглығы һәјәчанланмамыш хромосферин парлаглығындан он дәфәләрлә бөјүкдүр. Алышма спектриндә һидрокенин Балмер серијасынын хәтләринин, CaII-нин H вә K хәтләринин вә чохлу метал хәтләринин спектрофотометрик тәдгигинә әсасән алышмада физики шәраити характеризә едән бир сыра параметләр тә'јин олунур. Күчлү күнәш алышмасында һидрокен атомларынын консентрасијасы 10^{14} см$^{-3}$, сәрбәст електронларын консентрасијасы $5\cdot10^{13}$ см$^{-3}$, температур 10^4—$2\cdot10^4$ K олур. Һидрокен атомларынын консентрасијасынын гијмәтиндән көрүрүк ки, алышмада газын консентрасијасы хромосферинкиндән 100—1000 дәфәләрлә бөјүк олур.

Алышма заманы радиодиапазонда Күнәшин шүаланмасы милјон дәфәләрлә күчләнир.

Күчлү алышмалар заманы електромагнит шүаланмасы илә јанашы релјативист електронлар, протон, алфа зәррәчик вә ағыр нүвәләрдән ибарәт космик шүалар сели јараныр. Һәр бир орта күчлү алышма заманы (1000—2000) км/сан сүр'әтә малик јүклү зәррәчикләр селинин јаранмасы ади һадисәдир; бу селә корпускулјар сел дејилир. Нәһајәт

алышма заманы тачда вә планетләрарасы фәзада чох күчлү зәрбә далғалары јајылыр, алышма областындан планетләрарасы фәзаја чох исти вә бөјүк күтләли газ топалары атылыр. Зәрбә далғаларынын чох күчлү алышма заманы дашыдығы енержи 10^{32} ергә, атылан газларын күтләси исә 10^{9} тона чатыр. Ајдындыр ки, бүтүн бунларла јанашы Күнәшин магнит саһәси дә планетләрарасы фәзаја нүфуз едир. Бүтүн бу просесләр о гәдәр күчлү олур ки, онларын изләри Јупитер планетинин орбитинә гәдәр чатыр. Ајдындыр ки, Јер Күнәшә нисбәтән јахын олдуғундан алышманын тәзаһүрләри јерәтрафы космик фәзада вә билаваситә Јердә өзүнү даһа кәскин көстәрмәлидир: Күнәш алышмалары заманы јаранан күчлү ултрабәнөвшәји шүаланма јер атмосферинин јухары гатларында—ионосфердә әлавә күчлү ионлашмаја сәбәб олур, нәтичәдә ионосфердә сәрбәст електронларын консентрасијасы артыр, хүсусилә 15—60 метр гыса далғаларда радиорабитә вә һәмчинин телевизија верилишләри, радиолокасијанын ишләмә габилијјәти позулур. Алышма заманы (һәмчинин бөјүк ләкә Күнәшин мәркәзи меридианындан кечәндә) Јерә чатан корпускуллар сели даһа күчлү олур вә бу, јерин магнит саһәсини сарсыдыр вә гүтб парылтыларына сәбәб олур. Кеомагнит сарсынтылары газ вә нефт кәмәрләринин електрокимјәви коррозијасыны күчләндирир. Алышмалар чох мүшаһидә олунан вахт күман ки, јер атмосферинин һава режимини мүәјјән едән динамикасында дәјишиклик баш верир. Алышма төрәмәләри олан шүаланма формалары Јерин биосферинә чидди тә'сир едир. Бир нечә мисал: Сон 3000 илдә ағач галыгларынын тәдгиги көстәрир ки, онларын көвдәсинин енли һалгалары Күнәш фәаллығынын максимуму дөврүнә ујғун кәлир; бу көстәрир ки, Күнәш фәаллашанда ағачларын бөјүмәси дә фәаллашыр; тарихи сәнәдләр көстәрир ки, чума, вәба, скарлатина вә дифтерија кими хәстәликләр әсасән фәал күнәш дөврүнә тәсадүф едир; алышма заманы үрәк-дамар хәстәликләри 3—5 дәфә кәскинләшир; Күнәшин максимум фәаллығы дөврүндә мә'дәдә дуз туршусунун консентрасијасы азалыр; Күнәш фәаллығынын максимуму дөврүндә ганын кәнар һиссәчикләри вә микроблары һәлл етмәк габилијјәти 30% ашағы дүшүр, нәтичәдә инсан бәдәнинин хәстәликләрә гаршы мүгавимәти зәифләјир (организмин мүбаризә-иммун гүввәси зәифләјир). Күман едилир ки, алышмаларын инсан организминә тә'сир тәзаһүрләри Јерин магнит саһәсинин сарсынмаларынын күчләнмәси илә әлагәдардыр.

Чох күчлү күнәш алышмасы заманы ајрылан космик, рентген вә гыса ултрабәнөвшәји шүаланма сели јерәтрафы фәзада чанлы организм үчүн чох тәһлүкәлидир. Одур ки. космонавтларын учушу дөврүндә белә алышмаларын дүзкүн прогнозуну вермәк чох вачибдир.

Нәһајәт күнәш алышмалары Јердә јарадылмасы мүмкүн олмајан кениш мигјаслы физики лабораторијадыр. Бу тәбии лабораторијада чох исти (10^{8} К) плазма, чох бөјүк енержијә (јүзләрлә мегалектронволт) малик протонлардан вә башга нүвәләрдән ибарәт космик шүалар, он минләрлә мегаелектронволт енержијә малик релјативист електронлар, чох күчлү зәрбә далғалары, күчлү магнит саһәси, бир сөзлә

плазма физикасы илә бағлы мүрәккәб нә варса һамысыны өзүндә чәмләшдирән вә чох мүрәккәб физики просесләрлә зәнкин бир шәраит вардыр. Одур ки, күнәш алышмаларыны өјрәнмәјин фундаментал елми әһәмијјәти чох бөјүкдүр.

Алышма нечә јараныр, онун шүаланма механизмләри нәдир, алышмаларын планетләрарасы фәзада, о чүмләдән Јердә јаратдығы фәсадларын механизми там ајдындырмы? Бу үч әсас суала һәләлик там вә биргијмәтли чаваб тапылмајыб. Лакин алышмаја бағлы һәр үч проблем үзрә чохлу вә мараглы нәтичәләр алынмышдыр. Алышмалар күчләринә, харичи көрүнүшләринә, замандан асылылыгларына вә мүхтәлиф шүаланмаларда нисби ролуна көрә бир-бирләриндән о гәдәр фәргләнир ки, онларын «стандарт шәклини» тәсвир етмәк садәчә олараг мүмкүн дејилдир. Бу сәбәбдән дә алышманын һәлә биргијмәтли там реал нәзәријјәси јохдур. Лакин бир мәсәлә тамамилә ајдындыр—алышмалар (һәмчинин дикәр гејри-стасионар күнәш төрәмәләри) магнит гүввәләри тә'сиринин нәтичәсидир. Бураја ону да әлавә едәк ки, алышмалар адәтән күчлү вә хүсусилә мүрәккәб гурулушлу магнит саһәсинә малик ләкә групунун үстүндә әксгүтблү саһәләр арасында әмәлә кәлир. Билаваситә алышмадан азачыг әввәл әксгүтблү бөјүк ләкәләр арасында (јә'ни баш вә гујруг ләкә арасында) кичик ләкә (пејк) јараныр; алышмаја бир саат галмыш ләкә групу үзәриндәки протуберанс сөнмәјә башлајыр, јарым саат сонра бу протуберансда рәгси һәрәкәтләр мүшаһидә олунур. Протуберансын алт тәрәфи онун маддәсиндә донмуш магнит саһәси илә бирликдә ашағы дүшүр вә пејкләкәдән галхан әкс гүтблү магнит саһәси илә көрүшүр. Мүхтәлиф истигамәтли магнит гүввә хәтләри бу јолла кәсишир. Бу сыхылма областында магнит саһәсинин аннигилјасијасы баш верир, јә'ни әкс истигамәтли саһәләр бир-бирини гаршылыглы јох едир. Әввәлчәдән топланан магнит енержисинин бу чүр аннигилјасијасындан сонра алышманын јухарыда һаггында бәһс етдијимиз енержи формалары јараныр.

Әлбәттә, алышмадан әввәл магнит енержисинин јухарыда көстәрдијимиз јолла топланмасы вә аннигилјасијасы јеканә јол олмаја биләр. Алышма әмәләкәлмәнин башга бир механизминин дә олдуғу күман едилир. Алышма, конвексија зонасында магнит борусунун шагули һиссәсинин бурулдуғу областда бу бурулманы ачмаға чалышан бурулған нәтичәсиндә јарана биләр. Бу һалда алышма енержиси вә алышма илә әлагәдар һадисәләрин мәнбәји гравитасија енержиси вә магнит саһәсинин азимутал компонентинин енержиси олур. Бу енержиләр бурулмуш магнит борусунун ачылмасы заманы азад олмалы вә бу ачылма магнит боруларынын фотосферин алтында дәрин конвексија зонасындан күнәш атмосферинә чыхмасы илә нәтичәләнмәлидир. Күнәш атмосферинә чыхан бу магнит боруларынын гравитасија енержиси алышма заманы ајрылан ән бөјүк енержини—планетләрарасы зәрбә далғаларынын енержисини (10^{32} ерг) тә'мин едә биләр. Магнит боруларынын ачылмасы нәтичәсиндә азимутал магнит саһәсинин диссипасијасы алышманын шүаланма енержиси вә динамикасында мәнбә ролу ојнаја биләр.

Јухарыда дејиләнләрә јекун вурмагла мүһүм бир ҹәһәти гејд етмәк лазымдыр. Алышманын баш вердији лап илк анларда бу мүрәккәб физики һадисәјә күчлү нөгтәви партлајыш нәзәријјәсини тәтбиг етмәк олур.

Алышма заманы јаранан космик шүаларда ^2H вә ^3H изотопларынын (дејтериум вә тритиумун) мигдары һәјәҹанланмајан күнәш атмосфериндә олдуғундан хејли чохдур. Бу көстәрир ки, алышма заманы истилик—нүвә реаксијалары баш верә биләр (бу заман һелиум, литиум, бериллиум вә борун изотоплары да јарана биләр).

Алышма заманы илк санијәләрдә тачын һадисәјә бағлы областында температур бир нечә он милјон дәрәҹәјә гәдәр галхыр. Одур ки, бу областлар $\lambda > 3\mathring{A}$ далғаларда гыса мүддәтли истилик механизмли рентген шүаланмасы мәнбәји ола биләр. $\lambda < 3\mathring{A}$ далғаларда рентген шүаланмасы вә үмумијјәтлә алышмаларын чох күчлү рентген шүаланмасы вә һәмчинин радиопүскүрмәләр адланан радиошүаланмасы—спорадик радиошүаланма анчаг гејри истилик механизми илә изаһ едилмәлидир. Чүнки бунлар истилик шүаланмасы механизми илә олсајдылар ағласығмаз (10^{12}—10^{13} дәрәҹә) температур тәләб олунарды. Алышмадан бир нечә дәгигә сонра бир нечә ангстрем далға узунлугларында күчлү рентген шүаланмасынын механизми алышма нәтиҹәсиндә јаранан бөјүк енержили релјативист електронларын магнит саһәсиндә шүаланмасы, јә'ни синхротрон механизм ола биләр; бурада башга бир механизм күман ки, космик шүаларын сүр'әтли електронларынын хромосфер зәррәҹикләри илә тоггушмалары илә бағлыдыр; нәһајәт бурада тәрсинә Комптон еффекти дә гејри-истилик шүаланма механизми ролуну ојнамаг имканына маликдир. Радиопүскүрмәләрин механизми исә космик шүаларын тачдан кечмәси нәтиҹәсиндә тач плазмасынын радиопүскүрмәләрин тезлијинә бәрабәр тезликлә рәгс етмәси илә бағлыдыр. Бу һалда тезлик (7.74)-дән тапылыр. Тач үчүн характерик олан електрон консентрасијасы вә онун һүндүрлүкдән асылы олараг дәјишмәсини (7.74)-дә нәзәрә алсаг көрүрүк ки, радиопүскүрмәјә сәбәб олан физики просес тача доғру һәрәкәт едирсә, заман кечдикҹә радиопүскүрмә узун далғалара тәрәф сүрүшмәлидир; алышмаларла бағлы радиопүскүрмәләр мәһз метрлик далғаларда даһа күчлү олурлар вә пүскүрмә әввәлҹә нисбәтән гыса далғаларда, заман кечдикҹә исә даһа узун далғаларда мүшаһидә олунур. Хүсусилә радиодалғаларда синхротрон механизм әсас рол ојнамалыдыр.

Күнәш фәаллығы вә онун төрәмәләри илә танышлыгдан көрдүк ки, бурада әсас ролу магнит саһәси илә күнәш плазмасынын гаршылыглы тә'сири ојнајыр. Лакин күнәш фәаллығынын физики нәзәријјәси һәләлик мә'лум дејилдир; бу һагда јалныз бир сыра фәрзијјәләр вардыр. Бә'зи фәрзијјәләрә көрә фотосфердә даим мүшаһидә олунан зәиф магнит саһәси вахташыры мүәјјән областларда күчләнә биләр. Буна сәбәб исә бу областлардан алтда конвектив һәрәкәтләр нәтиҹәсиндә магнит саһәсинин гүввә хәтләринин мүрәккәбләшмәси вә бу мүрәккәбләшмәнин бир тәзаһүрү гүввә хәтләринин кәләфләшмәси ола биләр. Башга һипотезә көрә магнит саһәсинин күчләнмәси Күнәшин диф-

ференсиал фырланмасынын нәтиҹәсиндә ола биләр; белә фырланма нәтиҹәсиндә меридиан үзрә истигамәтләнән гүввә хәтләри екватора паралелләшмәклә фырланма заманы магнит борулары јарада биләрләр. Күҹләнән магнит саһәсинә малик областлар магнит тәзјиги илә кенишләнәндә јүнкүлләшдикләриндән конвексија зонасындан үст гатлара чыхараг күнәш фәаллығынын мүхтәлиф төрәмәләринин јаранмасына сәбәб ола биләр.

IX ФӘСИЛ

КҮНӘШ СИСТЕМИ ҸИСИМЛӘРИНИН ФИЗИКАСЫ

I һиссә

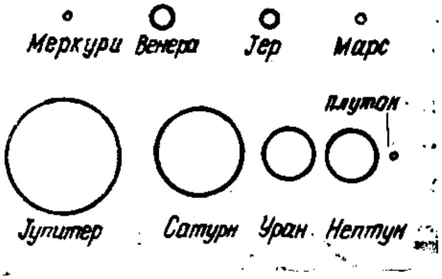
БӨЈҮК ПЛАНЕТЛӘР

§ 96. ҮМУМИ МӘ'ЛУМАТ

Бир сыра физики хүсусијјәтләринә көрә бөјүк планетләр ики група бөлүнүр: 1) Јер типли планетләр; 2) Јупитер типли, јахуд нәһәнк планетләр. Јер типли планетләр групуна Меркури, Внера, Јер вә Марс дахилдир; нәһәнк планетләр групуна дахил олан планетләр Јупитер, Сатурн, Уран вә Нептундур. Күнәшдән ән узагда олан Плутон һаггында мә'лумат чох аздыр. Күтлә вә өлчүсүнә көрә бу планет Јер групуна јахындыр.

120-ҹи шәкилдә планетләрин нисби өлчүләри схематик тәсвир олунмушдур. Бу шәкилдә чох сајда кичик өлчүлү бәрк һиссәҹикләрдән ибарәт һалгалары олан планетләрин— Јупитер, Сатурн вә Уранын һалгалары көстәрилмәмишдир.

Јер групуна дахил олан планетләр нисбәтән кичик өлчүјә, кичик күтләјә, бөјүк сыхлыға, ләнк охәтрафы фырланмаја, бәрк сәтһә маликдир. Бу планетләрин кимјәви тәркибләри Күнәшинкиндән вә үмумијјәтлә орта космосун кимјәви тәркибиндән тамамилә фәрглидир: бу планетләрдә һидрокен, һелиум (вә башга тә'сирсиз газлар) чох аздыр. Кимјәви тәркиб вә дахили гурулушуна көрә Ај,



Шәкил 120. Планетләрин нисби өлчүләринин схематик тәсвири.

Јер групуна дахил олан планетләрә бәнзәјир. Јер групуна дахил олан планетләрдән ән бөјүјү Јер, ән кичији Меркуридир

Нәһәнк планетләр бөјүк өлчүјә, бөјүк күтләјә, кичик сыхлыға, охәтрафы бөјүк фырланма сүр'әтинә маликдирләр. Нәһәнк планетләрин кимјәви тәркибләри Јер групу планетләрин кимјәви тәркибиндән көкүндән фәргләнир. Јупитер вә Сатурнда һидрокен вә һелиумун фаизлә мигдары Күнәшдәки кимидир; дикәр нәһәнк планетләринки дә күман ки, беләдир; лакин бунларда ағыр елементләрин нисби мигдары бир гәдәр чох ола биләр. Нәһәнк планетләрдән ән бөјүјү Јупитер, ән кичији Уран-дыр. Јупитер, Сатурн вә Уранын чохлу сајда кичик өлчүлү бәрк һиссәчикләрдән ибарәт һалгалары вардыр.

Космик техниканын тәтбигинә гәдәр планетләри Јердән өјрәнирдиләр. Инди јер рәсәдханалары илә јанашы планетләрин тәдгигиндә космик техникадан кениш истифадә олунур. Бу техника Јери космосдан өјрәнмәкдә дә әһәмијјәтли васитәјә чеврилир.

Даһа дәгиг үсулларла планетләрин, һәмчинин Күнәш системинин башга чисимләринин тәдгигинин кенишләнмәси нәтичәсиндә онлар һаггында әлдә едилән мә'луматлар вә алынан нәтичәдә дә кенишләнир вә дәгигләшдирилир. Буну нәзәрә алараг, бу фәсилдә планетләр барәдә гәти мүәјјән едилмиш дәлилләр вә нәтичәләр шәрһ едиләчәкдир.

§ 97. ЈЕР ПЛАНЕТ КИМИ

Меркури вә Венерадан сонра Јер Күнәшдән узаглығына көрә үчүнчү планетдир. Билирик ки, Јерин Күнәшдән алдығы истилик енержисинин мигдары Күнәш сабити илә тә'јин олунур; Јер атмосфериндән кәнарда Күнәш шүаларына перпендикулјар гојулмуш мүстәви лөвһәнин һәр квадрат сантиметри бир дәгигәдә $1{,}96\,\frac{\text{кал}}{\text{см}^2\text{. дәг.}}$, јахуд $1{,}37\cdot10^6\,\frac{\text{ерг}}{\text{см}^2\text{. сан}}$, истилик енержиси алыр. Күнәш сабитинин бу гијмәти вә јер атмосферинин ашағыда көрәчәјимиз хүсусијјәтләри Јердә һәјатын әмәлә кәлиб инкишаф етмәсини тә'мин етмишдир.

Јерин формасынын басыг сфероид гәбул едилдијини билирик; әлбәттә ону да билирик ки, әслиндә Јер кеоиддир. Јерин радиусунун, даһа доғрусу өлчүләринин триангулјасија үсулу илә тапылдығыны да билирик. Јерин сүн'и пејкләри васитәсилә апарылан тәдгигатлар јерин өлчүләрини даһа да дәгигләшдирмәјә имкан вермишдир: Јерин екваториал радиусу $R_e = 6378{,}140$ км, гүтб радиусу $R_п = 6356{,}755$ км, басыглығы $\alpha = \frac{R_e - R_г}{R_e} = 1 : 298{,}257$-дир, Јерин орта радиусу $R_0 = 6371$ км-дир. Јер гүтбләриндән кечән ох әтрафында $P_0 = 23^m\,56^h\,04^s = 86164$ сан дөврлә фырланыр, ејни заманда $T_0 = 365^d{,}2564$ дөврлә фырланма истигамәтиндә **Күнәшин әтрафында доланыр.** Јерин бу һәрәкәти вә онун фырланма охунун орбит мүстәвисинә, јахуд еклиптикаја мејилли (66° 34′) олмасы Јердә фәсилләрин әмәлә кәлмәсинә сәбәб олур. Јер фәсил-

ләринин мә'лум дәјишмәси планетимиздә нормал истилик режиминин јаранмасыны тә'мин едир.

Јерин күтләсинин

$$m = \frac{g_0 R_e^2}{G} = 5{,}98 \cdot 10^{27} \text{ г}$$

олдуғуну билирик; бурада $g_0 = 981{,}4$ см/сан² Јерин екваторунда гравитасија тә'чилидир.

Билирик ки, Јерин сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чили гравиметрија үсулу илә тә'јин олунур. Бурада рәггаслы чиһазлардан истифадә едилир; узунлуғу l олан рәггасын рәгс периоду τ мүмкүн гәдәр бөјүк дәгигликлә өлчүлүр вә

$$g' = 4\pi^2 \frac{l}{\tau^2}$$

дүстурундан ағырлыг гүввәсинин тә'чили тапылыр. Ајдындыр ки, ағырлыг гүввәси тә'чили g' гравитасија тә'чилиндән бир гәдәр кичик олмалыдыр, чүнки бу тә'чил Јерин фырланмасы нәтичәсиндә g_c мәркәздәнгачма тә'чили гәдәр зәифләмәлидир. Гравиметрија өлчмәләриндән Јерин екваторунда ағырлыг гүввәси тә'чили үчүн $g' = g'_0 = 978{,}0$ см/сан² алынмышдыр, дикәр тәрәфдән Јерин екваторунда мәркәздәнгачма тә'чили

$$g_{oc} = \frac{v_0^2}{R_e} = \frac{4\pi^2 R_e}{P_0^2} = 3{,}4 \text{ см/сан}^2\text{-дыр.}$$ Бурадан Јер екваторунда гравитасија тә'чили үчүн

$$g_0 = g'_0 + g_{oc} = 978{,}0 + 3{,}4 = 981{,}4 \text{ (см/сан}^2)$$

аларыг.

Јерин шимал гүтбүндә ағырлыг гүввәси тә'чилини илк дәфә Е. К. Фјодоров, дрејф едән «Шимал гүтбү» стансијасында өлчмүш вә $g'_{90} = 983{,}3$ см/сан² алмышдыр. Јерин истәнилән φ енлијиндә гравитасија тә'чили

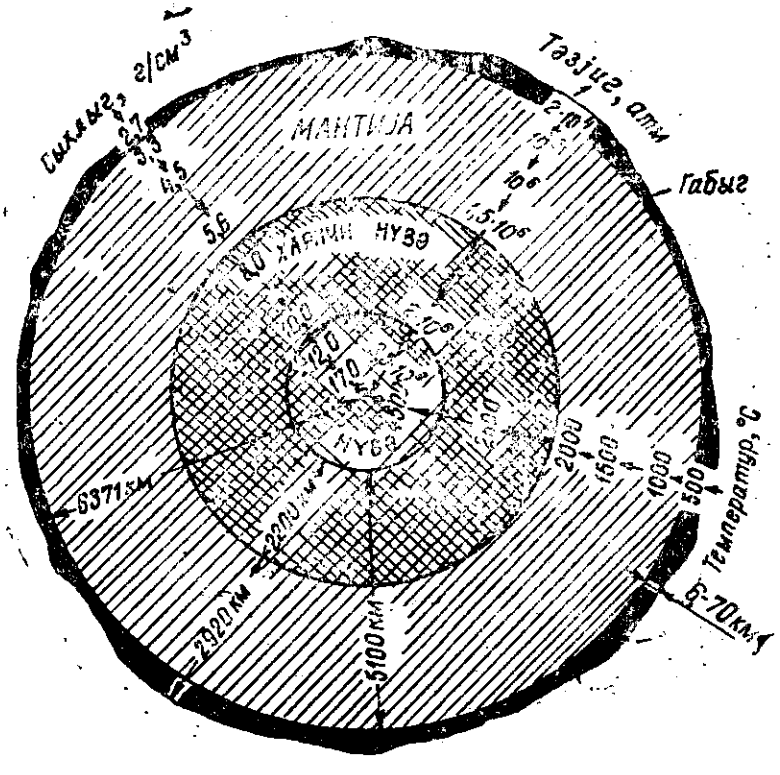
$$g_\varphi = g'_0 + (g_{90} - g'_0) \sin^2 \varphi \tag{9.1}$$

олар. $g_{90} - g'_0 = 983{,}3 - 978{,}0 = 5{,}3$ см/сан² (тә'чилләр фәргинин тәгрибән 2/3-си (3,4 см/сан²) мәркәздәнгачма гүввәси һесабына, галаны исә Јерин гүтбләрдән басыглығы һесабына јараныр).

Јерин дахили гатларында күтләләрин гејри-бәрабәр пајланмасы, дағ массивләри вә дәрин чөкәкликләрин олмасы, һәмчинин мүхтәлиф фајдалы газынтыларын пајланмасы нәтичәсиндә һәр бир енликдә өлчүлән g_φ. (9.1) дүстурундан тапылан g_φ-дән фәргләнә биләр. $\Delta g_\varphi = g'_\varphi - g_\varphi$ гравитасија аномалијасы адланыр. $\Delta g_\varphi > 0$ шәрти көстәрир ки, о јердә метал филизи јатаглары ола биләр, $\Delta g_\varphi < 0$ шәрти өдәнән јердә нефт вә газ јатагларынын олдуғуну күман етмәк олар. Кеофизика үсулу илә фајдалы газынтыларын ахтарылмасында гравиметрија үсулундан кениш истифадә олунур.

Јерин мә'лум күтлә вә һәчминә әсасән онун орта сыхлығы үчүн 5,52 г/см³ алыныр. Јерин үст гатынын, јә'ни јер габығынын сыхлығы 2,70 г/см³-дур. Јерин үст гатынын сыхлығынын онун орта сыхлығындан кичик олмасы көстәрир ки, Јерин дахили гатларына доғру онун сыхлығы бөјүјүр. Јерин сәтһинин үмуми саһәси 510,07·10⁶ км²-дыр, бунун 29,2%-ини гуру, 70,8%-ини су тәшкил едир. Јер физики хүсусијјәтләринә көрә мүхтәлиф гатлардан ибарәтдир. Јерин дахили гатлары һаггында мә'луматлар әсасән долајы јолла әлдә едилир. Әввәл ону гејд едәк ки, һәләлик ән дәрин гују 9,6 км-ә гәдәр газылыр. Даһа дәрин гатлар һаггында әсас мә'луматлар кеофизика—сејсмолокија үсуллары илә әлдә едилир; јерин дәрин гатларында сүн'и партлајышлар вә һәмчинин зәлзәләләр вахты јаранан еластики далғаларын Јерин тәкиндә јајылмасы өјрәнилир.

121-чи шәкилдә **Јерин дахили гурулушунун схеми** көстәрилмишдир. Бу шәкилдән көрүндүјү кими Јер *үст гатдан-јер габығындан, мантијадан, харичи нүвәдән вә нүвәдән* ибарәтдир. Материк-



Шәкил 121. Јерин дахили гурулушунун схеми.

дә јер габығынын галынлығы 35—70 км, океан дибиндә 6—10 км-дир. Јер габығынын 5—7 км үст гаты силисиум оксидиндән, алүминиумдан, дәмирдән вә гәләви металлардан ибарәтдир. Јер габығынын галынлығы 35—40 км олан орта һиссәси гранитдир вә бунун бир гисми бә'зи јерләрдә үстә чыхыр; 30 км-ә гәдәр галынлығы олан даһа дәрин алт габыг базалтдан ибарәтдир. Јерин дахилиндә температур дәрин гатлара кечдикчә бөјүјүр: 3 км дәринлијәдәк һәр 100 м-дә температур 1°, даһа дәрин гатларда 2°—2°,5 артыр, 10 км дәринликдә температур 180° С-дир. Белә јүксәк температур јерин исти тәкиндән онун сәтһинә доғру хејли мигдарда истилијин кечмәси илә әлагәдардыр. Газылан дәрин гујуларда һелиум, һидрокен, азот, метан вә башга карбоһидрокенләр, һәмчинин бром, јод вә ағыр металлар вардыр.

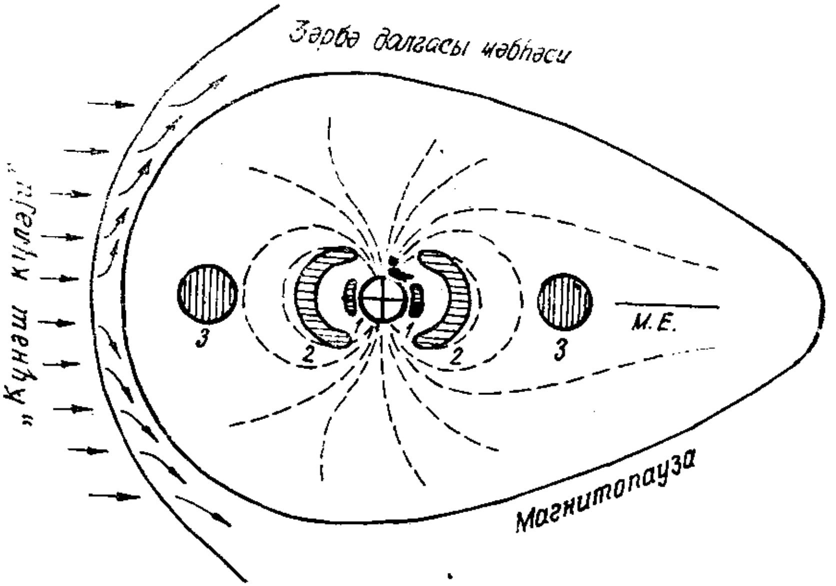
Јер габығындан алтда мантија адланан гат јерләшир. Мантијанын галынлығы 2900 км-дир. Мантија базалт вә силикатлардан ибарәтдир. Зәлзәлә вә вулканларын «јувасы» мантијада јерләшир. Мантијанын алт һиссәсиндә сыхлыг 5,6 г/см^3-дур. Ондан алтда галынлығы 2200 км олан харичи нүвә јерләшир. Мантијадан харичи нүвәјә кечән кими сыхлыг дәрһал бөјүјүр (8 г/см^3-дан 10,0 г/^{3}-дәк). Бурада температур 2000°С-дән 4500°С-дәк артыр, тәзјиг $1{,}5 \cdot 10^6$атм-дан ($1{,}5 \cdot 10^9$ һПа-дан) $2 \,.\, 10^6$ атм ($2 \,.\, 10^9$ һПа)-дәк бөјүјүр. Харичи нүвә маје һалындадыр вә електриккечиричилији бөјүкдүр. Харичи нүвәдән алтда дахили нүвә јерләшир. Дахили нүвәнин радиусу 1250 км-дир, бәркдир, мәркәзиндә температур 8000—9000° С-ә чатыр, тәзјиг $3{,}5 \cdot 10^6$ атм ($3{,}5 \cdot 10^9$ һПа), сыхлыг 12-дән 17 г/см^3-дәк гијмәтләндирилмишдир.

Харичи нүвәнин електрик кечиричилијинә малик олмасы вә орада електрик чәрәјанынын олмасы Јерин магнит саһәсини изаһ едир. Доғрудан да, динамо—механизмә көрә магнит саһәси харичи маје нүвәдә һидродинамик һәрәкәтләр нәтичәсиндә јарана биләр. Белә ки, нүвә хејли исти вә кифајәт гәдәр електрик кечиричилијинә малик олдуғундан, нүвәдә илк вахтлар аз да олса магнит саһәси олмушса, бу саһә кечиричилијә малик маје селлә кәсишәндә електрик чәрәјаны әмәлә кәлмәлидир. Електрик чәрәјаны магнит саһәси јаратмалы, кечиричи мајенин әлверишли һәрәкәти нәтичәсиндә исә бу саһә илкин-башланғыч магнит саһәсини күчләндирилмәлидир. Бу исә өз нөвбәсиндә гејд олунан чәрәјанын күчләнмәсинә сәбәб олмалыдыр. Чәрәјанын бөјүмәси нәтичәсиндә чоул истилији һесабына ајрылан енержи һидродинамик һәрәкәтләр һесабына сәрф олунан енержи илә таразлашанадәк бу чүр гаршылыглы күчләнмә давам етмишдир.

Јерин магнит саһәсинин вә Күнәшин корпускулјар шүаланмасынын тәзаһүрләри өзләрини јерәтрафы фәзада Јерин *магнитосферинин* јаранмасында көстәрир. Магнит саһәси олан көј чисминин—мәсәлән, планетин, магнитосфери олур вә планетин атмосферә малик олуб-олмамасынын магнитосферин јаранмасында ролу јохдур. *Магнитосфер елә планетәтрафы фәзадыр ки, Күнәшин јүклү зәррәчикләри бу фәзанын магнит саһәсиндә «идарә» олунур.* Јерин магнитосферинин оху Јерин фырланма оху илә 11°,5 бучаг әмәлә кәтирир вә Јерин мәркәзиндән 450 км мәсафәдән кечир. Магнитосферин охунун Јерин сәтһи илә кәсишмә нөг-

тәләри кеомагнит гүтбләр адланыр. Һәр ики гүтбүн вәзијјәти демәк олар ки, дәјишмәздир: шимал кеомагнит гүтбүнүн чоғрафи координатлары $\varphi=+79°$, $\lambda=290°$, чәнуб кеомагнит гүтбүнүнки $\varphi=-79°$, $\lambda=110°$-дир. Ајдындыр ки, кеомагнит екватор чоғрафи екваторла 11°5-лик бучаг әмәлә кәтирир. Кеомагнит екваторда магнит саһәсинин кәркинлији 0,31 Е, кеомагнит гүтбләрдә 0,62Е-дир.

122-чи шәкилдә Јерин магнитосфери тәсвир олунмушдур. Космик *тәдгигатлар көстәрир ки, јер магнитосфери бөјүк өлчүјә маликдир. Магнитосфер күнәш күләкләринин* дүзхәт бојунча һәрәкәт етмәсинә мане олур, күнәш күләкләри исә өз нөвбәсиндә магнитосфери бир гәдәр сыхыр, онун өлчүләрини Күнәш тәрәфдә мәһдудлашдырараг бу областы радиусу 70000 км олан сфераја бәнзәдир. 450 км/сан сүр'әтә малик олан күнәш күләји магнитосфери јанлардан да сыхыр. Күнәшдән әкс тәрәфдә Јерин магнитосфери 120000 км-ә гәдәр узанараг онун гујруғуну әмәлә кәтирир. Јерин магнитосферинин сәрһәдди магнитопауза адланыр.



Шәкил 122. Јерин магнитосфери вә радиасија гуршаглары (⊕—магнит гүввә хәтләри илә бирликдә Јердир); радиасија гуршаглары: 1—дахили зона, 2—орта зона, 3—харичи зона, јахуд һәлгәви чәрәјан (МЕ—магнит екваторудур).

Күнәшин космик шүаларынын 10^3 МеВ-дән бөјүк енержили јүклү зәррәчикләри магнитосферә нүфуз едәрәк јер атмосферинин јухары гатларында атмосфер зәррәчикләри илә гаршылыглы тә'сир нәтичәсиндә *икинчи космик шүаларын әмәлә кәлмәсинә сәбәб олур. Күнәш күләјинин 100 еВ-дан 10^2 МеВ-ә гәдәр енержијә малик електрон вә про-*

тонлары магнитосфердә спиралвари трајекторијалар бојунча һәрәкәт едәрәк кеомагнит екватору әтрафында галын һалга әмәлә кәтирир ки, буна Јерин радиасија гуршағы дејилир. Зәррәчикләрин енержисиндән асылы олараг онлар магнитосферин мүәјјән дәринлијинә гәдәр нүфуз едә биләр. Бу сәбәбдән үмуми гуршаг шәрти олараг үч радиасија гуршағына ајрылыр: *дахили* (јерин сәтһиндән 2400—5600 км һүндүрлүкдә), орта (12000—24000 км һүндүрлүкләрдә) вә *харичи гуршаг,* јахуд *даирәви чәрәјан зонасы* (50000—60000 км һүндүрлүкләрдә); ахырынчы гуршаг нисбәтән кичик енержили електронлардан ибарәтдир. Радиасија гуршағынын һүндүрлүк вә галынлыглары күнәш күләјинин тә'сири илә дәјишир, мәһз бу сәбәбдән дә јухарыдакы бөлкү тамамилә шәртидир. Күнәш күләји күнәш фәаллығындан асылыдыр. Күнәш фәаллығынын максимум дөврүндә күнәш күләји күчләнир. Одур ки, Јерин радиасија гуршаглары да күнәш фәаллығындан асылыдыр. Белә ки, фәаллығын максимум дөврүндә радиасија гуршаглары галынлашыр вә фәаллашыр. Кеомагнит гүтбләриндә Күнәш плазмасы (күләји) магнит гүввә хәтләри бојунча сәрбәст һәрәкәт едир вә Јерин шимал (еләчә дә чәнуб) чоғрафи гүтбләри әтрафында 400—1000 км һүндүрлүкдә јерләшән атмосфер гатларынын ионлашмасыны күчләндирир. *Гүтб парылтылары* да мәһз бу сәбәбдән әмәлә кәлир. Күчләнән күнәш күләји ејни заманда Јерин магнит саһәсини сарсыдараг магнит фыртыналары төрәдир.

Инди Јерин атмосфери илә гыса таныш олаг. Јерин газ өртүјүнә онун атмосфери дејилир. Јер атмосферинин 78,1%-и азот молекулларындан, 20,9%-и оксикен молекулларындан, 0,9%-и аргондан, 0,03%-и карбон газындан вә чох чүз'и һиссәси неон, һелиум, һидрокен, метан, амонјак, күкүрд оксиди, озон вә башга газлардан ибарәтдир. Бу тәркиб 100—120 км һүндүрлүјәдәк галыр, чүнки бу һүндүрлүјәдәк атмосфер газлары бир-биринә гарышыр. Јухары һүндүрлүкләрдә кимјәви тәркиб дәјишир. Су бухарынын мигдары температурдан асылы олуб, гүтбләрдә ән аз ($\sim$0,2 %), екваторда ән чохдур ($\sim$3%). *Јер атмосферинин күтләси 5,157·10^{15}тондур, јә'ни Јерин күтләсиндән (5,98·10^{21} тон) тәгрибән милјон дәфә кичикдир.* Јерин атмосферини дөрд әсас гатдан ибарәт һесаб етмәк олар: *тропосфер, стратосфер, мезосфер* вә *термосфер* (јахуд *ионосфер).*

Тропосфер атмосферин јер сәтһинә говушан—јерүстү гатыдыр. Тропосферин галынлығы чоғрафи енликдән асылы олараг дәјишир: екваторда тропосфер ән галын ($\sim$18 км), гүтбләрдә исә ән назикдир ($\sim$12 км). Тропосфердә температур—55°С-дәк, тәзјиг 0,026 атм (26 һПа)-дәк азалыр. Атмосфер күтләсинин 80%-и вә су бухарынын демәк олар һамысы тропосфердә топланмышдыр. Тропосфердә орта нисби молекулјар күтлә 28,8-дир.

Тропосфердән үстдә 50—55 км һүндүрлүјәдәк *стратосфер* јерләшир. *Стратосферин* ашағы назик гатында Јерин сәтһиндән 20—30 км һүндүрлүкдә озон (O_3) гаты јерләшир. Әслиндә озон јер атмосферинин даһа кениш гатында мөвчуддур. Лакин озонун әсас һиссәси Јерин сәтһиндән мәһз 20—30 км һүндүрлүкләр арасындакы гатдадыр. Озонун

мигдарына кәлинчә, үмумиіјәтлә онун мигдары чох аз — чәми 10^{-6}—10^{-5}%-дир. Озонун молекул чәкисини дә нәзәрә алмагла онун фаизләрлә бу мигдары нормал тәзјиг вә температурда галынлығы чәми 3 мм олан озон гатына еквивалентдир. Озон гатында шәраит еләдир ки, бурада ашағыдакы екзотермик, јә'ни истилик ајрылмасы илә нәтичәләнән фотокимјәви реаксијалар кедир:

$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O.$$
$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M;$$

бурада *М*—реаксијада иштирак едән үчүнчү молекулдур. Беләликлә Күнәшин мүвафиг ($\lambda \leqslant 2424$ А) $h\nu$ квантларынын тә'сири илә оксикен молекулу ики оксикен атомуна парчаланыр, сонра оксикен молекулу, атому вә үчүнчү молекулун гаршылыглы тә'сири илә озон әмәлә кәлир.

$$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$$

реаксијасы нәтичәсиндә озон Күнәшин 2000—3000 А далға узунлуғундакы ултрабәнөвшәји шүаланмасыны удараг оксикен молекулу вә атомуна парчаланыр вә бу заман удулан енержи һесабына стратосфер гызыр. Стратосферин јухары сәрһәддиндә температур 0°С-јә галхыр, тәзјиг исә $3 \cdot 10^{-3}$ атм (3 һПа)-а гәдәр дүшүр. Беләликлә, атмосферин озон гаты Јердә чанлы тәбиәти Күнәшин тәһлүкәли ултрабәнөвшәји шүаларындан горујур. Бурадан ајдын олур ки, јер атмосфериндә озон «галханы» олмадан јәгин ки, Јердә һәјат олмазды.

Стратосфердән үстдә 80—85 км һүндүрлүјәдәк атмосферин *мезосфер* гаты јерләшир; бурада температур—80°С-јә гәдәр дүшүр, тәзјиг $7 \cdot 10^{-5}$ атм-ә гәдәр азалыр. Мезосфердән үстдә тәгрибән 1800 км-дәк *термосфер* јерләшир. Бурада

$$O + h\nu \rightarrow O^{+} + e$$

реаксијасы һесабына оксикен атомлары ионлашыр вә сәрбәст електронлар ајрылыр. Одур ки, термосфер *ионосфер* дә адланыр. Термосфердә 2000 Å далғаларда Күнәш шүаларынын удулмасы һесабына температур ~400 км һүндүрлүкдә тәгрибән 1200°С-јә-дәк артыр вә бундан сонра атмосферин јухары сәрһәддинә гәдәр практик олараг дәјишмәз галыр. Ајдындыр ки, бу температур термодинамик температур дејилдир, зәррәчикләрин кинетик енержиси илә тә'јин олунан кинетик температурдур. Ионосфердә ион вә електронун рекомбинасијасы (һәмчинин атомун молекула рекомбинасијасы) нәтичәсиндә чох заман һәјәчанланмыш атом вә молекул јараныр вә бунлар кечәләр мүшаһидә олунан заман шүаланма верирләр (күндүзләр бу шүаланма бөјүк һүндүрлүкләрдә мүшаһидә олунур). Буна *кечә көјүнүн ишыгланмасы* дејилир. Јухары атмосфердә бә'зи кимјәви реаксијалар да ишыгланмаја сәбәб олур. Бурада гејд едәк ки, атмосферин үст гатларында оксикен атому Күнәшин космик шүаларынын (әсасән електрон вә протонларынын) тәсирилә дә ионлашыр, бундан сонра рекомбинасија нәтичәсиндә

һәјәчанланан оксикенин шүаланмасы *гүтб парылтысынын* јаранмасына сәбәб олур.

Гејд етмәк лазымдыр ки, кечә көјүнүн ишыгланмасы сәма чисимләринин јердән көрүнән парлаглығыны бир гәдәр азалдыр. Билирик ки, ајсыз вә ачыг кечә көјүнүн зенитдә квадрат дәрәчә саһәсинин ишыгланмасы 3^m,5, 1 квадрат санијә саһәсининки исә 22 улдуз өлчүсүнә бәрабәрдир.

Јер сәтһиндән 100—120 км—һүндүрлүкдә конвексија вә турбуленсија һадисәләри кәскин сөндүјүндән атмосфердә зәррәчикләр бир-биринә гарышмыр, атмосферин тәркибиндә дифференсасија башлајыр. 400 км-дәк һүндүрлүкдә атмосферин әсас тәркиб һиссәси азот молекуллары олур, оксикен молекуллары исә атомлара парчаланыр, 400—700 км-дә атомар оксикен атмосферин әсас тәркиб һиссәсини тәшкил едир 1000—1500 км һүндүрлүкдә атмосферин әсас тәркиб һиссәси һелиум вә һидрокендән ибарәт олур. Бу атомлардан параболик сүр'әтә малик оланлары јер атмосферини тәрк едирләр—атмосфердә диссипасија просеси баш верир. Диссипасија баш верән јухары атмосфер гатларында сыхлыг олдугча кичик олур, тәзјиг исә 10^{-14} атм (10^{-9} Па)-а енир. Әслиндә анчаг һидрокен атомларындан ибарәт атмосфер гатлары јер сәтһиндән бир нечә јер радиусуна бәрабәр һүндүрлүјә гәдәр давам едәрәк Јерин һидрокен тачыны јарадыр.

Јердә иглимин формалашмасында атмосферин ролу мүстәснадыр. Кифајәт гәдәр сых олан јер атмосфери онун сәтһиндә һава иглиминә мүхтәлиф јолларла тә'сир едир: а) парник (истилик) еффекти сәтһ температуруну артырыр, б) атмосферин истилик тутуму температурун суткалыг дәјишмәсини тәнзимләјир, в) атмосфер сиркулјасијасы екваторла гүтб арасында температурлар фәргини низамлајыр.

Парник еффекти беле баш верир: һәр шејдән әввәл гејд едәк ки, күнәш шүаланмасынын 75%-и спектрин 0,4—1,5 мкм далғалар диапазонундадыр. Бу о демәкдир ки, спектрин көрүнән вә јахын инфрагырмызы областында Күнәшин шүаландырдығы енержи онун шүаландырдығы там енержинин 3/4 һиссәсини тәшкил едир. Бу шүалар јер атмосфериндә аз удулур. Даһа дәгиг десәк билаваситә удулмур. Онлар јер атмосферинин газ молекуллары тәрәфиндән удулмадан сәпилир. Бу сәпилмә һәм Релеј сәпилмәси, һәм дә чохгат сәпилмәдир. Јер атмосфериндә тоз, түстү вә билаваситә атмосферин өзүндә кедән мүрәккәб физики-кимјәви просесләр нәтичәсиндә јаранан һиссәчикләр дә вардыр. Бунларын һамысы бирликдә *аерозол* адланыр. Күнәш спектринин көрүнән шүаланмасыны бу һиссәчикләр дә аз зәифләдир. Нәтичә е'тибарилә күнәш спектринин көрүнән вә јахын инфрагырмызы областындакы шүаланма Јер атмосфериндән кечәркән чох аз зәифләјәрәк Јерин сәтһинә чатыр. Јерин сәтһиндә удулан күнәш шүалары бу сәтһи гыздырыр, бу јолла гызан јер сәтһи өзү шүаланма мәнбәји олур, лакин бу шүаланма, спектрин инфрагырмызы областында баш верир. Чүнки Јерин сәтһ температуруну тәгрибән 300 К гәбул етсәк, белә сәтһин шүаланмасынын 75%-и спектрин 8—28 мкм диапазонунда олар. Атмосфердә әсасән су бухарынын молекуллары, һәмчинин CO_2, SO_2,

NH_3 вә башга молекуллар һәмин инфрагырмызы шүаларын бир гисмини удараг јерүстү атмосферин температурунун јүксәлмәсинә сәбәб олурлар. Бу, *парник (истилик) еффекти* төрәдир вә јер атмосфериндә истилик балансыны тәнзимләјир. Дедикләримизи бир гәдәр дә ајдынлашдыраг: Јерин истилик шүаланмасынын максимуму 11,6 мкм далға узунлуғундадыр. Бурадан Винин јердәјишмә ганунуна әсасән (7.34) дүстурундан Јерин еффектив температуру үчүн 249 К алыныр, һалбуки атмосферин јер сәтһинә говушуг сәрһәддиндә—јерүстү атмосфердә орта температур 288 К-дир. Беләликлә парник еффекти Јердә температурун $\delta T=39°$ јүксәлмәсинә вә бунунла да нормал температур шәраитинин јаранмасына сәбәб олур. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, Венерада чох күчлү ($\delta T=735-230=505°$ К) парник еффекти, онун 90 атм. тәзјигә малик чох сых атмосфериндәки CO_2 молекулларынын һесабына јараныр (Венера атмосферинин 96,5%-ни CO_2 тәшкил едир). Венеранын атмосфериндә H_2O ($2\cdot10^{-3}$%) вә SO_2 ($1,5\cdot10^{-2}$%) молекулларынын мигдары аз олса да бунларын да парник еффектиндә ролу бөјүкдүр. Јупитердә парник еффекти H_2(86%), NH_3 (0,06%) молекулларынын һесабына јараныр, лакин бу планетдә парник еффекти зәифдир, чүнки атмосферинин дәрин гатларына нүфуз едән сәпилән күнәш ишығынын енержиси планетин нүвәсиндән үст гатлара көчүрүлән мәхсуси истилик енержисиндән хејли аздыр. Марсын атмосфери чох сејрәк олдуғундан парник еффекти чох зәифдир—$\delta T=3-5$ К-дир.

§ 98. АЈ

Ај Јерин јеканә пејкидир. Ајын Јердән орта мәсафәси 384400 км, радиусу 1738 км, күтләси $\frac{1}{81,30}$—јер күтләсидир. Ајын орта сыхлығы 3,3 г/см^3, јә'ни јеринкиндән $\sim$1,5 дәфә кичикдир. Ајда ағырлыг гүввәсинин тә'чили 163 см/сан^2, јә'ни јердәкиндән $\sim$6 дәфә, параболик сүр'әт $\sim$ 2,38 $\frac{\text{км}}{\text{сан}}$, јә'ни јердәкиндән 4,6 дәфә кичикдир. Нисби күтләсинә көрә Ај планет пејкләринин ән бөјүјүдүр вә бу сәбәбдән Јер вә Аја гоша планет системи кими бахырлар. Ајын өз оху әтрафында фырланма дөврү, онун јер әтрафында сидерик доланма дөврүнә бәрабәрдир. Одур ки, Ај синхрон фырланыр дејирик. Ај синхрон фырландығындан онун һәмишә ејни бир јарымкүрәси Јерә тәрәф јөнәлир. Лакин либрасијалар нәтичәсиндә Ајын экс тәрәфинин дә бир аз һиссәси ($\sim$10%-ә гәдәри) Јердән көрүнүр. Космик техника Ајын арха тәрәфинин фотошәклини алмаға имкан вермишдир. Ајда параболик сүр'әт вә чазибә гүввәси кичик олдуғундан ораја космик апарат ендирмәк вә орадан галдырмаг нисбәтән асандыр. Ајын Јерә нисбәтән јахын олмасы да Аја автомат стансија көндәрмәји асанлашдырыр. 1969-чу ил ијун ајынын 21-дә американ астронавтлары Армстронг вә Олдрин «Игл» («Гартал») адлы ај кабинәсиндә илк дәфә Аја ендиләр вә ијунун 24-дә онлары Ај әтрафы орбитдә «Аполлон 11» космик кәмисиндә көзләјән кәми командири Коллинзлә бирликдә Јерә гајытдылар. Сонралар да астронавтларын Ај сәтһинә бир нечә учушу һәјата кечирилди.

Əvvəlcə Jер səthindən апарылан астрономиjа тәдгигатлары васитәсилә Аj һаггында әлдә едилән бә'зи мә'луматларла таныш олаг. Аj һаггында jухарыдакы нәтичәләр вә Аjа космик учушларын астрономик проблемләри әввәлчә jер астрономиjасы васитәсилә һәлл едилмишдир. Аjа ади көзлә баханда белә, онун сәтһиндә мүәjjән парлаг вә тутгун деталларын олдуғуну көрүрүк. Мүасир телескопларла Аjда 1 км хәтти өлчүнү аjырд етмәк, аj терминатору jахынлығында исә һүндүрлүjү 10 м олан тәпәчиjин көлкәсини сечмәк олур. Аj сәтһинин 60%-и *парлаг материкдән* вә 40%-и тутгун рәнкли саһәләрдән—*«дәнизләрдән»* ибарәтдир. Әлбәттә Аjда су jохдур вә Аj сәтһиндә дәниз термини символикдир. Аj дәнизләри jахынлығында материкдә *дағ силсиләләри* узаныр. Аj дәнизләринә Jағышлар дәнизи, Аjдынлыг дәнизи, Боллуг дәнизи, Фыртыналар океаны вә с. кими адлар верилмишдир. Аj дағлары да Jердәки бир сыра дағларын адлары илә адландырылмышдыр: Апеннин, Алп, Гафгаз, Алтаj вә с. Ән һүндүр аj дағы 9 км учалыгдадыр. Аjда ән характерик төрәмәләр *кратерләрдир*. Кратерләр кәнарлары һүндүр, диби чөкәк вә һамар, дибинин мәркәзиндә тәпәчик олан һалгавы дағлардыр. Ән бөjүк кратерин һалгасынын диаметри 100 км-дир. Кичик, даjаз вә тәпәчиjи олмаjан кратерләр *сиркләр* адланыр. Кратер вә сиркләрә мәшһур алимләрин адлары верилмишдир: Алфонс кратери, Птолемеj сирки вә с.

Аj нисбәтән назик ($\sim$60 км галынлығында) *габыгдан,* 100 км-ә jахын галынлығы олан *мантиjадан* вә диаметри 1500 км-дән бөjүк олмаjан бәрк вә сых *нүвәдән* ибарәтдир. Аjын нүвәсиндәки истилик онун сәтһинә доғру көчүр вә сәтһдән 40 км дәриндә температурун +300°С олмасыны тә'мин едир. Үст гатлара доғру температур дүшүр вә сәтһдән 40 см дәринликдә температур—50°С олур. Аj торпағы истилиjи чох пис кечирир (вакуумда гуру гум кими). Одур ки, аj сәтһи чох кичик дәринликдән е'тибарән (10 см-дән е'тибарән) үст гатларын гызыб соjумасына там «е'тинасыз» олур—артыг 40 см дәринликдә температур һәмишә сабит галыр, jә'ни Күндүзләр аj сәтһинин исинмәси вә кечәләр соjумасына гаршы һеч бир реаксиjа вермир. Аjда атмосфер олмадығындан онун сәтһиндә һәр һансы нөгтәдә температур

$$\varepsilon\sigma \cdot T_s^4 = (1 - A)E \cdot \cos\theta + F \qquad (9.2)$$

дүстуру илә тә'jин олунур. Бурада ε—шүаланма әмсалы, σ —Стефан—Болсман сабити, А—Аj сәтһинин күнәш шүаларыны әкс етдирмә габилиjjәтини характеризә едән мәһәлли албедо. Е—Аj нөгтәсинин Күнәш тәрәфиндән ишыгланмасы, θ—Күнәшин аj нөгтәсиндә зенит мәсафәси, F—аj торпағынын истиликкечирмәси нәтичәсиндә истилик селидир. Аj кечәләриндә (9.2) тәнлиjинин сағ тәрәфиндә jалныз F һәдди галыр. Ону да гејд едәк ки, аj сәтһи үчүн ε=0,5-дир.

Аjын сферик албедосу, (jә'ни Аjын һәр тәрәфә сәпдиjи шүаланма селинин Күнәшдән дүшән селә нисбәти) чох кичик-чәми 0,06-дир, jә'ни орта һесабла Аj Күнәшдән гәбул етдиjи ишыг селинин 6%-ни сәпир.

Анчаг мүхтәлиф мәһәлләрин албедосу (мәһәлли албедо) мүхтәлифдир; мәсәлән aj кратерләринин албедосу 20%-ә чатыр. Ајын албедосу шүаланманын далға узунлуғундан асылы дејил. Ајын инфрагырмызы вә радиошүаланмасынын мүшаһидәләриндән ашағыдакылар алынмышдыр:

1) Күнорта екваторда температур 390 K олур;

2) Кечәләр температур 100—120 K-ә гәдәр енир.

Ајын тәдгиги космик техниканын тәтбигиндән сонра кенишләнмишдир. «Луна — 3» автомат стансијасы васитәсилә илк дәфә Ајын арха тәрәфинин фотошәкили чәкилмишдир. Сонралар «Зонд» автомат стансијасы вә «Лунар Орбитер» американ автомат стансијасы Ајын арха тәрәфинин даһа мүкәммәл фотошәкилләрини алмаға имкан верди. Мә'лум олду ки, Ајын арха тәрәфиндә төрәмәләрин һәм сајы, һәм дә өлчүләри нисбәтән кичикдир. Ајын әкс тәрәфиндәки дәнизләрә Москва дәнизи, Хәјал дәнизи вә с. адлар верилмишдир: кратерләрә мәшһур алимләрин—Нәсрәддин Туси, Лобачевски, Сиолковски, Максвелл вә башгаларынын адлары верилмишдир.

«Луна» серијасындан олан програма әсасән Ајын сүн'и пејкләри бурахылды, Аја енмәк, Aj сәтһинә һәрәкәт едән «Лунаходлар» ендирмәк, Ајдан сүхурлар көтүрүб Јерә гајытмаг кими автомат програмлар һәјата кечирилди. Мүхтәлиф өлкәләрин космик техникасы илә әлдә едилән мә'луматлар Aj һаггында билдикләримизи тәсдиг вә тәсһиһ етди. Aj һаггында даһа зәнкин нәтичәләр алмаға имкан јаратды. Јерә кәтирилән aj сүхурларынын тәдгиги көстәрирди ки, бу сүхурларын орта сыхлығы 1,5 г/см^3-дир, кимјәви тәркиби јердәки сүхурлара бәнзәјир, лакин хром, титан вә сирконнум кими ағыр елементләр aj сүхурларында даһа чох, калиум вә натриум кими нисбәтән јүнкүл елементләр исә аздыр. Aj дәнизләри базалтла, континентләр алүминиум оксиди илә гарышмыш силикатларла зәнкиндир. Елә сүхурлар вар ки, онлар калиум вә надир торпаг елементләри илә зәнкиндир. Aj сүхурларынын сыхлығынын кичик олмасы онларын 50%-ә гәдәр мәсамәли олмасы илә әлагәдардыр. Реголит адланан кичик һиссәчикләр вә тозларын тәркибиндә метеорит маддәләринин гарышығы вардыр. Aj сүхурларынын јашы 4,2 милјард илә гәдәр гијмәтләндирилмишдир. Бу ону көстәрир ки, Ајын јашы 4,6 милјард илә, јә'ни Јерин јашына јахындыр. Ајда мүсбәт гравитасија аномалијалары гејдә алынмышдыр. Буну һәмин јерләрдә сыхлығы бөјүк олан маддәләрин олмасы илә изаһ едирләр. Aj сәтһиндә гурулан сејсмографлар орада зәиф зәлзәләләр олдуғуну гејдә алмышдыр. Бунларын бир гисми Aj сәтһинә метеоритләрин дүшмәси заманы баш верир. Ајда Алфонс кратериндә *вулканик просес* гејдә алынмышдыр (шәкил 123). Бүтүн бунлар көстәрир ки, Јердәкиндән чох зәиф дә олса Ајда фәал вулканик просесләр кедир. Аја дүшән метеоритләр сајча јерә дүшәнләрдән чохдур, лакин бунлар aj сүхурларыны пассив дағыдырлар (10^{-7} см/ил сүр'әтлә). Одур ки, Aj сәтһиндә фәалијјәт көстәрән космик техника милјон илләр әрзиндә тәһлүкәсиз гала биләр. Aj дахилиндә електриккечирмә чох кичик олдуғундан вә о, чох кичик сүр'әтлә фырландығындан Ајын магнит саһә-

Шәкил 123. Птолемеј сирки (ашағыда) вә Алфонс (мәркәздә) вә Арзахел кратерләри; охла Алфонс кратеринин мәркәзи тәпәчији көстәрилмишдир—бурада парлаг газ атылмасы (вулкан) гејдә алынмышдыр.

си демәк олар ки, јох дәрәчәсиндәдир—Јерин магнит саһәсиндән он мин дәфә зәифдир.

Бакыхановун Ај һаггында мараглы фикирләри олмушдур. О, «Әсрару-л-Мәләкут» әсәриндә ај дағлары, кратерләри, дүзәнликләри һаггында јазмышдыр. Чох дүзкүн олараг гејд етмишдир ки, ај дағлары үч гисмә ајрылыр: саһәси узанан јамачлара, һалгавары, ичәриси бош даирәви тәпәләрә (муасир астрономијада кратерләрә), нәһајәт сыра дағлара. Мүәллиф бөјүк кратерләрин мәншәјини Ајда баш верән вулканик просесләрә бағлајан алимләрә истинад етмәклә муасир фикир шәрһ етмишдир. Бакыханов бурада ону әсас һесаб едир ки, бөјүк кратерләрдәки бошлуғун һәчми кратерин һүндүрлүјүнә ујғун һәчмә бәрабәрдир. Бакыханов ај релјефинин мүхтәлифлији, бунларын Күнәш шүаларыны мүхтәлиф дәрәчәдә әксетдирмә габилијјәтинә малик олмасы һаггында дүзкүн фикирләр сөјләмишдир. О, ај релјефинин гејри-сабит олдуғуну јазыр вә бунунла да Ајын дахилиндә фәал просесләр—вулканик просесләр, зәлзәләләр баш вердијинә ишарә едир.

§ 99. МЕРКУРИ

Меркури Күнәшә ән јахын—57,91·10^6 км мәсафәдә олуб, Күнәш системиндә Плутондан сонра ән кичик планетдир-радиусу 2440 км-дир. Онун күтләси јер күтләсинин 0,055 һиссәсини тәшкил едир. Планетин орта сыхлығы јеринкинә јахын—5,42 г/$см^3$-дур, сәтһиндә—параболик сүр'әт 4,3 км/сан-дир. Радиолокасија мүшаһидәләриндән тапылмышдыр ки, Меркури өз оху әтрафында Күнәш әтрафына доландығы истигамәтдә P=58,65 јер суткасына бәрабәр дөврлә фырланыр. Меркуринин Күнәш әтрафында доланма дөвру өз оху әтрафында фырланма дөврүндән дүз 1,5 дәфә бөјүкдүр, јә'ни $T=87, 97$—орта күнәш суткасыдыр. Планетин улдуз суткасы (јә'ни фырланма периоду) Күнәш суткасындан (јә'ни ики ардычыл күнорталар арасындакы вахт фасиләсиндән) кәскин фәргләнир. Буну

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{P}-\frac{1}{T}$$

синодик һәрәкәт тәнлијиндән алырыг. Доғрудан да $P=\frac{2}{3}T$ олдуғундан бу тәнликдән 3P=2T=176 јер суткасы алырыг, јә'ни Меркуридәки күнәш суткасынын узунлуғу 176 јер суткасына, јахуд ики Меркури илинә бәрабәрдир. Бу о демәкдир ки, планетдә Күнәшин доғмасы илә батмасы арасындакы мүддәт бир Меркури илинә—88 јер суткасына бәрабәрдир. Бу мүддәтдә планет бәрк гызыр: екватор зонасында температур +430°С олур. Меркури кечәсиндә планет бәрк сојујур вә температур—180·С-јә гәдәр енир. Меркуринин радиомүшаһидәләриндән тапылмышдыр ки, планетин бир нечә десиметр дәринликдәки гатында температур дәјишмир вә +80°С-јә јахындыр.

Меркуринин ашағы бирләшмә конфигурасијасы һәр 116 јер суткасындан бир, јә'ни ики фырланма периоду мүддәтдә тәкрарланыр. Одур ки, бу конфигурасијада Меркуринин һәмишә бир јарысы Јерә тәрәф јөнәлир.

Меркури фазаларынын кәскин контура малик олмасы, онун сәтһинин ајдын релјефи вә дағларынын ајдын көлкәси көстәрир ки, планет атмосферә малик дејил. Доғрудур, планетин сәтһиндә 10^6 $см^{-3}$ зәррәчик гејдә алынмышдыр, лакин бу 700 км һүндүрлүкдә јер атмосферинин сыхлығы гәдәрдир вә буну атмосфер һесаб етмәмәк олар. «Маринер—10» американ автомат стансијасы васитәсилә Меркури атмосфериндә 10^4 $см^{-3}$ консентрасијада һелиум ашкар едилмишдир. Әслиндә Ајда да «атмосфердән» Меркуридәки мә'нада данышмаг олар. Меркуринин сәтһи Ајынкына бәнзәјир (шәкил 124). Меркуринин сәтһиндә чохлу сајда кратерләр (50 м-дән 200 км-ә гәдәр диаметрә малик), дәрин вә енли (10 км-ә гәдәр) овалыглар, чатлар, јүзләрлә километр узанан 2—3 км јүксәклијә малик учурумлар, һүндүрлүјү 4 км чатан дағлар вардыр. Меркуридә бирчә «дәниз» тапылмышдыр.

Меркуринин фырланма оху орбит мүстәвисинә демәк олар перпендикулјардыр (89°). Планетин јеринкиндән 300 дәфә зәиф, јә'ни 0,002 Е

магнит саһәси вардыр, магнит диполу оху планетин фырланма оху илә кичик (12°) бучаг әмәлә кәтирир. Күнәш күләкләринин тә'сири илә планетин магнитосфери Күнәш тәрәфдән чох кәскин сыхылыб. Магнит саһәсинин олмасы көстәрир ки, Меркури нисбәтән јахшы кечиричи олан маје нүвәјә маликдир. Меркуринин магнит саһәсинин зәиф олмасыны онун ләнк фырланмасы илә изаһ едирләр.

Меркуринин пејки јохдур.

Шәкил 124. Меркуринин «мозаик» (чохсајда әксләрин топланмасындан алынан) фотографијасы; 1974-чү илдә «Маринер—10»да јерләшдирилән телевизија камералары васитәси илә алынмышдыр.

§ 100. ВЕНЕРА

Күнәшдән узаглығына көрә икинчи планетдир—Күнәшдән орта мәсафәси $108{,}21 \cdot 10^6$ км-дир. Радиусу вә күтләси Јеринкинә јахындыр—радиусу 0,95 јер радиусуна, күтләси 0,82 јер күтләсинә бәрабәрдир. Планетин орта сыхлығы јеринки кими 5,22 г/см^3, сәтһиндә параболик сүр'әт 10,4 км/сан-дир. Венеранын радиолокасија мүшаһидәләриндән тапыл-

мышдыр ки, онун өз оху әтрафында фырланмасы Күнәш әтрафында доланмасынын экси истигамәтдәдир, јә'ни Венера өз оху әтрафында шәргдән гәрбә доғру—тәрс һәрәкәт истигамәтиндә фырланыр. Планетин фырланма дөврү P=243,16 јер суткасына бәрабәрдир. Венеранын фырланма оху орбит мүстәвисинә нормалла 2°-лик бучаг әмәлә кәтирир. Бу о демәкдир Венерада Јердәки кими фәсилләрин дәјишмәси баш вермир. Венеранын Күнәш әтрафында доланма дөврү T=225 јер суткасыдыр. Планетин өз оху әтрафында фырланма вә Күнәш әтрафында доланма дөврләри бир-бириндән аз фәргләндијиндән Күнәш әтрафында там дөвр мүддәтиндә Венерада Күнәш ики дәфә доғур вә ики дәфә батыр. Венерада Күнәш суткасынын узунлуғу 117 јер суткасына јахындыр. Доғрудан да $\frac{1}{S}=\frac{1}{T}-\frac{1}{P}$ синодик һәрәкәт тәнлијиндән $T=225$, $P=$ $=243$ јер суткасы олдуғуну биләрәк $S=117$ јер суткасы алыныр. Венеранын синодик дөврү $117\times5=585$ сутка олдуғундан ашағы бирләшмә конфигурасијасында планетин һәмишә ејни бир јарымкүрәси јерә доғру чеврилир.

Космик техниканын Венера планетинин өјрәнилмәсинә тәтбиги нәтичәсиндә бу планет һаггында чох зәнкин мә'лумат әлдә едилмишдир. Хүсусилә «Венера» автомат стансијалары Венеранын атмосфери вә сәтһи һаггында даһа мүкәммәл мә'луматлар әлдә етмәјә имкан вермишдир (шәкил 125). Инди мә'лумдур ки, Венера *кеоложи чәһәтдән фәалдыр*, мүрәккәб релјефә, дағ рајонларына, тектоник чатлара, вулканик конуслара, һәлгәви кратерләрә маликдир. *Дағлар* Венера сәтһинин 8%-ини тәшкил едир. Дағларын узунлуғу әсасән бөјүк (1000 км), һүндүрлүкләри нисбәтән кичикдир (2,5 км); анчаг һүндүр дағлар да вар; мәсәлән, Максвел дағынын һүндүрлүјү 8 км-дир. *Дүзәнликләр* әразинин 27%-ни тәшкил едирләр. Планетин екватору јахынлығында узунлуғу 1500 км, ени 150 км, дәринлији 2 км олан канала бәнзәр *шырым* вардыр. Бу көстәрир ки, Венерада *тектоник просесләр* күчлүдүр, планетдә *дағәмәләкәлмә просеси* инди дә давам едир.

Дахили гурулушуна көрә Венера Јерә бәнзәјир: *бәрк габығы, мантијасы, маје нүвәси вардыр;* планетин дахили нүвәси мә'лум дејил.

Шәкил 125. Венера сәтһинин бир һиссәсинин экси; экс «Венера—14»-дә јерләшдирилмиш телефотометр васитәси илә алынмышдыр.

Венеранын атмосферинин 96,5%-и CO_2, 2,5%-и N_2, 0,01%-и O_2, 0,05%- су бухарындан ибарәтдир; олдугча аз һиссәсини SO_2, Ar, He, H_2, S, HCl, CH_4 тәшкил едир. Атмосферинин орта молекулјар күтләси 43,5-дир. Венера атмосферинин тәкамүлү Јеринкинин тәрсинә олмушдур: Јердә су конденсасија едәрәк һидросферин јаранмасына, бунун нәтиҹәсиндә исә CO_2-нин суда һәлл олараг силикатларла бирләшиб карбонатлар әмәлә кәтирмәсинә сәбәб олмушдур. Нәтиҹәдә атмосфердәки CO_2 демәк олар ки, тамамилә јох олмушдур (ҹәми $3 \cdot 10^{-2}$ % галмышдыр). Бундан сонра ҹанлылар—биткиләр јер атмосфериндә чох фәал рол ојнамышдыр: битки јарпаглары CO_2-ни ударaг O_2-ни бурахмыш вә Јерин атмосферини оксикенлә зәнкинләшдирмишдир.

Венерада су конденсасија етмәмиш вә одур ки, CO_2 планетин атмосфериндә галмышдыр.

Һәлә 1956-чы илдә Венераынын 3—10 см диапазонда радиоастрономик мүшаһидәләри көстәрмишдир ки, планетин сәтһ температуру 700 К-дир. Венераја бурахылан автомат стансијалар бу нәтиҹәни тәсдиг етди. Бу, јер астрономијасынын чыхардығы нәтиҹәләрин космик тәдгигатларла тәсдиг олунмасына аид онларла дәлилләрдән биридир. Инди мә'лумдур ки, Венеранын сәтһидә орта температур T=735 K сәтһиндә атмосфер тәзјиги 95 атм-дир, башга сөзлә сыхлығы 0,1 г/см^3-дур. Планетин сәтһиндән узаглашдыгча температур вә тәзјиг сүр'әтлә кичилир: 10 км һүндүрлүкдә температур 600 К, тәзјиг 27 атм, 80 км-дә исә температур 230 К, тәзјиг 0,02 атм-дир. Планетин тропосфери чох галын—55 км-дир. Булуд гатынын јухары сәрһәдди 70 км һүндүрлүкдә, ашағы сәрһәдди исә 48 км һүндүрлүкдә јерләшир. 58 км-дән бөјүк һүндүрлүкләрдә оптик галынлығын әсас төрәдиҹиси—өлчүсү микрометрләрлә олан сулфат туршусу зәррәҹикләридир. Булуд гатынын там оптик галынлығы $\tau \simeq 30$-дур. Бу оптик галынлыг демәк олар тамамилә сәпилмә нәтиҹәсиндә јараныр (удулма чох аздыр). Башга сөзлә Венеранын булуд гаты чох бөјүк албедоја маликдир, белә ки, булуд гатынын визуал сферик албедосу 0,75-дир. Мәһз бу сәбәбдән Венеранын атмосферинә дүшән күнәш шүаланмасы сели Јерә дүшәндән ики дәфә чох олса да, үмумијјәтлә Венера сәтһи Јерә нисбәтән аз истилик алыр. Бу сәбәбдән дә планетин ефектив температуру Јеринкиндән кичикдир: $T_e = 230$ К-дир. Јухарыда исә гејд етдик ки, Венеранын сәтһиндә орта температур 735 К-дир. Бунү вә планетин ефектив температуруну нәзәрә алдыгда көрүрүк ки, Венерада *парник ефекти* һәгигәтән чох күчлүдүр: $\delta T = 735 - 230 = 505$ К-дир. Чох күчлү парник ефекти планетин атмосфериндәки CO_2 вә гисмән дә H_2O бухарынын вә O_2-нин һесабынадыр. Венера атмосфериндә сәпилән Күнәш шүаларынын космик спектроскопија методлары илә тәдгиги көстәрмишдир ки, бу спектрдә CO_2 вә H_2O-ја мәхсус чох күчлү удулма золаглары вардыр. Спектрин инфрагырмызы областындакы бу золаглар инфрагырмызы шүаларын Венеранын атмосфериндән чыхмасына мане олур вә нәтиҹәдә дәрин атмосфер гатларынын вә планетин сәтһинин темпаратуру јүксәлир.

Венера атмосфериндә 50—70 км һүндүрлүкләрдә планетин фырланмасы истигамәтдә (јә'ни шәргдән) даим бәрк күләкләр әсир (100 м/сан

сүр'әтлә). Күман ки, бу, конвексијанын нәтичәсидир. Ашағы гатлара доғру күләјин сүр'әти азалыр вә планетин сәтһи јахынлығында 1 м/сан олур. Јухары атмосфердә күндүзләр температур 300 К, кечәләр 100—120 К-дир. (Билирик ки, Јердә бунун тәрсинә олур, јә'ни јухары атмосферин температуру сәтһә нисбәтән чох-чох бөјүк олур). Венеранын атмосферинин јухары гатларында кечә-күндүз температурлары фәргинин бу хүсусијјәтә малик олмасынын сәбәби атмосферин әсас һиссәсини тәшкил едән CO_2 газынын чох күчлү шүаландырмасыдыр. Венеранын *ионосфери* вардыр. Сәрбәст електронларын күндүзләр максимум консентрасијасы $3 \cdot 10^6$ $см^{-3}$, кечәләр бундан бир тәртиб кичик олур. Ионосферин бу гаты 150 км һүндүрлүкдәдир. Венерада магнит саһәси олса да ән азы јеринкиндән 10^4 дәфә зәифдир.

Венеранын пејки јохдур.

§ 101. МАРС

Күнәшдән узаглығына көрә ($227,94 \cdot 10^6$ км) дөрдүнчү планетдир. Радиусу 3397 км—0.533 јер радиусу, күтләси 0,107 јер күтләсидир. Планетин орта сыхлығы 3,974 г/см^3, сәтһиндә параболик сүр'әт 5,0 км/сандыр.

Планетин өз оху әтрафында фырланма периоду $P = 24^h 37^m 23^s$ дир (бу, Марсын улдуз суткасыдыр). Марсын күнәш суткасы $S = 24^h 39^m 29^s$ дир. Марсын фырланма оху орбит мүстәвисинә нормалла $24°56'$-лик бучаг әмәлә кәтирир. Одур ки, Марс или мүддәтиндә (687 јер суткасы, јахуд 668 марс суткасында) фәсилләр бир-бирини әвәз едир. Марс планети дә Јер кими бир исти, ики мүлајим вә ики сојуг гуршаға маликдир.

Әлбәттә Марсда фәсилләрин контрастлығы Јеринкиндән тамамилә фәрглидир. Марс јерә нисбәтән 1,52 дәфә Күнәшдән узагда олдуғундан, о, Јерин Күнәшдән алдығындан 2.3 дәфә аз истилик алыр, һидросферин олмамасы вә атмосферин сејрәк олмасы нәтичәсиндә орада нә гарлы гыш, нә дә исти јај олур. Марс гышы чох сојуг, јајы исә чох «сәрин» олур.

Марсы телескопла мүшаһидә едәркән онун сәтһиндә чохлу деталлар көрүнүр. Бунлары белә тәснифата ајырмаг олар:

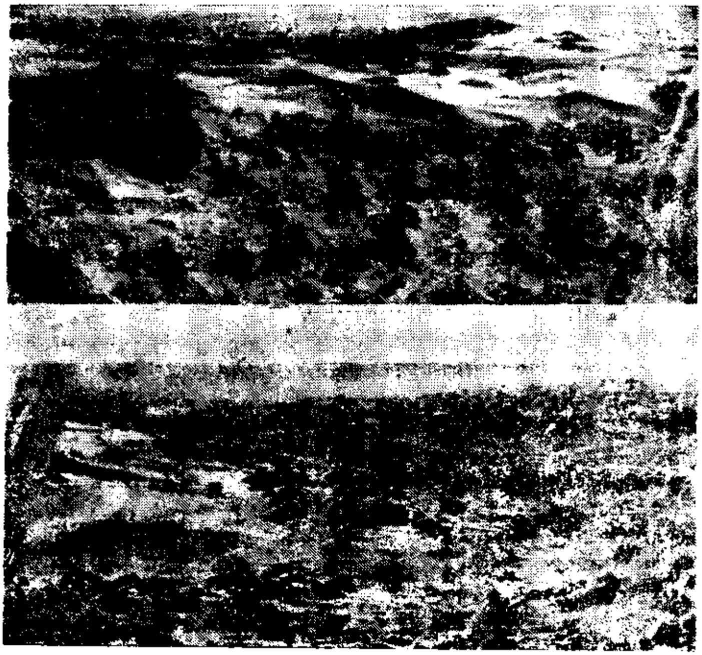
1. *Нарынчы-гырмызы рәнкә чалан парлаг деталлар.* Бунлар *шәрти оларaг материкләр* адланыр. Бу төрәмәләр Марс дискинин 2/3 һиссәсини тутурлар вә гумсал дүзәнликләрдән ибарәтдирләр.

2. *Кениш тутгун областлар.* Бунлар *шәрти олараг дәнизләр* адланыр, онларын чыхыглары көрфәзләр, ајры-ајры тутгун ләкәләри—оазисләр вә көлләр адланыр. Бу областлар дискин галан гисмини әһатә едир.

3. *Гутб папаглары.* Бунлар ағ ләкәләрдир ки, пајызда гүтбләр әтрафында әмәлә кәлмәјә вә 50° енлијәдәк кенишләнмәјә башлајыр; папаг чәнуб гүтбүндә азачыг галмагла шимал гүтбүндә јајын әввәлиндә итир. Ағ ләкәләр Марс сәтһиндә ән чох көзә чарпан дәјишкән деталлардыр. Көј ишыг сүзкәчи илә чәкилмиш фотошәкилләрдә бу деталлар даһа кәскин көрүнүр.

Тутгун областлар да фәсилләрдән асылы олараг дәјишир. Гышда бунларын контрастлығы азалыр. Јазда тутгун област һашијә кими гүтб папағы әтрафында көрүнмәјә башлајыр, күнләр кечдикчә бу област 30 км/сутка сүр'әтлә екватора тәрәф кенишләнир, јајдан пајыза доғру јенидән кичилмәјә башлајыр вә гышда јох олур. Бә'зи тутгун областлар һәр ил тәкрарланыр. Марс папагларынын тәркиби азачыг H_2O гарышығы олан CO_2 конденсатыдыр. Бу конденсат пајызда јараныр. Бунлар гүтб папағынын фәсли компонентидир. Папағын даими компоненти гум гатлары илә бир-бириндән ајрылмыш H_2O буз гатларыдыр. Парлаг областларда фәсли дәјишикликләр мүшаһидә олунмур. Тутгун областларын фәсли дәјишмәсинин сәбәби ајдын дејил, Вахты илә мәшһур астрофизик Тихов белә һесаб етмишди ки, бунлар Марсын иглиминә ујғунлашмыш тикан јарпаглы биткиләрдир. Бу алим астроботаника адланан елмин баниси вә мүдафиәчиси олмушдур. АБШ-да 1976-чы илдә бурахылан «Викинг—1 вә 2» космик апаратлары мә'лумат топладыглары Марс рајонларында һеч бир микроорганизм изи гејд етмәмишләр. «Викинг—1» васитәсилә Марса ендирилән апарат бу рајонларын чансыз дүзәнликләр олдуғуну көстәрмишдир.

«Маринер» вә «Марс» серијасындан бурахылан космик апаратлар Марсәтрафы јахын мәсафәдә вә планет сәтһиндә Марсын фотографијасыны алмаға, онун атмосферини өјрәнмәјә имкан вермишләр (шәкил 126).



Шәкил 126. «Викинг—1»-ин Марса ендирилән апараты васитәси илә алынмыш панорам.

Ајда вә планетин ики пејкиндән бириндә (Фобосда) олдуғундан аз мигдарда олса да (һәр квадрат километр һесабы илә) Марсда да чохлу *кратерләр* вар. Фәрәһлидир ки, Марс кратерләриндән биринә Марсын тәдгиг едилмәсиндә әһәмијјәтли хидмәтләри олмуш азәрбајҹанлы алим Ибраһимовун ады верилмишдир. Марс кратерләри көһнәлмиш вә кичилмиш шәкилдә көрүнүр. Буна сәбәб атмосферин олмасы һесабына ерозија вә һәмчинин вулканик вә тектоник просесләрдир. Марсда вулкан мәншәли *һүндүр дағлар, тектоник шырымләр* вардыр. Планетин шимал јарымкүрәсиндәки Гарлы Олимп адландырылан вулканик дағын һүндүрлүјү 24 км, һәмин дағын ашағы һиссәсинин ен кәсији 600 км-дир. Бу, нәинки Марсда, үмумијјәтлә бүтүн Күнәш системиндә ән һүндүр дағдыр. Марсда дағ силсиләләри јохдур.

Јери кәлмишкән нәзәрә алмаг лазымдыр ки, һәр бир планетдәки дағларын максимум һүндүрлүјү ашағыдакы шәртлә мүәјјән едилир: Планетләрин бәрк өртүкләри, маддәнин бу фазада олмасына бахмајараг, һидростатик таразлыгдадыр. Дикәр тәрәфдән дағ сүхурларынын ахычылыг сәрһәдди ваһид ен кәсијинә малик сүтунун чәкиси илә тә'јин олунур. Белә сүтунун һүндүрлүјү мүхтәлиф планетләр үчүн мүхтәлифдир вә мәһз бу һүндүрлүк планетин ән уча дағынын һүндүрлүјүнү мүәјјән едир. Ахычылыг планетин өлчүсүнә нисбәтән мәһдуд сәрһәддә малик олдуғундан планетләр демәк олар сферикдир. Јухарыдакы көстәрилән фактлара әсасән Јер үчүн ән уча дағ тәгрибән 10 км, Марс үчүн исә тәгрибән 25 км олмалыдыр.

Күман едилир ки, мәшһур Марс каналлары милјард ил бундан әввәл гурумуш чај јатагларыдыр. Марс чајларынын гурумасына сәбәб атмосферин сејрәк олмасы вә бунунла да сәтһ суларынын (мајеләринин) бухарланмасы олмушдур. Бурадан белә чыхыр ки, милјард илләр бундан әввәл Марс нисбәтән сых атмосферә вә су һөвзәләринә маликмиш. Марса ендирилән космик апаратлар васитәсилә планет сәтһинин кимјәви тәркиби өјрәнилмишдир: Марс торпағында 14% дәмир, 20% силисиум, 5% калсиум вә магнезиум, 3% күкүрд вә с. вардыр. Марс габығы дәмир оксиди илә зәнкиндир вә одур ки, планет гырмызы рәнкә чалыр.

Марс сәтһинин орта температуру $T_s=200$ К-дыр, температурун суткалыг амплитуду чох бөјүкдүр: Екваторда күндүз температур 290 К, кечә 170 К-дыр. Белә бөјүк фәргин сәбәби Ајда олдуғу кими Марсын да сәтһинин истилији пис кечирмәсидир. Ән шиддәтли шахталар гүтб папагларында олур. Марсын орбитинин ексцентриситети нисбәтән бөјүк олдуғундан ($e=0{,}093$) планетин Күнәшдән алдығы истилик Марс или әрзиндә 1,5 дәфә дәјишир (Марсын сәтһи периһелидә афелидәкиндән 1,5 дәфә чох истилик алыр). Одур ки, Марс периһелидә оланда планетин екватор гуршағында јајда күнорта вахты температур 25°С-јә чатыр, Марс афелидә оланда исә бурада јајда температур—20°С олур. Гүтб областларында гышда температурун — 125°С-ә гәдәр дүшмәси нәтиҹәсиндә карбон газы донараг бәрк һала кечир. Бу сәбәбдән Марс папаглары донмуш карбон газы вә буздан-буз гыровундан ибарәтдир. Планетин орта иллик температуру — 60°С-дир (билирик ки, Јеринки +15°С-дир).

Марсын асмосфериндə 95% CO_2, 2,5% N_2, 1,5% Ar, 0,1% O_2, 0,2% H_2O, 0,08% CO, 10^{-5}% O_3 вə чох аз мигдарда CH_4, NH_3, SO_2 вə б. молекуллар вардыр. Атмосферин орта молекулјар күтлəси Венеранынкы кими 43,5-дир. Марсын атмосфери олдугча гурудур. Марс атмосфериндəки су бухары конденсасија олунараг планетин сəтһинə бəрабəр јајылсајды белə «сујун» галынлығы 10—20 мкм оларды, һалбуки, Јердə белə сујун галынлығы тəгрибəн 1 см-дир, јə'ни 500—1000 дəфə Марсынкындан галындыр. Ола билсин ки, Марсын дəрин гатларында су вардыр. Лакин əбəди дон бу бузлашмыш суларын сəтһə чыхмасына манеə олур. Планетүстү атмосфердə орта тəзјиг 0,6 мб-дыр.. Лакин гүтб папагларында конденсасија едəн карбон газынын мигдарынын фəсли дəјишмəси илə атмосферин тəзјиги дə дəјишир. Марс атмосфериндə күлəјин сүр'əти чох вахт санијəдə бир нечə метр олур. Лакин бə'зəн ајларла күлəјин сүр'əти 40—50 м/сан-јə олур вə бу заман бə'зəн H_2O вə CO_2 буз дəнəчиклəри илə бирликдə күчлү гум-тоз туфанлары əмəлə кəлир вə һəтта бу заман јаранан булудлар планетин сəтһини тамамилə өртүр.

Венерада олдуғу кими, Марс атмосферинин *термосфер* адланан јухары гатлары нисбəтəн сојугдур ($\sim$300 K). Бунун сəбəби Венерада олдуғу кими Марсда да CO_2 молекулларынын күчлү шүаландырмасыдыр.

Марс *ионосферə* маликдир. Марс ионосфериндə сəрбəст електронларын максимум консентрасијасы 150 км һүндүрлүкдə күндүзлəр 10^5 $см^{-3}$, кечəлəр 10^4 $см^{-3}$-дир. Белəликлə бу планетин ионосфериндə сəрбəст електронларын консентрасијасы Венеранынкындан 30 дəфə кичикдир. Бунун сəбəби Марсын Күнəшдəн даһа узагда олмасыдыр.

Марсда јеринкиндəн 1000 дəфə зəиф магнит саһəсинин олдуғу күман едилир. Əкəр Марсда магнит саһəси варса, онда планет маје нүвəјə малик олмалыдыр.

Марсын ики пејки вардыр. Бу пејклəри Американ астроному Һолл 1877-чи илдə кəшф етмишдир. Марс пејклəринə јунан əфсанəсиндəн көтүрүлмүш Фобос (Горху) вə Дејмос (Дəһшəт) адлары верилмишдир. Јунан мифолокијасына көрə Ареса адлы мүһарибə аллаһы олмушдур. Марса да məhз бу ад верилмишдир, чүнки планет гырмызымтыл рəнкдəдир. Марсын пејклəри планетə чох јахын мəсафəлəрдə (ујғун олараг 9400 км вə 23.500 км) онун əтрафына доланыр. Һəр ики пејк планетин екватор мүстəвиси илə чəми 2°,7-лик бучаг алтында доланыр. Пејклəрин өз охлары əтрафында фырланма дөврлəри планет əтрафында доланма дөврлəринə бəрабəрдир—Фобос үчүн 7^h 39^m, 2, Дејмос үчүн 30^h 18^m. Марсын пејклəри чəтин мүшаһидə олунур, чүнки онларын улдуз өлчүлəри 11^m,5 вə 12^m,5-дир. Марсын пејклəринин атмосфери олмадығындан онларын сəтһи күчлү метеорит зəрбəлəри нəтичəсиндə дəлмə-дешикдир. Марсын пејклəри дүзкүн олмајан формаја маликдир. Фобосун өлчүлəри 27 км$\times$21 км$\times$19 км, Дејмосунки исə 15 км$\times$12 км$\times$ 8 км-дир. Һəр ики пејкин узунсов һиссəси планетə тəрəф јөнəлмишдир.

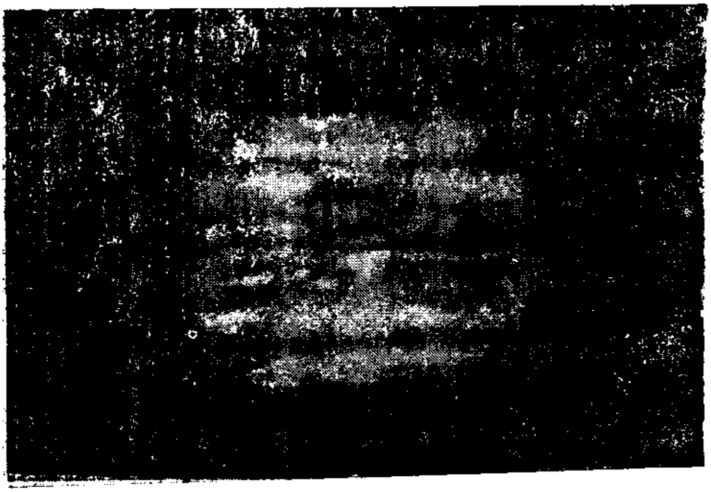
§ 102. ЈУПИТЕР

Јупитер Күнәш системиндә ән бөјүк планетдир. Онун күтләси јеринкиндән 318 дәфә бөјүк, јахуд Күнәшинкиндән чәми 1050 дәфә кичикдир. Планетин басыглығы чох бөјүк (1:16) олдуғундан онун 71400 км-ә бәрабәр олан екваториал радиусу гүтб радиусундан хејли бөјүкдүр. Јупитерин гүтбләрдән беләхејли басыг олмасынын сәбәби онун сүр'әтлә фырланмасыдыр. Планетин екваториал фырланма периоду 9^h 50^m, 5-дир; гүтбләрә доғру планетин фырланма периоду азачыг бөјүјүр вә мүлајим гуршагларда фырланма периоду $9^h\,55^m$, 7-дир. Бу көстәрир ки, Јупитер бәрк чисим кими фырланмыр; бу онунла әлагәдардыр ки. Јупитерин бәрк (јахуд маје) сәтһи јохдур, бу планетин сәтһи газ тәбиәтлидир вә онун сәтһи дедикдә тәзјигин 1 атм. олдуғу һүндүрлүкдәки сәвијјәни нәзәрдә тутуруг. Јупитерин екваторунда гравитасија тә'чили јердәкиндән 2,56 дәфә бөјүкдүр, сәтһиндә параболик сүр'әт 60,4 км/сан-дир.

Јупитерин Күнәш әтрафында доланма мүддәти 11,86 тропик илә бәрабәрдир. Планетин фырланма оху орбит мүстәвисинә нормалла 3° 07′-лик бучаг әмәлә кәтирир. Планетин орта сыхлығы 1,35 г/см^3-дур. Дискиндә тутгун *золаглар* вә мүхтәлиф интенсивлијә малик гырмызы—бозумтул *ләкәләр* вардыр. Бунлар ашағыја доғру јөнәлән газ ахынлары илә јаранан булудлардыр: Јупитерин атмосфериндә көрүнән сарымтыл золаглар јухарыја доғру һәрәкәт едән газ ахынлары илә јараныр. Ән интенсив золаглар планетин екватору үзрә узаныр вә бурада газ ахынларынын сүр'әти 100 м/сан-јә чатыр. Планетин дискиндә ән характерик деталлардан бири Бөјүк Гырмызы ләкәдир. «Војачер» космик кәмиләри көстәрмишдир ки, бу Јупитерин атмосфериндә јаранан вә јер атмосфериндәкиндән фәргли олараг чох дајаныглы олан (10^5 ил јашајан) бөјүк мигјаслы сиклонун тәзаһүрүдүр. Сиклон-мәркәзиндә тәзјиги минимум олан саат әгрәби һәрәкәтинин әкси истигамәтли атмосфер сиркулјасијасыдыр (шәкил 127).

Јупитерин атмосферинин 86%-ә јахын һиссәси һидрокен молекулларындан, 14%-ә јахыны исә һелиумдан ибарәтдир. Бу чәһәтдән Јупитер Күнәшә бәнзәјир. Планетин атмосфериндә чох чүз'и мигдарда метан (0,04%), амонјак (0,06%), асетилен ($2 \cdot 10^{-6}$ %), етан (10^{-4} %) газлары вардыр. Атмосферин орта нисби молекулјар чәкиси 2,3-дүр. Булуд гатынын јухары һиссәсиндә тәзјиг 0,5 атм-ә јахындыр. Јупитер планетинин атмосфериндә булуд гаты мүрәккәб гурулушлудур, үст һиссәси NH_3-дән, ашағы һиссәси буз кристаллары вә су дамчыларындан ибарәтдир.

Јупитер һаггында бир сыра јени мә'луматлар АБШ-да 1972—1973-чү илләрдә бурахылмыш «Пионер—10», «Пионер—11», 1977-чи илдә бурахылмыш «Војачер—1» вә «Војачер—2» планетләрарасы автомат стансијалар васитәсилә алынмышдыр. Планетин атмосфериндә һелиумун олмасы «Пионер—10, 11» автомат стансијалары илә ашкар едилмишдир. Мә'лум олмушдур ки, Јупитерин атмосфериндә мүшаһидә олу-



Шәкил 127. Көј ишыгда Јупитерин фотографијасы; бу шәкилдә Бөјүк Гырмызы ләкә, золаглар вә зоналар көрүнүрләр.

нан λ=584 Å далға узунлуғуна малик парлаг резонанс хәтт һелиума аиддир (бу далғада шүаланма јер атмосфериндә там удулдуғундан јердә мүшаһидә олунмур).

Јупитер јерә нисбәтән Күнәшдән 5,2 дәфә узагда олдуғундан онун сәтһи Јердән 27 дәфә аз истилик алыр вә планетин атмосферинин үст гатлары Күнәш шүаларынын 45%-ини әкс етдирир. Бунлары нәзәрә алсаг һесабламаг олар ки, Јупитерин температуру—160°С-дир. Лакин «Пионер—10» васитәсилә апарылан өлчмәләрдән мә'лум олмушдур ки, Јупитерин температуру —130°С-дир вә температурун кечә-күндүз фәрги сыфырдыр. Јупитердә һәгиги температурун белә бөјүк алынмасы онунла изаһ едилир ки, онун сәтһи Күнәшдән нә гәдәр истилик алырса, о гәдәр дә өз дахилиндән алыр, јә'ни Јупитер мәхсуси дахили енержи мәнбәјинә маликдир. Бу енержи истилик енержиси шәклиндә планетин үст гатларына көчүр. Бу ҹәһәтдән Јупитер бир нөв улдуза бәнзәјир. Әлбәттә бу о демәк дејил ки, Јупитерин нүвәсиндә истилик-нүвә реаксијалары кедир. Күман олунур ки, планетин дахили енержиси, планет әмәлә кәлдији илк дөврләрдә јаранан гравитасија сыхылмасынын нәтиҹәсидир. Белә сыхылманын енержиси тоз вә газ зәррәҹикләринин кинетик енержисинә, о да өз нөвбәсиндә истилијә чеврилә биләр. Јупитерин сәтһинә онун дахилиндән истилијин көчүрүлмәси факты көстәрир ки, планетин дахили гатларына доғру температур бөјүјүр. Һидрокен-һелиум атмосфери 1000 км дәринликдә тәдриҹән даһа сых һала—газмаје һалына кечир, јә'ни һәр ики газ ифрат бөһран һалында олур, даһа дәрин гатларда исә планет металлашмыш һидрокендән ибарәтдир. Көзләмәк олар ки, планетин мәркәзинә ән јахын нүвәси истидир (30000

К) вә бөјүк тәзјигә (10 милјон атм) маликдир, өзү дә нүвә бәрк һалындадыр.

Мәркәзә ән јахын нүвәси мүстәсна олмагла Јупитерин нүвәси маје һалында олдуғундан вә планет сүр'әтлә фырландығындан *планетин күчлү магнит саһәси вар.* Космик техника васитәсилә тапылмышдыр ки, һәгигәтән Јупитерин сәтһиндә магнит саһәсинин кәркинлији 10 Е дир. Магнит саһәси күчлү олдуғундан *Јупитерин магнитосфери чох кенишдир*—јүз дәфәләрлә планетин өлчүсүндән бөјүкдүр. Јүксәк енержили електрон вә протонлар планетин магнитосфериндә тутулуб сахланыр. Бу јүклү зәррәчикләр Јупитерин *радиасија гуршагларыны* јарадыр. Магнитосфердә сүр'әтли зәррәчикләрин олмасы нәтичәсиндә бурада електронларын магнит—тормоз шүаланмасы, хүсуси һалда исә синхротрон шүаланмасы баш верир. Јупитерин радиасија гуршагларынын синхротрон шүаланмалары 3—70 см далғаларда мүшаһидә олунмушдур.

Јупитерин 16 пејки вардыр. Бунлардан илк 4-ү Галилеј тәрәфиндән 1610-чу илдә кәшф едилмишдир вә өлчүләринә вә күтләләринә көрә Ајла мүгајисә олунур. Галан пејкләр өлчүјә нисбәтән кичикдир. Ән кичик пејкин радиусу 10 км-дир. Јупитерин Ио пејки Күнәш системиндә јеканә фәал вулканлара малик пејкдир; бурада фәаллијјәтдә олан 7 вулкан мүшаһидә олунуб ки, һәр вулкан пүскүрмәси заманы 200 км һүндүрлүјәдәк әримиш гајнар фәввара атылыр (шәкил 128). Јупитерин

Шәкил 128. Ио пејкиндә вулкан.

габарма тә'сири вә һәмчинин планетин магнит саһәсиндә һәрәкәти заманы Ио пејкинин нүвәсиндә јаранан електрик чәрәјанлары вә кимјәви елементләрин зәиф радиактив парчаланмасы нәтичәсиндә пејкин

нүвәси гызыр. Јупитерин дөрд узаг пејки (XII, XI, VIII вә IX) планетин әтрафында тәрс истигамәтдә доланыр. Күман ки, планетин узаг пејкләри астероид гуршагларындан тутулмуш кичик планетләрдир.

Јупитерин әтрафында газ-тоз зәррәчикләриндән ибарәт һалга вардыр. Мәшһур алим С. К. Всехсвјатски һәлә 1960-чы илдә Јупитерин һалгаја малик олмасы һагда һипотез ирәли сүрмүшдүр. О, бурада она әсасланмышдыр ки, планетин екватору үзрә дөврү олараг назик тутгун ләкә көрүнүр. 1979-чу илдә «Војачер—1, 2» космик апаратлары Јупитерин һәгигәтән һалгаја малик олдуғуну билаваситә гејдә алмышлар. Бу һалганын дахили радиусу 113000 км, харичи радиусу 126000 км, галынлығы 1 км-дир. Јупитерин һалгасы тили тәрәфдән јерә јөнәлдијиндән Јердән билаваситә көрүнмүр.

§ 103. САТУРН

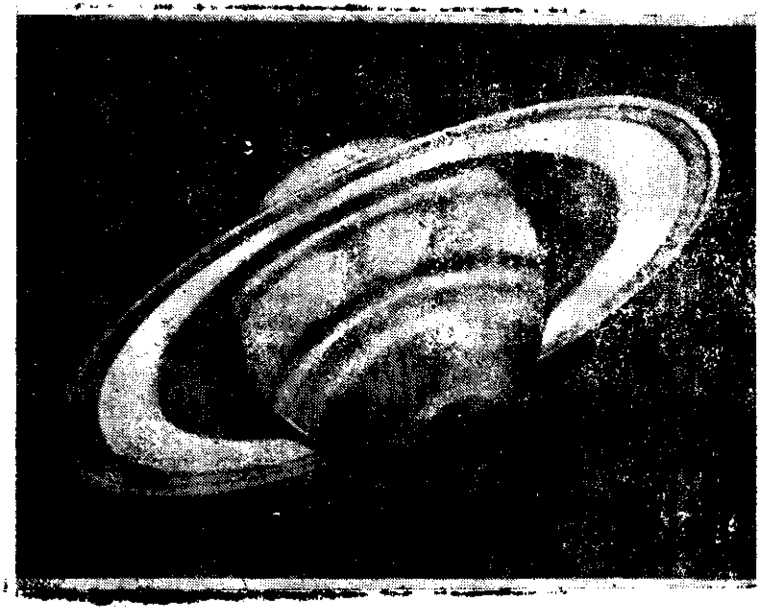
Сатурн Јупитердән сонра Күнәш системинин икинчи нәһәнк планетидир. Онун күтләси јеринкиндән 95,1 дәфә бөјүкдүр. Планетин басыглығы чох бөјүк (1:10) олдуғундан онун екваториал радиусу (60240 км) гүтб радиусундан хејли бөјүкдүр. Сатурнун гүтбләрдән чох басыг олмасынын сәбәби онун сүр'әтлә фырланмасыдыр: Сатурнун екваториал фырланма дөврү $10^h\ 14^m$-дир вә Јупитердә олдуғу кими екватордан узаглашдыгча фырланма дөврү аз да олса бөјүјүр. Бу көстәрир ки, планет әсасән газ тәбиәтлидир, чох кениш вә сых атмосферлә әһатә олунуб. Планетин екваторунда гравитасија тә'чили јеринкиндән 1.12 дәфә бөјүкдүр; сәтһиндә параболик сүр'әт 36 км/сан-дир. Сатурнун Күнәш әтрафында доланма мүддәти 29,46 тропик илдир. Планетин фырланма оху орбит мүстәвисинә нормалла 26° 45′-лик бучаг әмәлә кәтирир. Сатурнун орта сыхлығы 0,71 г/см^3-дур. Планетин дискиндә золаглар вә дикәр даһа инчә төрәмәләр мүшаһидә олунур. Лакин бунлар Јупитеринкиндән фәргли олараг кичик контраста вә өлчүјә малик олуб, сајча аздыр.

Сатурн атмосферинин әсас һиссәсини һидрокен молекуллары вә һелиум тәшкил едир. Одур ки, бу чәһәтдән Сатурн да Јупитер кими Күнәшә бәнзәјир. Планетин атмосфериндә аз мигдарда амонјак, метан, асетилен, етан вә башга карбоһидрокенләр вардыр.

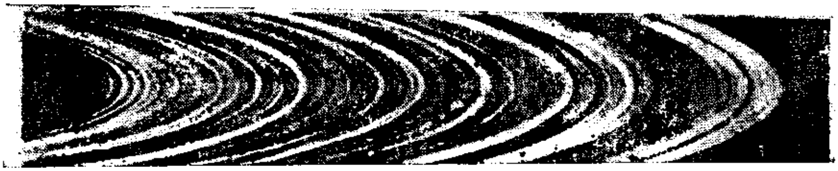
Сатурн дахили гурулушча Јупитерә бәнзәјир.

Планетин әксетдирмә габилијјәти 0,45-дир. Планетин Күнәшдән мәсафәсинә (9,54 а. в.) әсасән онун сәтһиндә температурун гијмәти 83 К алыныр. Сатурунун сәтһи Јупитердәки кими шәрти олараг 1 атм тәзјигә малик гат һесаб едилир. Сатурнун инфрагырмызы шүаларда мүшаһидәси көстәрир ки, онун сәтһиндә орта температур 96 К-дир. Температурун фәргли алынмасы онунла изаһ едилир ки, Јупитер кими Сатурн да дахили енержи мәнбәјинә маликдир вә онун шүаланмасынын јарыдан чоху өз дахили енержиси һесабынадыр. Сатурн өзүнүн көзәл вә мараглы һалгасы илә мүшаһидәчиләрин диггәтини өзүнә чәлб едир

(шәкил 129). Планетләрарасы автомат стансијалар тәтбиг олунана гәдәр һесаб едирдиләр ки, Сатурнун чәми үч һалгасы вардыр. «Војачер—1», «Војачер—2» космик апаратларында гојулан телевизија камералары васитәсилә планетин ири планда рәнкли әксләри Јерә верилмиш вә мә'лум олмушдур ки, Сатурнун минләрлә чох енсиз вә назик һалгасы вардыр (шәкил 130). Һалгаларын һәр биринин галынлығы 2 км-дән бөјүк дејил.



Шәкил 129. Сатурнун телескопда көрүнүшү.



Шәкил 130. Сатурн һалгасынын «Војачер—1» васитәси илә 1980-чы илдә алынмыш фотографијасы.

Һәр 14,7 илдән бир, јә'ни планетин Күнәш әтрафында доланма периодунун јарысы мүддәтдән бир һалганын тили јерә јөнәлир вә о, Јердән көрүнмүр, јалныз енсиз көлкә бу заман планетин екватору үзрә көрүнүр. Буна Сатурн һалгасынын итмәси дејилир. Сон белә һадисә 1979—80-чы илләрдә олуб, нөвбәти белә вәзијјәт 1994-чү илдә олачагдыр. Сатурнун һалгасы бәрк вә кичик зәррәчикләрдән ибарәтдир.

Сатурн кәркинлији 0,5 Е олан магнит саһәсинә маликдир. Одур ки, планетин магнитосфери вә радиасија гуршаглары вардыр.

Сатурнун 17 пејки гејдә алынмышдыр. Бунлардан сонунчу үчү «Воіачер—1», «Воіачер—2», космик стансијаларын көмәји илә кәшф олунмушдур; бу планетин даһа јени пејкләри кәшф олуна биләр (әлбәттә космик техниканын көмәји илә). Сатурнун бүтүн пејкләри дүз һәрәкәт едир. Сатурнун ән бөјүк пејки Титандыр. Титанын күтләси $1{,}35 \cdot 10^{20}$ т, радиусу 2570 км-дир. Бу пејки сых атмосферә маликдир; пејкүстү гатда тәзјиг 1 атм-дир, кимјәви тәркиби әсасән азотдан ибарәтдир; аз мигдарда метан, синил туршусу (HCN) вардыр. Синил молекулу һүчејрәнин илкин төрәмәси олса да, Титанда һәјат ола билмәз; бу пејкин орта температуру $\sim$ 92 К-дир.

§ 104. УРАН, НЕПТУН ВӘ ПЛУТОН

Индијәдәк таныш олдуғумуз планетләр телескопсуз көрүнүр, Лакин Уран, Нептун вә Плутон јалныз телескоп васитәсилә мүшаһидә олунур. Бунлардан Күнәшә ән јахын олан Уранын, һәтта орта гаршыдурмада, визуал улдуз өлчүсү $+5^m$ 8-дир.

Уранла Күнәш арасындакы орта мәсафә 19 2 а. в.-дир. Бу планетин Күнәш әтрафына доланма мүддәти 84 тропик илә бәрабәрдир. Уран өз оху әтрафында Венера кими тәрс истигамәтдә фырланыр. Планетин фырланма оху орбит мүстәвисинә нормалла 82°-лик бучаг әмәлә кәтирир (планет тәрс фырландығындан фырланма охунун мејлини 180° —82°=98° һесаб етмәк лазымдыр). Уранын фырланма дөвру $10^h\ 49^m$—јә бәрабәрдир. Уран сүр'әтлә фырландығындан гүтбләрдән хејли басыгдыр (1:17). Космик техникадан истифадәјә гәдәр Уранын беш пејки мә'лум иди. Бу пејкләрин орбит мүстәвиләри планетин орбит мүстәвисинә перпендикулјара јахындыр вә планетин фырланмасы истигамәтдә онун әтрафында доланырлар. 1977-чи илин августунда АБШ-да Урана тәрәф бурахылан «Воіачер—2» автомат стансијасы васитәсилә 1986-чы илин әввәлләриндә Уранын 8 пејки кәшф едилмишдир. Бу кичик «ајларын» диаметрләри 320—480 км арасындадыр. Әввәлләр мә'лум олан 5 пејкин ән кичијинин диаметри 400 км, ән бөјүјүнкү 1000 км-дир. Уранын күтләси јеринкиндән 14,6 дәфә бөјүкдүр, радиусу 24300 км-ә бәрабәрдир. Уранын һалгасы вардыр. Уранын һалгасы планет зәиф улдузлары өртән заман апарылан фотоелектрик мүшаһидәләрдән тапылмышдыр. Уранын һалгасы фотографик мүшаһидәләрдә көрүнмүр, чүнки бу һалганын әкситдирмә габилијјәти чох кичик, һәтта дуданын әкситдирмә габилијјәтиндән дә кичикдир (0,03-дир). Уранын һалгалар чохлуғу планетин екватору үзрә онун әтрафына доланыр.

Нептун Урандан сонра Күнәш әтрафында доланан нәһәнк планетләрин дөрдүнчүсүдүр. Бу планетин орта гаршыдурмада визуал улдуз өлчүсү$+7^m$,6-дыр. Планетин Күнәшдән орта мәсафәси 30,1 а. в.-дир. Нептунун Күнәш әтрафында доланма мүддәти 165 илдир. Онун фырланма оху орбит мүстәвисинә нормалла 29°-лик бучаг әмәлә кәтирир. Планет дүз истигамәтдә, јә'ни гәрбдән шәргә фырланыр вә фыр-

ланма дөврү $15^h,8\pm1^h$-дыр. Нептунун ики пејки мә'лумдур. Бунлардан Тритон Титан кими Күнәш системиндәки пејкләрин чох бөјүкләриндәндир (диаметри 4000 км, күтләси исә $1,5\cdot10^{20}$ тон, јә'ни јерин күтләсиндән тәми 40 дәфә кичикдир). Нептунун радиусу 25050 км-ә, күтләси 17,2 јер күтләсинә бәрабәрдир.

Уран вә Нептун Јупитер вә Сатурн кими кениш атмосферә маликдир. Спектроскопик мүшаһидәләрдән бу планетләрин атмосферләриндә һидрокен молекуллары вә метан тапылмышдыр. Уранын орта сыхлығы 1,71 г/см³, Нептунунки 1,72 г/см³-дур. Беләликлә бу планетләрин орта сыхлыглары Јупитер вә Сатурнун орта сыхлығындан бөјүкдүр. Ола билсин ки, Уран вә Нептунда әввәлки ики нәһәнк планетә нисбәтән даһа чох ағыр елементләр вардыр.

Плутон һаггында мә'лумат аздыр вә бу мә'луматларын бә'зиләри чох зиддијјәтлидир. Планетин Күнәшдән орта мәсафәси 39,4 а. в., орта гаршыдурмада визуал улдуз өлчүсү $+14^m,7$-дир. Орбитинин ексцентриситети бөјүк планетләрин орбитләри ичәрисиндә ән бөјүк—0,249-дур. Бу сәбәбдән Плутонун афели мәсафәси периһели мәсафәсиндән чох бөјүкдүр вә планет периһели әтрафында оланда онун орбитинин мүәјјән һиссәси Нептунун орбити дахилиндә олур. Инди, даһа доғрусу һазырки епохада Плутонун орбит һиссәси Нептунун орбити дахилиндәдир вә беләликлә һазырда Плутон Күнәшә Нептуна нисбәтән даһа јахындыр. Плутонун Күнәш әтрафында доланма мүддәти 248 тропик илә бәрабәрдир, фырланма дөврү $6^d\,9^h\,17^m$ -дир. Планетин күтлә вә радиусу һаггында дәгиг мә'лумат јохдур. Күман ки, Плутонун радиусу 1250 км, күтләси 0,0024 јер күтләсидир (Ајынкындән 5 дәфә кичикдир). Бу һалда планетин орта сыхлығы Уран вә Нептунунки кими—1,7 г/см³ олмалыдыр. Плутонда метандан ибарәт атмосфер тапылыб, ола билсин ки, планетин сәтһи метан бузундан ибарәтдир. Бу һалда Плутонун сәтһ температуру 53 К олмалыдыр. Планетин бир пејки тапылыб. *Харон* адландырылан бу пејк Плутондан 17500 км мәсафәдә даирәви орбит үзрә $6^d\,9^h\,17^m$ дөврлә дүз истигамәтдә доланыр. Бу период планетин фырланма периодуна бәрабәр олдуғундан пејкин һәмишә ејни тәрәфи планетә тәрәф јөнәлир. Харонун өлчүсү дәгиг мә'лум дејилдир. Һесаб етмәк олар ки, Плутон—Харон гоша планет системидир.

II һиссә
КҮНӘШ СИСТЕМИНИН КИЧИК ЧИСИМЛӘРИ

§ 105. КИЧИК ПЛАНЕТЛӘР (АСТЕРОИДЛӘР)

1772-чи илдә алман-астроному Боде, бундан 6 ил әввәл ријазијјатчы Титсиус тәрәфиндән планетләрин астрономик ваһидләрлә Күнәшдән олан мәсафәләриндәки ганунаујғунлуг һаггындакы кәшфини үмумиләшдирәрәк бир емпирик ганун верди. Бу Титсиус—Боде емпирик гануну адланыр вә белә јазылыр:

$$a = 0{,}1\cdot(3\cdot2^n+4)\,a.\,в.$$

8-чи чәдвәлдә ашағыдакылар верилмишдир: биринчи сүтунда—планетләрин адлары (Титсиус вә Бодедән сонра кәшф олунан планетләр мө'тәризәдә јазылмышдыр), икинчи сүтунда—Титсиус-Боде емпирик дүстуруна дахил олан n-ин гијмәтләри, үчүнчү сүтунда—һәмин дүстурдан бу гијмәтләрә ујғун астрономик ваһидләрлә тапылан Күнәшдән планетләрә гәдәр орта мәсафә, дөрдүнчү сүтунда—планетләрә гәдәр һәгиги мәсафәләрин астрономик ваһидләрлә гијмәтләри, нәһајәт, бу алимләрдән сонра кәшф олунан јени објектләрин кәшф тарихләри.

Титсиус-Боде гајдасы верилән вахт нә астероидләр, нә дә Уран вә ондан сонра кәлән планетләр кәшф олунмамышды. Чәдвәлдән көрүнүр ки, Нептун вә Плутон мүстәсна олмагла астероидләр вә Уран да дахил олмагла бу емпирик гајда өзүнү доғрулдур. Нептун вә Плутонун Күнәшдән һәгиги орта мәсафәләри Боде-Титсиус гајдасындан тапылан гијмәтләрдән кичикдир вә бу фәрг Плутонда өзүнү даһа чох көстәрир. Буна бахмајараг Титсиус-Боде гајдасы кәшф олунандан сонра һәр шејдән әввәл Марсла Јупитер арасында һәрәкәт едән објекти (објектләри) ахтармаг фикри мејдана чыхмышдыр. Чәдвәлдән көрүндүјү кими бундан әввәл Уран планети кәшф едилмишди. 1801-чи ил јанварын 1-дә италјан астроному Пиатси Буға бүрчүндә ләнк һәрәкәт едән 7^m улдуз өлчүлү објект мүшаһидә етди. Гаусс бу објектин орбитини һесаблады вә мә'лум олду ки, һәмин објектин Күнәшдән орта мәсафәси $a=2{,}77$ а. в.-дир. Бу чисим екссентриситети $e=0{,}080$ олан орбит үзрә Күнәшин әтрафына доланыр. Бундан сонра 1807-чи иләдәк даһа үч буна бәнзәр објект тапылды. Кәшф олунан бу објектләрин өлчүләринин ади планетләрә нисбәтән чох-чох кичик олмасы шүбһә доғурмады. Одур ки, онлара кичик планет вә ја астероид ады верилди (јунанча «астер»улдузвари вә «Јеидос»—көркәм демәкдир; бу објектләр чох кичик олдуғундан нөгтәви-улдузвари көрүнүшә маликдир). Даһа сонралар јени астероидләр кәшф етмәк үчүн фотографик үсул тәтбиг едилди. Бу үсулун маһијјәти беләдир: астероидләр Күнәшдән $\sim 2{,}8$ а. в. мәсафәдәдирләрсә, онларын көјдә көрүнән һәрәкәт сүр'әти саатда

Чәдвәл 8

Планетләр		Күнәшдән мәсафә (а. в.) һесабланан	һәгиги	Кәшф тарихи
Меркури	∞	0,4	0,387	
Венера	0	0,7	0,723	
Јер	1	1,0	1,000	
Марс	2	1,6	1,594	
(Астероидләр)	3	2,8	2,77	(1.I—1801-чи ил)
Јупитер	4	5,2	5,203	
Сатурн	5	10,0	9,539	
(Уран)	6	19,6	19,182	(13.III—1781-чи ил)
(Нептун)	7	38,8	30,07	(23.IX—1846-чы ил)
(Плутон)	8	77,2	39,4	(1930)

0′,6-jə jахын олмалыдыр. Одур ки, телескопу көj сферасынын суткалыг фырланмасына нисбəтəн бу фəрглə чевирсəк астероид фотолөвһəнин еjни нөгтəсини ишыгландырмалы, улдузлар исə назик гөвслəр чызмалыдыр. Гејд едəк ки, бу һалда фотолөвһəдə астероидин хəjалы кəскин вə азачыг овалвари көрүнүр.

Фотографијанын тəтбиги јени-јени астероидлəр кəшф етмəjə имкан верди. Һазырда үч минə jахын астероидин орбит елементлəри мə'лумдур. Биринчи дөрд астероидə ашағыдакы адлар верилмишдир: *Серера*, *Паллада* (а=2,77 а. в.), *Јунона* (а=2,67 а. в.), *Веста* (а=2,36 а. в.). Астероидлəрин диаметрлəрини тапмаг үчүн онларын көрүнəн вə инфрагырмызы шүаларда əкс етдирдиклəри ишыг селлəрини мүгаjисə етмəк лазымдыр. Əн бөjүк астероид Серера (диаметри 1000 км—јеринкиндəн 13 дəфə кичик, күтлəси $1{,}4\cdot10^{21}$ кг—јеринкиндəн 4,4 мин дəфə кичик), əн кичик астероид Кермесдир (диаметри 1 км, күтлəси 10^{12} кг-дыр). Диаметри 1 км-дəн кичик олан астероид мə'лум дејилдир.

Астероидлəрин сыхлығы мүхтəлифдир—2 г/см^3-дəн (даш астероидлəр) 7—8 г/см^3-дəк (дəмир-никел астероидлəр). Астероидлəрдəн əн парлағынын визуал улдуз өлчүсү$+7^m$, əн зəифинки $+17^m$ -дəн дə зəифдир. Күнəшдəн мəсафəлəри 2,06 а. в.-дəн 4,30 а. в. гəдəр олан планетлəрарасы фəза астероидлəр гуршағы вə ја һалгасы адланыр. Бу зонада олан астероидлəр Күнəш əтрафында 2,96 илдəн 8,92 илə гəдəр мүддəтдə доланырлар. Бунлар əксəриjjəти (98 %-и) тəшкил едирлəр. Астероидлəр гуршағындан кəнарда Күнəш əтрафында доланан астероидлəр дə вардыр. Мəсəлəн Икар, Кермес адлы астероидлəр белəлəриндəндир. Бунларын орбитлəринин екссентриситети ваһидə jахындыр. Бу планетлəр периһелидə Јерə $6\cdot10^6$ км-ə гəдəр jахынлашырлар. Астероидин парлаглығынын периодик дəjишмəсинə əсасəн онун фырландығыны мүəjjəн етмəк олур. Бу гајда илə чох сајда астероидин өз оху əтрафында фырландығы мүəjjəн едилмишдир.

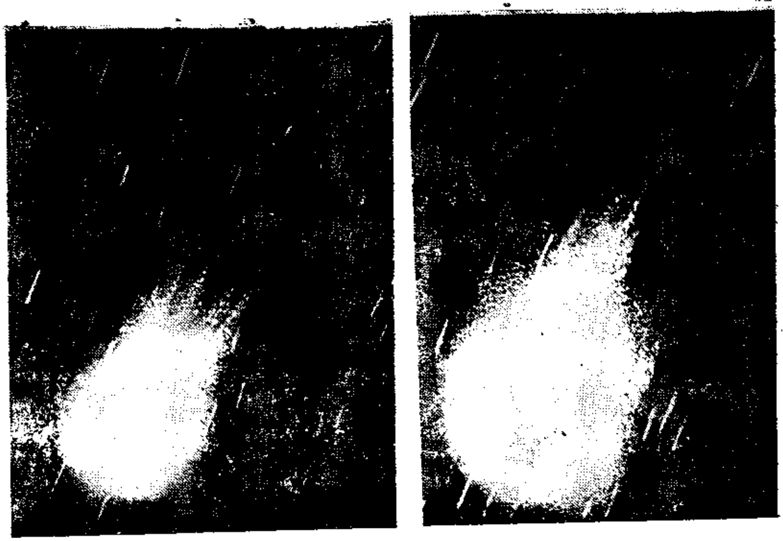
Астероидлəр ичəрисиндə ики мараглы груп вардыр, Бунлара Тројан мүһарибəсинин гəһрəманларынын адлары верилмишдир: «јунанлар» вə «тројанлар». «Тројанлар» Јупитердəн архада 60°-лик бучаг мəсафəсиндə, «јунанлар» исə бу планетдəн ирəлидə 60°-лик бучаг мəсафəсиндə Јупитерин орбитинə jахын орбитлəр үзрə Күнəшин əтрафында доланыр. Əввəллəр «Јунанлар»да 10, «Тројанлар»да 5 астероид олдуғу һесаб едилирди. Анчаг инди мə'лумдур ки, бу груплардакы кичик планетлəрин саjы 35-дəн аз дејил, бəлкə дə хејли чохдур. Биз көj механикасындан билирик ки, һаггында данышдығымыз астероидлəр групунун һəр бири тəпə нөгтəлəриндə Күнəш вə Јупитер олан бəрабəртəрəфли үчбучағын тəпəлəриндəн биридир. Белəликлə һəр ики үчбучағын форма вə өлчүсү һəрəкəт заманы дəjишмəз галыр, чүнки Лагранжын хүсуси үч чисим мəсəлəсинин һəллинə көрə бəрабəр тəрəфли үчбучагын тəпə нөгтəлəриндə јерлəшəн үч белə чисимлəр групунун күтлə мəркəзи бу үчбучағын тəпəсиндə јерлəшəн планет тəрəфиндəн сарсынмыр. Башга астероидлəрə кəлинчə, бунлар хүсусилə Јупитер тəрəфиндəн чидди сарсыныр. Астероидлəрин лап кичиклəри вə метеорит-

ләр бир-бирләри илә тоггушма илә нәтичәләнән сарсынтыја уғрајырлар. Нәтичәдә бунлар мүхтәлиф өлчүлү (јүз метрләрлә өлчүјә малик күтләдән тоз һиссәчијинәдәк) гәлпәләрә парчаланыр.

§ 106. КОМЕТЛӘР

Комет ады јунанчадан көтүрүлмүш терминдир: «кометес»—гујруглу улдуз, көј чисми демәкдир. Ел арасында комет гујруглу улдуз адланыр. Сәбәби бу објектин ади көзлә мүшаһидәси заманы узунлуғу бир нечә вә һәтта бир нечә он дәрәчә олан парлаг гујруға малик олмасы илә әлагәдардыр. Кәшф олунан кометләрин сајы парлаглығындан асылыдыр: 10—15 илдә бир парлаг комет гејдә алындығы һалда фотографик мүшаһидәләрлә илдә бир нечә дәнә 18^m —19^m улдуз өлчүсүнә малик зәиф комет гејдә алыныр. Индијә гәдәр минләрлә белә комет гејдә алынмышдыр. Илк дәфә инкилис астроному һаллеј һесаб етмишдир ки, кометләр Күнәш системинин чисимләридир. О, 1333—1695-чи илләрдә мүшаһидә олунмуш 24 парлаг кометин орбитләрини һесабламыш вә бунлардан биринин һәр 76 илдән бир көрүндүјүнү мүәјјән етмишди. Һәмин кометин орбитини һесаблајанда Һаллеј тапмышдыр ки, бу кометин Күнәш әтрафында доланма периоду доғрудан да 76 илә бәрабәрдир. Бу кометин орбитинин бөјүк јарымоху $a=17,95$ а. в., екссентриситети $e=0,967$, орбит мүстәвисинин еклиптикаја мејли $i=162°$-дир. $i>90°$ олдуғундан комет тәрс истигамәтдә Күнәш әтрафында доланыр. Орбитинин екссентриситети вә бөјүк јарымохуна әсасән тапарыг ки, бу кометин периһели мәсафәси $q=0,587$ а. в. (Венеранын орбитинин дахилиндәдир), афели мәсафәси $Q=35,31$ а. в.-дир (Нептунун орбитиндән харичдәдир). Һаллејин һесабламаларына көрә онун вахтында ахырынчы дәфә 1682-чи илдә көрүнән бу комет бир дә 1758-чи илин ахырларында көрүнмәли иди. Франсыз алими Клеро бу кометин орбитинин Јупитер вә Сатурн тәрәфиндән сарсынмасыны нәзәрә алараг, Һаллејин һесабламаларына азачыг дүзәлиш вермәклә бу һесабламаларын үмумијјәтлә дәгиг олдуғуну мүәјјән етмишдир. 1758-чи ил декабрын 25-дә, Һаллејин вәфатындан 16 ил сонра һәмин комет көрүнмәјә башлады вә 1759-чу ил мартын 13-дә периһелидән кечди. Алимин шәрәфинә бу кометә *һаллеј комети* ады верилди. Һаллеј комети сонралар 1835, 1910-чу илләрдә вә 1985-чи илин пајызындан 1986-чы илин јазына гәдәр мүшаһидә олунмушдур. 131 вә 132-чи шәкилләрдә Һаллеј кометинин Јерин шимал орта енликләриндә ән јахшы көрүнмә дөврүндә телескоп васитәсилә алынмыш әксләри көстәрилмишдир.

131, а шәклиндә кометин 1985-чи ил 12 декабрда, 132, б-дә исә бундан беш күн сонра Газахыстан Елмләр Академијасынын Астрофизика Институтунун 1 метрлик телескопунда алынмыш фотошәкилләри көстәрилмишдир. Кометин баш һиссәсинин сүр'әтлә бөјүдүјү бу шәкилләрин мүгајисәсиндән ајдын көрүнүр. 132 шәклиндә Һаллеј кометинин 1986-чы ил 1 јанварда, 133 шәклиндә исә 3 јанварда



а в

Шәкил 131. Һаллеј кометинин баш һиссәсинин фотографијасы 131 а—1985-чи ил 12 декабрда, 131 б—исә 17 декабрда алынмышдыр.

Шәкил 132. Һаллеј кометинин гујруғунун фотографијасы. 1986-чы ил 1 јанварда алынмышдыр.

Шәкил 133. Һаллеј кометинин гујруғунун фотографијасы 1986-чы ил, 3 јанварда алынмышдыр.

һәмин институтун 46 сантиметрлик Шмидт телескопунда алынмыш фотошәкилләри көстәрилмишдир. Шәкилләрин мүгајисәсиндән кометин баш һиссәсинин бөјүмәкдә давам етдијини, гыса мүддәтдә онун гујруғунун әввәл гопдуғуну, сонра исә хејли узандығыны (14 милјон км-ә гәдәр) мүәјјән етмәк олур.

Кометләрин орбитләри чох мүхтәлиф олур: онларын екссентриситетләри ваһиддән кичик (еллиптик), ваһид вә ваһиддән бөјүк (параболик вә ја һиперболик) ола биләр. Биринчиләр периодик кометләр, икинчиләр Күнәш системинә мүвәггәти дахил олан кометләрдир.

Кометләр хүсусилә Јупитер вә Сатурн тәрәфиндән чидди сарсыныр. Нәтичәдә параболик комет еллиптикә вә ја еллиптик комет параболикә, јахуд һиперболикә чеврилә биләр. Дөврү кометин параболикә чеврилмәси кометин итмәси үчүн јеканә сәбәб дејилдир. Мүшаһидәләр көстәрир ки, кометләрдә парчаланма да кедир. Мәсәлән, 1772-чи илдә кәшф олунмуш Биела комети 1815, 1826 вә 1832-чи илләрдә мүшаһидә олунмушдур: 1846-чы илин јанварында һәмин кометин орбити үзрә бир дејил, ики комет көрүнмүш вә мә'лум олмушдур ки, бунлар Биела кометинин парчаларыдыр. Бундан сонра кометин парчалары көздән итмиш, лакин бу кометин орбити үзрә јерләшән орбит бојунча дәфәләрлә күчлү метеор сели—«јағышы» гејдә алынмышдыр (нөвбәти параграфа бах).

Күнәшә кифајәт гәдәр јахынлашан комет адәтән баш һиссәдән (буна кома дејилир) вә гујругдан ибарәт олур. Кометин гујруғу күнәш ишығынын тәзјиги вә күнәш күләјинин дашыдығы магнит саһәсинин тә'сири илә јаранараг формалашыр. Гујруг јүклү зәррәчикләрдән—ионлардан ибарәт

олдуғундан Күнәш күләји гујруғун инкишафында мүәјјән рол ојнајыр: јүклү зәррәҹикләр анҹаг магнит гүввә хәтләри бојунҹа һәрәкәт етдијиндән күнәш күләјинин өзү илә дашыдығы магнит саһәси гујруғун ионларыны бу саһәнин гүввә хәтләри бојунҹа һәрәкәт етмәјә мәҹбур едир.

Спектрин көрүнән областында команын парлаглығы C_2 молекулунун шүаланмасындан ҹидди асылыдыр. Кометин парлаг баш һиссәсинин диаметри 10^5 км олур; онун өлчүсү L_α -да даһа бөјүк (10^7 км) олур. L_α-да шүаланманын механизми комада Күнәшин сәпилән ултрабәнөвшәји шүалары илә бағлыдыр. Комада һәмин шүаларын тә'сири илә онун әсас тәркиб һиссәси олан H_2O молекуллары һидрокен вә OH радикалына диссосасија едир. Һидрокен атому исә өз нөвбәсиндә Күнәшин ултрабәнөвшәји шүаларынын тә'сири илә L_α хәттиндә шүаланма верир. Бөјүк кометләр санијәдә 10^{29}—10^{30} һидрокен атому, јахуд $\sim 3\cdot 10^{29}$ һидрокен молекулу итирир. Кометин баш һиссәсинин мәркәзиндән 100 км мәсафәдә һидрокен молекулларынын сүр'әти 1 км/сан гәбул едиләрсә бу мәсафәдә H_2O молекулларынын консентрасијасы

$$n = \frac{N}{4\pi r^2 V} = \frac{3\cdot 10^{29}}{4\pi (10^7)^2\cdot 10^5} \simeq 3\cdot 20^9\ см^{-3}$$

олар, бурада $N \simeq 3\cdot 10^{29}$ сан$^{-1}$ — бир санијәдә итирилән һидрокен молекулларынын там сајы, $r = 10^7$ см—нүвәјә гәдәр мәсафә, $V = 10^5$ см/сан молекулун сүр'әтидир.

Кометләрин мәншәји там ајдын дејил. С. К. Всехсвјатскијә көрә гыса дөврлү кометләр Јупитер вә онун бә'зи пејкләриндә вахтагыса дөврлү кометләр Јупитер вә онун бә'зи пејкләриндә вахташыры баш верән вулканик пүскүрмәләрдән әмәлә кәлир. Мә'лумдур ки, Ио пејкиндә вулканик пүскүрмәләр билаваситә мүшаһидә олунмушдур. Мәшһур Һолланд астроному Оорта көрә Күнәш системи Күнәшдән 1 парсек мәсафәдә јерләшән вә мүхтәлиф өлчүлү комет нүвәләриндән ибарәт нәһәнк өлчүјә малик булудла әһатә олунмушдур. Улдузларын сарсыдыҹы тә'сири илә бә'зи комет нүвәләринин орбитләри дәјишир вә нәтиҹәдә бу нүвәләр системин дахилинә доғру һәрәкәт етмәклә Күнәшәтрафы фәзада көрүнүр.

§ 107. ПЛАНЕТЛӘРАРАСЫ ФӘЗАДА ТОЗ МҮҺИТИ ВӘ МЕТЕОРЛАР

Кометләрин мүхтәлиф өлчүлү тоз һиссәҹикләринин мәнбәји олмасына шүбһә јохдур. Бунлар һәм кометләрин парчаланмасы нәтиҹәсиндә јаранан, һәм дә Күнәшә јахынлашаркән итәләмә гүввәсинин тә'сири илә кометләри тәрк едән һиссәҹикләрдир. Астероидләрин тоггушмасы да планетләрарасы тоз мүһитинин әмәлә кәлмәсинә сәбәб олмалыдыр. Планетләрарасы тоз әсасән еклиптика мүстәвисиндә сыхлашыр вә буну биз *зодиак ишығы* кими мүшаһидә едирик (бах:§ 109). Космик апаратларда гојулан ҹиһазлар планетләрарасы тоз һиссәҹикләринин тоггушмасыны билаваситә гејдә алыр. Бу тоз һиссәҹикләринин бөјүкләри (диаметри 10 мкм оланлары) вә 3 а. в. радиуслу орби-

тә малик оланлары Робертсон—Појнтинг еффектинә әсасән 10^4 ил мүддәтиндә Күнәшин үзәринә дүшүр. Бу еффектә көрә тоз һиссәчијинә бағлы координат системиндә ишығын тәзјиг гүввәси вектору сүр'әт векторунун әкси истигамәтдә јөнәлмиш компонентә маликдир; белә тоз һиссәчији спиралвари орбит бојунча Күнәшә јахынлашыр. Бундан башга шүа тәзјиги илә планетләрарасы тоз һиссәчикләри арасы кәсилмәдән Күнәш системини тәрк етдијиндән планетләрарасы мүһити јени тоз һиссәчикләри илә тә'мин едән механизм олмалыдыр. Јухарыда гејд етдик ки, белә механизмләр кометләрин парчаланмасы, онлар күнәшә јахынлашанда тоз һиссәчикләринин ајрылмасы, астероидләрин тоггушмасы вә гәлпәләнмәси ола биләр.

Планетләрарасы тоз мүһити ичәрисиндә ән динамик маддә нөвү метеор маддәсидир. Бунларын ән кичикләри (<0,5 мкм) ишығын тәзјиги илә Күнәш системини тәрк едирләр. Нисбәтән бөјүк метеор маддәси Робертсон—Појнтинг еффекти нәтичәсиндә Күнәш системиндә галыр. Бунларын һәр биринин күтләси грамын онда бири гәдәр, һәтта даһа кичик олур. Надир һалда бә'зи метеор чисминин күтләси грамларла олур. Бу чисимләрин консентрасијасы чох кичикдир: јерәтрафы фәзада 1 $км^3$ һәчмдә ики микрометеор вардыр. Јерә нисбәтән сүр'әтләри 10—15 км/сан олан микрометеорлар әксәријјәт тәшкил едирләр. Белә кичик сүр'әтли метеор чисимләри јер атмосферинә дахил оланда орада ади тоз шәклиндә галырлар, ја да јерин сәтһинә төкүлүрләр. Бә'зи метеор чисимләринин сүр'әти (30—40) км/сан олур вә беләләри јер атмосферинә дахил оланда әријир, алышыр вә ел арасында *ахан улдузлар* адланан һадисәни јарадыр. Беләликлә ахан улдуз һадисәсинин сәбәби кичик космик зәррәчикләр селинин (30—40) км/сан вә даһа бөјүк сүр'әтлә јер атмосферинә дахил олмасы вә атмосфер тәрәфиндән чидди тормозланмасы нәтичәсиндә әријәрәк алышмасыдыр. Метеорларын әксәријјәти атмосферин (80—120) км һүндүрлүјүндә алышыр вә (30—40) км һүндүрлүкдә тоз һалында атмосферә гарышараг сөнүр. Ахан улдузларын спектрал тәдгигатлары көстәрир ки, онларын спектрләри әсасән ионлашмыш калсиумун Н вә К, нејтрал дәмир, калиум, ионлашмыш алүминиум, силисиум вә башга елементләрин емиссија хәтләриндән ибарәтдир. Үмумијјәтлә метеорларын кимјәви тәркиби кометләрин нүвәсинин вә сонракы параграфда таныш олачағымыз метеоритләрин кимјәви тәркибиндән принсипчә фәргләнмәмәлидир. Лакин метеор зәррәчикләрин механики гурулушу башга олмалыдыр. Онларын Јер атмосфериндә тормозланма сүр'әтләринин гијмәти буну сүбут едир: метеор зәррәчикләр елә тормозланыр ки, санки, онларын сыхлығы металын сыхлығындан кичикдир. Бу ону көстәрир ки, метеор зәррәчикләр чох кичик зәррәчикләрдән тәшкил олунмуш вә бу зәррәчикләрин арасы тез учан мүһитлә долдуғундан онлар чох мәсамәлидир. Метеорларын мүшаһидәсиндә фотографија вә радиолокасијадан кениш истифадә едилир. (3—10) м далғаларда ишләјән радиолокаторлар васитәсилә метеор ахандан сонра архасында галан ионлашмыш һава сүтунундан әкс олунан импулс гејдә алыныр. Бундан истифадә едәрәк метеорун һүндүрлүјү вә сүр'әти тә'јин олунур. Ме-

теор ахандан сонра парлаг из галыр. Бу, ионлашмыш һава сүтунунда молекулларын һәјәчанланмасынын нәтичәсидир. Һәмин парлаг из бир нечә санијәдән бир нечә дәгигәјәдәк јашајыр. Парлаг изин чох давам етмәси һәм кеосентрик сүр'әтдән, һәм дә күтләдән асылыдыр. Бә'зән метеор сели ири күтләли компонентләрдән ибарәт олур. Бунлар чох парлаг метеорлардыр вә *болид* адланырлар.

Метеорларын мәншәји мә'лумдурму? § 106-да көрдүк ки, парчаланараг метеор селинә чеврилән кометләр вардыр, мәсәлән, Биела комети. Бу комет јох оландан сонра орбити һәмин кометин орбити үзәринә дүшән метеор сели дөнә-дөнә мүшаһидә олунмушдур. Бурадан дејә биләрик ки, метеорлар кометләрин дағылмасы нәтичәсиндә јаранныр. Буну сүбут едән әлавә чохлу дәлилләр дә вардыр. Бу дәлилләрлә таныш олаг. Метеорларын көрүнмә тезлији вә онларын Күнәш системи фәзасында пајланмасы һәмишә мүнтәзәм олмур. Далбадал бир нечә кечә көјүн ејни областында метеор селини мүшаһидә едәрәк онларын изләрини әкс тәрәфә узатсаг көрәрик ки, бу изләр көјүн ејни нөгтәсиндә јығышыр. Бу нөгтә метеор селинин *радианты* адланыр. Белә мүшаһидәләрдән мә'лум олмушдур ки, һәр бир метеор селинин радианты көјүн мүәјјән нөгтәсиндә олмагла јанашы, һадисәнин тәкрарланмасы да дөврүдүр. Мәсәлән, һәр ил ијулун орталарындан августун орталарынадәк радианты Персеј бүрчүндә олан метеорлар сели мүшаһидә олунур. Бунлара бүрчүн адына ујғун олараг *Персеидләр* дејилир; јахуд һәр ил апрелин орталарында вә нојабрын орталарында радиантлары ујғун олараг Лира вә Шир бүрчүндә олан метеор селләри мүшаһидә олунур: бунлара ујғун олараг *Лиридләр* вә *Леонидләр* дејилир. Бир марағлы чәһәт дә орасындадыр ки, бу метеор селләри һәр ил ејни фәаллыгда олмур—фәаллыг мүәјјән периодла максимум олур. Бу заман метеор сели о гәдәр күчлү олур ки, бу һадисә *улдуз јағышы* адланыр. Бурадан белә нәтичәјә кәлирик ки, метеор маддәси орбит үзрә бәрабәр пајланмыр—орбитин бир јериндә бу чох, башга јериндә хејли аздыр. Јер, метеор селинин сых олдуғу метеор орбити саһәсиндән кечәндә мәһз улдуз јағышлары мүшаһидә олунур. Беләликлә дөврү мүшаһидә олунан метеор сели вахты илә мөвчуд олан периодик кометин парчаланмасы, бу парчаларын әввәлки орбит үзрә гејри-бәрабәр пајланмасы вә Јерин бу орбитин мүхтәлиф нөгтәләриндән периодик олараг кечмәсинин нәтичәсидир.

Һеч бир метеор селинә аид олмајан, башга сөзлә радианты олмајан метеор селләри дә олур. Бунлар *спорадик метеор сели* адланыр.

§ 108. МЕТЕОРИТЛӘР

Метеоритләр елә нисбәтән бөјүк күтләјә малик објектләрдир ки, онлар Јерин чазибә саһәсинә дахил оларкән метеорлар кими атмосфердә јаныб јох олмур вә јерин сәтһинә дүшүр. Индијәдәк јердә 3000-ә гәдәр метеорит тапылыб. Күман етмәк олар ки, ибтидаи инсанлар бу метеорит парчаларындан метал аләтләри дүзәлтмәк үчүн истифадә едирләрмиш. Кимјәви тәркибләринә көрә

метеоритләр үч група бөлүнүр: даш (аеролит), дәмир-даш (сидеролит) вә дәмир (сидерит) метеоритләр. Аеролитин тәркибиндә 47% оксикен, 21% силисиум, 16% дәмир, 14% магнезиум вә 2% гарышыг вардыр. Бурадан көрүнүр ки, даш метеоритин тәркибиндә O вә Si елементләринин нисби мигдары јер габығындакына јахындыр, метал исә чохдур. Сидеролитин тәркибиндә 55% дәмир, 19% оксикен, 12% магнезиум, 8% силисиум, 5% никел вә 1% гарышыг вардыр. Сидерит 91% дәмирдән, 8% никелдән, 0,5% кобалтдан вә галан чох аз һиссә фосфор, күкүрд вә башга гарышыглардан ибарәтдир. Метеорит нөвләринин кимјәви тәркибләринин мүгајисәсиндән онлара верилән адларын тәркибләринә ујғун олдуғу көрүнүр. Јердә тапылан метеоритләрин әксәријјәти дәмир метеоритдир. Әслиндә исә даш метеорит әксәријјәти (80—90%-и) тәшкил етмәлидир. Бу ујғунсузлуг онунла әлагәдардыр ки, даш метеорит атмосфердә даһа кичик гәлпәләрә парчаланыр вә бунлары јердә тапмаг чәтинләшир. Метеорит јер атмосфериндән кечәндә сүртүнмә нәтичәсиндә бәрк гызыр (2500—3000°-дәк), сәтһи бухарланыр вә јерә дүшән метеорит јанмыш даш вә ја дәмир галығыны хатырладыр. Ән бөјүк метеоритләрдән бири Чәнуби-Гәрби Африкаја дүшмүш Гоба метеоритидир, онун күтләси 60 тондур. Русија әразисиндә тапылан метеоритләр ичәрисиндә ән мәшһуру Сихоте-Алин дәмир метеоритидир (12 феврал 1947-чи илдә Узаг Шәргдә Сихоте-Алин дағ силсиләсинә дүшүб); бу метеорит, 2,4 км^2 саһәдә үмуми күтләси 100 тон олан дәмир гәлпәләриндән ибарәтдир; һәмин гәлпәләр Јерин сәтһиндә чохлу дәрин гыфлар әмәлә кәтирмишләр. Ән бөјүк метеоритләрдән бири Палласово Дәмир метеоритидир, онун күтләси 687 кг-дыр. Метеоритләри өјрәнмәјин елми әһәмијјәти бөјүкдүр (Ајдан кәтирилән сүхур нүмунәләри мүстәсна олмагла метеоритләр һәләлик јеканә космик објектләрдир ки, билаваситә јер лабораторијаларында өјрәнилир).

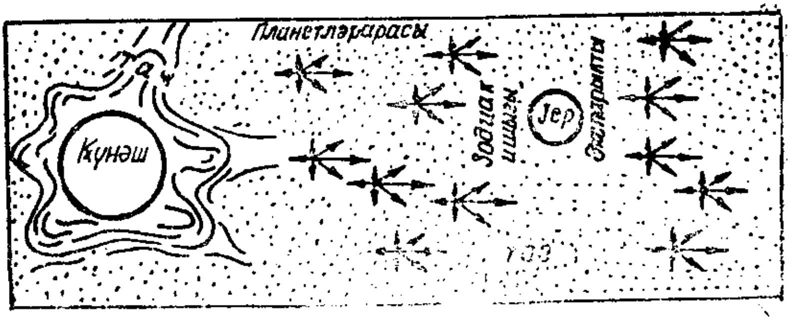
Гурулушуна вә јаранма шәраитинә көрә метеоритләри ики група бөлүрләр: *дифференсасија олунмуш метеоритләр вә хондритләр.* Биринчиләр бөјүк чисмин (ола билсин астероидин) дағылмасындан әмәлә кәлмишләр. Хондритләр исә кичик һиссәчикләрин бирләшмәсиндән әмәлә кәлмишләр; ола билсин ки, бу кичик һиссәчикләр маддәнин планетә гәдәр мәрһәләсинин—протопланет думанлығынын тәркиб һиссәсидир; әкәр беләдирсә хондритләри өјрәнмәк Күнәш системи планетләринин мәншәјини өјрәнмәк үчүн хүсусилә әһәмијјәтә маликдир.

Хондрит «хонда» сөзүндән көтүрүлүб; хонда диаметри 1 мм олан силикат күрәчикдир вә белә күрәчик, мүәјјән газ мүһити (мәсәлән, протопланет маддәси) сојујаркән сыхылараг бир јерә топлашан маддә дамчысыдыр. Аз сајда елә хондритләр тапылмышдыр ки, онларын учу үчбучаг шәкилли сәтһә маликдир вә белә хондритләрдә учучу маддәнин нисби мигдары күнәшдәки кимидир. Күман едилир ки, бучаглы хондрит һәлә Күнәш вә планетләр олмајанда јаранан мүһитин—протопланет думанлығынын елә мәрһәләсини әкс етдирирләр ки, о мәрһәләдә думанлығын маддәләри бир-биринә чох јахшы гарышмышлар. Әлбәттә мемеоритләрин јашы ән чоху бизим планет системинин јашы

тәртибдә олмалыдыр. Доғрудан да метеоритләрин тәркибиндә олан аз мигдарда радиактив елементләрә көрә һесаб едилир ки, метеоритләрин јашы 0,5·10⁹-дан 4,5·10⁹ илә гәдәр ола биләр. Күнәш системи вә улдузларын мәншәји проблемләриндән бәһс едәндә хондритләрин нә кими рол ојнаја билмәсиндән бир даһа данышачағыг.

§ 109. ЗОДИАК ИШЫҒЫ ВӘ ӘКСПАРЫЛТЫ

Биз § 92-дә Күнәш тачындан бәһс едәндә көрдүк ки, F компоненти билаваситә тача аид дејилдир. Чох зәиф полјаризә олунмуш бу компонент Күнәшлә Јер арасындакы фәзада микроскопик өлчүлү тоз һиссәчикләриндән Күнәш ишығынын сәпилмәси тәзаһүрүдүр.



Шәкил 134. Планетләрарасы фәзада Күнәш шүаланмасынын тоз һиссәчикләриндән сәпилмәси; охларын узунлуғу сәпилән шүаларын интенсивлији илә мүтәнасибдир.

Бу тозчугларын Күнәш ишығыны сәпмә хүсусијјәти еләдир ки, шүанын дүшдүјү истигамәтдә сәпилмә ән бөјүк еһтималлыдыр—бу истигамәтдә сәпилән ишығын интенсивлији ән бөјүкдүр. Бу, 134-чү шәкилдә тәсвир олунмушдур. Һәмин шәкилдән көрүнүр ки, ән интенсив сәпилмә Күнәш јахынлығында олмалыдыр. Бу, «јаланчы тач» мәнзәрәсидир. Күнәш ишығынын Күнәш—Јер арасы фәзада микроскопик тозлардан сәпилмәси өзүнү Күнәшдән бөјүк мәсафәләрдә дә көстәрир. Белә ки, јазда вә пајызда хүсусилә тропик (вә орта) енликләрдә еклиптика үфүгдән хејли јухары галхдығындан јазда ачыг ајсыз ахшамлар гәрбдә, пајызда сәһәрә јахын шәрг тәрәфдә еклиптика үзрә јајылан ишыгланма мүшаһидә олунур. Бу ишыгланма үфүгдән узаглашдыгча һәм зәифләјир, һәм дә санки парлаг конусун, јахуд пирамиданын отурачағындан онун тәпәсинә доғру енсизләшир. Бу ишыгланма еклиптика бојунча олдуғундан она *зодиак ишығы* дејилир. Зодиак ишығынын ән парлаг областы Күнәш тәрәфдә үфүг јахынлығындадыр; бу област ачыг вә ајсыз кечәләрдә улдуз көјүндә мүшаһидә олунан Ағ Јол—Кәһкәшан парлаглығында олур. Күнәшдән 180°-лик бучаг мәсафәсиндә, јә'ни Күнәшдән әкс тәрәфдә Күнәш батандан дәрһал сонра вә ја Күнәш доғмаздан бир гәдәр әввәл зодиак ишығынын пар-

лаглығы бир гәдәр бөјүјүр вә диаметри $\sim 10^{\circ}$ олан еллипс шәкилли думанлыға бәнзәр ләкәни сечмәк олур; бу, *экспарылты* адланыр. Планетләрарасы микроскопик тоз мүһитинин консентрасијасы чох кичик -10^{-22} -10^{-23} $г/см^3$-дур, одур ки, бу мүһит планетләрин һәрәкәтинә һеч бир манечилик төрәтмир.

Јерин сүн'и пејкләри васитәсилә зодиак ишығы вә экспарылты интенсив өјрәнилир.

Х ФӘСИЛ

УЛДУЗЛАР

§ 110. ҮМУМИ МӘ'ЛУМАТ

Улдузлар Каинатда ән чох јајылмыш көј чисимләридир. Космик маддәнин күтләсинин 98%-и улдузлара мәхсусдур. Улдузлар Күнәшәбәнзәр објектләрдир, јә'ни ишыг вә истилик енержисинә малик олан газ күрәләридир. Әлбәттә, улдузлар күтлә, радиус вә ишыглыгларына көрә бир-бирләриндән чидди фәргләнир. Елә улдузлар вар ки, онларын радиуслары Күнәшинкиндән јүз дәфәләрлә кичикдир, елә улдузлар да вар ки, онларын радиуслары Күнәшинкиндән јүз дәфәләрлә, һәтта мин дәфә бөјүкдүр. Улдузларын күтләси Күнәшинкиндән $\sim$ 50 дәфә кичик вә ја $\sim$80 дәфә бөјүк ола билир. Нәһајәт, елә улдузлар вар ки, онларын ишыглығы Күнәшинкиндән јүз мин дәфә бөјүк, јахуд јүз мин дәфә кичикдир.

Улдузларын дахили гатларында вә атмосфериндә физики шәраит мүхтәлифдир. Бу мүхтәлифлик онларын *күтләсиндән, радиусундан вә ишыглығындан* чидди сурәтдә асылыдыр. Одур ки, бу параметләрин тә'јини улдузларын тәдгигиндә сон дәрәчә әһәмијјәтлидир.

Улдузларын спектләри дә бир-бириндән чидди фәргләнир. Улдузларын әксәријјәтинин спектри характер е'тибарилә Күнәшкинә бәнзәјир, јә'ни парлаг кәсилмәз спектр фонунда удулма хәтләриндән ибарәтдир. Лакин кәсилмәз спектрдә енержинин пајланмасына, спектрдә удулма хәтләринин сајы вә интенсивлијинә көрә улдузларын спектрләри бир-бириндән чидди сурәтдә фәргләнир. Гејд етмәк лазымдыр ки, улдузларын әксәријјәтинин парлаглығы узун мүддәт сабит галыр, јә'ни онларын фотосферләриндә шүа таразлығы шәрти өдәнилир. Белә улдузлары *нормал улдузлар* адландырырлар.

Әлбәттә, нормал улдузлардан фәргли олараг спектри вә парлаглығы дәјишән улдузлар да вардыр. Бир груп улдузун спектриндә удулма хәтләри илә јанашы парлаг хәтләр дә (емиссија хәтләри) мүшаһидә едилир. Елә улдузлар вар ки, онларын парлаглыглары вә радиуслары әсасән чох сабит периодла дәјишир, бу улдузлар дөјүнән дәјишән улдузлар групуну тәшкил едир. Улдузларын бир групунда физики шәраит чидди сурәтдә дәјишир. Белә улдузларын хүсуси бир групу партлајыш характерли дәјишән улдузлардыр. Дедикләримиз-

дән башга бурада адларыны чәкмәдиіимиз бир сыра улдуз нөвләри дә вардыр.

Таныш олачағымыз илк улдузлар нормал улдузлар олачагдыр. Лакин әввәлчә улдузларла әлагәдар олан бә'зи үмуми мәсәләләрә бахаг.

§ 111. ТРИГОНОМЕТРИК ПАРАЛЛАКС ҮСУЛУ ИЛӘ УЛДУЗЛАРА ГӘДӘР МӘСАФӘНИН ТӘ'ЈИНИ

Улдузун, јахуд башга објектин иллик параллаксына көрә она гәдәр мәсафәнин тә'јини *тригонометрик параллакс үсулу* адланыр. Бу, фундаментал үсул һесаб едилир. Әслиндә бу үсулла биз артыг танышыг. § 19-да көрдүк ки, улдузун иллик параллаксы мә'лум оларса, онда (1.34) дүстуру васитәсилә она гәдәр мәсафәни парсекләрлә тапмаг мүмкүндүр. Лакин тригонометрик параллакс үсулу илә јалныз јахын улдузлара гәдәр мәсафәни тапмаг мүмкүндүр. Белә улдузларын сајы исә чох аздыр (тәгрибән 7500). Бунун сәбәби әксәр улдузларын биздән чох-чох узагларда олмасыдыр. Бу чәһәт исә һәмин улдузларын иллик параллаксыны лазыми дәгигликлә тапмаға имкан вермир. Белә ки, иллик параллаксын өлчүлмәсиндәки дәгиглик 0″,005-дән бөјүк дејил, јә'ни 200 пс-дән бөјүк мәсафәни тә'јин етмәк олмур. Улдузун иллик параллаксы үчүн $\pi = 0'',02$ алымышдырса, бу бучағын өлчүлмәсиндәки хәта $\pm 0'',005$ олдуғундан $r = \frac{1}{\pi}$ дүстурундан r мәсафәси үчүн 40 пс-дән 67 пс-ә гәдәр гијмәтләр алынар, һәтта Јерә ән јахын улдуз олан Сентаврын α-сына гәдәр мәсафәни тригонометрик параллакс үсулу илә тә'јин етдәндә белә 2% хәта едилир. Бурадан көрүрүк ки, јалныз бир нечә он парсек мәсафәдә олан улдуза гәдәр мәсафәни тригонометрик параллакс үсулу илә кафи дәгигликлә тә'јин етмәк олар. Бир сөзлә 200 пс-дән бөјүк мәсафәдә олан улдузлара гәдәр мәсафәни тә'јин етмәк үчүн тригонометрик параллакс үсулу тәтбиг едилмир. Белә узаг улдузлара (јахуд башга објектләрә) гәдәр мәсафәни тә'јин етмәк үчүн мүхтәлиф үсуллар вардыр вә јери кәлдикчә һәмин үсулларла таныш олачајыг.

§ 112. УЛДУЗУН ИШЫГЛЫҒЫ

Дедик ки, објектин ишыглығы ону сәчијјәләндирән мүһүм параметрләрдәндир. Улдуза гәдәр r мәсафәси вә јер атмосфери сәрһәддиндә улдузун E^* ишыгланмасы мә'лум оларса, онун L^* ишыглығыны

$$L^* = 4\pi r^2 E^* \tag{10.1}$$

дүстуру илә ифадә едирик. Улдузун L^* ишыглығы илә M^* мүтләг улдуз өлчүсү арасында, онун Јердә јаратдығы E ишыгланмасы вә m көрүнән улдуз өлчүсү арасындакы (7.8) әлагәсинә охшар

$$lg\ \frac{L^*}{L_\odot} = 0{,}4(M^\odot - M^*) \qquad (10.2)$$

әлагәсини јаза биләрик: бурада $M^\odot$, $L_\odot$—ујғун олараг Күнәшин мүтләг улдуз өлчүсү вә ишыглығыдыр. Улдузларын (вә башга објектләрин) ишыглығыны адәтән Күнәшин ишыглығы ваһидләри илә ифадә етмәк, јә'ни $L = \frac{L^*}{L_\odot}$ шәклиндә вермәк әлверишлидир. Онда (10.2) дүстуру әвәзинә

$$lg\ L = 0{,}4(M^\odot - M^*) \qquad (10.3)$$

јазарыг. Бу дүстура дахил олан мүтләг улдуз өлчүсүнүн тә'јин олунмасы үсулундан асылы олараг улдузун ишыглыг визуал, фотографик болометрик вә с. кими адланыр.

Мүтләг улдуз өлчүләри M_1 вә M_2 олан ики улдуз үчүн (10.3) дүстуруна әсасән

$$\lg \frac{L_1}{L_2} = 0{,}4(M_2 - M_1) \qquad (10.4)$$

аларыг; бурада L_1, L_2 мүтләг улдуз өлчүләри ујғун олараг M_1 вә M_2 олан улдузларын ишыглығыдыр.

Мүтләг улдуз өлчүләри $+19^m$ -дән—9^m -ә гәдәр олан чох мүхтәлиф улдузлар вардыр. Бу о демәкдир ки, ишыглығы Күнәшинкиндән $\sim 10^5$ дәфә кичик вә $\sim 10^5$ дәфә бөјүк олан улдузлар вардыр.

I һиссә

НОРМАЛ УЛДУЗЛАР

§ 113. НОРМАЛ УЛДУЗЛАРЫН СПЕКТРАЛ ТӘСНИФАТЫ

Һәтта ади көзлә мүшаһидәдән асанлыгла көрмәк олур ки, улдузлар рәнкләринә көрә бир-бириндән фәргләнир. Улдузлар арасында гырмызы, сары, ағ вә мави рәнкли улдузлара тәсадүф едирик. Бу улдузларын спектрләри бир-бириндән чох кәскин фәргләнир. Улдузларын спектрләринин мүхтәлифлији онларда физики шәраитин мүхтәлифлији илә әлагәдардыр. Бурада әсас ролу улдузун еффектив температуру ојнајыр. Биринчи нөвбәдә температурдан асылы олараг бә'зи кимјәви елементләрин хәтләри спектрдә зәифләјир, бә'зиләринки исә күчләнир, јахуд бир улдузун спектриндә олмајан хәтләр дикәриндә јараныр вә әксинә. Улдузларын спектрләриндә бә'зи хәтләр температура о гәдәр һәссасдыр ки, бу хәтләрә көрә улдузларын температурларыны көзәјары да гијмәтләндирмәк олур.

Улдузларын спектрләрини тәснифата ајырмаг үчүн мүмкүн гәдәр чох сајда улдузун спектрограмларыны алмаг лазым олмушдур. 1885-

чи илдән е'тибарән бүтүн көјү әһатә етмәклә мүнтәзәм олараг улдузларын спектрограмлары топланмышдыр. Чох зәһмәт тәләб едән бу ишин икинчи мәрһәләси улдуз спектрләрини тәдгиг етмәк, онлары системләшдирмәк вә нәһајәт улдуз спектрләринин каталогларыны тәртиб етмәк олмушдур. 1918—1924-чү илләрдә АБШ-ын Һарвард Университетиндә Һенри Дрепер бу бөјүк ишин нәтичәләрини 9 чилдлик улдуз каталогунда чап етдирди (гыса олараг бу HD каталогу адланыр). HD каталогунда 225 330 улдузун характеристикалары вә спектр синфи верилмишдир. Дрепер каталогунда өз әксини тапан вә улдуз спектрләринин Һарвард тәснифаты адланан спектрал тәснифатдан азачыг дәјишикликлә инди дә кениш истифадә олунур. Бу тәснифата көрә охшар спектрә малик улдузлар ејни синфә аид едилир вә синифләр латын әлифбасы илә ашағыдакы ардычыллыгла ишарә олунур:

$$O,\ B,\ A,\ F,\ G,\ K, M.$$

Бу ардычыллыгла улдузларын еффектив температуру азалыр. Һәр бир синфин өзүндәки кичик фәргләри дә мүәјјән етмәк үчүн верилмиш спектрал синифләр өзләри дә 10 һиссәјә—алтсинифләрә ајрылыр (О синфи 04-дән башлајыр вә 09,5-дә гуртарыр, сонракы синифләр Во, В1 В2,.., В9, Ао, А1, А2,...., А9, вә с. алтсинифләр ардычыллығы илә дүзүлүрләр). Бурада бөлкү еләдир ки, мәсәлән В9 алтсинифинә аид олан улдуз Ао-а даһа јахындыр, јахуд F1 алтсинфинә аид олан улдуз Ао-а даһа јахындыр вә с.

Һазырда һарвард варианты бир гәдәр дәјишдирилмишдир вә инди ардычыллыг беләдир:

```
                      C
                     /
O—B—A—F—G—K—M
                     \
                      S
```

Бурада С вә S синифләринә мәхсус улдузлар ујғун олараг К вә М синифләринә мәхсус улдузлара бәнзәјир. С синфи К синфиндән онунла фәргләнир ки, С синфинә мәхсус улдузларын спектриндә карбон молекулу (C_2) вә сиан (CN) бирләшмәләринин удулма золаглары вардыр. Әкәр бу, улдуз атмосферинин кимјәви тәркибиндәки фәрглә әлагәдардырса, онда дејә биләрик ки, С синфинә мәхсус улдузларда К синфинә мәхсус улдузлара нисбәтән карбонун мигдары чохдур. Одур ки, бу улдузлара карбонла зәнкин (чохкарбонлу) улдузлар да дејилир. S синфинә мәхсус улдузлар М синфинә мәхсус улдузлардан онунла фәргләнир ки, онларын спектрләриндә титан оксиди (TiO) әвәзинә надир торпаг елементләринин оксидләри, биринчи нөвбәдә сиркониум оксидинин (ZrO) удулма золаглары вардыр. 135-чи шәкилдә мүхтәлиф спектр синифләринә мәхсус улдузларын спектрләринин фотошәкли верилмишдир.

Спектрал тәснифатын физики әсасларына бахаг. Дедик ки, спектрал тәснифатда әсас мејар удулма хәтләринин вә золагларынын ин-

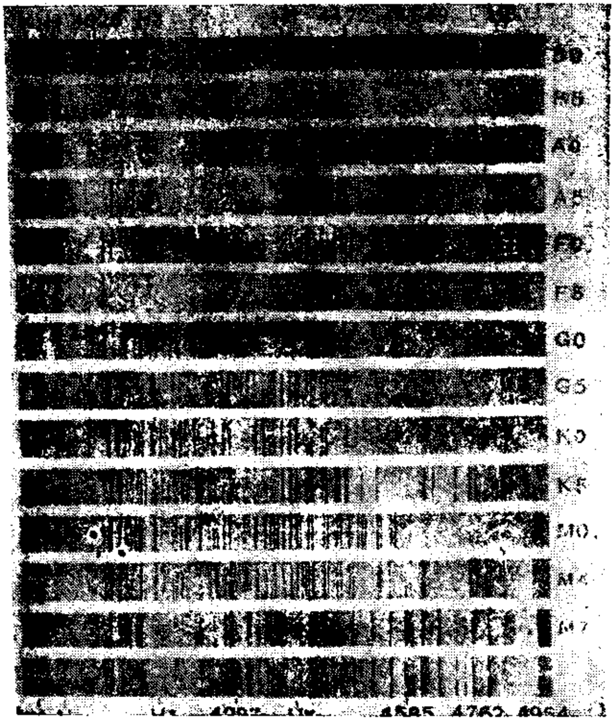
тенсивлиjидир. Бу исә һәр шеjдән әввәл улдузун еффектив температурундан асылыдыр. Одур ки, температурдан асылы олараг сепктрин дәjишмәсини изләjәк.

Ән соjуг улдузларын (M,S) спектрләри *молекулjар золаглар вә нејтрал метал атомлары хәтләри илә* зәнкиндир. Бу улдузларын *кәсилмәз спектриндә инфрагырмызы шүаланма күчлүдүр.*

Температурун мүәjjән гәдәр артмасы илә молекуллар диссосасиjа едир вә бунун нәтичәсиндә спектрдә молекулjар золаглар демәк олар ки, итир, спектр нејтрал метал атомунун удулма хәтләри илә сәчиjjәләнир (K синфи). Белә улдузларда *спектрин гырмызы областында кәсилмәз шүаланма күчлү олур.*

Температурун сонракы артымы ионлашма потенсиалы кичик олан метал атомларынын ионлашмасына сәбәб олур. Одур ки, спектр хеjли мүрәккәбләшир — *һәм нејтрал, һәм дә ионлашмыш метал хәтләри илә* зәнкин олур (G синфи). Бу улдузларда *спектрин визуал һиссәсиндә кәсилмәз шүаланма күчлүдүр.*

Температур даһа бөjүк оланда *спектрдә ионлашмыш метал атомларынын интенсивлиjи даһа да бөjүкдүр (F синфи). Белә улдузларын кәсилмәз спектрин узун далғалар тәрәфдән фотографик оластында шүаланма күчлү олур.*



Шәкил 135. Улдузларын спектрал тәснифаты.

G вә һәтта *F* синфи үчүн о гәдәр дә сәчијјәви олмајан *һидрокенин Балмер серијасынын хәтләри,* температуру *F* синфининкиндән мүәјјән гәдәр бөјүк олан улдузларын спектриндә *ән интенсив хәтләр олур* (*А* синфи). Бу улдузларда *спектрин гыса далға тәрәфдән фотографик областында кәсилмәз шүаланма кәскин артыр.*

Температурун артмасы илә спектрин көрүнән областында *нејтрал һелиумун интенсив хәтләри* јараныр вә спектри бу хәтләр сәчијјәләндирир (*В* синфи). Белә улдузларын спектри үчүн *спектрин мави областында кәсилмәз шүаланма чох характерикдир.*

Нәһајәт даһа исти улдузларда һелиум хејли мигдарда ионлашыр вә нәтичәдә көрүнән областда *ионлашмыш һелиумун интенсив хәтләри спектри сәчијјәләндирән әсас хәтләр олур* (*О* синфи). Бу улдузларын спектриндә *ултрабәнөвшәји областда кәсилмәз шүаланма чох характерикдир.*

Биз јухарыда јалныз һәр бир синфә мәхсус улдузун спектрини сәчијјәләндирән хәтләри көстәрдик. Бунлардан башга һәр бир синфин спектриндә чох сајда бә'зи дикәр хәтләрин дә олдуғуну нәзәрә алмаг лазымдыр. Белә ки, О синфинә мәхсус улдузларын спектриндә азот, оксикен, карбон, силисиум вә бә'зи башга елементләрин чохгат ионлашмыш хәтләри дә вардыр; В синфинә мәхсус улдузларын да спектрләриндә бу елементләрин хәтләри вардыр, лакин бу хәтләр ионлашма дәрәчәси кичик олан атомлара аиддир. *А* синфинин спектриндә нејтрал вә ионлашмыш калсиум атомларынын хәтләри, нејтрал дәмир атомларынын хәтләри дә вардыр. G, F, A, B синифләринә мәхсус улдузларын спектрләриндә һидрокенин Балмер серијасынын хәтләри G синфиндән исти улдузлара кечдикчә күчләнир, А синфинин улдузларынын спектриндә максимум интенсивлијә малик олур, В синфиндә зәифләјир. Ҝ синфинин илк алт синифләринә мәхсус улдузларын сепктриндә чох сајда нејтрал метал атомлары хәтләри илә јанашы ионлашмыш калсиум хәтләри, нејтрал дәмир вә ионлашмыш титанын бир нечә хәттинин бир-биринә гарышмасындан алынан вә спектрин 4305—4315 Å областында јерләшән удулма золағы вардыр (бу бә'зән G удулма золағы да адланыр). К5-дән сојуг улдузлара кечдикчә онларын спектриндә TiO золаглары көрүнмәјә башлајыр.

О синфинин улдузлары *мави* рәнкдәдир (Кәртәнкәлә бүрчүнүн 10-чу улдузу кими); В синфинин улдузлары *ачыг мави рәнкдә* көрүнүрләр (Гыз бүрчүнүн α улдузу-Сүнбүл кими);

А синфинин улдузлары *ағ* рәнкдә көрүнүр (Лиранын α-сы—Вега, Бөјүк Көпәјин α-сы—Сириус кими);

F синфинин улдузлары *ачыг-сары* рәнкдәдир (Кичик Көпәјин α-сы—Просион кими);

G синфинин улдузлары *сарыдыр* (Күнәш кими);

Ҝ синфинин улдузлары *гырмызымтыл (нарынчы)* рәнкдәдирләр (Арабачынын α-сы—Арктур, Буғанын α-сы—Әлдебаран кими);

М синфинин улдузлары *гырмызыдыр* (Орионун α-сы—Бәтәлкејзе кими).

§ 114. КОЛОРИМЕТРИЈАНЫН ӘСАСЛАРЫ

Улдузларын шүаланмасынын, онларын спектриндә енержинин пајланмасынын, мүхтәлиф фотометрик системләрдә улдуз өлчүләринин тә'јини колориметријанын әсас мәсәләләридир.

Мә'лумдур ки, Күнәш чох парлаг олдуғундан онун спектриндә енержинин пајланмасыны билаваситә мүтләг ваһидләрлә ифадә етмәк практик чәһәтдән нисбәтән асандыр. Бу мәсәләни парлаглығы 8^m—9^m улдуз өлчүсүндән зәиф олмајан улдузлар үчүн дә һәлл етмәк мүмкүндүр. Чүнки, јалныз белә парлаг улдузларын спектрләрини бөјүк дисперсија илә алмаг олур. Белә спектрләр улдузун шүаланмасы һаггында даһа кениш мә'лумат әлдә етмәјә имкан верир.

Әксәријјәти тәшкил едән зәиф улдузларын спектрини бөјүк дисперсија илә алмаг мүмкүн олмадығындан бу улдузлар һаггында әсас мә'лумат спектрин мүәјјән областларында онларын шүаланма селини өлчмәк вә бунунла да һәмин областларда улдуз өлчүләрини тә'јин етмәклә әлдә едилир. Башга сөзлә ишыг сүзкәчләриндән истифадә етмәклә спектрин мүхтәлиф јерләриндә шүаланма селини өлчәрәк улдузун спектриндә енержинин пајланмасы һаггында мүәјјән тәсәввүр әлдә етмәк мүмкүндүр.

Парлаг улдузларын кәсилмәз спектриндә енержинин пајланмасынын тәдгиги көстәрир ки, хүсусилә исти улдузларын шүаланмасы Планк шүаланмасындан кәскин сурәтдә фәргләнир. Одур ки, улдузун максимум шүаланмасына ујғун далға узунлуғуна әсасән, јә'ни Вин ганунуна әсасән тапылан шүаланма температуру һәлә улдузун реал температуру дејилдир. Бурада даһа објектив кәмијјәтдән истифадә олунмалыдыр. Белә кәмијјәтләрдән бири *улдузун рәнк көстәричисидир. Улдузун рәнк көстәричиси онун ики фотометрик системдә тә'јин олунан улдуз өлчүләри фәргидир.* Рус дилиндә олан астрономија әдәбијјатларында **«рәнк көстәричиси» термини әвәзинә «колор индекс»** (CI термини ишләдилир (инкилисчә елә рәнк көстәрчиси демәкдир). Рәнк көстәричиси кими улдузун фотографик вә фотовизуал улдуз өлчүләри фәргини көтүрмәк олар, онда колор индекси

$$CI = m_{g} - m_{pv} \qquad (10.5)$$

шәклиндә јазарыг. *U, B, V* фотометрик системдә адәтән ики рәнк көстәричисиндән истифадә олунур: әсас рәнк көстәричиси *(B—V)* вә ултрабәнөвшәји рәнк көстәричиси *(U—B)*.

Улдуз өлчүләри шкаласы ишыгланмаларын нисбәтиндән тапылыр. Бу заман сыфырынчы улдуз өлчүсү ихтијари сечилир. Шәрти гәбул едилмишдир ки, Ао синфинә мәхсус улдузун *(B—V) рәнк* көстәричиси сыфырдыр. Ајдындыр ки, бу шәрт дахилиндә $(B-V)<0$ олан улдузлар Ао-дан исти улдузлара, $(B-V)>0$ оланлар исә Ао-дан сојуг улдузлара аид олар. Чүнки улдуз исти олдугча онун максимум шүаланмасы спектрин бәнөвшәји тәрәфинә, сојуг олдугча исә гырмы-

зы тәрәфинә сүрүшүр, дикәр тәрәфдән исә бөјүк парлаглыға кичик улдуз өлчүсү ујғундур.

Колориметријанын әсас мәсәләләриндән бири мүхтәлиф фотометрик системләрдә улдузларын рәнк көстәричиләрини тә'јин етмәк вә бу рәнк көстәричиләри илә улдузун температуру арасында әлагәләр јаратмагдыр. Болометрик дүзәлиш адланан кәмијјәт Δm_b дә колориметрија үсулу илә тапылыр. Δm_b болометрик дүзәлиш, болометрик улдуз өлчүсү (m_b вә ја M_b) илә визуал улдуз өлчүсү (m_v вә ја M_v) фәргинә бәрабәрдир:

$$\Delta m_b = m_b - m_v = M_b - M_v. \qquad (10.6)$$

Атмосфердәнкәнар космик тәдгигат үсулларынын тәтбигинә гәдәр болометрик дүзәлиш һәр бир улдуз үчүн нәзәри тә'јин олунурду. Атмосфердәнкәнар астрономија үсуллары исә Δm_b-ни билаваситә өлчмәјә имкан верир. Хүсусилә чох исти улдузларын узаг ултрабәнөвшәји шүаланмасыны атмосфердән кәнарда өлчмәклә болометрик дүзәлишин нәзәри гијмәтләри дәгигләшдирилмишдир. 9-чу чәдвәлдә бир сыра улдуз үчүн болометрик дүзәлишин гијмәтләри верилмишдир.

Чәдвәл 9

Температурун мүхтәлиф гијмәтләриндә болометрик дүзәлиш.

Еффектив температуру, К	Δm_b	Еффектив температуру, К	Δm_b
3000	—2,50	6000	—0,02
4000	—1,00	10000	—0,36
5785 (Күнәш)	—0,07	20000	—2,65
		50000	—4,55

Чәдвәлдән көрүнүр ки, еффектив температуру Күнәшинкинә јахын (~6000 K) олан улдуз үчүн болометрик дүзәлиш сыфра јахындыр. Бунун сәбәби белә улдузун әсас шүаланмасынын јер атмосфериндән демәк олар ки, манеәсиз кечмәсидир (бу шүаланма спектрин көрүнән областындадыр). $T \simeq 6000$ K-дән сојуг вә исти улдузлара тәрәф Δm_b-нин мүтләг гијмәтчә бөјүмәсинә сәбәб биринчиләрдә әсас шүаланманын инфрагырмызы, икинчиләрдә исә ултрабәнөвшәји тәрәфә сүрүшмәсидир (әлбәттә, һәмишә $\Delta m_b < 0$ олмалыдыр, чүнки јер атмосфериндә вә оптик системдә шүаланма һөкмән зәифләјир, јә'ни һәмишә $m_b < m_v$, јахуд $M_b < M_v$-дир (бах: чәдвәл 3, § 72).

Билирик ки, мүтләг улдуз өлчүсүнүн тә'јин олундуғу фотометрик системдән асылы олараг ишыглыг нөвләри дә мүхтәлифдир: *визуал ишыглыг, фотографик ишыглыг, болометрик ишыглыг.* (10.6)-дан

$$M_b = M_v + \Delta m_b \qquad (10.7)$$

Мә'лум мүтләг визуал улдуз өлчүсү вә болометрик дүзәлишә әсасән (10.7)-дән мүтләг болометрик улдуз өлчүсү тапылыр. Мәсәлән, Күнәш үчүн $M_v = +4,^m79$ вә $\Delta m_в = -0,07$ олдуғуну биләрәк $M_в^{\odot} = +$ $+4,72$ аларыг (бах: чәдвәл 3 вә чәдвәл 9). (10.3) дүстуруна әсасән улдузун болометрик ишыглығы

$$\lg L_b = 0,4(4,72 - M_b) \qquad (10.8)$$

олдуғундан (10. 7)-ни (10. 8)-дә нәзәрә алсаг

$$\lg L_b = 0,4(4,72 - M_v - \Delta m_b) \qquad (10.9)$$

олар. Мә'лум M_v вә Δm_b-јә әсасән (10. 9)-дан улдузун болометрик ишыглығы тапылыр. Мәсәлән, еффектив температуру 20000 K олан улдузун мүтләг визуал улдуз өлчүсү $M_v = -5^m$ олсун; 9-чу чәдвәлә әсасән белә температура малик улдуз үчүн $\Delta m_b = -2^m,65$-дир; M_v вә Δm_b-нин бу гијмәтләринә әсасән (10.9) дүстурундан бу улдуз үчүн $L_b \simeq 10^5$ аларыг, јә'ни белә улдуз Күнәшдән $\sim 10^5$ дәфә чох енержи шүаландырыр. Болометрик дүзәлиши нәзәрә алмасајдыг һәмин улдузун ишыглығы үчүн (10.3) дүстурундан $L \simeq 10^4$ алардыг, јә'ни болометрик дүзәлиш нәзәрә алынмасајды бу улдузу Күнәшдән $\sim 10^4$ дәфә ишыглы һесаб едәрдик, јә'ни әслиндә олдуғундан бир тәртиб кичик һесаб едәрдик. Беләликлә болометрик дүзәлиши мүтләг нәзәрә алмаг лазымдыр.

§ 115. УЛДУЗЛАРЫН ТЕМПЕРАТУРУНУН ТӘ'ЈИНИ

Улдузларын кәсилмәз спектриндә шүаланма онларын фотосфер адландырдығымыз гатындан чыхыр. Нормал улдузларын фотосферләри радиусларындан мин дәфәләрлә кичик олдуғундан белә улдузларын сәтһи дедикдә шәрти олараг онларын фотосферләрини нәзәрдә тутуруг. Нормал улдуз фотосферинин температуру бу улдузун кәсилмәз спектрдә шүаланмасынын тәдгигинә әсасән тә'јин олунур. Одур ки, температурун тә'јини үсулу кәсилмәз спектрдә шүаланма һаггында истифадә олунан мә'луматдан асылыдыр.

Астрофизикада раст кәлдијимиз бир сыра температур нөвләри илә —еффектив температур, парлаглыг температуру, рәнк температуру илә § 78-дә таныш олдуг. Кәсилмәз спектрдә шүаланма фотосфердән чыхдығы үчүн фотосферин температуру мүтләг гара чисмин шүаланмасы ганунуна әсасән тапылмалыдыр.

Инди улдузларын температурунун тә'јин олунмасынын бә'зи үсуллары илә таныш олаг.

1. Әкәр улдузун бучаг диаметри θ мә'лум оларса, онда онун температуруну Стефан-Болсман ганунундан тапмаг олар. Ајдындыр ки,

бу үсулла тапылан температур улдузун еффектив температуру олар (бах: § 78). Еффектив температуруну ($T_{еф}$ -и) тә'јин етмәк истәдијимиз улдузун радиусу R, ишыглығы L, Јердә (даһа доғрусу атмосферин харичиндә) јаратдығы ишыгланмасы Е, Јерә гәдәр мәсафәси исә r олсун. Бу улдузун јер атмосфериндән харичдә јаратдығы ишыгланма

$$E = \frac{L}{4\pi r^2}. \qquad (10.10)$$

Дикәр тәрәфдән улдузун ишыглығы $L = 4\pi R^2 \sigma T^4_{еф}$
Буну (10.10)-да нәзәрә алсаг

$$E = \left(\frac{R}{r}\right)^2 \sigma T^4_{еф} \qquad (10.11)$$

олар. Бурада R/r радианларла улдузун бучаг радиусудур; одур ки, улдузун санијәләрлә **бучаг диаметри**

$$\theta = 206265''\left(\frac{2R}{r}\right) \qquad (10.12)$$

олар. (10.12)-ни (10.11)-дә нәзәрә алсаг

$$T_{еф} = 642{,}3\sqrt[4]{\frac{E}{\sigma\,\theta^2}} \qquad (10.13)$$

јазарыг. Бу дүстурдан көрүрүк ки, улдузун еффектив температуруну тапмаг үчүн онун бучаг диаметри вә болометрик улдуз өлчүсү илә сәчијјәләнән ишыгланмасыны билмәк лазымдыр. Бу ишыгланманы мә'лум

$$\lg\frac{E}{E_\odot} = 0{,}4(m_b^\odot - m_b) \qquad (10.14)$$

дүстурундан тапмаг олар. Бурада $E_\odot$—Күнәшин јер атмосфериндән кәнарда јаратдығы ишыгланма (күнәш сабити), $m_b^\odot$—онун болометрик улдуз өлчүсү, Е вә m_b исә улдузун ишыгланмасы вә болометрик улдуз өлчүсүдүр. (10.14)-ү (10.13)-үн логарифмик ифадәсиндә нәзәрә алсаг

$$\lg T_{еф} = \lg 642{,}3 + \frac{1}{4}\left[\lg\frac{E_\odot}{\sigma} + 0{,}4(m_b^\odot - m_b) - 2\lg\theta\right],$$

јахуд

$$\lg T_{еф} = \lg 642{,}3 + \frac{1}{4}\lg\frac{E_\odot}{\sigma} + 0{,}1(m_b^\odot - m_в) - 0'5\lg\theta \qquad (10.15)$$

јазарыг.

$$\frac{E_{\odot}}{\sigma}=2{,}416\cdot 10^{10}\left(\lg\frac{E_{\odot}}{\sigma}=10{,}385\right),$$

$m_b^{\odot}=-26^m{,}85$, $\lg 642{,}3=2{,}805$ гиjмәтләрини (10.15)-дә јеринә јазсаг

$$\lg T_{eff}=2{,}718-0{,}1m_b-0{,}5\lg\theta \qquad (10.16)$$

аларыг. Беләликлә улдузун бучаг диаметрини вә болометрик улдуз өлчүсүнү билмәклә (10.16) васитәси илә онун еффектив температуруну тапмаг олар.

Бу үсулла јалныз 50-јә гәдәр улдузун еффектив температуру тә'јин едилмишдир (чүнки јалныз бу гәдәр улдузун бучаг диаметри улдуз интерферометрләринин көмәјилә өлчүлмүшдүр).

2. Әкәр улдузун спектрограмыны кениш диапазонда бөјүк дисперсија илә алмаг мүмкүндүрсә (мүвафиг рефлектора гошулмуш ујғун спектрографла) онда улдузун температуру ашағыдакы үсулла тапылыр:

Әввәлчә улдузун спектриндә енержинин далға узунлуғуна көрә $E=f(\lambda)$ пајланмасы әјриси гурулур. Сонра бу әјри мүхтәлиф температурларда гурулмуш Планк әјриләри илә (бах: шәкил 94) мүгајисә олунур. Бу әјриләрдән мүшаһидә әјриси илә ән јахшы үст-үстә дүшәни сечилир. Һәмин Планк әјрисинә ујғун температур улдузун температуру олур. Бу үсулла тапылан температур еффектив температура јахын олмалыдыр. Бураја әлавә едәк ки, улдузун спектриндә енержинин мүшаһидәдән алынан пајланма әјрисинин мүәјјән температурлар үчүн гурулмуш Планк әјриләри илә кәсишдији һәр бир нөгтәјә ујғун далға узунлуғунда парлаглыг температуру мүвафиг Планк әјрисинә ујғун температура бәрабәрдир; нәһајәт мүәјјән далға узунлуглары интервалында мүшаһидәдән алынан нисби пајланма һансы Планк әјрисиндә һәмин интервалда пајланма кимидирсә, бу интервала ујғун рәнк температуру һәмин Планк әјрисинә ујғун температура бәрабәрдир.

Јухарыдакы үсул аз сајда улдуза тәтбиг олуна биләр. Чүнки бу үсул бөјүк дисперсијалы ајдын спектрограмын олмасыны тәләб едир; белә спектрограмы исә анчаг 8^m—9^m улдуз өлчүсүндән зәиф олмајан улдузлар алмаг олур ки, бунлар да сајча аздырлар.

3. Чох сајда улдуза тәтбиг олуна билән температурун тә'јини үсулу рәнк көстәричисинә әсасланыр. Рәнк көстәричиси васитәсилә тапылан температур рәнк температуру адланыр. Рәнк температуру спектрин мәһдуд диапазонуна әсасән тә'јин олундуғундан о, еффектив температурдан фәргли олур. Сон вахтлар сүн'и пејкләр васитәсилә исти вә чох исти улдузларын спектрләрини јер атмосфериндән кәнарда алмаг имканы јаранмышдыр. Бу имкандан истифадә едәрәк, белә улдузларын максимум шүаланма областларынын, јә'ни ултрабәнөвшәји вә

узаг ултрабәнөвшәји диапазонларда спектрини алмагла һәмин улдузларын рәнк температурларыны даһа дәгиг тапырлар.

(10. 10) ифадәсини λ-ја ујғун монохроматик ишыглыг үчүн јазаг вә монохроматик селә F_λ дејәк.

$$L_\lambda = 4\pi R^2 F_\lambda \tag{10.17}$$

јазарыг. Бурада R—улдузун радиусудур. Мә'лум

$$\lg \frac{L_{0\lambda}}{L_\lambda} = 0{,}4(M_\lambda - M_{0\lambda}) \tag{10.18}$$

дүстурунда $M_{0\lambda} = 0$ гәбул едәк, јә'ни $L_{0\lambda}$—монохроматик мүтләг улдуз өлчүсү сыфыр олан улдузун ишыглыгы олсун.
Онда

$$\lg \frac{L_{0\lambda}}{L_\lambda} = 0.4 M_\lambda. \tag{10.19}$$

(10.19) вә (10.17)-дән

$$M_\lambda = 2{,}5 \lg \frac{L_{0\lambda}}{4\pi} - 5 \lg R - 2{,}5 \lg F_\lambda \tag{10.20}$$

аларыг,.

$$F_\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \tag{10.21}$$

Планк сели ифадәсиндә $2\pi hc^2 = C_1 = 3{,}7403 \cdot 10^{-5}$ $\frac{\text{ерг} \cdot \text{см}^2}{\text{сан}}$, $C_2 = \frac{hc}{k} = 1{,}43868$ см $\cdot K$ олдуғуну нәзәрә алараг (10.21) дүстуруну

$$F_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{10^{-C_2 \lg e/\lambda T}}{1 - 10^{-C_2 \lg e/\lambda T}} \tag{10.22}$$

шәклиндә, јахуд логарифмалајараг

$$\lg F_\lambda = \lg \frac{C_1}{\lambda^5} - \frac{C_2 \lg e}{\lambda T} - \lg (1 - 10^{-C_2 \lg e/\lambda T}) \tag{10.23}$$

шәклиндә јазарыг. (10.23) ифадәсини (10.20)-дә нәзәрә алсаг

$$M_\lambda = 2{,}5 \lg \frac{L_{0\lambda} \lambda^5}{4\pi C_1} - 5 \lg R + 2{,}5 \frac{C_2 \lg e}{\lambda T} + 2{,}5 \lg (1 - 10^{-C_2 \lg e/\lambda T}). \tag{10.24}$$

Бу ифадәнин сағ тәрәфиндәки биринчи топланан анҹаг λ-дан асылы кәмијјәтдир, буна C_λ дејәк; (20.24)-дә сағ тәрәфдә үчүнчү топланан

$2{,}5\lg \frac{C_2 \lg e}{\lambda T} = \frac{1{,}562}{\lambda T}$; ахырынчы топлананы Δ илә ишарә едәк. Онда (10.24) әвәзинә

$$M_\lambda = C_\lambda - 5\lg R + \frac{1{,}562}{\lambda T} + \Delta \qquad (10.25)$$

јазарыг. Күнәши истинад улдузу гәбул едәк вә $R_\odot = 1$ олсун, јә'ни улдузларын радиусуну Күнәш радиусу ваһидләри илә ифадә едәк. Ејни заманда нәзәрә алаг ки, Күнәш үчүн $M_v^\odot = 4^m79$ вә $M_{pg}^\odot = 5^m36$. Мүәјјән фотометрик системдә улдуз өлчүләри фәргинә Δm дејәк; әкәр елә λ_i далға узунлуғу сечә билсәк ки, $\Delta m_{\lambda_i} = \Delta m$ олсун, онда λ_i еффектив далға узунлуғу олар: һарвард тәснифатында визуал область үчүн еффектив далға узунлуғу $\lambda_i = 5{,}29 \cdot 10^{-5}$ см; визуал област үчүн λ_i-нин бу гијмәтиндә вә Күнәш фотосфери температурунун $T \approx 6000$ К гијмәтиндә (10.25)-дә ахырынчы ики кәмијјәт $-\frac{1{,}592}{\lambda T} = 4{,}92$ вә $\Delta = -0{,}01$ олар. Беләликлә (10.25) дүстурундан Күнәш үчүн $C = C_v = -0^m{.}12$ аларыг. Фотографик шүаларда $\lambda_i = 4{,}25 \cdot 10^{-5}$ см олдуғуну нәзәрә алараг (10.25) дүстурундан Күнәш үчүн $C_\lambda = C_{pg} = -0^m{.}76$ гијмәтини аларыг. (10.25) дүстуруну визуал вә фотографик изофот далға узунлуглары үчүн јазаг

$$M_v = C_v - 5\lg R + \frac{29500}{T} + \Delta,$$

$$M_{pg} = C_{pg} - 5\lg R + \frac{36700}{T} + \Delta.$$

Биринчи ифадәни икинчидән чыхсаг

$$M_{pg} - M_v = C_{pg} - C_v + \frac{7200}{T}$$

олар. Күнәш үчүн C_{pg} вә C_v-нин гијмәтләрини бурада нәзәрә алсаг вә $M_{pg} - M_v = CI$-нин рәнк көстәричиси олдуғуну биләрәк

$$CI = \frac{7200}{T} - 0{,}64$$

јахуд

$$T = \frac{7200}{CI + 0{,}64} \qquad (10.26)$$

аларыг.

U, *B*, *V* үчөлчүлү фотометрик системдә

$$M_v = \frac{28260}{T} - 5\lg R - 0{,}01$$

$$M_B = \frac{36190}{T} - 5\lg R - 0{,}73$$

$$M_B - M_v = B - V = \frac{7930}{T} - 0{,}72,$$

јахуд

$$T = \frac{7930}{(B - V) + 0{,}72} \qquad (10.27)$$

олар.

Нормал улдузларын әксәријјәтинин температуру 2800°—30000° арасында олур. Әлбәттә бир гәдәр сојуг (2000°-ә гәдәр) вә хејли исти (100000°-дәк) улдузлар да вардыр.

§ 116. УЛДУЗЛАРЫН РАДИУСУ

Улдузун хәтти радиусуну тә'јин етмәјин ән дәгиг үсулу онун бучаг диаметринин өлчүлмәсинә әсасланыр. Бунун үчүн физика курсундан мә'лум олан оптик интерферометрдән истифадә олунур. Бу чиһазын иш принсипи бир-бириндән кифајәт гәдәр узагда гурулан ики күзкүдән әкс олунан ишығын интерференсијасына әсасланыр. Бу принсиплә ишләјән интерферометрлә 1920—30-чу илләрдә 9 улдузун бучаг диаметри өлчүлмүшдүр. Һазырда ишығын интерференсијасы дејил, гоша күзкүјә дүшән коһерент (ејни фазалы) шүаларда фотонларын сај фәргини гејд етмәк принсипи илә ишләјән интерферометрләрдән истифадә олунур (бунлар интенсивлик интерферометрләри адланыр). Фотонларын сај фәрги електрон-һесаблајычы машында һесабланыр. Улдуз өлчүләри 2^m,5-дән парлаг олан улдузлара бу үсул тәтбиг едилә биләр вә һәр бир өлчмә бир нечә он саата һәјата кечирилир. Јетмишинчи илләрдә 50-јә гәдәр улдузун бучаг диаметри интенсивлик интерферометри васитәсилә өлчүлмүшдүр. Өлчүлән улдузлар ичәрисиндә ән кичик бучаг диаметри олан Орионун ε улдузу ($\theta = 0''00072$), ән бөјүјү исә Балинанын 0 улдузудур ($0''.056$). Әкәр улдузун бучаг диаметри θ мә'лумдурса, она гәдәр r мәсафәсини дә биләрәк улдузун хәтти радиусу

$$R = \frac{\theta \cdot r}{2 \cdot 206265}\ \text{пс} \qquad (10.28)$$

дүстурундан тапылыр.

Интерферометрлә чох аз сајда улдузун радиусуну тә'јин етмәк мүмкүн олдуғундан башга үсул да ишләнмишдир. Бу үсулу тәтбиг етмәк үчүн улдузун мүтләг болометрик улдуз өлчүсүнү вә еффектив температуруну билмәк лазымдыр. Бу үсулла таныш олаг. (10. 10) дүстуруну улдуза вә Күнәшә тәтбиг етсәк улдузун болометрик ишығлығы үчүн

$$L_b = \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^2 \cdot \left(\frac{T_{\text{еф}}}{T_\odot}\right)^4 \qquad (10.29)$$

аларыг. Дикәр тәрәфдән

$$\lg L_b = 0{,}4(M_b^\odot - M_b)$$

олдуғундан (10.29) әвәзинә

$$M_b^\odot - M_b = 5\lg R - 5\lg R_\odot + 10\lg T_{\text{еф}} - 10\lg T_\odot$$

јахуд

$R_\odot = 1$ гәбул етсәк вә $M_b^\odot = +4^m{,}72$, $T_\odot = 5785$ К олдуғуну нәзәрә алсаг

$$\lg R = 8{,}469 - 0{,}2\,M_b - 2\lg T_{\text{еф}} \qquad (10.30)$$

аларыг.

Ади вә әсас рәнк көстәричиләри олан CI вә $(B-V)$-дән истифадә етмәклә (10.30)-а әсасән

$$\lg R = 0{,}82\,CI - 1{,}2M_v + 0{,}50, \qquad (10.31)$$

$$\lg R = 0{,}72(B-V) - 0{,}2M_V + 0{,}51 \qquad (10.32)$$

дүстурлары алыныр (M_v —визуал, M_V исә V фотометрик системи васитәсилә тә'јин олунан мүтләг улдуз әлчүсүдүр).

Улдузларын радиусу чох бөјүк интервалда фәргләнирләр—0.003 Күнәш радиусундан 1000 Күнәш радиусуна гәдәр. Радиуслары Күнәш радиусу тәртибдә вә ондан он вә јүз дәфәләрлә кичик олан улдузлар *цыртдан улдузлар,* радиуслары 10 дәфәләрлә Күнәш радиусундан бөјүк олан улдузлар ***нәһәнк,*** 100 дәфәләрлә бөјүк оланлар исә *ифрат нәһәнк улдузлар* адланырлар (ән бөјүк радиуса малик олан Орионун α-сы Бәтәлкејзенин радиусу Күнәшинкиндән 1000 дәфә бөјүкдүр).

§ 117. УЛДУЗЛАРЫН КҮТЛӘСИ

Улдузун күтләси ону сәчијјәләндирән әсас параметрләрдән биридир. Тәәссүф ки, улдузун күтләсини тә'јин етмәкдә бөјүк мәһдудијјәт вә чәтинликләр вардыр. Улдуз тәкдирсә, онун күтләсини билаваситә тә'јин етмәк олмур. Улдуз физики гошадырса, јә'ни гравитасија гүввәси илә әлагәдар олан гоша системдән ибарәтдирсә, белә системин улдузлары үмуми күтлә мәркәзи әтрафында Кеплер ганунлары илә һәрәкәт едирләр. Одур ки, Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү га-

нуну васитәсилә гоша системин улдузларынын күтләсини тапмаг олур. Бурада да мәhдудијјәт вардыр. О гоша улдузларын күтләсини дедијимиз гајда илә тә'јин етмәк олур ки, системин улдузларыны телескопда ајрылыгда мүшаhидә етмәк олур. Белә улдузлар визуал-гоша улдузлар адланыр. Әввәлчә визиуал-гоша улдузларла таныш олаг.

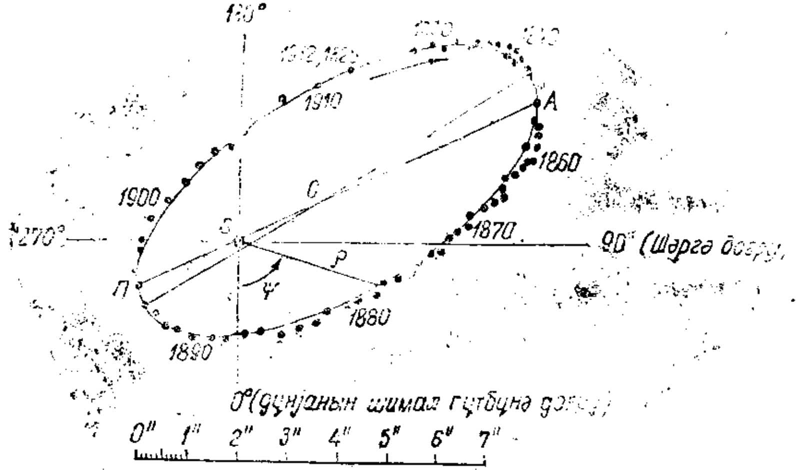
Визуал-гоша системи тәшкил едән улдузлар арасындакы бучаг мәсафәси ρ. он вә ја бир нечә он санијә олур. Белә ки, компонентләри арасында бучаг мәсафәси ән бөјүк олан Гунун β улдузу илә дикәр компонент арасындакы бучаг мәсафәси $\rho=35''$-дир; Бөјүк Ајынын ζ-си үчүн $\rho=15''$. Андромеданын γ-сы үчүн $\rho=10''$ вә с.-дир. Индијәдәк 60 000 визуал-гоша улдуз гејдә алынмышдыр. Бунлардан тәгрибән 2000-и үчүн орбитал hәрәкәт ашкар едилмишдир. Гоша улдузун компонентләри гоша системин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында еллиптик орбитләр үзрә доланырлар; јахуд гоша системин кичик күтләјә малик компоненти бөјүк күтләјә малик компоненти әтрафында еллиптик орбит үзрә доланыр.

Гәбул едирик ки, hәр бир гоша системин компонентләри Күнәшдән вә ја Јердән ејни мәсафәдәдирләр. Гоша улдузун бөјүк күтләјә малик компоненти системин баш улдузу, кичик күтләјә малик оланы исә системин пејки адланыр. Пејкин баш улдуз әтрафында hәрәкәт орбити нисби орбит адланыр. Бу еллиптик орбитин фокусларындан бириндә баш улдуз јерләшир. Улдуз-пејк баш улдузун әтрафында дүнјанын шимал гүтбүндәки хәјали мүшаhидәчијә көрә саат әгрәби истигамәтдә доланыр. Әкәр орбит мүстәвиси шәкил мүстәвиси үзәриндә, јә'ни бахыш шүасына перпендикулјар мүстәви үзәриндә оларса онда нисби орбит hәгиги орбитин өзү олар. Лакин орбит мүстәвиси адәтән шәкил мүстәвисинә мејилли олур вә биз hәгиги орбитин шәкил мүстәвисинә пројексијасыны мүшаhидә едирик. Ајдындыр ки, шәкил мүстәвиси бахыш шүасына перпендикулјар олмагла көј сферасына тохунан мүстәвидир.

Нисби орбитин бу мүстәвијә пројексијасы пејкин көрүнән нисби орбити адланыр. Гејд едәк ки. пејкин көрүнән нисби орбити адәтән бир нечә он илләри әhатә едән мүшаhидәләр әсасында гурулур. Бу орбитин мәркәзи hәгиги орбитин мәркәзи үзәринә дүшдүјүндән, јә'ни hәгиги орбитин мәркәзи сүрүшмәдијиндән бу мәркәздән (С) вә баш улдуздан кечән дүз хәтт hәгиги орбитин бөјүк охунун шәкил мүстәвиси үзәриндә пројексијасы олар (шәкил 136).

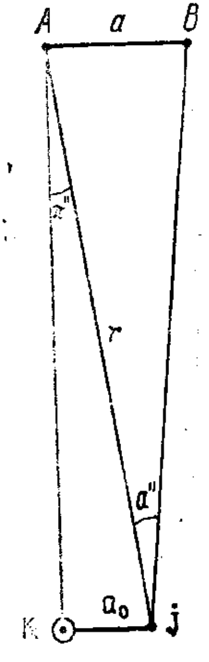
Көрүнән орбитә әсасән hәгиги орбитин елементләрини тапмаг үсуллары вардыр. Бу јолла hәгиги орбитин бучаг санијәләри илә бөјүк јарымоху (a''), орбит мүстәвисинин шәкил мүстәвисинә i мејли, орбитин e екссентриситети тапылыр; орбитин елементләриндән олан улдуз-пејкин доланма периоду Т билаваситә мүшаhидәдән тапылыр. Бунун үчүн орбитин hеч олмаса дөрддә бир hиссәси әhатә олунмалыдыр. бу исә чох вахт мүмкүн олмур, чүнки елә визуал-гоша системләр вар ки, улдуз-пејкин доланма периоду минләрлә илдир.

Гоша системин иллик параллаксы (π) мә'лумдурса, онда hәгиги орбитин a'' бучаг јарымохундан a хәтти јарымохуну кечә биләрик. Бунун үчүн 137-чи шәклә бахаг. Бу шәкилдә A вә B гоша системин



Шәкил 136. Овчунчу 70 визуал — гоша улдузунун улдуз — пејкинин көрүнән орбити (1825—1912-чи илләр)

компонентләри, К—Күнәш, J—Јердир. Шәкилдә $AB = a$—һәгиги орбитин хәтти бөјүк јарымоху, $\angle AJB = a''$ — бөјүк јарымохун бучаг өлчүсү, $\angle KAJ = \pi''$— гоша системин иллик параллаксы, $AJ = r$—гоша улдуза гәдәр мәсафәдир. Шәкилдән ајдындыр ки, $a = r \sin a'' = r \times a'' \cdot \sin 1'' = \frac{a''}{206265''} r$ вә ја $r = \frac{1}{\pi}$ пс $= \frac{206265''}{\pi''}$ а. в. олдуғундан $a = \frac{a''}{\pi''}$ а. в.-дир.



Шәкил 137. Гоша улдузун орбитинин бөјүк јарымохунунун һесабланмасы үчүн һәндәси тәсвир

a пејкин орбитинин бөјүк јарымоху, a_0 Јерин орбитинин бөјүк јарымоху, m_1 вә m_2 гоша системин компонентләринин күтләси, $m_\odot$ Күнәшин, m_0 Јерин күтләси, T_0 Јерин Күнәш әтрафында, T пејкин баш улдуз әтрафында доланма периоду оларса, онда Кеплерин дәгиг үчүнчү ганунуна әсасән јазарыг:

$$\frac{T^2(m_1 + m_2)}{T_0^2(m_\odot + m_0)} = \frac{a^3}{a_0^3}.$$

Јерин күтләсини Күнәшинкинә нисбәтән нәзәрә алмасаг вә компонентләрин күтләләри чәмини Күнәш күтләси илә ифадә етсәк

($m_{\odot}$ =1 десәк), T-ни илләрлә (T_0 = 1 ил), a-ны исә а. в. ләрлә (a_0= 1 а.в.) ифадә етсәк јухарыдакы дүстуру

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{T^2} \qquad (10.33)$$

шәклиндә јазарыг. Бу дүстурдан (m_1+m_2) тапылыр. Әкәр һәр бир компонентин вәзијјәтини узаг зәиф улдузлара көрә тапмаг оларса, онда бу компонентләрин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында мүтләг орбитләринин a''_1 вә a''_2 бөјүк јарымохларыны гөвс ваһидләри илә тапа биләрик. Гоша системин компонентләринин күтләләри онларын мүтләг орбитләринин бөјүк јарымохларынын тәрс нисбәти илә ифадә едилдијиндән, јә'ни

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a''_2}{a''_1} \qquad (10.34)$$

олдуғундан (10.33) вә (10.34)-дән ајры-ајры компонентләрин күтләси тә'јин олунур. Гоша систем тәшкил етмәјән улдузларын—тәнһа улдузларын күтләси күтләләри мә'лум олан улдузлар үчүн гурулан күтлә-ишыглыг статистик әлагәсиндән тә'јин олунур. Улдузларын күтләси 0,02—80 Күнәш күтләси интервалындадыр.

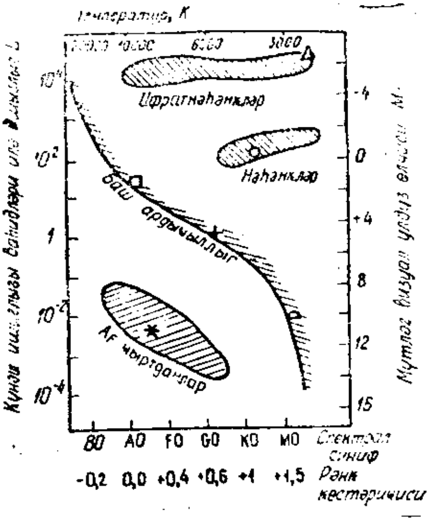
§ 118. «СПЕКТР-ИШЫГЛЫГ» ДИАГРАМЫ, УЛДУЗЛАРЫН ИШЫГЛЫГ СИНИФЛӘРИ ВӘ СПЕКТРАЛ ПАРАЛЛАКС

«Спектр-ишыглыг» диаграмы. XX јүзиллијин әввәлләриндә артыг јүзләрлә улдузун иллик параллаксы, башга сөзлә бу улдузлара гәдәр мәсафә мә'лум иди. Одур ки, һәмин улдузларын көрүнән улдуз өлчүләрини дә билмәклә (7. 13) дүстурундан онларын мүтләг улдуз өлчүләри, мүтләг улдуз өлчүләрини билмәклә (10.3) дүстурундан ишыглыглары, нәһајәт спектрал синифләри, јахуд еффектив температурлары тә'јин едилмишди.

Бүтүн статистик мү'луматларын әсасында XX јүзиллијин 5—13-чү илләриндә данимарка астроному Һерсшпрунг вә америка астрофизики Рессел бир-бирләриндән асылы олмајараг улдузларын ишыглығы илә онларын спектрал синифләри арасында мараглы әлагә олдуғуну мүәјјән етмишләр. Бу асылылыг «спектр-ишыглыг» диаграмы, јахуд Һерсшпрунг-Рессел (Һ.—Р.) диаграмы адланыр. Сонралар «спектр-ишыглыг» диаграмы тәкмилләшдирилмиш, сол вә сағ ординат охунда ишыглыг вә мүтләг улдуз өлчүсү (онларын мә'лум нөвләри нәзәрә алынмагла), алт вә үст абсис охунда исә спектрал синифләр (јахуд әсас рәнк көстәричиси) вә еффектив температур көтүрүлмәклә диаграмда улдузларын вәзијјәти мүәјјән едилмишдир. 138-чи шәкилдә Күнәшәтрафы улдузлар үчүн «спектр-ишыглыг» диаграмы тәсвир олунмушдур. Сол ординат охунда Күнәш ишыглығы ваһидләри илә улдузларын ишыг-

лығы, сағ ордината охунда мүтләг визуал улдуз өлчүләри, алт абсис охунда улдузларын спектрал синифи вә рәнк көстәричиләри, үст абсис охунда исә улдузларын еффектив температурлары верилмишдир.

Шәкилдән ајдын көрүнүр ки, ишыглыгла (мүтләг улдуз өлчүсү илә) спектрал синиф (еффектив температур, јахуд рәнк көстәричиси) арасында чох әјани асылылыг—мүәјјән груплашмалар вә ардычыллыглар вардыр (әкәр асылылыг олмасајды улдузлар диаграмы мүнтәзәм долдурардылар). Бу асылылыглар ичәрисиндә биринчи нөвбәдә диггәти чәлб едән диаграмын сол јухары күнчүндән сағ ашағы күнчүнә доғру нисбәтән енсиз золаг дахилиндә узанан вә *баш ардычыллыг* адланан улдузлар чохлуғудур. Әввәлләр белә һесаб едилирди ки, баш ардычыллыгда сол тәрәфдә тәкамүлләринин илк дөврләрини кечирән чаван улдузлар, сағ тәрәфдә исә тәкамүлүнүн сонракы мәрһәләсини кечирән гочаман улдузлар јерләширләр. Бу мүһакимәјә әсасән баш ардычыллығын сол тәрәфиндә јерләшән улдузлар, јә'ни O—FO *илкин спектрал синифләр,* сағ тәрәфиндә јерләшән улдузлар, јә'ни F—M исә *өткүн спектрал синифләр* адланыр. Баш ардычыллығын өткүн спектрал синифләрә мәхсус улдузларынын ишыглығы чох кичик олдуғундан онларын радиуслары да Күнәшинкиндән бир гәдәр кичик олмалыдыр. Белә улдузлар *чыртдан улдузлар* адланыр. Беләликлә баш ардычыллығын лап өткүн спектрал синифләрә (K—M) мәхсус улдузлары *гырмызы чыртданлардыр.*



Шәкил 138. «Спектр—ишыглыг» диаграмы (Күнәшәтрафы улдузлар үчүн) Хачла Күнәшин, квадратла Сириусун, улдузла Сириусун улдуз-пејкинин, даирәчиклә Арктурун, үчбучагла Бетелкејзәнин, јарымдаирәчиклә Крјугер 60 улдузунун бу диаграмда јерләри көстәрилмишдир.

138-чи шәкилдә баш ардычыллыг үзәриндә үч улдуз һүсуси ишарә илә гејд олунмушдур: хач ишарәси Күнәшдир вә көрүндүјү кими Күнәш баш ардычыллыгда јерләшир (вә сары чыртдандыр); квадратла Сириусун јери көстәрилмишдир; јарымдаирәчик—Крјугер 60 гырмызы чыртдандыр.

Диаграмын сол ашағы күнчүндә јерләшән улдузларын бир гисми сары вә ја ачыг сары рәнкдә олсалар да әксәријјәти әсасән ағ ранкдәдир. Онлар исти олсалар да ишыглыглары Күнәшинкиндән чох кичик олдуғундан радиуслары да Күнәшинкиндән чох кичик олмалыдыр. Бу сәбәбдән дә һәмин улдузлар *ағ чыртданлар* адланырлар.

«Спектр-ишыглыг» диаграмында абсис охунда еффектив температурун логарифмини, ордината охунда исә мүтләг болометрик улдуз өлчүсүнү көстәрсәјдик, онда белә координат системиндә M_d илә lgT ара-

сындакы асылылыг (10. 30) дүстуруна әсасән хәтти оларды; башга сөзлә бу һалда бәрабәр радиуслу нөгтәләрин һәндәси јерләри дүзхәтләр аиләсиндән ибарәт оларды. (10. 30) дүстурундан көрүрүк ки, ағ чыртданларын радиуслары Күнәшинкиндән он, һәтта јүз дәфәләрлә кичикдир. Диаграмда улдуз ишарәси илә ағ чыртдан групунда Сириус В (Сириус гоша системинин пејки) улдузунун јери көстәрилмишдир.

«Спектр-ишыглыг» диаграмында баш ардычыллыгдан үстдә нәһәнк *улдузлар* вә даһа үстдә *ифрат нәһәнк улдузлар* јерләшмишләр. Өткүн синифләрә (G—M) мәхсус вә тәгрибән $M = +1^m$ улдуз өлчүсүнә малик олан аз сајда улдузлар нәһәнкләр групуну тәшкил едирләр. Бу улдузларын ишыглығы Күнәшинкиндән 100—1000 дәфәләрлә бөјүкдүр. Нәһәнк улдузларын еффектив температурлары Күнәшинкиндән кичик олдуғундан онларын ишыглыгларынын чох бөјүк олмасыны әсасән радиусларынын чох бөјүк олмасы илә изаһ етмәк олар. (10.30) дүстурундан көрүндүјү кими нәһәнкләрин радиуслары Күнәшинкиндән 10, һәтта 100 дәфәјәдәк бөјүкдүр. Диаграмда нәһәнкләр групунда даирәчиклә Арктур улдузунун јери көстәрилмишдир.

Ифрат нәһәнкләр групуна мәхсус улдузлар ән бөјүк ишыглыға малик олан улдузлардыр; бу улдузларын ишыглығы Күнәшинкиндән $\sim 10^5$ дәфә бөјүкдүр; ифрат нәһәнкләр А—М синифләрини әһатә едирләр; ајдындыр ки, хүсусилә өткүн синифләрә мәхсус ифрат нәһәнкләрин радиуслары Күнәшинкиндән даһа бөјүкдүр (1000 дәфә!); бу, (10. 30) дүстурундан да ајдын көрүнүр. Диаграмда үчбучаг ишарәси илә ифрат нәһәнкләр групунда Бәтәлкејзе улдузунун јери көстәрилмишдир.

«Спектр-ишыглыг» диаграмында (шәкил 138-дә) *субчыртданлар* групу көстәрилмәмишдир; бу улдузлар баш ардычыллыгдан бир улдуз өлчүсү гәдәр ашағыдан она паралел вә В—К синифләрини әһатә етмәклә узанан улдузлар чохлуғудур. Бундан башга нәһәнкләр вә ифрат нәһәнкләр өзләри бир нечә алт ардычыллыға бөлүнүрләр: *парлаг нәһәнкләр, нормал нәһәнкләр* вә *субнәһәнкләр;* ифрат нәһәнкләр *олдугча парлаг ифратнәһәнкләрдән, парлаг ифрат нәһәнкләрдән вә нормал ифрат нәһәнкләрдән* ибарәтдирләр.

Улдузларын ишыглыг синифләри. Ејни спектрал синфә мәхсус олуб, мүхтәлиф ишыглыға малик олан улдузларын спектр хәтләринин интенсивлији вә ени бир-бириндән фәргләнир. Мәсәлән, ифрат нәһәнкләрин спектр хәтләри чох енсиз вә кәскин (интенсив) олур; бунларын там әксинә һәмин спектрал синифдән олан аг чыртданларын спектр хәтләри чох енли вә јајылмыш (аз интенсив) олур; јахуд, нәһәнкләрин спектриндә бә'зи метал хәтләри һәмин спектрал синифдән олан чыртданларын спектриндәки бу хәтләрдән күчлүдүр, галан метал хәтләри исә ејни интенсивлијә маликдир. Субчыртданларын спектриндә исә бүтүн метал хәтләри зәифдир вә буну һәмин улдузларда метал азлығы илә изаһ едирләр.

Ејни синфә мәхсус олан мүхтәлиф ишыглы улдузларын спектрләриндәки фәргләр бу улдузларда ағырлыг гүввәси тә'чилинин чох

фәргли олмасы илә әлагәдардыр. Ајдындыр ки, нәһәнк улдузларын сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чили, чыртданларынкындан чох-чох кичикдир. Одур ки, ејни интенсивликли спектрал хәттин јаранмасы үчүн чыртданын температуру һәмин спектрал синифдән олан нәһәнкләринкиндән бөјүк олмалыдыр.

Башга сөзлә, ејни синифдән олан ағ чыртдан баш ардычыллығын улдузундан, баш ардычыллығын улдузу нәһәнкдән, нәһәнк исә ифрат нәһәнкдән исти олмалыдыр. Ејни спектрал синфә мәхсус улдузларын спектрләриндәки вә еффектив температурларындакы фәргләр көстәрир ки, мүхтәлиф груп улдузларда ишыглығын температурдан асылылығы мүхтәлифдир. Башга сөзлә, һәр бир групун өзүнә мәхсус белә асылылығы вардыр. Беләликлә, улдузларын там тәснифаты ики параметрдән асылыдыр вә бу параметрләрдән бири спектри (температуру), дикәри исә ишыглығы сәчијјәләндирир. Бу јолла ашкар едилән улдуз спектрләри ардычыллыглары *ишыглыг синифләри* адланыр.

Ејни спектрал синфә мәхсус олуб, лакин ишыглыглары мүхтәлиф олан улдузлар **доггуз ишыглыг синфинә бөлүнүрләр** (бунлардан 138-чи шәкилдә дөрдү көстәрилмишдир). Улдузларын ишыглыг синифләри ашағыдакылардыр:

Ia—0 олдугча парлаг ифрат нәһәнкләр;
Ia—парлаг ифрат нәһәнкләр;
Iв—нормал ифрат нәһәнкләр;
II —парлаг нәһәнкләр;
III—нормал нәһәнкләр;
IV—субнәһәнкләр;
V—баш ардычыллығын улдузлары;
VI—парлаг субчыртданлар;
VII—ағ чыртданлар.

Ишыглыг синфи спектрал синфин ишарәсиндән сонра јазылыр. Мәсәлән, Күнәш G2V кими ишарә олунур. Бу о демәкдир ки, Күнәшин спектрал синфи G2, ишыглыг синфи исә V-дир, јә'ни Күнәш баш ардычыллыгда G2 синфинә мәхсусдур. Јахуд Сириусун улдуз-пејки (Сириус B) A5VII илә ишарә олунур. Бу о демәкдир ки, бу улдузун спектрал синфи A5, ишыглыг синфи VII-дир, јә'ни улдуз A5 синфинә мәхсус ағ чыртдандыр. Бә'зән улдузун ишарәсинин әвәлинә-улдуз чыртдандырса d һәрфи, нәһәнкдирсә «g» һәрфи әлавә едилир (dwarf—инкилисчә чыртдан, giant—нәһәнк демәкдир).

10-чу чәдвәлдә улдузларын рәнк көстәричиләри вә еффектив температурларынын ишыглыг синфиндән асылылығы верилмишдир. Бу чәдвәлдән әјани сурәтдә көрүнүр ки, спектрал синифләри ејни, лакин ишыглыг синифләри мүхтәлиф олан улдузларын рәнк көстәричиләри вә температурлары мүхтәлифдир вә бу фәргдә мүәјјән ганунаујғунлуг да вардыр.

Спектрал параллакс. Мүхтәлиф ишыглыг синфинә мәхсус ејни спектрал синфин улдузларынын спектрләриндәки фәргләрин даһа кениш тәһлили чох мараглы вә әһәмијјәтли нәтичәләрә кәтирир. Нәһәнк

Улдузларын рәнк көстәричиләри вә еффектив температурларынын спектрал синиф вә ишыглыг синфиндән асылылығы.

Спектрал синиф	Ишыглыг синифләри: баш ардычыллыг (V): рәнк көстәричиси	баш ардычыллыг (V): Еффектив температур	Нәһәнкләр (III): рәнк көстәричиси	Нәһәнкләр (III): еффектив температур	Ифрат нәһәнкләр (I): рәнк көстәричиси	Ифрат нәһәнкләр (I): еффектив температур
O5	−0,35	40000			−0,25	30000
B0	−0,31	28000				
B5	−0,16	15500			0,00	12000
A0	0,00	9900				
A5	0,13	8500			0,25	7000
F0	0,27	7400				
F5	0,42	6580	0,65	5600	0,70	5700
G0	0,57	6030	0,85	5000	1,06	4850
G5	0,70	5520	1,07	4500	1,39	4160
K0	0,89	4900	1,41	3800	1,70	3500
K5	1,18	4130	1,60	3200	1,94	
M0	1,45	3480	1,85		2,14	
M5	1,63	2800				

вә ифрат нәһәнкләрин спектриндә, һәмин улдузларын мәхсус олдуғу синифләрә аид башга ишыглыг синфинин улдузларынын спектриндән фәргли олараг, бә'зи удулма хәтләри хүсусилә диггәти чәлб едир. Мәсәлән, CaII вә SrII ионларынын (бу атомларын ионлашма потенсиаллары кичик—6,1 еВ вә 7,3 еВ-дир) спектрал хәтләри баш ардычыллығын һәмин синифдән олан улдузларына нисбәтән нәһәнкләрдә, CaI вә SrI хәтләри исә, әксинә, баш ардычыллығын улдузларынын спектриндә даһа интенсивдирләр.

11-чи чәдвәлдә бә'зи улдузларын мүәјјән физики параметрләри верилмишдир.

Чәдвәл 11

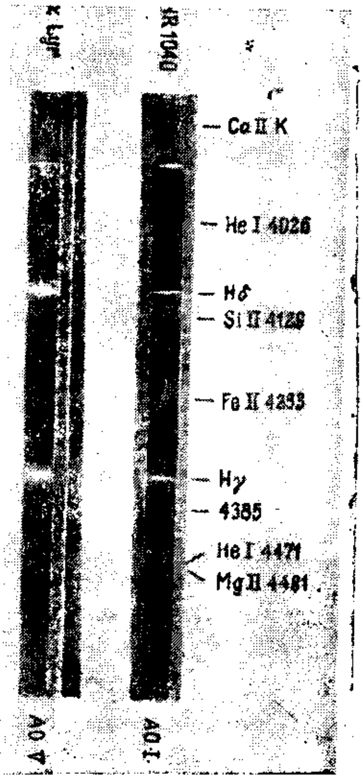
Бә'зи улдузларын мүәјјән физики параметрләри.

Улдузун ады	Синиф	Еффектив температур, К	Ишыглыг $L/L_\odot$	Күтлә $m/m_\odot$	Радиус $R/R_\odot$	Орта сыхлыг г/см³
Вега	A0 V	9500	85	2,8	3,0	0,14
Сириус А	A1 V	9250	27	2,1	2,0	0,36
Протсион	F5 V	6570	714	1,8	2,2	0,23
Сентаврын α-сы	G2 V	5730	1,3	1,02	1,2	0,8
Капелла	G 8III	4900	220	3,3	23	$4\cdot10^{-4}$
Арктур	K 2III	4000	130	4,2	26	$3\cdot10^{-4}$
Ригел	B 8I	1120	$2\cdot10^5$	40	138	$2\cdot10^{-5}$
Антарес	M5 I	3300	$8\cdot10^4$	19	560	$1{,}5\cdot10^{-7}$
Сириус, В	A5 VII	8200	0,0027	1,0	0,02	$1{,}8\cdot10^{-5}$

Һәмин чәдвәлдән көрүнүр ки, ифрат нәһәнкләрин вә нәһәнкләрин атмосфериндә орта сыхлыг баш ардычыллығын улдузларынкындан тәртибләрчә кичикдир. Бу, һәмин улдузларда ағырлыг гүввәси тә'чилинин, нәтичә е'тибарилә исә атмосфер сыхлығынын кичик олмасы илә әлагәдардыр.

Ғ—К спектрал синифләринә мәхсус олан мүхтәлиф ишыглыг синифләринә аид улдузлар үчүн ән јахшы индикатор $\lambda=4063\,\text{Å}$ нејтрал дәмир хәтти вә $\lambda=4077\,\text{Å}$ ионлашмыш стронсиум хәттидир; чыртдан улдузлардан нәһәнкләрә кечдикчә биринчи хәттин интенсивлији зәифләјир, икинчининки исә күчләнир. Бу о демәкдир ки, бу хәтләрин интенсивликләри нисбәти мүтләг улдуз өлчүсү кичилдикчә (ишыглыг бөјүдүкчә) кичилир. Демәли бу асылылыгдан Ғ—К спектрал синифләринә мәхсус улдузларын мүтләг улдуз өлчүләрини тапмаг олар.

Исти улдузлардан атмосфери сых оланын (јә'ни ишыглығы кичик оланын) спектриндә һидрокенин Балмер серијасынын хәтләри, һәмин синифдән олуб, атмосфери сејрәк оланын (јә'ни ишыглығы бөјүк оланын) спектриндәки бу хәтләрдән енли олур. Бунун сәбәби атмосфер сых олдугча Штарк еффектинин күчләнмәсидир. 139-чу шәкилдә ејни спектрал синфә (АО) аид баш ардычыллығын вә ифрат нәһәнкин улдузларынын спектрләриндә һидрокенин Балмер серијасынын хәтләриндәки фәрг ајдын көрүнүр. Белә улдузларын мүтләг улдуз өлчүләри илә һидрокен хәтләринин ени арасында әлагә јаратмаг вә бу әлагәдән дә хәттин мә'лум енинә әсасән улдузун мүтләг улдуз өлчүсүнү тапмаг олар.



Шәкил 139. Баш ардычыллығын вә ифрат нәһәнкин ејни спектрал синифдән олан улдузларын (AOV, AOI) Балмер серијасы областында спектрләри.

Јухарыда дејиләнләрдән көрүнүр ки, мүхтәлиф ишыглыг синфинә мәхсус ејни спектрал синфин улдузларынын спектр фәргләрини тәһлил етмәклә онларын M мүтләг улдуз өлчүләрини тә'јин едә биләрик. Бу исә өз нөвбәсиндә мә'лум m көрүнән улдуз өлчүсүнү дә нәзәрә алмагла (7.12) дүстурундан улдуза гәдәр r мәсафәсини тапмаға имкан верир.

Улдузларын спектрләринин хүсусијјәтләринә көрә онлара гәдәр мәсафәнин тә'јини үсулуна спектрал параллакс үсулу дејилир. Бу үсул триганометрик параллакс үсулу илә тә'јини мүмкүн олмајан минләрлә улдуза гәдәр мәсафәни тапмаға имкан вермишдир.

§ 119. УЛДУЗЛАРДА КҮТЛӘ-ИШЫГЛЫГ, РАДИУС-ИШЫГЛЫГ, КҮТЛӘ-РАДИУС, КҮТЛӘ-ТЕМПЕРАТУР ӘЛАГӘЛӘРИ. КҮТЛӘ ВӘ ИШЫГЛЫГ ФУНКСИЈАЛАРЫ.

Гоша улдузлара Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү гануну тәтбиг едилмәклә бу улдузларын компонентләринин күтләсинин тә'јини үсулу илә § 117-дә таныш олдуг. Бу үсулла аз сајда улдузун күтләси тә'јин едилсә дә, һәмин улдузларын баш ардычыллыгда јерләшәнләри үчүн m күтләси илә L болометрик ишыглығы арасында бирбаша асылылыг олдуғу мүәјјән едилмишдир. Мәсәлән, баш ардычыллығын мүхтәлиф синифләринә мәхсус улдузларын орта күтләси беләдир:

$$M0V-0{,}5m_{\odot},\quad K0V-0{,}8m_{\odot},\quad F0V-1{,}8m_{\odot},$$
$$A0V-4m_{\odot},\quad B0V-14m_{\odot},\quad B3V-10m_{\odot},\quad 05V-35m_{\odot};$$

Мүәјјән едилмишдир ки, күтләләри $0{,}5m_{\odot}\leqslant m\leqslant 10m_{\odot}$ интервалында јерләшән баш ардычыллығын улдузлағы үчүн L илә m арасында емпирик әлагә ашағыдакы кимидир:

$$L\sim m^{3,9}. \qquad (10.35)$$

Баш ардычыллығын улдузлары үчүн R радиусу илә L ишыглығы арасында

$$L\sim R^{5,2} \qquad (10.36)$$

емпирик әлагәси вардыр. Бурадан көрүрүк ки, баш ардычыллығын улдузларынын ишыглығы улдузун радиусундан чох күчлү асылыдыр. Јухарыдакы ики дүстурун мүгајисәсиндән күтлә илә радиус арасында

$$R\sim m^{3/4} \qquad (10.37)$$

емпирик әлагәси алыныр.

$$L=4\pi R^2\sigma T^4_{\text{ефф}},\qquad \text{јахуд}$$

$T_{\text{ефф}}\sim\left(\frac{L}{R^2}\right)^{1/4}$ олдуғуну биләрәк (10.35) вә (10.37) мүнасибәтләрини нәзәрә алмагла улдузун күтләси илә еффектив температуру арасында ашағыдакы емпирик асылылығы аларыг:

$$T_{\text{ефф}}\sim m^{0,6}. \qquad (10.38)$$

Бурадан көрүрүк ки, баш ардычыллыгдакы кичик күтләли улдузун еффектив температуру да кичик олур вә улдуз даһа өткүн спектрал синфә аид олур.

Баш ардычыллығын B3-дән M0-дәк улдузларынын күтләсини тә'јин етмәк үчүн (10.35) дүстурундан кениш истифадә олунур. Бу мәгсәдлә һәмин дүстур ашағыдакы шәкилдә јазылыр:

$$m \simeq L_b^{0,25} = 10^{0,1(M_{\odot}-M)} \approx 3 \cdot 10^{-0,1M} \quad (10.39)$$

Бурада Күнәшин мүтләг болометрик улдуз өлчүсүнүн $+4,^m 72$ олдуғу нәзәрә алынмышдыр (үмумијјәтлә бу параграфда истифадә олунан ишыглыг вә улдуз өлчүсү болометрикдир).

Күнәшәтрафы улдузларын сај һесабы көстәрир ки, бир ифрат нәһәнкә 1000 нәһәнк, 10^7 баш ардычыллығын улдузу, 10^6 ағ чыртдан дүшүр. Буну билəрәк ваһид һәчмдә мүәјјән m күтләсинә малик олан улдузларын сајыны тапмаг олар. Бу саја *күтлә функсијасы* дејилир. Күтлә функсијасы

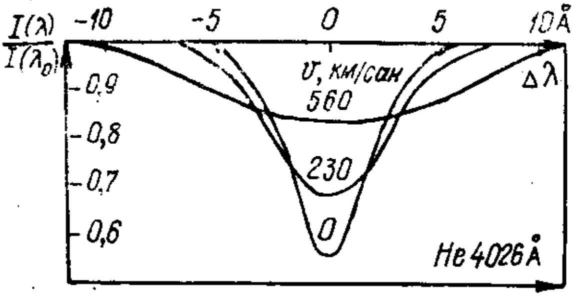
$$F(m) = \frac{\text{const}}{m^{2,35}} \quad (10.40)$$

шәклиндә ифадә олунур.

Мә'лум олмушдур ки, күтләси Күнәшинкиндән 10 дәфә бөјүк олан баш ардычыллыг улдузларынын сајы Күнәш күтләли улдузларын сајындан 220 дәфә аз, күтләси Күнәшинкиндән 10 дәфә кичик олан улдузларын сајы исә 220 дәфә чохдур. Бу көстәрир ки, баш ардычыллығын ашағы һиссәсиндә улдузларын сај сыхлығы баш ардычыллығын дикәр јерләриндәкиндән даһа бөјүкдүр. Һесабламалар көстәрир ки, Күнәшәтрафы улдузлардан сајча ән сых оланы ишыглығы 10^4 дәфә Күнәшинкиндән кичик олан улдузлардыр. Улдузларын мигдар сыхлығынын онларын ишыглығындан асылылығы *ишыглыг функсијасы* адланыр.

§ 120. УЛДУЗЛАРЫН ФЫРЛАНМАСЫ. УЛДУЗЛАРЫН МАГНИТ САҺӘСИ

Улдузларын фырланмасы. Биз § 118-дә көрдүк ки, ејни спектрал синфә мәхсус олуб, ишыглыг синифләри мүхтәлиф олан улдузларын спектрләриндә мүәјјән фәргләр вардыр. Буну улдуз атмосферләринин мүхтәлиф сыхлыға малик олмасы илә изаһ етдик. Ајдындыр ки, бу сәбәбдән дә мүхтәлиф хәтләрдә дәјишикликләр мүхтәлиф олмалыдыр. Мәсәлән, атомлар арасы електрик саһәсинә даһа һәссас олан хәтләрдән һидрокенин Балмер серијасынын бөјүк нөмрәли хәтләри Штарк еффекти нәтичәсиндә даһа чох кенишләнмәлидир. Әкәр улдуз фырланырса, онда һәр ан онун бир јарымкүрәси мүшаһидәчијә јахынлашмалы, дикәр јарымкүрәси исә ондан узаглашмалыдыр. Одур ки, фырланан улдузун спектр хәтләри Доплер еффектинә әсасән ејни заманда гырмызы вә бәнөвшәји уча сүрүшмәли, нәтичә е'тибарилә спектрал хәтләр кенишләнмәлидир. Ајдындыр ки, улдузун фырланмасы нәтичәсиндә кенишләнмә атмосфер сыхлығынын мүхтәлиф олмасы һесабына кенишләнмәнин әксинә олараг бүтүн хәтләр үчүн ејни олмалыдыр. Мәһз буну нәзәрә алараг улдузун фырланмасы нәтичәсиндә спектрал хәтләрин кенишләнмәсини мүәјјән етмәк олур. Әлбәттә улдузун фырланма сүр'әти нә гәдәр бөјүк оларса, онун спектрал хәтләри дә



Шәкил 140. Фырланмајан бир улдузун (Һеркулесин i улдузунун) спектриндә Һелиумун λ 4026 А хәттинин профили илә ики мүхтәлиф екваториал фырланма сүр'әти үчүн Һесабланмыш профилләрин мүгајисәси. I_{λ_0} —хәттин мәркәзиндә, I_λ исә ондан $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ мәсафәдә хәттин интенсивлијидир.

бир о гәдәр чох кенишләнәр. 140-чы шәкилдә фырланма сүр'әти $v=0$ олан i Һеркулес улдузунун спектриндә 4026 Å далға узунлуглу Һелиум хәттинин профили верилмишдир. Бу шәкилдә екваториал фырланма сүр'әтләри $v=230$ км/сан вә $v=560$ км/сан олан Һал үчүн хәттин нәзәри профилләри дә тәсвир олунмушдур. Бу шәкилдә абсис охунда хәттин мәркәзи λ_0-дан Һәр ики тәрәфә $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ мәсафәси (А-ләрлә), ординат охунда исә хәттин мәркәзиндән $\Delta\lambda$ мәсафәдә хәттин дахилиндә I_λ интенсивлијинин хәттин мәркәзиндә I_c интенсивлијинә нисбәти верилмишдир. Шәкилдән ајдын көрүнүр ки, фырланмајан (сүр'әти сыфыр олан) улдузун спектрал хәтләринин профили чох енсиз вә дәриндир (кәскиндир). Фырланма сүр'әти бөјүк олдугча улдузун спектрал хәтләри даһа чох кенишләнир вә дајазлашыр, бу дәјишмә фырланма сүр'әти артдыгча күчләнир.

Мүшаһидәләрдән тапылмышдыр ки, јалныз O, B, A вә Һәмчинин F-ин илк алт синифләри кими исти улдузлар сүр'әтлә фырланырлар. Ән бөјүк сүр'әтлә фырланан улдузлар В синфинә мәхсус олан о улдузлардыр ки, онларын спектриндә удулма хәтләри илә јанашы парлаг емиссија хәтләри дә вардыр. Белә улдузларын екваториал фырланма сүр'әти 600 км/сан-ја чатыр. Үмумијјәтлә В вә А синфинә мәхсус улдузларын екваториал фырланма сүр'әтләри 400—500 км/сан, F_0 синфинә мәхсус улдузларынкы 200—300 км/сан-ја чатыр. F5 типли улдузлар бир нөв бөјүк вә кичик фырланма сүр'әтләринә мәхсус олан улдузларын сәрһәддиндәдир. F5—M синифләринә мәхсус улдузларын фырланма сүр'әти ән чоху онларла км/сан-дир. Билирик ки, Күнәшин екваториал фырланма хәтти сүр'әти 2 км/сан-дыр. Нәһәнк вә ифрат нәһәнкләрин охәтрафы фырланмасында мараглы чәһәтләр мүшаһидә олунур. Илкин, јә'ни исти спектрал синфә мәхсус нәһәнкләр бу синифдән олан баш ардычыллығын улдузларындан ләнк фырланырлар, бу-

нун эксинә олараг өткүн, јә'ни сојуг спектрал синфә мәхсус нәһәнкләр сүр'әтлә фырланырлар. Мәсәлән, G спектрал синфинә мәхсус еләнәһәнкләр вар ки, онларын екваториал фырланма сүр'әти 100 км/сандир. Ифрат нәһәнкләрин фырланмасында нәһәнкләринкинин әкси мүшаһидә олунур, јә'ни илкин спектрал синифдән өткүн спектрал синфә кечдикчә фырланма сүр'әти азалыр—100 км/сан-дән 10 км/сан-јә енир.

Улдузларын магнит саһәси. Мүәјјән техники васитәләрлә Зејеман еффектинә әсасән улдузларын магнит саһәләри ($H>200$ Е олдуғда) өлчүлүр. Һал-һазырда кәркинлији $H \gg 1000$ Е олан 100-ә гәдәр улдузун магнит саһәси өлчүлмүшдүр. Бу улдузларын әксәријјәтинин магнит саһәләри дәјишир; бә'зиләринин гүтбүлүкләри дә дәјишир. Магнит саһәләри өјрәнилән улдузларын һамысы әсасән А спектрал синфинә мәхсус, даһа доғрусу В8—FO интервалында олан улдузлардыр. Бу улдузлардан биринин магнит саһәсинин кәркинлији максимумда 34000 Е, минимумда исә 12000 Е-ә чатыр, башга сөзлә улдузун магнит саһәсинин кәркинлији бу интервалда гејри-мүнтәзәм рәгси дәјишиклијә уғрајыр. Сон вахтлар бә'зи гырмызы нәһәнкләрдә 1000 Е-ә гәдәр магнит саһәсинин олдуғу мүәјјән едилмишдир. Ағ чыртданларда ишығын мүшаһидә олунан даирәви полјаризасијасы бу улдузларда күчлү —10^7 Е магнит саһәси олдуғуну фәрз етмәјә имкан верир. Нејтрон улдузларында исә магнит саһәсинин кәркинлији 10^{12} Е-ә чатыр.

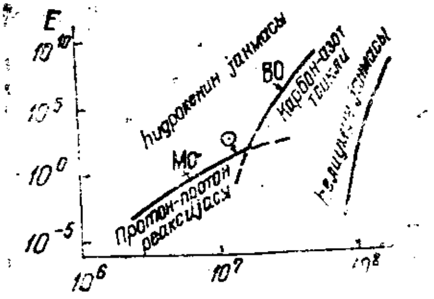
§ 121. УЛДУЗЛАРЫН ДАХИЛИНДӘ ФИЗИКИ ШӘРАИТ. НЕЈТРОН УЛДУЗЛАРЫ. ГАРА ЧУХУРЛАР.

Улдузларын дахили гурулушуну сәчијјәләндирән ән мүһүм параметрләрдән бири онун мәркәзи температурудур. Биз § 90-дан Күнәшин мәркәзи температурунун $T_0 = \frac{G}{A} \mu_0 \frac{m_\odot}{R_\odot}$ дүстуру илә һесабландығыны билирик. Күтлә илә радиус арасындакы (10.37) емпирик асылылығa әсасән јухарыдакы ифадәдән улдузун мәркәзиндә температуру гијмәтләндирмәк үчүн

$$T_0 \simeq 14 \cdot 10^6 \left(\frac{\mu}{\mu_\odot}\right)\left(\frac{m}{m_\odot}\right)^{1/4} \qquad (10.41)$$

дүстуруну аларыг. Баш ардычыллыг үзрә јухары сол күнчдән ашағы сағ күнчә доғру улдузларын күтләси кичилир вә онларын мәркәзи температурлары да буна мүвафиг олараг кичик олур. Мәсәлән, ВО спектрал синфинә мәхсус улдуз үчүн $m \simeq 14 m_\odot$ гәбул етсәк ($\frac{\mu}{\mu_\odot} \simeq 1$ һесаб етмәклә) (10.41) дүстурундан бу улдузун мәркәзиндә $T \simeq 30 \cdot 10^6$ К алынар; баш ардычыллығын КО улдузу үчүн исә мәркәзи температур ($m \simeq 0{,}6 m_\odot$ гәбул етмәклә) $\sim 10 \cdot 10^6$ К-дир. Баш ардычыллыг үзрә со-

југ улдузлара доғру маддә сыхлығы да кичилир. 141-чи шәкилдә нүвә реаксијалары енержисинин температурдан асылылығы көстәрилмишдир. Бу шәкилдән ајдын көрүнүр ки, сојуг улдузлардан Күнәшдән бир гәдәр исти улдузларадәк һидрокен, протон-протон реаксијалары нәтичәсиндә јаныр. Күнәшдән даһа исти улдузларын нүвәсиндә исә һидрокенин јанмасы карбон-азот тсикли илә олур. Нәһајәт (7.63) вә (7.65) дүстурларындан билирик ки, протон-протон реаксијалары заманы ајрылан енержи $\sim T^4$ олдуғу һалда, карбон-азот реаксијалары заманы ајрылан енержи $\sim T^{20}$-дир.



Шәкил 141. Нүвә реаксијаларынын температурдан асылылығы

Беләликлә *баш ардычыллығын јухары һиссәсиндәки улдузларын* нүвәләриндә кедән истилик-нүвә реаксијалары заманы даһа чох енержи ајрылыр вә нәтичәдә улдуз даһа парлаг олур. Һәм дә нүвә реаксијалары нәтичәсиндә бу улдузлардан ајрылан енержи $\sim T^{20}$ олдуғундан онун көчүрүлмәси үчүн күчлү конвексија лазымдыр. Одур ки, мәсәлән күтләси $10m_\odot$ вә радиусу $6R_\odot$ олан B спектрал синфинә мәхсус баш ардычыллығын улдузларын нүвәсиндә кениш миг'јаслы вә бөјүк күтләли конвексија зонасы вардыр. Бу мәркәзи конвексија зонасынын радиусу вә күтләси улдузун радиус вә күтләсинин 25%-ни тәшкил едир.

Баш ардычыллығын сојуг улдузларында истилик-нүвә реаксијалары протон-протон тсикли илә олдуғундан бу реаксијалар нәтичәсиндә ајрылан енержи — $\sim T^4$-дир; дикәр тәрәфдән мүтләг гара чисмин шүаланмасы да температурдан белә асылыдыр. Одур ки, сојуг улдузларын нүвәсиндә һасил олан енержи сәтһ гатларына шүаланма јолу илә көчүрүлүр. Бу улдузларын јалныз нисбәтән үст гатларында удма әмсалы дәринликлә о гәдәр кәскин бөјүјүр ки, енержинин көчүрүлмәсиндә әсас ролу конвексија ојнајыр. Баш ардычыллығын K синфинә мәхсус улдузларында харичи конвексија зонасы Күнәшинкиндән, јә'ни G синфинә мәхсус улдузларынкындан кениш, M синфинә мәхсус улдузларынкы исә даһа кениш олур. Беләликлә баш ардычыллыг үзрә сојуг улдузлара доғру кетдикчә галынлашан вә дәринләшән харичи конвексија зонасы вардыр. Әкәр Күнәшин харичи фотосфералты гатында күтләчә чәми 2% маддә конвексијада иштирак едирсә, KY-дә маддәнин 10%-и конвектив зона јарадыр.

Субчыртдан улдузлар һеч бир конвексија зонасына малик дејил. Чүнки һәмин улдузларда дәмир вә даһа ағыр елементләр нисбәтән аздыр вә ја һеч јохдур вә бунунла әлагәдар олараг гејри-шәффафлығын кичик олмасы нәтичәсиндә енержи көчүрүлмәси үчүн конвексија ја еһтијач олмамышдыр. Субчыртданларда ағыр елементләрин азлығы вә һәтта јохлуғу көстәрир ки, бу улдузлар илкин улдуз агрегатын-

дан эмәлә кәлибләр. Бу о демәкдир ки, субчыртданлар маддәнин улдуз мәрһәләси кечмәмиш һалындан јаранмышлар. Бу илк маддә һалында исә ағыр елементләр ола билмәзди, чүнки белә күман едирләрки, ағыр елементләр артыг бир дәфә улдуз мәрһәләсини кечмиш маддәдәдән јаранан чаван вә исти улдузларда эмәлә кәлирләр.

Гырмызы нәһәнкләрин дахили гурулушу хүсусилә мүрәккәбдир. Бу улдузларын мәркәзиндә радиусу 10^{-3} улдуз радиусуна, күтләси 0,25 Күнәш күтләсинә бәрабәр олан изотермик нүвә вардыр. Бу нүвә чырлашмыш һелиум газындан ибарәтдир. Нүвәнин чырлашмасына сәбәб сыхлығын чох бөјүк олмасыдыр. Мәсәлән, күтләси 1,3 $m_\odot$ олан гырмызы нәһәнкин һелиум нүвәсиндә сыхлыг 350 кг/см^3-дир; белә улдузун нүвәсиндә температур $40 \cdot 10^6$ К-дир. Изотермик нүвә галынлығы 10^{-3} улдуз радиусу гәдәр олан назик һалга илә әһатә олунмушдур. Улдузун дахили енержи мәнбәји дә мәһз әсасән һидрокендән ибарәт олан бу назик һалгада һидрокенин «јанмасы» илә бағлы истилик-нүвә реаксијаларыдыр; бу улдузун һелиумдан ибарәт нүвәсиндә истилик нүвә реаксијасы кедә билмәз, чүнки бунун үчүн температур 10^8 К олмалыдыр, бурада исә $40 \cdot 10^6$-дыр. Гырмызы нәһәнкин 9/10 улдуз радиусу гәдәр чох кениш үст өртүјү күчлү конвектив зонаны тәшкил едир, улдузун күтләсинин 70%-и бу зонададыр.

Ағ чыртданлар — Һ.—Р. диаграмында ашағы сол күнчдә јерләшдикләриндән онларын ишыглығынын Күнәшинкиндән тәртибләрчә кичик олмасыны, бу улдузларын радиусларынын Күнәшинкиндән јүз дәфәләрлә кичик олмасы илә изаһ етмәк олар. Дикәр тәрәфдән ағ чыртданларын орта күтләси 0,6$m_\odot$ олдуғундан онларын сыхлығы чох бөјүк—10^5—10^7 г/см^3 олмалыдыр. Ајдындыр ки, 10^7 К температурда сыхлығы белә бөјүк олан газ чырлашмыш һалда олмалыдыр. Беләликлә, ағ чыртданларын гурулушу чырлашмыш електрон газынын тәзјиги илә мүәјјән олмалы, нүвәдән харичә енержи көчүрүлмәси исә әсасән истиликкечирмә јолу илә баш вермәлидир (ади улдузларда истиликкечирмә олдугча кичикдир). Һесабламалар көстәрир ки, нүвәдән $r \simeq 0{,}98$ улдуз радиусу гәдәр мәсафәјәдәк чырлашмыш електрон газларындан ибарәт дахили гат изотермикдир ($10 \cdot 10^6$К); харичдән ағ чыртдан назик өртүклә әһатә олунуб вә бу өртүкдә температур харичә доғру кәскин азалыр вә сәтһдә $(10 \div 30) \cdot 10^3$ К олур. Нәзәријјәдән мә'лумдур ки, ағ чыртданын күтләси $m < 0{,}6 m_\odot$ оларса чырлашмыш електрон газы гејри-релјативистләшир вә $R \sim m^{-1/3}$ мүнасибәти јаранир, јә'ни күтлә бөјүдүкчә радиус кичилир. Бу һалда $P_e \sim \rho^{5/3}$-дир (релјативист електрон газында $P_e \sim \rho^{4/3}$ -дир); күтләнин радиусдан асылы олмајан мүәјјән һүдуд гијмәти олур. Бу күтләјә *һүдуд күтләси* дејилир вә онун гијмәти 1,4 $m_\odot$-дир. Бу о демәкдир ки, ағ чыртданын күтләси 1,4 $m_\odot$-дән бөјүк ола билмәз, әкс һалда улдуз таразлыгда гала билмәз, она көрә дә о артыг күтләни атмалыдыр. Һесабламалар көстәрир ки, чырлашмыш ион газынын сојумасы һесабына ағ чыртдан 10^9 ил енержи шүаландыра биләр. Бир груп астрофизик белә һесаб едир ки, гырмызы нәһәнк өз кениш өртүјүнү (конвектив зонасыны) атарса, галан нүвә вә назик өртүк ағ чыртдан ола биләр. Ағ чыртданын өртүјүндә

һидрокенин «јанмасы» һесабына истилик нүвә рәаксијалары да кедә биләр.

Нејрон улдузлары. Улдузларын дахили гурулуш нәзәријјәси көстәрир ки, күтләнин мүәјјән гијмәтиндән е'тибарән чырлашмыш газын тәзјиги улдузун гравитасија гүввәсини таразлаја билмир вә улдуз дајаныгсыз һала кечир. $m \leqslant 3m_{\odot}$ күтләјә малик белә улдуз сыхыларкән онун маддәсинин сыхлығы $\rho > 10^{10}$ г/см^3 олур вә $p + e^- \rightarrow n + \nu$ реаксијалары нәтичәсиндә улдузун дахилиндә нејтронлашма просеси башлајыр. Нәтичәдә чырлашмыш газ нејтрон газына чеврилир вә сыхлығын даһа да бөјүк олмасы һесабына улдуз таразлыг вәзијјәтини алыр, нејтрон газынын тәзјиги гравитасија гүввәсини таразлајыр. Белә улдуз нејтрон улдузу адланыр. Нејтрон улдузунун радиусу $R \simeq 12 \left(\frac{m}{m_{\odot}}\right)^{1/3}$ км

дир. Нејтрон улдузунун мәркәзиндә сыхлыг 10^{14}—10^{15} г/см^3, сәтһиндә исә буна нисбәтән чох кичик—10^4 г/см^3-дир. Бу улдузларын нүвәсиндә температур јүзләрлә милјон дәрәчәдир, сәтһи бәрк чисмин хүсусијјәтләринә маликдир. Башга сөзлә нејтрон улдузу галынлығы бир нечә јүз метр олан бәрк габыға маликдир.

Нејтрон улдузлары сүр'әтлә фырланырлар. Буну садә һесаблама васитәсилә көстәрәк: Күтләси m, радиусу R, фырланма бучаг сүр'әти ω олан күрәјә бахаг. Белә күрә бирчинсдирсә ($\rho = \text{const}$) әталәт моменти $2/5\, mR^2$ олар. Онда онун һәрәкәт мигдары моменти $\frac{2}{5} mR^2\omega$ шәклиндә јазылар. Фәрз едәк ки, бахдығымыз күрә улдуздур вә бу улдуз сыхыларкән онун һәрәкәт мигдары моменти сахланыр, јә'ни $\omega R^2 = \text{const} = \omega_0 R_0^2$-дыр (сыфыр индекси сыхылмаја гәдәрки һала аиддир). Инди гәбул едәк ки, сыхылмаја гәдәр улдузун радиусу вә фырланма бучаг сүр'әти Күнәшинкинә бәрабәр, јә'ни $R_0 \simeq 7 \cdot 10^{10}$ см, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \simeq \frac{2\pi}{25 \cdot 86400\,\text{сан}} \simeq 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{рад}}{\text{сан}}$, јахуд $f_0 = \frac{1}{T_0} \simeq 4{,}63 \cdot 10^{-7}\text{сан}^{-1}$ олмушдур. Сыхылманын сонунда улдузун радиусу $R = 20$ км оларса, онда $f = f_0 \left(\frac{R_0}{R}\right)^2$ мүнасибәтиндән $f = 560$ сан$^{-1}$ аларыг, јә'ни белә улдуз чох бөјүк сүр'әтлә—санијәдә 560 дәфә өз оху әтрафында фырланар. Әлбәттә һәрәкәт мигдары моментинин бир гисми магнит гүввә хәтләри васитәсилә улдузу тәрк едә биләр, јә'ни фырланма сүр'әти јухарыда алдығымыздан кичик ола биләр, лакин бу сүр'әт јенә дә бөјүк галар.

Нејтрон улдузларын магнит сиһәси дә чох бөјүк олмалыдыр. Буну көстәрмәк үчүн нәзәрдә тутмаг лазымдыр ки, улдуз сыхыларкән онун плазмасына дондурулан магнит гүввә хәтләри дә сыхылмалыдыр. Одур ки, улдуз сыхыларкән магнит саһәси сели $4\pi R^2 H = \text{const}$ олмалыдыр. Башга сөзлә сыхылманын сонунда саһәнин кәркинлији $H = H_0 \left(\frac{R_0}{R}\right)^2$ олар. Бу о демәкдир ки, илкин кәркивлик бир Ерстед

оларса, $\frac{R_0}{R}=\frac{7\cdot 10^5}{20}=35\cdot 10^4$ гәбул етсәк, сыхылманын сонунда $H\simeq$ $\simeq 10^9$ Ерстед олар.

Беләликлә нәзәријјә көстәрир ки, чох кичик радиуслу ифрат сых чох бөјүк сүр'әтлә фырланан вә чох бөјүк магнит саһәсинә малик олан улдузларын, јә'ни нејтрон улдузларынын олмасы там мүмкүндүр. Нејтрон улдузларынын нәзәријјәси 1932-чи илдә позитрон вә нејтрон адландырылан ики елементар зәррәчијин кәшфиндән демәк олар ки, дәрһал сонра ишләнмәјә башламышдыр.

Бәс нејтрон улдузлары һәгигәтдә вармы? 1967-чи илдә пулсар адландырылан објектләр кәшф едиләндән сонра бу суала чаваб вермәк имканы јаранды. Астрофизикләрин әксәријјәти һесаб едирләр ки, пулсарлар елә нејтрон улдузларыдыр (бах § 129).

Гара чухурлар (гравитасија коллапслары). Гара чухурун објект кими мә'насыны баша дүшмәк үчүн әввәлчә чисмин гравитасија радиусу адланан кәмијјәтлә таныш олаг.

Үмумдүнја чазибә ганунуна керә ики мадди нөгтә арасындакы гаршылыглы чазибә гүввәси $F\sim\frac{1}{r^2}$ олдуғундан бу нөгтәләр арасындакы мәсафә $r\to 0$ оланда $F\to\infty$ олур.

Үмуми нисбилик нәзәријјәсинә көрә исә күтләси M олан чисимлә күтләси m олан нүмунә күтләси арасындакы чазибә гүввәси $r\to 0$ оланда дејил, $r\to R_g=\frac{2GM}{c^2}$ оланда сонсузлуға јахынлашыр вә $r=$ $=R_g$-да сонсуз бөјүк олур (G—гравитасија сабити, c—ишығын сүр'әтидир). R_g *гравитасија радиусу* адланыр вә јухарыдакы нәтичәни илк дәфә мәшһур астрофизик К. Шварстшилд 1916-чы илдә алмышдыр. M күтлә мәркәзи әтрафындакы R_g радиуслу сфера *Шварстшилд сферасы* адланыр.

Инди фәрз едәк ки, Күнәш күтләли улдуз гравитасија радиуслу күрәјә гәдәр сыхылмышдыр. Белә күрәнин орта сыхлығы $\frac{m_\odot}{4/3\pi\left(\frac{2Gm}{c^2}\right)^3}=$ $=2\cdot 10^{16}$ г/см^3 олар. Одур ки, бүтүн күтләси Шварстшилд сферасында топланан m күтләли улдузун орта сыхлығы $\bar{\rho}=2\cdot 10^{16}\left(\frac{m_\odot}{m}\right)^2$ г/см^3 олар. Бурадан көрүрүк ки, улдузун күтләси $m>3m_\odot$ оларса $\bar{\rho}<2\times$ $\times 10^{15}$ г/см^3 олар вә улдузун күтләси бир нечә он Күнәш күтләсинә бәрабәр оларса, бу һалда онун орта сыхлығы нејтрон улдузункиндән дә кичик олар. Белә улдузларын варлығы исә шүбһә доғурмур. Бурада белә бир суал чыхыр: күтләси кифајәт гәдәр бөјүк улдуз гравитасија радиусундан кичик радиуслу күрәјә гәдәр сыхыла биләрми? Үмуми нисбилик нәзәријјәси бунун мүмкүн олдуғуну көстәрир. Башга сөзлә, објектин күтләси $m>3m_\odot$ оларса, һәтта чырлашмыш нејтронларын да тәзјиги гравитасијаны таразлаја билмәз вә објект гравитасија радиусундан кичик радиуслу күрәјә гәдәр сыхыла биләр. Ра-

диусу гиавитасија радиусундан кичик олан белә обіект гара чухур адланыр. Бу ад онунла әлагәдардыр ки, $R < R_g = \frac{2Gm}{c^2}$ оланда белә обіект үчүн параболик сүр'әт $v_п = \sqrt{\frac{2Gm}{R}} > c$ олур, іә'ни һәтта ишыг квантлары обіекти тәрк едә билмир—„чухурдан чыха билмир".

Аіындыр ки, гара чухурун варлығыны о вахт гәти сөіләмәк олар ки, обіект ади бир улдузла сых гоша систем тәшкил етсин. Бу һалда ади улдуздан гара чухура тәрәф ахан маддәнин траіекторијасы ишыг сүр'әтинә іахын сүр'әтлә спирал боіунча олар, гара чухурун гравитасија саһәсиндә он милјонларла дәрәчә гызан мүһит іаранар. Белә мүһит ренткен областда күчлү шүаланма мәнбәји олмалыдыр. Сых гоша системдә көрүнмәіән обіектин (бах § 123. 4) бөіүк күтләіә $m > 3m_\odot$ малик олмасы да онун гара чухур олмасы еһтималыны артырыр (биз дедик ки, ағ чыртданларын максимум күтләси $1{,}4m_\odot$, неітрон улдузларынкы исә $3m_\odot$.-дир).

§ 122. УЛДУЗЛАРЫН АТМОСФЕРЛӘРИ (ФОТОСФЕРЛӘРИ)

Улдуз атмосферинин галынлығы онун күтлә, радиус вә температурундан асылыдыр. Доғрудан да, мә'лумдур ки, (бах § 91) бирчинс атмосферин галынлығы

$$H = \frac{AT}{\mu g}$$

дүстуру илә гијмәтләндирилир. Бурада T—температур, g—ағырлыг гүввәсинин тә'чили. μ—молекулјар күтлә, A—универсал газ сабитидир. Дикәр тәрәфдән күтләси m вә радиусу R олан улдузун сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чили

$$g = G\frac{m}{R^2}.$$

Бу дүстурдан бирчинс атмосферин галынлығы үчүн

$$H = \frac{ATR^2}{G\mu m}$$

алыныр. Бурадан көрүрүк ки, доғрудан да улдуз атмосфериндә һүндүрлүк шкаласы улдузун күтләси илә тәрс, температур вә радиусун квадраты илә дүз мүтәнасибдир. Әкәр бүтүн улдузларын температур вә күтләләри еіни олсаіды, онда улдузларын бирчинс атмосферләринин галынлығы онларын радиусларынын квадраты илә дүз мүтәнасиб оларды. Лакин улдузлар күтлә вә температурларына көрә фәргли олдугларындан (10.35), (10.36) вә (10.38) мүнасибәтләрини, іә'ни «күт-

лә-ишыглыг-радиус» əлагәләрини H-ын јухарыдакы дүстурунда нәзәрә алсаг

$$H \sim R^{1,46}$$

олар. Беләликлә H-ы јалныз улдузун радиусундан асылы һесаб етмәк олар вә бу һалда улдузун бирчинс атмосферинин галынлығы радиусун 1.46 дәрәчәси илә мүтәнасиб олар.

H-ын R-дән бу асылылығындан алырыг ки, күнәш атмосферинин (фотосферинин) галынлығы бир нечә јүз километр олдуғу һалда, баш ардычыллығын лап јухары һиссәсиндәки улдузларын фотосферләринин галынлығы Күнәшинкиндән он дәфәләрлә бөјүкдүр, јә'ни минләрлә километрдир; нәһәнкләрин фотосфери Күнәшинкиндән јүз дәфәләрлә бөјүкдүр; јә'ни он минләрлә километрдир; ифрат нәһәнкләринки исә даһа бөјүк—мин—он мин дәфәләрлә бөјүкдүр, јә'ни онларын фотосферләринин галынлығы јүз минләрлә, милјонларла километрдир. Бунларын əксинә олараг ағ чыртданларын фотосферләринин галынлығы чәми бир нечә он вә ја бир нечә јүз метрдир.

Улдуз атмосферләриндә сыхлығы гијмәтләндирмәк үчүн нәзәрдә тутуруг ки, чыхан шүаланмаја ујғун гатын оптик дәринлији $\tau \simeq 1$-дир. Одур ки, (7.20) дүстуруна əсасән дејә биләрик ки, ваһид оптик галынлыг H һәндәси галынлығына ујғундурса, онда

$$\varkappa \rho H \simeq 1$$

олмалыдыр ($\varkappa$—ваһид күтләјә дүшән удулма әмсалы—гејри-шәффафлыг әмсалы, ρ—фотосферин орта сыхлығыдыр). Беләликлә

$$\rho \simeq \frac{1}{\varkappa H}$$

$\varkappa$ — удма әмсалы температурдан, тәзјигдән вә кимјәви тәркибдән асылыдыр. Лакин бу асылылыгда тәзјиг ән бөјүк ролу ојнајыр. Тәзјиг исә улдузун сәтһиндә ағырлыг гүввәсинин тә'чилиндән асылыдыр—тә'чил бөјүк оланда тәзјиг дә бөјүк олур вә $\varkappa$ бөјүјүр. Дикәр тәрәфдән ағырлыг гүввәсинин тә'чили бөјүјәндә H кичилир. Беләликлә H-ын кичилмәси, $\varkappa$-нын бөјүмәси илә мүшајәт олунур. Одур ки, мүхтәлиф улдузларын фотосферләриндә сыхлыглар фәрги чох бөјүк олмур. Доғрудан да нәһәнк, һәтта ифрат нәһәнкләрин атмосферләри Күнәшкиндән чәми 10 дәфә сејрәкдир, ағ чыртданларын лап үст гатлары исә чәми 10 дәфә сыхдыр.

Ашағыда, 12-чи чәдвәлдә бир сыра улдузларын нүвәси вә фотосферинин бә'зи характеристикалары верилмишдир.

Əлбәттә бу чәдвәлдә көстәрилән әдәдләр тәгрибидир вә орадакы рәгәмләр јадда галсын дејә јуварлаглашдырылыб.

Чәдвәл 12

Улдузларын нүвә вә атмосферләринин бә'зи характеристикалары.

Улдузун синфи	Улдузун мәркәзиндәки шәраит			Улдузун атмосфериндәки шәраит	
	T_0 (K)	ρ_0 г/см³	H (км)	T (K)	ρ (г/см³)
B0 V	$3\cdot10^7$	8	1000	20000	10^{-9}
G2 V	$1,3\cdot10^7$	130	180	6000	
M0 V	10^7	65	160	3300	10^{-7}
					$3\cdot10^{-7}$
K0III	$4\cdot10^7$	$3.5\cdot10^5$	20000	4100	10^{-8}
A0VII	10^7	$1,5\cdot10^7$	0,1	10000	10^{-6}

II һиссә

ГОША ВӘ ДӘЈИШӘН УЛДУЗЛАР

§ 123. ГОША УЛДУЗЛАР

1. Кириш. Гаршылыглы гравитасија гүввәси илә бир-биринә бағлы олан вә үмуми күтлә мәркәзи әтрафында һәрәкәт едән ики улдузун әмәлә кәтирдији систем—гоша улдуз анлајышы илә § 117-дә улдузларын күтләсиндән бәһс едәндә таныш олдуг. Систем 2-дән чох улдуздан да ибарәт ола биләр. 3—10 улдуздан ибарәт физики рабитәдә олан системә мисилли улдузлар дејилир. Гаршылыглы чазибә гүввәләри илә бир-биринә бағлы олан вә фәзада ваһид објект кими һәрәкәт едән 10-дан артыг улдуздан ибарәт груп улдуз топалары вә улдуз ассосиасијалары адланыр (бах: § 133).

Әлбәттә көј сферасында бир-биринин јахынлығында көрүнән улдузларын һамысыны гоша, мисилли вә ја топа һесаб етмәк олмаз.

Улдузлар әслиндә бир-бирләриндән чох узаг мәсафәләрдә (јахуд Күнәшдән чох мүхтәлиф мәсафәләрдә) ола биләрләр вә онларын јалныз көј сферасына проjексијалары јахын көрүнә биләр. Бу чүр гоша оптик гоша адланыр. Бунлары физики гошалардан фәргләндирмәк үчүн мүхтәлиф үсуллар вардыр. Һәр шејдән әввәл һесабланмышдыр ки, бир-бириндән бучаг мәсафәләри 10″ олан ики улдузун оптик гоша олмасы еһтималы чох кичик—4·10 [illegible]-дыр.

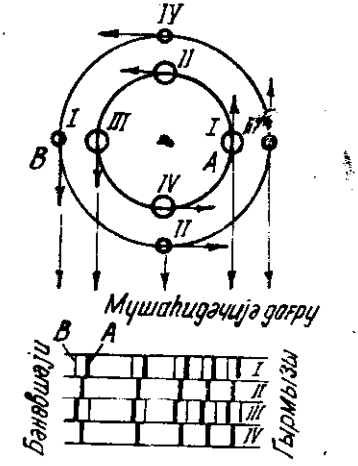
Мисилли улдузларда бу еһтимал лап кичикдир. Телескопда гоша вә ја мисилли көрүнән улдузларын физики рабитәдә олмаларыны сүбут етмәк үчүн ән е'тибарлы үсул системин компонентләринин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында орбитал һәрәкәтләрини, јахуд системин улдузларынын фәзада бир јердә һәрәкәтини ашкар етмәкдир. Әввәлчә мисилли улдузлар һаггында бир нечә сөз. Мисилли улдузлардан ән мәшһурларындан бири Касторддур (Әкизләрин α-сы). Бу систем алты улдуздан ибарәтдир, чох да бөјүк олмајан телескопда компонентләри

арасында бучаг мәсафәси 2″ олан гоша кими көрүнүр. Һәр икисинин спектрал синфи Ао, көрүнән улдуз өлчүләри $2^m,0$ вә $2^m,9$-дур. Бу улдузларын доланма дөврләри 4000 илә јахындыр. 73″ мәсафәдә спектрал синфи МО, көрүнән улдуз өлчүсү $9^m,0$ олан үчүнчү улдуз да һәмин системин улдузлары илә физики рабитәдәдир. Бурада физики рабитәнин реаллығы шәксиздир, чүнки һәр үч улдуз фәзада ваһид обіект кими һәрәкәт едир. Бу системин ән парлаг улдузу әтрафында улдуз-пејкин доланма дөврү тәгрибән 1000 илә бәрабәрдир. Нәһајәт бу үч улдуздан һәр бири спектрал гошадыр (бах: § 123. 2). Беләликлә Кастор беш улдузла бирликдә мисилли системә дахилдир. Ади көзлә көрүнән бу улдузун улдуз өлчүсү исә белә тапылыр: $m_1=2^m,0$, $m_2=2^m,9$ олдуғундан бу ики парлаг улдузун парлаглыглары нисбәти $\frac{E_2}{E_1}=10^{-0,4(m_2-m_1)}\simeq 0,4$ 5-дир. Улдуз өлчүсү $m_3=9^m,0$ олан үчүнчү улдузун парлаглығы биринчи улдузун парлаглығына нисбәтән $\frac{E_3}{E_1}=10^{-0,4(m_3-m_1)}\simeq 0,0016$ олдуғундан $E=E_1+E_2+E_3$ вә $m=m_1-2,5\lg\frac{E}{E_1}$ олдугуну нәзәрә алараг (бурада $\frac{E}{E_1}=\frac{E_1+E_2+E_3}{E_1}\simeq\frac{E_1+E_2}{E_1}=1+\frac{E_2}{E_1}=1,44$-дүр) $m=2^m,0-0^m,4=1^m,6$ аларыг. Беләликлә Кастор ади көзлә $1^m,6$ улдуз өлчүсүнә малик тәк улдуз кими көрүнүр (һалбуки, бу улдуз һәгигәтән тәк улдуз олсајды онун көрүнән улдуз өлчүсү $2^m,0$ оларды вә $\sim 1,4$ дәфә зәиф көрүнәрди).

Гоша улдузлар *визуал, спектрал вә тутулан-гоша* олурлар. Биз § 117-дә визуал-гоша улдузларла таныш олдуг. Инди дикәр гошаларла таныш олаг.

2. Спектрал-гоша улдузлар. *Гошалығы јалныз спектрал тәһлил нәтичәсиндә мүәјјән едилән системә спектрал-гоша улдузлар дејилир.* Спектрал-гоша улдузун компонентләри арасындакы бучаг мәсафәси 0″,05-дән кичик олдуғундан ән бөјүк телескопда белә онларын гошалығы көрүнмүр. Гоша улдузун орбит мүстәвиси бахыш шүасына перпендикулјар оларса, јә'ни орбит мүстәвиси шәкил мүстәвисиндә оларса, системин гошалығыны спектрал тәһлиллә дә ашкар етмәк олмаз. Әкәр орбит мүстәвиси шәкил мүстәвиси илә мүәјјән бучаг әмәлә кәтирирсә (ән јахшы һал бу мүстәвиләрин перпендикулјар олмасы, јә'ни бахыш шүасынын орбит мүстәвисиндә олмасыдыр) онда компонентләрин спектрал хәтләри лабораторија хәтләринә нисбәтән Доплер ефектинә әсасән сүрүшмәлидир. Фәрз едәк ки, бахыш шүасы орбит мүстәвисиндәдир. Гоша системин һәр ики компонентинин спектр хәтләри көрүнән олсун. Компонентләрин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында орбитал һәрәкәти нәтичәсиндә спектр хәтләри каһ бәнөвшәји, каһ гырмызы уча сүрүшәчәкләр. Парлаг компонентин спектр хәтләринин сүрүшмә амплитуду нисбәтән кичик олмалыдыр. 142-чи шәкилдә спектрал-гоша улдуз системи, бу системин компонентләринин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында орбитал һәрәкәтләри вә компонентләрин орбитләриндәки мувафиг вәзијјәтләриндә спектр хәтләринин јерләри көстәрил-

мишдир. Шәкилдә А улдузу баш улдуздур. Бу улдузун спектрал хәтләри даһа интенсивдир. Күтләси бөјүк олан бу улдузун сүрүшмә амплитуду да кичикдир. I вәзијјәтиндә А улдузу бахыш шүасы бојунча узаглашыр, В улдузу исә даһа бөјүк шүа сүр'әти илә јахынлашыр. Одур ки, бу вәзијјәтдә А улдузунун спектр хәтләри гырмызы уча, В улдузунку исә бәнөвшәји уча тәрәф (даһа чох) сүрүшүр. II вәзијјәтиндә һәр ики компонентин сүр'әт векторлары бахыш шүасына перпендикулјар олдуғундан онларын спектр хәтләринин вәзијјәтиндә Доплер сүрүшмәси олмур вә һәр ики улдузун спектр хәтләри лабораторија хәтләринин үзәринә дүшүр. III вәзијјәтиндә В улдузу бахыш шүасы бојунча мүшаһидәчидән узаглашыр, А улдузу исә она јахынлашыр. Одур ки, бу вәзијјәтдә А улдузунун спектр хәтләри бәнөвшәји уча, В улдузункилар исә гырмызы уча тәрәф ән чох сүрүшүр. IV вәзијјәтиндә II вәзијјәтинә охшар һал баш верир, јә'ни һәр ики компонентин сүр'әт векторлары бахыш шүасына перпендикулјар олдуғундан спектрдә хәтләрин вәзијјәтиндә Доплер сүрүшмәси олмур. Әкәр јалныз баш улдузун спектри көрүнүрсә онда спектр хәтләринин сүрүшмәси јалныз баш улдуза аид олар—бу улдузун спектр хәтләри кичик амплитудла каһ гырмызы, каһ да бәнөвшәји уча тәрәф сүрүшәр. Бу заман баш улдузун күтләси нә гәдәр бөјүк олса онун спектр хәтләринин сүрүшмә амплитуду да бир о гәдәр кичик олмалыдыр. Спектр хәтләринин сүрүшмәси периоду компонентләрин күтлә мәркәзи әтрафында доланма периодуну верир.

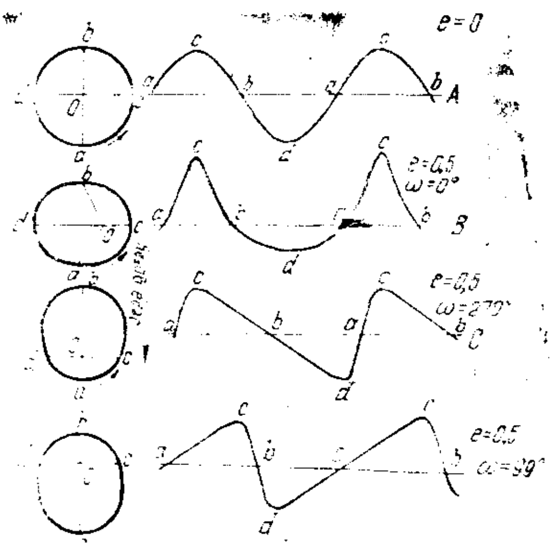


Шәкил 142. Спектрал гоша улдуз системиндә шүа сүр'әтләринин дәјишмәси схеми

Сүрүшмәнин гијмәти исә шүа сүр'әтинин гијмәтини тапмаға имкан јарадыр. Шүа сүр'әтинин замандан асылылыг әјрисинә шүа сүр'әтләри әјриси дејилир. 143-чү шәкилдә шүа сүр'әтләри әјриләринин спектрал-гоша системдә орбитин формасындан вә фәзада јөнәлмәсиндән асылылығы көстәрилмишдир. Бу әјриләрдән көрүндүјү кими онларын тәһлили гоша системин орбитинин бә'зи елементләрини тапмаға имкан верир. Бу елементләр доланма периоду, екссентриситет (е), компонентин-пејкин периастрдан (орбитин баш улдуза ән јахын нөгтәсиндән) кечмә аны, периастрын дүјүндән (орбит вә шәкил мүстәвиләринин кәсишдији хәттин орбитлә кәсишдији нөгтәдән) бучаг мәсафәси (ω)-дыр. Бу әјриләрин тәһлилиндән бөјүк јарымохун бахыш шүасына пројексијасы вә Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү гануну васитәсилә компонентләрин күтләләри чәми, сонра да ајры-ајры компонентләрин күтләси тапылыр (бах: § 117).

Индиjэдэк 2500 спектрал-гоша улдуз тапылыб. Бунлардан эн кичик дөврэ малик оланын периоду 2,4 саата (Кичик Аjынын γ-сы), эн бөjүк периода мамалик оланынкы исэ 60 илэ (hидранын ε-у) бэрабэрдир.

3. Тутулан—гоша вэ jа тутулан—дэjишэн улдузлар.



Шэкил 143. Спектрал гоша улдуз системиндэ шүа сүр'этлэринин орбитин форма вэ мүшаhидэчиjэ нэзэрэн jөнэлмэсиндэн асылылығы.

Бахыш шүасы гоша системин орбит мүстэвисиндэ оларса мүшаhидэчи белэ системин компонентлэринин бир-бирини периодик олараг өртмэсини—бу компенслэрин нөвбэ илэ тутулмасыны көрэр. Белэ системэ тутулан-гоша, jахуд фотометрик дэjишэн улдуз деjилир. Аjындыр ки, белэ систем мүшаhидэчи үчүн hэм дэ спектрал-гоша улдуз олар.

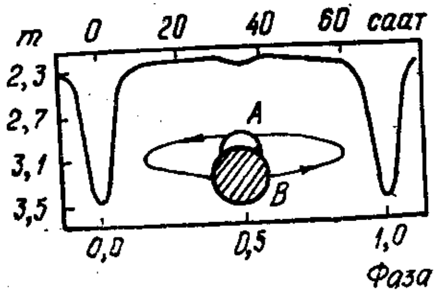
Тутулан-гоша улдуз системиндэ бөjүк ишыглығы олан компонент баш улдуз, кичик ишылыға малик олан исэ онун пеjки адланыр. Аjындыр ки, пеjк вэ баш улдуз бир-биринин гаршысыны кэсмэjэн вэзиjjэтдэ систем эн бөjүк парлаглыға малик олар (эн кичик улдуз өлчүсүнэ малик олар), пеjк баш улдузу бүтүнлүклэ өртэндэ системин парлаглығы эн кичик олар (систем эн бөjүк улдуз өлчүсүнэ малик олар); баш улдуз пеjки тутанда парлаглыг аз-чох зэифлэjэр, бу зэифлэмэ пеjклэ баш улдузун ишыглыглары нисбэтиндэн асылыдыр: пеjк зэиф олса баш улдуз пеjки өртэндэ парлаглыг аз зэифлэjэр, пеjкин парлаглығы баш улдузункуна jахын олдугча белэ тутулмада системин парлаглығы эн кичик парлаглыға jахын олар.

Тутулан-дэjишэн гоша улдуз системинин көрүнэн парлаглығынын (көрүнэн улдуз өлчүсүнүн) замандан асылы олараг дэjишмэси эjрисинэ парлаглыг эjриси деjилир. Системин эн бөjүк парлаглыг аны (эн кичик улдуз өлчүсүнэ малик олдуғу ан) парлаглығын максимум дөврү, эн кичик парлаглыг аны (эн бөjүк улдуз өлчүсүнэ малик олдугу ан) баш минимум дөврү адланыр; баш улдузун пеjки тутдуғу ан исэ икинчи минимум дөврү адланыр. Ики баш минимум арасындакы вахт фасилэси парлаглығын дэjишмэси периоду, баш минимум вэ максимум дөврлэрдэ улдуз өлчүлэри фэрги парлаглығын амплитуду адланыр.

Парлаг әјриләринин характеринә көрә тутулан—гоша улдузлар ашағыдакы нөвләрә ајрылырлар:

1) Әлгул (Персејин β-сы) типли тутулан-дәјишән улдузлар. Баш минимумла икинчи минимум арасында парлаглыг демәк олар ки, сабит галыр. 144-чү шәкилдә абсис охунда алтда фаза, үстдә вахт көстәрилмиш, ординат охунда улдуз өлчүләри верилмишдир. Бу шәкилдә тутулан-гоша Әлгул улдузунун парлаглыг әјриси вә орбитинин схеми верилмишдир. Системдә В пејки А баш улдузуну өртәндә парлаглыг ән кичик олур (улдуз өлчүсү $m \simeq 3^m,5$ олур); А баш улдузу В пејкини өртәндә икинчи чох дајаз минимум мүшаһидә олунур (улдуз өлчүсү $m \simeq 2^m;$ 3 олур); бу ики минимум арасында ән бөјүк вә сабит парлаглыг олур (улдуз өлчүсү $m \simeq 2^m,3$ олур). Әлгул тутулан дәјишән гоша улдузунун парлаглығынын амплитуту $\Delta m = m_1 - m_2 = 3^m\ 5 - 2,3_ш = 1^m\ ,2,$ парлаглығын дәјишә периоду исә $p = 2^d\ 20^h\ 49^m$ -дир.

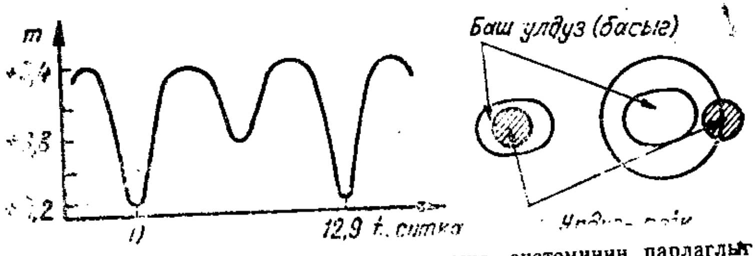
2) Лиранын β-сы типли тутулан-гоша улдузлар. Баш минимумла икинчи минимум арасында парлаглыг арасы кәсилмәдән дәјишир, икинчи минимум баш минимумдан аз дајаздыр. 145-чи шәкилдән көрүндүјү кими улдузун парлаглыг амплитуду $\Delta m = 4,^m 2 - 3,^m 3 = 0^m,9$, парлаглығын дәјишмә периоду $p = 12,^d\ 21^h\ 48^m$-дир.



Шәкил 144. Әлгул тутулан гоша улдуз системинин парлаглыг әјриси вә орбит схеми.

3) Бөјүк Ајынын W-си типли тутулан-гоша улдузлар. Лиранын β-сы типли тутулан-гоша улдузларын парлаглыг әјриләринә бәнзәр әјриләрә маликдирләр, лакин икинчи минимум әсас минимумун дәринлијинә чох јахындыр.

Тутулан—дәјишән гоша улдузларын парлаглыг әјриләрини өјрәнмәклә орбитин ашағыдакы елементләри тапылыр: орбит мүстәвиси-



Шәкил 145. Лиранын β-сы тутулан гоша системинин парлаглыг әјриси вә онун сојуг пејкинин һәрәкәт схеми

нин шәкил мүстәвисинә мејли (i), компонентләрин күтлә мәркәзи әтрафында доланма периоду (P), екссентриситет (e), периастрын узунлуғу (π), әсас минимум аны (T_0). Минимумлар арасындакы вахт фасиләсинә көрә орбитин бөјүк јарымоху ваһидләри илә компонентләрин радиуслары тапылыр. Системдә там тутулма баш верирсә минимумларын дәринликләринә көрә компонентләрин ишыглыглары нисбәти тапылыр, мәсафә мә'лум олдугда исә ишыглыгларын мүтләг гијмәтләри тә'јин олунур. Белә системин һәм дә спектрләри мүшаһидә олунурса, һәр бир компонентин күтләси ајры-ајрылыгда тә'јин едилир. Компонентләрдән биринин спектри мүшаһидә едилдикдә исә күтлә функсијасы тапылыр.

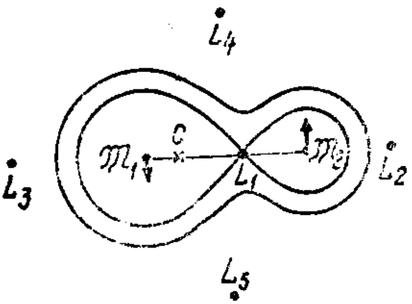
Елә аз сајда тутулан—гошалар вар ки, баш улдуз сојуг нәһәнк вә ја ифрат нәһәнк, пејк исә баш ардычыллығын исти улдузудур. Белә системдә анчаг пејкин баш улдуз тәрәфиндән тутулмасы мүшаһидә олунур. Белә тутулманын әввәлиндә вә сонунда спектрдә ионлашмыш калсиумун H вә K хәтләри көрүнүр, өзү дә әввәлдә бу хәтләр гырмызы, сонда исә бәнөвшәји уча сүрүшмүш олурлар. Бу көстәрир ки, пејкин шүаланмасы фырланан гырмызы нәһәнкин (вә ја ифрат нәһәнкин) атмосфериндән кечир. Тутулма вә тутулмадан кәнарда сојуг нәһәнкләрин вә ифрат нәһәнкләрин спектрограмларыны мүгајисәли өјрәнмәклә онларын атмосферләрини даһа мүкәммәл тәдгиг етмәк олур.

Индијәдәк 3000-дән артыг тутулан-гоша улдуз мә'лумдур. Бунларын периодлары 81,5 дәгигәдән 57 илә гәдәрдир.

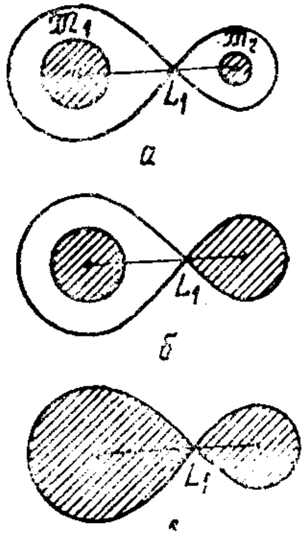
4. Сых гоша улдуз системләринин бә'зи хүсусијјәтләри. *Гоша системин компонентләринин мәркәзләри арасындакы мәсафә онларын өлчүләри илә мүгајисә олунандырса белә систем сых гоша систем адланыр.* Сых гоша системдә компонентләрин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында доланма периоду 100 суткадан кичик олур вә орбитал һәрәкәт сүр'әти 300—350 км/сан-јә чатыр. Компонентләрин бир-биринә чох јахын олмасы нәтичәсиндә бунларын гаршылыглы габарма тә'сири о гәдәр бөјүк олур ки, компонентләрин габармалары бир-биринә доғру јөнәлән еллипсоид формасы алыр.

Билирик ки, газлардан ибарәт чисмин формасы гравитасија потенсиалынын ејни олдуғу нөгтәләрдән кечән сәтһлә тә'јин олунур вә белә сәтһ еквипотенсиал сәтһ адланыр. Беләликлә һәр бир еквипотенсиал сәтһдә гравитасија потенсиалы $\varphi=-\frac{Gm}{r}$ сабитдир. Газ еквипотенсиал сәтһ үзрә сәрбәст сурәтдә аха биләр вә мәһз бу шәраит чисмин таразлыг һалыны мүәјјән едир. Гоша олмајан ади, фырланмајан вә ја кичик сүр'әтлә фырланан улдузун еквипотенсиал сәтһләри мәркәзләри улдузун күтлә мәркәзиндә јерләшән консентрик сфералардыр. Бу сәбәбдән дә бу улдузлар күрәви олур. Сых гоша системдә исә вәзијјәт башгадыр—компонентләрин мәркәзиндән узаглашдыгча еквипотенсиал сәтһләр сферикликдән чыхараг узунсовлашыр—еллипсоидә чеврилирләр. Бу сәтһләрдән икиси дахили биринчи Лагранж нөгтәсиндә (L_1) бир-биринә тохунараг һәр ики улдузу әһатә едән ортаг еквипотенсиал сәтһи јарадырлар. Компонентләрин үмуми күтлә мәркәзи әтрафында доланма мүстәвиси илә бу ортаг еквипотенсиал сәтһин кәсишмәси сәккизә бәнзәр сәтһи верир вә бу сәтһ Рошун бөһран сәт-

һи адланыр (шәкил 146). Бу сәтһлә һүдудланан һәчмә Рош бошлуғу дејилир. 146-чы шәкилдә m_1 вә m_2—сых гоша системин компонентләринин күтлә мәркәзләри, С—бунларын үмуми күтлә мәркәзи, L_1—биринчи Лагранж нөгтәси, $L_{2,3,4,5}$ илә ишарә олунан нөгтәләр дикәр Лагранж нөгтәләридир. Гәбул етмишик ки, $m_1 > m_2$-дир. Еквипотенсиал сәтһдә истәнилән нүмунә күтләси енержи сәрф етмәдән сәрбәст һәрәкәт едә билдијиндән Рош сәтһи үзрә газлар бир компонентин әтрафындан дикәринә кечә билирләр. С үмуми күтлә мәркәзиндән бөјүк мәсафәдә системин чазибә саһәсиндә һәрәкәт едән һиссәчик чох мүрәккәб трајекторијаја малик ола биләр. Мәсәлән белә һиссәчик L_2 вә ја L_3 харичи Лагранж нөгтәләриндән бириндән кечмәклә елә бир зонада ола биләр ки, орада ики күтләнин чазибә саһәси үмуми күтлә мәркәзиндә јерләшән бир күтләјә еквивалент чазибә саһәси кими олар. Һиссәчик L_4 вә ја L_5 Ланґранж нөгтәләриндән бири үзәринә дүшәрсә, о потенсиал чухурда дајаныглы һалда галар.



Шәкил 146. Сых гоша системин m_1 вә m_2 күтләли компоненләрин ортаг еквипотенсиал сәтһи вә Лагранж нөгтәләри (либрасија нөгтәләри)



Шәкил 147. Сых гоша системин нөвләри

147-чи шәкилдә Рош бошлуғу анлајышы әсасында сых гоша системләрин үч мүмкүн типи көстәрилмишдир:

1) Компонентләрдән һеч биринин сәтһи L_1 дахили Лагранж нөгтәсинә чатмыр, башга сөзлә, һәр ики компонент өлчүчә Рош сәтһинин өлчүсүндән кичикдир (*а*); бу һалда системи тәшкил едән компонентләр өлчүчә Рош бошлуғуну долдурмадығындан белә систем *ајрылмыш систем* адланыр.

2) Компонентләрдән бири өзүнүн Рош бошлуғуну долдурур (б), бу һалда *систем јары ајрылмыш систем* адланыр (мәсәлән, Лиранын β-сы).

3) Компонентләрин һәр бири өзүнүн Рош бошлуғуну долдурур (в), бу һалда *систем контактда олан систем* адланыр. Рош фәзасынын долмасы системин тәкамүлү илә әлагәдардыр. Һәр бир компонент тәкамүл просесиндә кенишләнәрәк өз Рош фәзасыны долдура биләр.

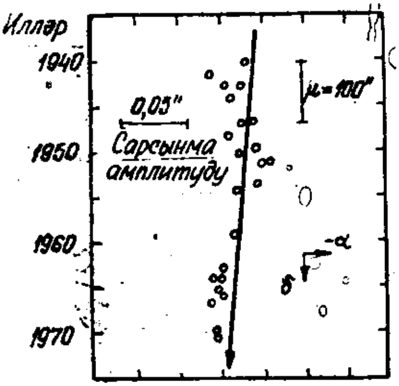
Јары ајрылмыш β Лира типли сых гошанын субнәһәнк компонентиндән Рош сәтһи дахилиндә јерләшән компонентә маддә ахыр. Бу, спектрал мүшаһидәләрдә ашкар едилмишдир. Бу газ ахыны спирал трајекторија бојунча һәрәкәт едәрәк систем әтрафында һалга әмәлә кәтирир вә тәдричән системи тәрк едиб улдузларарасы фәзаја јајылыр. Бу һалда бөјүк күтлә иткиси олур вә бу итки Кеплерин дәгигләшдирилмиш үчүнчү гануну илә гијмәтләндирилир (бу гануна көрә күтлә иткиси оларса, период бөјүмәлидир; Лиранын β-сы сых гоша системиндә период илдә 19 санијә бөјүјүр). Бә'зән дә өз Рош фәзасыны долдуран улдуздан ахан газ сели икинчи улдуз әтрафында һалга вә ја диск әмәлә кәтирир. Белә газ диски бөјүк фырланма сүр'әтинә малик олур. Дахили сүртүнмә нәтичәсиндә фырланан дискин кинетик енержиси истилијә чеврилир, диск гызыр, онун истилик енержиси шүаланмаја чеврилир вә диск маддәси керијә—пејкә доғру ахыр. Бу, сых гоша системләрин компонентләри арасында маддәләр мүбадиләсинин бир мүмкүн вариантыдыр. Ајдындыр ки, белә мүбадилә системин вә онун компонентләринин тәкамүлүндә бөјүк рол ојнајыр (бах: § 150).

Сых гоша системләрин компонентләри чох вахт гејри-нормал улдузлар—јени, јенијәбәнзәр, чыртдан Јениләр, Волф-Раје улдузлары, ренткен улдузлары, пулсарлар вә с. олурлар. Бунларла таныш олачағыг.

§ 124. УЛДУЗЛАРЫН КӨРҮНМӘЈӘН ПЕЈКЛӘРИ

Нисбәтән Күнәшә јахын олан улдузларын көј сферасында вәзијјәтләринин мүнтәзәм тә'јининдән вә спектрләринин тәдгигиндән көрүнүр ки, онлар фәзада һәрәкәт едирләр. Бу улдузларын һәр бири фәзада Күнәшә нисбәтән улдузун фәза сүр'әти адланан сүр'әтлә һәрәкәт едир. Һәмин фәза сүр'әтинин бахыш шүасына перпендикулјар истигамәтдә пројексијасы улдузун *танкенсиал сүр'әти*, бахыш шүасы үзрә пројексијасы исә *шүа сүр'әти* адланыр. Улдузун танкенсиал сүр'әти онун көј сферасында чох кичик—он илләр әрзиндә бир нечә гөвс санијәси гәдәр јердәјишмәсинә кәтирир. Ајдындыр ки, бу јердәјишмәнин мүәјјән гисми *пресессија, нутасија, аберрасија вә иллик параллакс* һесабынадыр. *Јердәјишмәјә сәбәб олан бу амилләри чыхдыгдан сонра улдузун бир илдә көј сферасында јердәјишмәси онун мәхсуси һәрәкәти адланыр.* Мәхсуси һәрәкәт јалныз јахын улдузларда гејд олунуб. Ән бөјүк мәхсуси һәрәкәт Овсунчу бүрчүндә Барнард тәрәфиндән кәшф олунан бир улдуза аиддир. Бу улдузун мәхсуси һәрәкәти нисбәтән чох бөјүк олдуғундан һәмин улдуз Барнардын «учан» улдузу адланыр. Бу улдузун мәхсуси һәрәкәти 10″/ил-дир, дикәр јахын улдузларынкы исә кичик—1″/ил вә онун һиссәләри гәдәрдир.

Әкәр улдузун јахынлығында бир вә ја бир нечә көрүнмәјән пејк оларса онда белә системин һәр бир компоненти, о ҹүмләдән улдуз үмуми күтлә мәркәзи әтрафында доланмалыдыр. Нәтиҹәдә улдуз өзүнүн мәхсуси һәрәкәт јолундан чыхараг каһ бу, каһ о бири тәрәфә јерини дәјишмәлидир. Улдузун мәхсуси һәрәкәти кичик олдуғундан һәтта Барнардын «учан» улдузу үчүн он илләрлә мүддәтдә мәхсуси һәрәкәт јолу дүз хәтт олур. 148-чи шәкилдә бу улдузун 30 иллик сарсынмајан јолу дүз хәтлә көстәрилмишдир. Һәмин шәкилдә даирәчикләрлә узаг улдузлар фонунда улдузун реал, јә'ни сарсынан һәрәкәти тәсвир едилмишдир. Бу реал һәрәкәт һәмин улдузун көрүнмәјән пејкләринин тә'сири илә јараныр. Инди мә'лумдур ки, 2 пс мәсафәдә олан бу улдузун үч көрүнмәјән пејки вар. Бу пејкләр мәркәзи улдуздан мүвафиг олараг 1, 8; 2, 8 вә 4, 5 а. в. мәсафәдәдирләр вә күтләләри ујғун олараг 1, 3, 0,6 вә 0,7 Јупитер күтләсинә бәрабәрдир. Сириус вә Просионун һәр биринин спектрал-гоша системләр олдуғу һәлә мүәјјән едиләнә гәдәр јухарыдакы үсулла онларын пејкләрә малик олдуғу сөјләнмишдир. Росс каталогуна дахил олан 614-чү улдузун да мәхсуси һәрәкәтиндәки сарсынтылары өјрәнмәклә бу улдузун көрүнмәјән пејкә малик олдуғу мүәјјән едилмишдир. Беш метрлик Паломар телескопу васитәсилә (АБШ) тапмышлар ки, бу пејк зәиф (14^m,8 улдуз өлчүлү) улдуздур; бу заман мүәјјән едилмишдир ки, Росс 614 улдузунун сарсынмајан вәзијјәтдән максимум кәнара чыхмасы 0″,36, пејкинин бу улдуз әтрафында доланма периоду исә 16,5 илдир. Индијәдәк 10 улдузун көрүнмәјән пејкә вә ја пејкләрә малик олдуғу гәти мүәјјән едилиб. Күман едилир ки, белә улдузлар чохдур вә онларын бир гисми планет системинә маликдир. Атмосфердәнкәнар астрономија үсуллары илә инфрагырмызы областда апарылан мүшаһидәләр көстәрир ки, ҹаван улдузларын думанлыгла әһатә олунмасы сәҹијјәви һалдыр. Улдузәтрафы белә думанлыглар планет системинин илк мәрһәләси ола биләр.



Шәкил 148. Барнардын «учан улдузу»нун 30 иллик сарсынмајан һәрәкәт јолу (дүз хәтт) вә улдузун көрүнмәјән пејкләринин тә'сири илә онун реал (сарсынан) һәрәкәти (даирәчикләрдән кечән мүрәккәб трајекторија)

Фотографик үсулла улдуз пејкләрини мүшаһидә етмәк һәләлик мүмкүн дејил. Чүнки улдузун хәјалынын фотографик еффектдән јаранан өлчүсү онун күтлә мәркәзиндән кәнара чыхмасындан гат-гат бөјүкдүр. Буҹаг мәсафәсинин өлчүлмәси дәгигләшдикҹә планет системләринин кәшфи имканлары реаллашмалыдыр.

§ 125. ДӘЈИШӘН УЛДУЗЛАР

Елә улдузлар вардыр ки, онларын парлаглығы замандан асылы олараг дәјишир. Бу улдузлара дәјишән улдузлар дејилир. Дәјишән

улдузлар ики әсас синфә бөлүнүрләр. *1) оптик дәјишәнләр; 2) физики дәјишәнләр.* Оптик дәјишәнләрин парлаглығынын дәјишмәсинин сәбәби тутулмалардыр. Физики дәјишән улдузларын парлаглыгларынын вә башга параметрләринин дәјишмәси исә онларын дахилиндә кедән физики просесләрлә әлагәдардыр. Биз бундан сонракы сөһбәтләримиздә дәјишән улдуз дедикдә физики дәјишән улдузлары нәзәрдә тутачағыг. Бу дәјишән улдузлары ики әсас група бөлүрләр:

1. Дөјүнән дәјишәнләр. Бу улдузларын парлаглығынын дәјишмәси онларын радиус вә еффектив температурларынын мүәјјән амплитуд вә периодла дәјишмәси илә әлагәдардыр.

2. Ерүптив-партлајыш характерли дәјишән улдузлар. Бу улдузларын парлаглығынын дәјишмәси партлајыш характерли енержи ајрылмасы илә әлагәдардыр. Физики дәјишән улдузларын бу ики нөвүндән фәргли дәјишән улдузлар да вардыр. Индијәдәк 30000-дән чох физики дәјишән улдуз гејдә алынмышдыр.

Һәр бир улдуз бүрчүндә биринчи 334 дәјишән улдуз латын әлифбасынын бир вә ја ики һәрфи илә ишарә олунур вә бүрчүн адындан әввәл јазылыр. Мәсәлән *UV* Балина-Балина бүрчүнүн *UV* дәјишән улдузу кими охунур. RR—Лира—Лира бүрчүнүн RR улдузу кими охунур.

Дәјишән улдузларын сајы (бир бүрчдә) 334-дән чох оларса улдуз, мәхсус олдуғу бүрчүн ады вә бу адын гаршысында јазылан латынча дәјишән сөзүнүн баш һәрфи олан V, һәрфи илә ишарә олунур:

V335 Гу—Гу бүрчүнүн 335-чи дәјишән улдузудур.

Әввәлләр јунан һәрфи илә ишарә олунмуш улдузун сонралар дәјишән олдуғу ашкар едилирсә, әввәлки ишарә сахланыр. Мәсәлән Сефејин δ улдузунун дөјүнән дәјишән олдуғу тапыландан сонра да бу улдузун әввәлки ишарәси сахланмагла бу тип улдузлара Сефејин δ-сы типли улдузлар, јахуд сефеидләр ады верилмишдир, јахуд Лира типли дәјишәнләрә лиридләр дејилир.

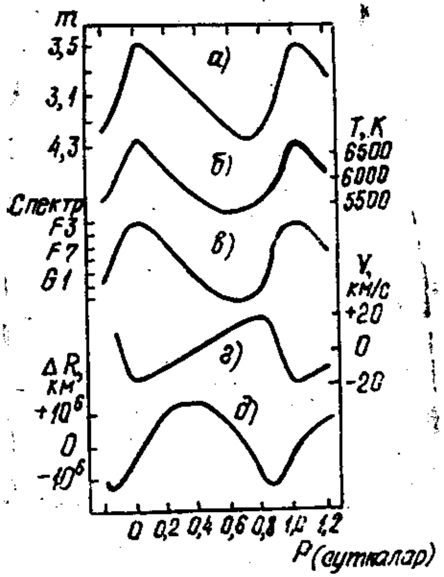
Бә'зи дәјишәнләр мәхсус олдуглары прототип улдузун ады илә адланырлар. Мәсәлән, w Гыз, Т Буға типли дәјишәнләр вә с.

§ 126. ДӨЈҮНӘН ДӘЈИШӘН УЛДУЗЛАР

Бу улдузлар бир нечә типдән ибарәтдирләр: *сефеидләр,* W *Гыз типлиләр, лиридләр, узун периодлулар, гејри-сабит периодла дөјүнән дәјишәнләр вә с.*

Сефеидләр. Дөјүнән дәјишәнләрин ән характерик нүмајәндәси сефеидләрдир. Илк дәфә δ Сефеид улдузунун тимсалында дөјүнән дәјишән улдуз кәшф олунмушдур. Сефеидләрин ән мүһүм чәһәти онларын парлаглығынын дәјишмәсиндә олдугча сабит периодун олмасыдыр. 149-чу шәкилдә δ Сефеид улдузунун парлаглығынын, һәмчинин еффектив температурунун, спектрал синфинин, шүа сүр'әтинин вә радиусунун периодун фазасындан асылылығы әјриләри көстәрилмишдир. Парлаглыг әјрисиндән көрүнүр ки, парлаглығын дәјишмәси асимметрикдир: улдузун парлаглығы сүр'әтлә артыр, јә'ни улдуз өлчүсү сүр'әтлә кичилир вә јаваш азалыр. Парлаглығын дәјишмәси периоду, јә'ни ики максимум парлаглыг арасындакы вахт фасиләси бир суткаја бәрабәр-

дир. Бу мүддәтдә улдузун парлаглығы ики дәфә дәјишир. Үмумијјәтлә сефеидләрин парлаглығынын дәјишмәси периоду 1 суткадан 70 суткајадәк олур. Ән чох тәсадүф олунан период 7 суткадыр. Парлаглығын дәјишмә амплитуду 0^m,1-дән 2^m улдуз өлчүсү гәдәр олур. Сефеидләрин орта мүтләг улдуз өлчүсү $M=\frac{M_{max}-M_{min}}{2}=3^m$ -дир. Бу улдузлар F—G синифләринә мәхсус нәһәнк вә ифрат нәһәнкләрдир. Онларын орта сыхлығы 10^{-7} г/см³-дур.



Шәкил 149. Сефеидин δ-сы дөјүнән дәјишән улдузун парлаглыг әјриси (а), еффектив температурунун дәјишмәси (б), спектрал синифинин дәјишмәси (в), шүа сүр'әтинин дәјишмәси (г) вә радиусунун дәјишмәси (д) әјриләри.

149-чу шәкилдән көрүрүк ки, δ Сефеид улдузунун максимум парлаглығына (а әјриси) максимум еффектив температур ујғундур, минимум температур исә минимум парлаглығы фазача азачыг габаглајыр (б-әјриси). Парлаглыг вә температурла јанашы улдузун спектрал синфи дә дәјишир: ән бөјүк температур вә парлаглыға илкин синиф (F 3), ән кичик температур вә парлаглыға исә өткүн синиф (G3) ујғундур (b-әјриси). Удулма хәтләринин Доплер сүрүшмәсинә әсасән тә'јин олунан шүа сүр'эти әјрисиндән (г-әјриси) көрүрүк ки, бу әјри парлаглыг әјрисинин күзкү әксидир. Бу о демәкдир ки, удулма хәтләринин јарандығы атмосфер гатлары өзләринин таразлыг вәзијјәтләри әтрафында мүәјјән сүр'әтлә дахили вә үст гатлара доғру јерләрини дәјиширләр. Сефејин δ-сы үчүн шүа сүр'әти ±20 км/сан-дир. Шүа сүр'әтләри әјрисинә әсасән улдузун радиусунун дәјишмәсини изләмәк мүмкүндүр (д әјриси). Шәкилдән көрүндүјү кими бу улдузун радиусу $\pm 1,4.10^6$ км интервалында дәјишир (улдузун орта радиусу $R \simeq 53\,R_\odot$ олдуғундан онун радиусунун дәјишмәси $\pm 0,04R \approx \pm 2R_\odot$-дир).

Күнәшин тимсалында билирик ки, (бах: § 91) һәр бир улдузун радиусу, онун максимум шүаланмасына ујғун далғада оптик галынлығын ваһид олдуғу фотосфер гатынын улдузун мәркәзиндән олан мәсафәсидир. Дикәр тәрәфдән удулма хәтләри фотосфердә дејил, атмосфердә јараныр. Беләликлә шүа сүр'әтләри атмосферә, радиус исә фотосферә аиддир. Одур ки, улдузун шүа сүр'әтләри әјриси парлаглыг әјрисинин күзкү акси олса да, улдузун максимум парлаглығы онун максимум кенишләнмәси илә үст-үстә дүшмүр. Башга сөзлә фотосферин вә атмосферин кенишләнмәси фазаларында сүрүшмә баш верир:

фотосфер ән чох сыхыланда (максимум парлаглыг оланда) атмосферин јухары гатлары дахилә доғру һәрәкәтдә олур. Мүхтәлиф сефеидләр үчүн фаза сүрүшмәси дә мүхтәлиф гијмәтләр алыр.

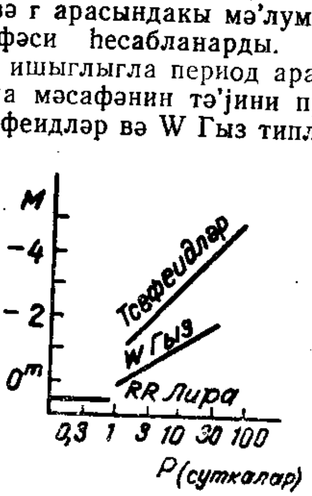
Һәлә 1910-чу илдә америкалы астроном Ливитт тапмышдыр ки, бизә ән јахын улдуз системи олан Кичик Макеллан Булудундакы (бу систем бизим Галактиканын пејкләриндәндир) сефеидләрин парлаглыглары илә онларын периодлары арасында әлагә вардыр: *парлаглығы бөјүк олан сефеидин периоду да бөјүк олур.* Һәмин улдуз системиндәки улдузларын биздән ејни мәсафәдә олдуғуну гәбул етсәк, онда белә асылылыг сефеидләрин ишыглығы илә периодлары арасында олар. Һәмин улдузлар үчүн визиуал шүаларда орта мүтләг улдуз өлчүсү M илә парлаглығын дәјишмә периоду P арасында ашағыдакы емпирик әлагә вардыр.

$$M_v = -1,^m18 - 2,90 lgP \qquad (10.42)$$

$(B-V)$ рәнк көстәричиси илә суткаларла ифадә олунан P периоду

$$B - V = 0,46 lgP + 0,27 \qquad (10.43)$$

дүстуру илә әлагәләндирилир. (10. 42) дүстурундан јалныз Кичик Макеллан Булудунун сефеидләри үчүн истифадә едә биләрик. Әкәр бу дүстурлар бизим Галактиканын сефеидләри үчүн доғру олсајды, онда сефеидләрә гәдәр мәсафәни тә'јин етмәк проблеми һәлл едилмиш оларды. Чүнки P-ни мүшаһидәдән асанлыгла тапдыгдан сонра (10.42) дүстурундан M тапыларды вә нәһајәт m,M вә r арасындакы мә'лум (7.12) мүнасибәтиндән улдуза гәдәр r мәсафәси һесабланарды. (10.42) дүстуру бу мәгсәд үчүн там јарамаса да ишыглыгла период арасында әлагә олдуғундан сыфыр-пункту тапмагла мәсафәнин тә'јини проблемини һәлл етмәк олар. 150-чи шәкилдә сефеидләр вә W Гыз типли дәјүнән дәјишән улдузлар үчүн мүтләг улдуз өлчүсү илә период арасындакы әлагә тәсвир олунмушдур. Бурадан көрүнүр ки, мүхтәлиф тип дөјүнән дәјишән улдузлар үчүн сыфыр-пункт вә гејд олунан асылылығын өзү мүхтәлифдир: ејни периода малик олан δ Сефеид вә W Гыз типли дөјүнәнләрдән сефеидләр даһа бөјүк—4—6 дәфә бөјүк ишыглыға маликдирләр.



Шәкил 150. Үч тип дөјүнән дәјишән улдузлар үчүн «период ишыглыг» асылылығы.

Гејд етмәк лазымдыр ки, ән јахын сефеид 250 пс мәсафәдә олдуғундан бу улдузлара гәдәр мәсафәни тригонометрик параллакс үсулу илә тә'јин етмәк олмаз. Спектрал параллакс үсулу исә бурада дәгиг нәтичәләр вермир. Одур ки, «период-ишыглыг» асылылығындан истифадә едәрәк әввәлчә мүшаһидәдән тапылан P периодуна әсасән M мүтләг улдуз өлчүсү тә'јин олунур. Сонра исә улдузун көрүнән улдуз өлчүсүнү мүшаһидәдән тапараг, (7.12) дүстурундан r мәсафәси һесаб-

ланыр (бу ардычыллыгла тапылан мәсафә *фотометрик мәсафә* адланыр).

Лиридләр. RR—Лира типли бу дөјүнән дәјишәнләрә әввәлләр кичик периодлу сефеидләр дејирдиләр. Бунларын периоду 80 дәгигәдән 1,2 суткајадәк олур, парлаглыглары 1^m гәдәр дәјишир. Лиридләр А синфинә мәхсус нәһәнк улдузлардыр. Орта сыхлыглары 10^{-2} г/см^3-дир. Бу улдузлар үчүн «период-ишыглыг» асылылығы 150-чи шәкилдән көрүндүјү кими чох зәифдир. Индијәдәк 8000 лирид ашкар едилмишдир. (Һалбуки сефеидләр вә *W* Гыз типли дөјүнән дәјишәнләрин үмуми сајы чәми 700-дүр).

Дөјүнән дәјишәнләрин башга нөвләри. B1—B3 синфинә мәхсус 40-а гәдәр дөјүнән дәјишән улдуз баш ардычыллыгдан бир гәдәр үстдә јерләшир. Бунлар Бөјүк Көпәјин β-сы (јахуд сефејин β-сы) типли дөјүнән дәјишәнләр адланыр. Бу улдузларын периодлары 3—6 саат, амплитудлары $0^m{,}2$-дир. Онларын орта сыхлығы 10^{-2}—10^{-3} г/см^3-дир. Шүа сүр'әтләринин дәјишмәси 160 км/сан-јә чатыр. Ади сефеидләрдән фәргли олараг белә улдузларда там период дөврүндә шүа сүр'әти ики-үч дәфә сычрајышла дәјишир. Буну тәкрарланан газ атылмалары илә изаһ едирләр.

Дөјүнән дәјишәнләрин бир нөвү дә мәшһур *RV Буға типли дәјишәнләрдир.* 100-ә гәдәр белә дөјүнән дәјишән улдуз мүшаһидә едилмишдир. Бу улдузларын парлаглыгларынын дәјишмә периоду 30 суткадан 150 суткајадәк, дәјишмә амплитуду 3^m-ә гәдәрдир. Орта сыхлыглары 10^{-4}-дән 10^{-6} г/см^3-ә гәдәрдир (узун периода малик улдуз даһа кичик орта сыхлыға маликдир). Бу улдузларын радиусу $\pm$ $50 \cdot 10^6$ км интервалында дәјишир. Сефејин β-сы кими бу улдузларда да шүа сүр'әти сычрајышла дәјишир ки, буну да газ атылмалары илә изаһ едирләр. RV Буға типли дөјүнән дәјишән улдузлар G—M синифләринә мәхсус ифрат нәһәнкләрдир.

Ән узун периодлу дөјүнән дәјишән улдузлар **Балинанын Мирасы типли** улдузлардыр. Бунларын парлаглығы 70 суткадан 1400 суткајадәк периодла дәјишир. Дәјишмә амплитуду бөјүкдүр—3^m-дән 10^m-дәк. Бу улдузлар ифрат нәһәнкдирләр, M, C, S синифләринә аиддирләр. Әслиндә белә улдузларын характеристикаларынын дәјишмә амплитуду вә периоду дөврдән дөврә дәјишир. Бу улдузларын әксәријјәтинин спектриндә максимум парлаглыгдан дәрһал сонра H, FeI, Fe II вә башга елементләрин емиссија хәтләри әмәлә кәлир ки, буну да улдузун дахили гатларындан исти газ күтләләринин улдуз атмосферинә атылмасы илә изаһ етмәк олар.

Јери кәлмишкән гејд едәк ки, Балина бүрчүнүн Мира адланан улдузунун радиусу интерферометр васитәсилә өлчүлмүш вә 400 $R_\odot$ олдуғу мүәјјән едилмишдир. Бу улдузун күтләси $\sim 10\ m_\odot$ олдуғундан онун орта сыхлығы $\rho \simeq 10^{-8}$ г/см^3-дүр.

Нәһајәт елә дөјүнән дәјишәнләр вар ки, онларын ајдын сечилә билән периодлары јохдур. Бу улдузлар M синфинә мәхсус нәһәнк вә ифрат нәһәнкләрдир, парлаглыглары 30—1000 суткада 2^m-ә гәдәр дәјишир. Белә улдузлара гејри-мүнтәзәм периодлу дөјүнән дәјишәнләр дејилир.

Бүтүн дөјүнән дәјишәнләр үчүн ән сәчијјәви чәһәт орта сыхлығын кичилмәси илә парлаглығын дәјишмәси периодунун бөјүмәсидир.

151-чи шәкилдә «спектр-ишыглыг» диаграмында дөјүнән дәјишәнләрин әсас типләринин јерләри вә онларын периодлары көстәрилмишдир. Әкәр бу диаграмы Күнәшәтрафы нормал улдузларын «спектр-ишыглыг» диаграмы илә (бах: шәкил 138) мүгајисә етсәк көрәрик ки, дөјүнән дәјишән улдузлар стасионар улдузлардан фәргли јерләрдәдир, јә'ни бу улдузларын температурлары, сыхлыг вә радиуслары нормал улдузлардан фәргләнир.

§ 127. УЛДУЗЛАРЫН ДӨЈҮНМӘСИНИН СӘБӘБИ

Улдузларын дөјүнмәси нәзәријјәси астрофизиканын олдугча мүрәккәб проблемләриндәндир. Дедик ки, сефеидләр, лиридләр вә бир чох башга нөв дөјүнәнләрин парлаглығынын дәјишмәси периоду чох бөјүк дәгигликлә сабит галыр—дөјүнмә механизми дәгиг ишләјән саат механизминә бәнзәјир. Демәли ритмик дөјүнмәни тә'мин едән енержи мәнбәји вә механизми олмалыдыр. Бу мәнбәјин улдузун нүвәсиндә кедән истилик—нүвә реаксијалары олмасы вә онун ахыр нәтичәдә шүаланма енержиси илә бағлылығы шүбһәсидир. Ритмик дөјүнмәнин механизми исә клапан механизмидир. Белә улдузларда мүәјјән таразлыг галынлығына, сыхлығына вә температуруна малик елә бир гат вар ки, орада Не бир дәфә ионлашыб, һидрокен вә ионлашма потенсиалы кичик олан елементләр исә там ионлашыблар. Һесабламалардан мә'лумдур ки, НеII гаты ултрабәнөвшәји шүалара там гејри-шәффафдыр, НеII гатынын гејри-шәффафлыг әмсалы $\varkappa \sim \rho^{0,7}$ -дир. Инди фәрз едәк ки, НеII гаты сыхылыр. Онда бу гатын гејри-шәффафлығы бөјүмәли, гатда әлавә енержи топланмалы, тәзјиг бөјүмәлидир. Бунун нәтичәсиндә гат кенишләнмәлидир. Кенишләнән бу гат өзүнүн таразлыг сәрһәддини кечәрәк кенишләнмәкдә давам етмәли, просес ејни заманда шәффафлығын артмасы илә мүшајиәт олундуғундан НеII гатынын шүаланмасы артмалы,ән бөјүк кенишләнмәдән сонра һәмин гат чазибә гүввәсинин тә'сири илә ашағы гајытмалы, таразлыг сәвијјәсиндән кечәрәк сыхылмалы вә просес беләчә тәкрарланмалыдыр. Белә улдузда НеII зонасынын ултрабәнөвшәји шүаланма илә тә'мин олунмасы шәраити бөјүкдүр. Чүнки бу улдузларын НеII зонасындан алтдакы гатларында Не тамамилә ики дәфә ионлашмыш һалдадыр, јә'ни НеII зонасындан алтда НеIII зонасы јерләшир. Бу зона үчүн исә $\varkappa \sim \rho^{-1}$-дир, јә'ни гат сыхыланда о, ултрабәнөвшәји шүалара там шәффаф олур. башга сөзлә бу шүалар һәмин гатдан сәрбәст кечәрәк НеII зонасыны ултрабәнөвшәји шүаларла кифајәт гәдәр тә'мин едир. Беләликлә бу улдузларда НеII гаты клапан ролуну ојнујур (мә'лумдур ки, јаначағын јанмасы һесабына систем (мүһәррик) енержи алыр, бу енержи исә о вахт ајрылыр ки, газ максимум сыхылыр).

Јухарыда шәрһ олунан просес јалныз о улдузларда баш верир ки, мүәјјән сыхлыг вә температура малик, нисбәтән кичик өлчүлү НеII зонасы мүәјјән дәринликдә јерләшсин. Һесабламалар көстәрир ки,

парлаглығын дәјишмә амплитуду HeII зонасынын галынлыг вә күтләсиндән асылыдыр. Бу шәраит олдугда HeII зонасы бүтүн улдузла резонансда «көкләнир». Белә шәраит исә Һерсшпрунг-Рессел диаграмында нормал улдузлардан фәргли јерләрдә топлашан нәһәнк вә ифрат нәһәнкләрдә мүмкүндүр. Мараглыдыр ки, бу диаграмын сағ тәрәфинә доғру дөјүнән улдузларын парлаглығынын дөврүлүјү писләшир.

Дөјүнмәнин механизми Јерин чазибә саһәсиндә ријази рәггасын рәгс механизминә бәнзәјир. Јә'ни дөјүнмәнин P периоду, улдузун R радиусу вә g ағырлыг гүввәси тә'чили арасында

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} \qquad (10.44)$$

әлагәси вардыр. $g = G\frac{m}{R^2}$, $m = \frac{4\pi}{3}R^3\bar{\rho}$ олдуғундан дөјүнмә периоду илә улдузун орта сыхлығы $\bar{\rho}$ арасында

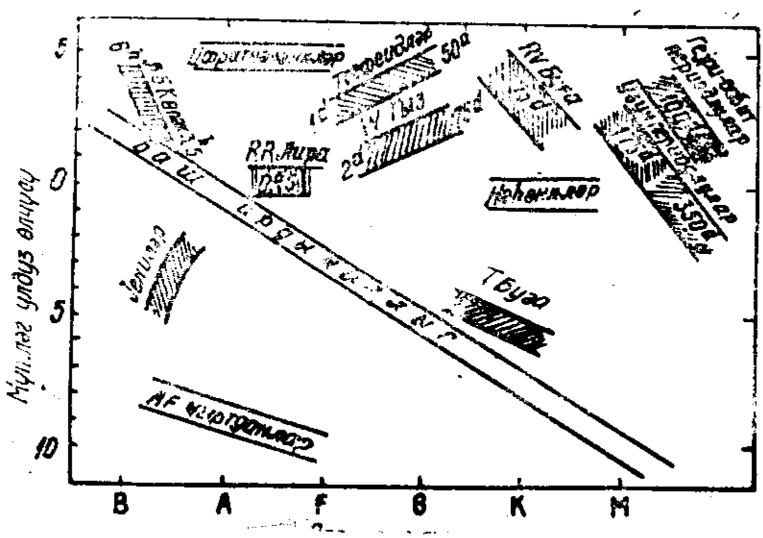
$$P \simeq \frac{0,14}{\sqrt{\bar{\rho}}} \text{ сутка} \qquad (10.45)$$

әлагәси алыныр. Мәсәлән, Күнәш үчүн $\rho = 1,3$ г/см^3 олдуғундан $P \simeq 3^h$-дыр. Күнәшдә доғрудан да белә периодла дөјүнмә 1976-чы илдә ашкар едилмишдир. Сефеидләр үчүн $\rho \simeq 10^{-3}$ г/см^3 гәбул етсәк, (10·45)-дән $P \simeq 50$ сутка аларыг; Лиридләр үчүн $\bar{\rho} \simeq 0,01$ г/см^3 олдуғундан $P \simeq 1,4$ сутка олур; Балинанын Мира улдузу үчүн $\rho \simeq 10^{-8}$ г/см^3-дир, одур ки, $P \simeq 1400$ суткадыр. Мүхтәлиф тип дөјүнән улдузларын дөјүнмә периодларынын бу гијмәтләри илә 151-чи шәкилдә «спектр-ишыглыг» диаграмындакыларын мүгајисәсиндән көрүрүк ки, дөјүнмә механизми доғрудан да рәггасын чазибә саһәсиндә рәгсинә бәнзәјир.

Дөјүнмә периоду P илә орта сыхлыг ρ арасында (10.45) алагәси вә улдузун ишыглығы илә күтләси арасындакы $L \sim m^{3,9}$ асылылығына әсасән дејә биләрик ки, доғрудан да дөјүнмә периоду илә ишыглыг арасында әввәлки параграфдан билдијимиз әлагә олмалыдыр.

§ 128. ЕРУПТИВ ДӘЈИШӘН УЛДУЗЛАР

Бу улдузларын парлаглары вә дикәр характеристикалары даһа бөјүк амплитуд илә вә вахтча гејри-мүнтәзәм олараг дәјишир. Белә дәјишмә гәфил олдуғундан просес партлајыш характерли олмалыдыр. Еруптив улдузларын бир гисминдә парлаглығын вә башга характеристикаларын дәјишмәси улдузун дахилиндән газ күтләләринин пүскүрүлмәси илә, јә'ни ерупсија илә әлагәдардыр. *T* Буға, *UV* Балина типли улдузлар беләләриндәндир. Јени, Ифрат Јени улдузларда партлајыш просесләри хүсусилә габарыгдыр.



Шәкил 151. Мүхтәлиф тип дөјүнән дәјишән улдузларын «спектр-ишыглыг» диаграмында јерләри. Диаграмда улдуз типләринин адлары вә онларын дөјүнмә периодлары верилмишдир (h—саат, d—суткадыр).

Т Буға типли улдузлар. Бунлар *F—G* синифләринә мәхсус олан, баш ардычыллыгдан 1^m—2^m улдуз өлчүсү гәдәр јухарыда јерләшән чыртдан улдузлардыр. Алышма заманы улдузун парлаглығы $\sim 3^m$ гәдәр арта билир. Бу заман Күнәш хромосфериндә олдуғу кими улдузун спектриндә емиссија хәтләри мүшаһидә олунур, ултрабәнөвшәји областда исә кәсилмәз гејри-истилик характерли шүаланма әмәлә кәлир. Алышма заманы улдузун спектриндә удулма хәтләри гырмызы, емиссија хәтләри исә бәнөвшәји уча тәрәфә сүрүшүрләр. Бу көстәрир ки, алышма дөврүндә улдузун атмосфериндә чох мүрәккәб динамик просесләр кедир: исти газ күтләләри јухарыја атылыр, нисбәтән сојуг газ күтләләри исә улдузун сәтһинә енирләр. Бу улдузларда парлаглығын 1^m гәдәр дәјишмәси тәгрибән 1 саатлыг вахт интервалында баш верир. Јә'ни белә улдузларда динамик просесләр чох сүр'әтлидир..

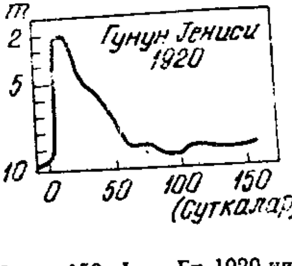
UV Балина типли улдузлар. Бу улдузлар *М* синфинә мәхсус чыртдан улдузлардыр. Онларын парлаглығынын дәјишмәси даһа бөјүк амплитуда вә кичик периода маликдир. Белә ки, улдузун парлаглығы бир нечә он санијәдә 6^m гәдәр арта биләр; бир нечә он дәгигә вә ја саатдан сонра улдуз өз әввәлки стасионар һалына гајыдыр. Чох чәһәтдән UV Балинанын алышмасы күнәш алышмаларына бәнзәјир. Әлбәттә бурада мигјасча чидди фәрг вардыр: Күнәш алышмалары онун сәтһинин (0,1—0,2)%-ни тутдуғундан алышманын шүаланмасы Күнәш ишыглығынын ән чоху 1,1%-ни тәшкил едир; лакин UV Балина типли улдузларда алышма бүтүн улдузу әһатә едир ки, бу да улдузун парлаглығынын 100 дәфәләрлә артмасына сәбәб олур. Бу улдузлар адәтән групларла (әсасән Т—ассосиасијаларда) бөјүк газ-тоз думанлыглары олан областларда мүшаһидә олунурлар.

T Буға вә хүсусилә UV Балина чох чаван улдузлар групуна дахилдир. UV Балина типли улдузлар јеничә формалашмыш ән чаван улдузлар һесаб олунур.

Ве типли улдузлар. Бу улдузлар массив улдузлардыр, сүр'әтлә фырланырлар, тәкамүлләри сүр'әтлидир. Һидрокен вә бә'зән дә һелиума мәхсус емиссија хәтләри бу улдузларын спектри үчүн сәчијјәвидир. Ве типли улдузларын спектрләри дәјишкәндир вә бу дәјишмә $0^m,1—0^m,2$ улдуз өлчүсүнә еквивалентдир. Ве типли улдузлар чаван улдузлардыр.

Јени улдузлар. Бу улдузлар һеч дә јени әмәлә кәлмиш улдузлар дејил. Кифајәт гәдәр јаша малик олан бу улдузларын парлаглығы гәфләтән артыр вә онлар алышан јени улдуз кими көрүнүрләр. Јени улдуз алышанда онун көрүнән улдуз өлчүсү $10^m—13^m$ гәдәр кичилир, јә'ни ишыглығы он мин-јүз мин дәфәләрлә бөјүјүр. Максимум парлаглыгда јени улдузларын мүтләг улдуз өлчүләринин орта гијмәти $—8^m,5$-ә чатыр. Алышманын максимумунда А—F синифләринә охшар ифрат нәһәнкә бәнзәјән јени улдузлар алышмадан сонра чох исти чыртдана чеврилирләр вә адәтән зәиф дәјишән улдуз олурлар. Әкәр ејни јени улдуз азы ики дәфә алышмышса, о, *тәкрар јени улдуз* адланыр. Индијәдәк 20 тәкрар јени улдуз мүшаһидә олунмушдур, үмумијјәтлә исә чәми 300-ә гәдәр јени улдуз гејдә алынмышдыр. Бунлардан тәгрибән 150-си бизим Галактикада, 100-ә гәдәри Андромеда думанлығында, галанлары исә дикәр нисбәтән јахын галактикаларда мүшаһидә олунмушдур. *Јени вә тәкрар јени улдузларын чоху (бәлкә дә һамысы) сых гоша системләрдир.*

Јени улдузларын парлаглыг әјриләри мәхсуси хүсусијјәтләрә маликдир. 152-чи шәкилдә јени улдузун парлаглыг әјриси верилмишдир. Үмумијјәтлә јени улдузларын парлаглыг әјриләриндән көрүнүр ки, бу улдузларда баш верән һадисәләр бир нечә мәрһәләјә маликдир. Белә ки, әввәлчә чох гыса мүддәтдә—2—3 сутка әрзиндә улдузун парлаглығы чох бөјүк сүр'әтлә артыр, арада гыса сакитлик олур, сонра санки јенидән «старт» көтүрәрәк парлаглыг максимума чатыр. Бүтүн бу һадисәләр партлајыш характерли олур. Бундан сонра улдузун парлаглығы ил вә ја илләр әрзиндә ашағы дүшүр вә о, алышмадан әввәлки парлаглығына гајыдыр. Алышманын максимумундан сонра парлаглығын 3^mулдуз гәдәр азалмасы нисбәтән бирбаша олур, бә'зән исә икинчи кичик максимум гејдә алыныр, парлаглығын сонракы азалмасы мүхтәлиф флуктуасијаларла давам едир, сонра парлаглығын азалмасы монотон олур вә гејд етдијимиз кими улдуз алышмаја гәдәрки парлаглығына гајыдыр. Јени улдузун алышмасы заманы $10^{38}—10^{39}$ Чоул енержи ајрылыр ки, бу да Күнәшин он мин илләр әрзиндә шүаландырдығы енержијә бәрабәрдир.



Шәкил 152. Јени Гу 1920-чи ил Јени улдузунун парлаглыг әјриси

Мүасир фикирләрә көрә јени улдузун алышмасы сых гоша системдә компонентләр арасында маддә мүбадиләси илә әлагәләндирилир. Белә ки, јени улдуз кими һадисәјә сәбәб олан сых гоша системин баш улдузунун һидрокенлә зәнкин өртүјүндән газлар чох исти чыртдан компонентә ахдыгда бу компонентин сәтһ гатларында истилик дајаныгсызлығы һалы төрәнир вә улдузун сәтһ гатларында температур милјон дәрәчәләрлә артыр. Нәтичәдә истилик нүвә реаксијасы күчләнир, ајрылан бу бөјүк енержинин тәзаһүрү јени улдузун алышмасы олур. Әсасән һидрокендән ибарәт олан газын баш улдузун анчаг өртүјүндән ајрылараг дикәр компонентә—чох исти чыртданын сәтһинә төкүлмәси нәтичәсиндә сых гоша системин компонентләринин дахили енержи еһтијаты сахланыр—системин үмуми гурулушунда чидди дәјишиклик баш вермир. Одур ки, јени улдузун тәкрар алышмасы үчүн кифајәт гәдәр енержи еһтијаты галыр. Партлајыш нәтичәсиндә чох гызан газ өртүјү улдуздан атылыр вә күтләчә (10^{-5}—10^{-4}) $m_\odot$ олан бу өртүк сых гоша системин әтрафында 1500—2000 км/сан сүр'әтлә кенишләнән думанлыг јарадыр.

Алышманын илк дөврләриндә улдузун фотосфери кенишләнир, радиусу бөјүјүр, анчаг еффектив температуру дәјишмир. Демәли, улдузун ишыглығы анчаг радиусунун бөјүмәси һесабына бөјүјүр. Өртүк кенишләндијиндән онун сыхлығы азалыр вә максимум парлаглыгда бу өртүк улдузун кәсилмәз шүаланмасы үчүн там шәффаф олур; улдуз бүтүн хүсусијјәтләринә көрә В синфинә бәнзәјир. Бундан сонра улдузун парлаглығы кәскин азалыр, чүнки кениш өртүк артыг улдузун атмосфери ролуну ојнамыр. Бу мәрһәләдән е'тибарән өртүк ади газ думанлығыны хатырладыр. Онун спектриндә чох зәиф кәсилмәз фонда кениш емиссија хәтләри мүшаһидә олунур. Бу хәтләр һидрокенә, һелиума, ионлашмыш металлара аид олур. Бу хәтләрдә шүаланма мәркәзи исти улдузун чох күчлү узаг ултрабәнөвшәји шүаланмасынын тә'сири илә сејрәк газ өртүјүндә атомларын ионлашмасы, сонра да рекомбинасијасы вә сәрбәст електронларын зәрбәләри илә һәјәчанлашан ионларын шүаланмасы һесабына ола биләр. Алышма заманы атылан газ күтләсиндән јаранан думанлыг мәркәзи улдуздан узаглашыр, улдузлараарасы фәзаја «сүзүлүр» вә һадисә јериндә әввәлки исти улдуз (вә онунла сых гоша систем тәшкил едән сојуг компонент) галыр.

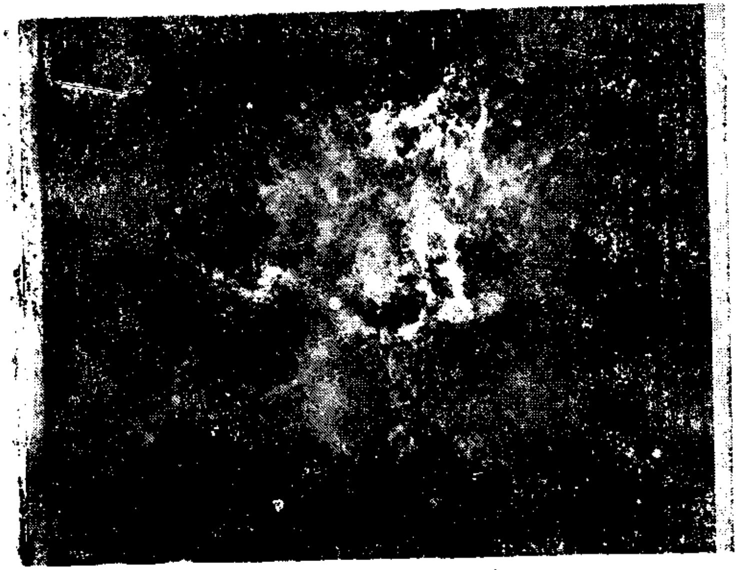
Јени улдузларын алышмасы тез-тез мүшаһидә олунан һадисәдир. Һесабланмышдыр ки, илдә бизим Галактикада 200-ә гәдәр јени улдуз алышыр, бунлардан јалныз јахын мәсафәдә олан икисини, үчүнү мүшаһидә етмәк олур, галан јениләр чох узагда олдуғундан көрүнмүр.

Ифрат јени улдузлар. Бу улдузларын алышмасы заманы максимум мәрһәләдә онларын мүтләг улдуз өлчүсү — 19^m, һәтта—21^m олур. Беләликлә бу дөврдә ифрат јенинин ишыглығы Күнәшинкиндән $2{,}512^{5+20} = 10^{10}$ дәфә бөјүк олур. Башга сөзлә, бир улдуз системиндә ифрат јени алышырса, онун ишыглығы аид олдуғу улдуз системинин ишыглығы тәртибдә олур. Ифрат јени алышанда 10^{42}—10^{44} чоул енержи ајрылыр, бу енержи јени улдуз алышанда ајрылан енержидән 10000—

100000 дәфәләрлә бөјүкдүр. Тәкчә башга галактикаларда 60-а гәдәр ифрат јени фотографик мүшаһидә олунмушдур. Бизим Галактикада ән мараглы ифрат јени 1054-чү илдә Буға бүрчүндә алышмышдыр. Чин вә Јапон астрономларынын мүшаһидә етдикләри бу улдуз һәтта күндүзләр көрүнмүшдүр. Инди бу ифрат јенинин јериндә мәшһур *Јенкәчәбәнзәр думанлыг* вардыр (шәкил 153). Бу думанлыг бир сыра хүсусијјәтләрә маликдир: 1) думанлығын көрүнән областда шүаланмасынын 80%-и онун кәсилмәз спектринә дүшүр, 2) ағ ишыгда думанлыг аморф шәкиллидир; 3) думанлыглар үчүн ади олан емиссија хәтләриндә (һидрокен, бир чох метал хәтләриндә) думанлыг аморф шәкилдә дејил, ајры-ајры лифләрдән ибарәт көрүнүр; 4) думанлығын шүаланмасы полјаризә олунуб (бә'зи јерләриндә 100%); 5) думанлыг Бизим Галактикада ән күчлү радиошүаланма мәнбәјидир. 1967-чи илдән сонра тапылды ки, бу думанлығын мәркәзиндә пулсар вар вә бу пулсар бир улдузла үст-үстә дүшүр (нөвбәти параграфа бах).

Индијәдәк бизим Галактикада әсасән радиоастрономик үсулла 90-а гәдәр ифрат јени улдузун галығы тапылмышдыр. Бунларын әксәријјәти ренткен областда да күчлү шүаланмаја маликдир. Јенкәчәбәнзәр Думанлыгдан башга ики дикәр ифрат јени галығында да пулсар тапылмышдыр.

Ифрат јениләри парлаглыг әјриләринә көрә ики типә ајырырлар. *I тип ифрат јениләрин* (бунлары SNI илә ишарә едирләр) алышмасы заманы максимум парлаглыг бир һәфтәјә јахын давам едир. Сонра 25 күн әрзиндә суткада $0^m,1$ сүр'әтлә парлаглыг азалыр, бундан сонра исә парлаглығын дүшмәси ләнк кедир. Парлаглығын максимумундан 70 күн сонра парлаглығын зәифләмәси сүр'әти сабит галыр вә



Шәкил 153. Јенкәчәбәнзәр думанлығын H_α хәттиндә монохроматик әкси.

суткада $0^m,014$ тәшкил едир вә нәһајәт ифрат јени көрүнмәз олур. Улдузун ишыглылығынын ики дәфә азалмасы 55 суткада баш верир. SNI-ләрин спектриндә чох кениш удулма хәтләри мүшаһидә олунур. Бу хәтләрин тәдгиги көстәрир ки, алышма заманы улдуздан $0,3m$ күтләјә малик өртүк атылыр вә бу өртүк $10^4—2\cdot10^4$ км/сан сүр'әтлә улдузлararасы фәзаја кенишләнир. Максимум парлаглыгдан сонра ишыглылығын 55 суткада ики дәфә зәифләмәсини партлајыш заманы јаранан ^7Be, ^{56}Co, ^{254}Cf вә башга изотопларын радиактив парчаланмасы илә изаһ етмәк олар (бу изотопларын парчаланма јарымпериодлары 50 күнә јахындыр).

II тип ифрат јениләр (SNII) максимум парлаглыгда 20 күнә гәдәр галырлар (SNI-ләрдән ~ 3 дәфә чох мүддәт). Бундан сонра парлаглыг бир нечә күндә бир нечә улдуз өлчүсү гәдәр азалыр, сонра исә парлаглыг он күнләрлә чох ләнк азалыр, даһа сонра исә азалма кәскин дүшүр. Максимум парлаглыгдан сонра спектрдә парлаг енли һидрокен хәтләри көрүнүр. Бу, өртүјүн 5000—10000 км/сан сүр'әтлә кенишләндијини көстәрир. Улдузлararасы мүһитә атылан күтлә $(1—10)m_\odot$ олур. SNII күтләчә SNI-дән тәртибчә бөјүкдүр.

§ 129. ПУЛСАРЛАР

1967-чи илин августунда Инкилтәрәнин Кембрич университетиндә санијәнин миндә бирләри гәдәр давам едән радио сигналлары ајырмаг габилијјәти олан радиотелескопла мүшаһидәләр апарылырды. Мәшһур радиоастроном Һјуишин рәһбәрлији илә апарылан бу мүшаһидәләрин бириндә һәр бир импулсу $0^s,3$ давам едән вә $1^s,33730110168$ дөврлә тәкрарланан сигналлар гәбул олунду. Мә'лум олду ки, бу дөвр јарым илдә 10^{-8} с дәгигликлә сабит галыр; импулсун гијмәти азалыб чохалыр, бә'зән күј фонунда јох олур вә јенидән јараныр; belә олдугда да ики импулс арасындакы вахт шкаласы интервалында бөјүк дәгигликлә там дөврләр јерләшир. Бу објектә *пулсар* ады верилди (инкилисчә импулс демәкдир). О вахтдан индијә гәдәр кечән мүддәтдә 400-ә јахын пулсар гејдә алынмышдыр. Каталогларда пулсар адәтән дөрд рәгәмли әдәдлә ишарә олунур. Бунлардан биринчи икиси пулсарын дүз доғушунун саатларла, галан икиси исә бу координатын дәгигәләрлә гијмәтидир. Бу әдәдин габағында ики латын һәрфи јазылыр; бунлардан биринчиси пулсарын кәшф олундуғу јери, икинчиси објектин пулсар олдуғуну көстәрир. Мәсәлән, CP 1919 о демәкдир ки, пулсар Кембричдә кәшф олунуб, дүз доғушу $19^h\ 19^m$-дир. Москва јахынлығында Пушшинодакы радиоастрономија базасында кәшф олунан пулсарлар PP илә, АБШ-да Грин Бенк Милли радиоастрономија рәсәдханасында кәшф олунан пулсарлар NP кими вә с. ишарә олунур. Сон вахтлар пулсарлары ваһид бир ишарә илә көстәрирләр: PSR улдузабәнзәр (S) радиошүаланма (R) мәнбәји олан пулсар (P) демәкдир, әдәдләр исә дүз доғуш вә мејли көстәрир: $\alpha=19^h\,19^m$, $\delta=+21°$.

Пулсарларын периодлары $0^s,033—4^s,8$ интервалындадыр. Әксәријјәтинин дөврү $0^s,75$-дир. Ән кичик ($0^s,033$) дөврә малик олан пулсар Јенкәчәбәнзәр думанлығын мәркәзиндәдир (NP 0531). Пулсарларда һәр бир импулсун давам етмә мүддәти дөврүн

$\frac{1}{100}$-индән $\frac{1}{10}$-инә гәдәрдир.

Мүшаһидәләрдән тапылыб ки, пулсарларын периоду заман кечдикчә аз да олса бөјүјүр. Мәсәлән NP0531 пулсарынын периоду һәр 2000 илдә ики дәфә бөјүјүр. Бурадан белә чыхыр ки, дөврү кичик олан пулсар тәкамүлүнүн илк мәрһәләсини кечирир; дөврләри $0^s,5—2^s$ арасында олан пулсарларын јашы $10^6—3\cdot10^7$ илдир.

Пулсарлара гәдәр мәсафә ашағыдакы мүлаһизәләрдән тапылыр. Пулсарын радиоимпулсу мүәјјән електрон консентрасијасына малик олан улдузлараpасы мүһитдән кечәрәк мүшаһидәчијә чатыр. Белә мүһитдә радиодалғаларын јајылма сүр'әти, јә'ни груп сүр'әти $v_{гр} < c$ олмалыдыр:

$$v_{гр} = c\sqrt{1 - \frac{\omega_e^2}{\omega^2}}$$

Бурада $\omega = 2\pi\nu$ мүшаһидә олунан даирәви тезлик, ω_e-ленгмјур тезлијидир $\left(\omega_e = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}}\right)$. Беләликлә тезлији бөјүк олан сигнал, тезлији кичик оландан мүшаһидәчијә Δt гәдәр тез чатыр. Бу вахт фасиләси тезликләр фәрги $\Delta\nu$, електрон консентрасијасы n_e, тезлик ν, пулсара гәдәр r мәсафәси илә

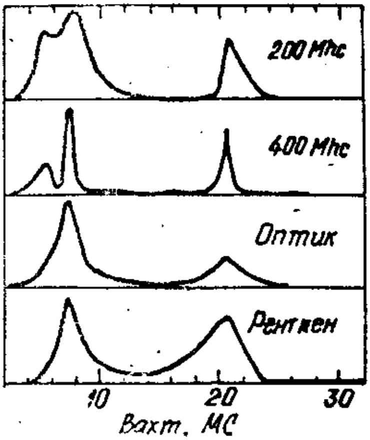
$$\Delta t = 1{,}76\cdot10^3\ n_e r \frac{\Delta\nu}{\nu^3} c$$

шәклиндә әлагәдәдир. Мүшаһидәдән ν, n_e, $\Delta\nu$ вә Δt-и билмәклә һәмин дүстур васитәсилә пулсара гәдәр r мәсафәси тапылыр (улдузлараpасы мүһитдә сәрбәст електронларын орта консентрасијасы $n_e = 310^{-2}см^{-3}$-дир). Бу гајда илә тапылан мәсафәләрдән мә'лум олмушдур ки, пулсарлар биздән 100—2500 ишыг или мәсафәдәдирләр. Демәли мүшаһидә олунан пулсарлар бизим Галактиканын објектләридир.

NP O 531 пулсары чох марaглыдыр. Јенкәчәбәнзәр думанлығын мәркәзиндәки бу пулсар һәмин думанлығын мәркәзиндә јерләшән улдузла үст-үстә дүшүр. Хүсуси мүшаһидәләрдән мә'лум олмушдур ки, бу улдузун парлаглығы пулсарын импулслары арасында $16^m,5$ улдуз өлчүсүнә маликдир; радиодиапазонда пулсарын импулсу заманы исә улдузун парлаглығы 10 дәфә артыр, јахуд улдуз өлчүсү $13^m,9$ олур. Беләликлә, бу пулсар һәм дә оптик областда ејни дөврлә импулслара маликдир. Сонралар мә'лум олду ки, һәмин пулсар оптик областдакындан 200 дәфә күчлү рентген шүаланма мәнбәјидир. Бүтүн шүалан-

ма диапазонларда бу пулсарын импулслары синхрондур. 154-чү шәкилдә NP 0531 пулсарынын спектрин мүхтәлиф диапазонларында импулслары көстәрилмишдир. Пулсарларын һамысы күман ки, ифрат јени улдузларын галығыдыр. Лакин һәләлик јалныз бир нечә (үч) пулсар думанлыгла (ифрат јени улдузларын галығы илә) әлагәләндирилир. Буну онунла изаһ едирләр ки, ифрат јени улдузлар партлајанда өртүк $v \geqslant 100$ км/сан сүр'әтлә кенишләндијиндән 10^6 илдә бу өртүк ифрат јенидән 100—1000 ишыг или мәсафәдә олур. Белә думанлығы исә билаваситә ифрат јенинин галығы һесаб етмәк вә һәмчинин ифрат јенинин јериндә мүшаһидә олунан пулсары бу думанлыгла әлагәләндирмәк чәтинләшир.

Һесаб едирләр ки, *пулсарлар сүр'әтлә фырланан нејтрон улдузлардыр.* Нејтрон улдузунун сәтһиндәки күчлү електромагнит шүаланмасы мәнбәји һесаб едилән ләкә сүр'әтлә фырланан нејтрон улдузунун фырланмасы дөврүндә мүшаһидәчијә нәзәрән мүнасиб вәзијјәтдә оланда импулс мүшаһидә олунур. Беләликлә пулсарын импулсларынын тәкрарланма периоду нејтрон улдузунун фырланма периодуна бәрабәр олмалыдыр; импулсун мүддәти исә ләкәдән чыхан електромагнит далғалары дәстәсинин ени илә тә'јин олунмалыдыр. Шкловски Јенкәчәбәнзәр думанлығын мүхтәлиф диапазонларда шүаланмасыны тәдгиг етмәклә белә бир нәтичәјә кәлмишдир ки, бу шүаланманын механизми синхротрон шүаланмадыр. Бәс онда 900 илдән артыг бир дөврү әһатә едән мүддәтдә бу думанлығы релјативист електронларла тәчһиз едән мәнбә нәдир? Пулсарларын кәшфиндән сонра бу суала чаваб тапылды. Мә'лум олду ки, һәр бир пулсар релјативист електронлар мәнбәјидир вә бунлардан бири дә Јенкәчәбәнзәр думанлығын мәркәзиндә јерләшир.



Шәкил 154. Спектрин мүхтәлиф областында NPO531 пулсарынын импулслары

§ 130. РЕНТКЕН УЛДУЗЛАРЫ

Илк дәфә Күнәшин тимсалында улдузларын рентген шүаланмасы мәнбәји ола билмәси фикри јаранмышдыр. Әлбәттә ән јахын улдуз белә Күнәшинки гәдәр рентген областда шүаландырса ону мүшаһидә етмәк олмаз. Башга сөзлә улдузун рентген шүаланмасыны мүшаһидә етмәк үчүн о, күчлү рентген шүаланма мәнбәјинә малик олмалыдыр. Илк белә мәнбә 1962-чи илдә Әгрәб бүрчүндә тапылды. Бундан сонра чохлу јени рентген шүаланма мәнбәләри ашкар едилмишдир. Рент-

кен мәнбә, мәнсуб олдуғу бүрҹүн ады илә, бу аддан сонра јазылмагла рентҝен шүаланмасы символу олан X һәрфи илә (X—*Raxs*—намә'лум шүаланма сөзүндәндир) вә нәһајәт мәнбәјин һәмин бүрҹдә тапылма ардычыллығына ујғун рәгәмлә ишарә олунур. Беләликлә илк рентҝен-шүаланма мәнбәји «Әгрәб X—1» олду. 1962-чи илдән хүсуси сүн'и пејкләр васитәсилә бизим Галактикада 100-дән артыг рентҝен шүаланма мәнбәји-рентҝен улдузу тапылмышдыр.

Инди ашкар едилмиш рентҝен шүаланма мәнбәләриндән 10-у гоша улдузлардыр, бә'зиси исә рентҝен шүаланма диапазонунда тутулан-дәјишән улдуздур. Бу гоша системләр сыхдырлар, компонентләрдән бири «нормал» улдуз, дикәри рентҝен улдузу, јахуд пулсарлардыр. Рентҝен улдузун бу областда ишыглығы L $\simeq 10^{29}$—10^{32} Вт-дыр. Бүтүн бу објектләрин спектриндә енержи пајланмасы ејнидир, 0,1-сан-дән кичик мүддәтдә шүаланмалары дәјишәндир. Дәјишмәнин belә гыса мүддәтдә олмасы бу гоша системләрин сых гоша олмасы илә әлагәдардыр (чүнки ишығын 0',1-дән гыса мүддәтдә кетдији јол 30000 км-дән кичикдир). Бу гошаларда үмуми күтлә мәркәзи әтрафында компонентләрин доланма мүддәти чох гыса, һәтта саатлардыр. Һесаб етмәк олар ки, белә сых гоша системләрдә «нормал» улдуз өзүнүн Рош фәзасыны долдурур вә дикәр компонентә бу улдуздан маддә ахыр. Әкәр бу компонент нејтрон улдузудурса, онда онун $\sim$ 100 км/сан сүр'әтлә фырланмасы вә чох бөјүк чазибә саһәсинә малик олмасы нәтичәсиндә нејтрон улдузунун сәтһи јахынлығында она доғру ахан газ селиндә олан зәррәчикләрин сүр'әти 10^5 км/сан-јә чата билир. Бурада нәзәрә алырыг ки, нејтрон улдузун радиусу 10 км, күтләси исә Күнәшинки тәртибдәдир. Нејтрон улдузунун сәтһинә доғру ахан газ селиндә бир грам маддәнин бу сүр'әтлә бу улдузун сәтһинә дүшмәси нәтичәсиндә мәһз рентҝен областда $\sim 10^{13}$ Ч енержи ајрылыр. Беләликлә L $= 10^{30}$ Вт ишыглығы тә'мин етмәк үчүн нејтрон улдузунун сәтһинә санијәдә чәми 10^{14} кг газ күтләси төкүлмәси кифајәтдир.

Әкәр нејтрон улдузу күчлү магнит саһәсинә маликдирсә, онда бу улдуза доғру ахан газ сели онун магнит гүтбләринә топлашараг орада исти ләкәләрә чеврилир вә рентҝен шүаланмасы мәнбәји, јә'ни рентҝен пулсарлар оларлар. Һал-һазырда ики белә пулсар әтрафлы өјрәнилмишдир. Бунлардан бири Һеркулес X—1, дикәри Сентавр X—3-дүр. Биринчи пулсарын периоду 1^s, 2378-дир, HZ Һеркулес дәјишән улдузу илә гоша систем тәшкил едир. Доланма периоду 1,7 суткадыр. Бу мүддәтдә улдузун парлаглығы 13^m-дән 15^m-ә гәдәр дәјишир. Һәр 36 суткадан он икисиндә пулсар мүшаһидә олунур, галан 24 сутка әрзиндә пулсар «көрүнмүр». Буну онунла изаһ етмәк олар ки, пресессија нәтичәсиндә пулсарын фырланма оху Јерә нисбәтән елә дөнүр ки, онун магнит гүтбләриндә јаранан парлаг исти ләкә «көрүнмәз» олур. HZ Һеркулесин күтләси Күнәшкиндән бир гәдәр бөјүк, радиусу $2R_\odot$-дир, пулсарын күтләси исә $\sim m_\odot$-дир.

Сентавр X—3 рентҝен пулсарынын периоду P=4, 84 сан, сых гоша системдә компонентләрин доланма периоду 2,087 суткадыр. Спектрал гоша систем олан бу објектин көрүнән улдуз өлчүсү 13^m-дүр.

Системин оптик улдуз компонентинин күтләси $15m_{\odot}$, радиусу $7{,}2R_{\odot}$-дир. Системин ренткен компоненти, күтләси $\sim m_{\odot}$ олан нејтрон улдузудур.

Көзләмәк олар ки, ренткен мәнбәји олан бу сых гоша системин компонентләриндән бири һәтта гара чухурдур.

Гу X—1 рентген мәнбәјинин көрүнмәјән пејкинин дә гара чухур олдуғу күман едилир.

Ола билсин ки, X Персеј үч улдуздан ибарәт системдир; бунларын бири B синфинә мәхсус «ади» улдуз, бири нејтрон улдузу (рентген пулсар), бири исә гара чухурдур. ε Арабачы тутулан—дәјишән улдузунун көрүнмәјән компонентинин дә гара чухур олдуғу күман едилир.

УЛДУЗЛАР АСТРОНОМИЈАСЫНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

XI ФӘСИЛ

БИЗИМ ГАЛАКТИКА

§ 131. АҒ ЈОЛ. ГАЛАКТИК КООРДИНАТЛАР

Ајсыз ачыг кечә сәмасында шималдан чәнуба доғру узанан парлаг сүд кими ағымтыл ишыглы золаг диггәти чәлб едир. Гәдим јунанлар буна *Галактика* ады вермишләр (јунанча «гала», сүд демәкдир). Азәрбајчанда бу мәнзәрәјә *АҒ јол, Кәһкәшан* дејилир. Һәлә Галилеј 1609-чу илдә кәшф етдији илк телескопда АҒ Јолун чох сајда зәиф улдуздан ибарәт олдуғуну көрмүшдү. Инди мә'лумдур ки, бурада $2 \cdot 10^{11}$ улдуз вардыр. Ади көзлә кечә көјүндә көрүнән улдузлар садәчә олараг бизә јахын улдузлардыр. *Беләликлә АҒ Јол вә улдуз көјүндә ади көзлә мүшаһидә олунан улдузлар чохлуғу бизим Галактиканын објектләридир.* «Бизим» сөзү онунла әлагәдардыр ки, Күнәш вә Күнәш системи, о чүмләдән Күнәш системинин бир үзвү олан Јер бу улдуз системинә дахилдир. АҒ Јол көјүн шимал јарысында Арабачы, Кассиопеја, Сефеј вә Гу бүрчләриндән вә ики зодиак бүрчүндән—Әкизләр вә Буға бүрчләриндән кечир, Гу бүрчүндә һачалашыр вә Гартал бүрчүндән көјүн чәнуб јарымкүрәсинә кечир. Бурада о, Галхан, Охатан, Овсунчу, Әгрәб, Гурбанкаһ вә Күнјә бүрчләриндән кечир, јенидән тәкләшир. Сентавр, Чәнуб Хачы, Кил, Јелкән, Бөјүк Көпәк, Тәкбујнуз бүрчләриндән јенидән Орион вә Әкизләр бүрчүндә көјүн шимал јарымкүрәсинә кечир.

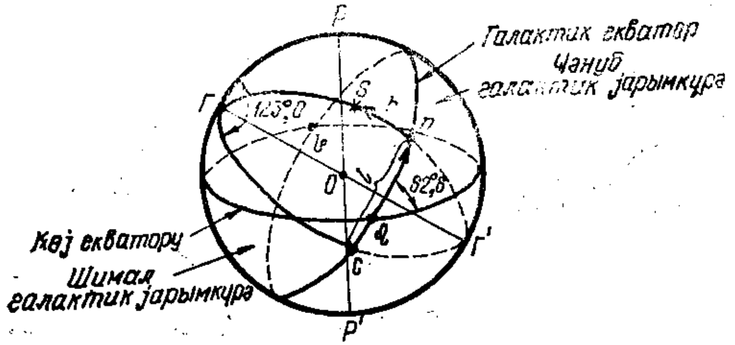
Әксәријјәти АҒ Јолда јерләшән вә там көј сферасыны әһатә едән улдузларын бизим Галактика ады илә ваһид систем тәшкил етмәси фикринә кәлмәк һеч дә асан олмамышдыр. Бунун үчүн мәшһур алимләр—улдузлар астрономијасынын илк әсасыны гојанлардан В. Һершел, Ч. Һершел (Инкилтәрә), В. Ј. Струве (Русија) чох бөјүк иш көрмүшләр.

Бизим Галактиканы өјрәнмәк олдугча чәтин проблемдир. Чүнки биз бу улдуз системинин дахилиндәјик вә онун ән узаг јеринә гәдәр мәсафә 25 кпс (1 кпс$=10^3$ пс) олдуғу һалда мүшаһидәчи ән чоху 3 кпс мәсафәјәдәк мүшаһидә едә билир. Буна сәбәб Галактикада електромагнит шүаланмасыны удан чохлу газ вә тозлардан ибарәт диффуз мүһитин олмасыдыр. Бизим Галактиканын өјрәнилмәсиндә башга улдуз системләри—башга галактикалар барәдә әлдә едилән мүшаһидә материалларынын бөјүк ролу олмушдур. Бу галактикалардан бизимкинә бәнзәрләрини сечмәк вә әтрафлы тәдгиг етмәк мүмкүн олмушдур. Кәнар галактикаларын форма вә гурулушларыны өјрәнмәклә бизим Галактика һаггында әлавә әјани вә дәгиг фикир әлдә едилмишдир. 155-чи шәкилдә бизә ән јахын олан мәшһур галактика—Андромеда думанлығы көстәрилмишдир. Бизим Галактика Андромеда Думанлығына чох бәнзәјир. Көрүндүјү кими бу галактика мәрчијә, јахуд ағыз-ағыза гојулан ики узунсов булуда бәнзәјир. Ағ Јолун мәркәзи хәтти бу ики «булудун» көрүшдүјү мүстәвидән кечир.

Ағ Јолун гурулушуну өјрәнмәк үчүн Галактик сферик координат системиндән истифадә олунур (шәкил 156). Бу системдә әсас даирә Ағ јолун тәгрибән орта һиссәсиндән кечән вә *галактик екватор* адла-

Шәкил 155. Андромеда думанлығы.

нан бөјүк даирәдир. Бу даирә көј екваторуна $i=62°,6$ мејиллидир вә онунла *галактик дүјүнләр* адланан ики диаметрал экс нөгтәләрдә кәсишир. $Л_е$ галхан дүјүнүн екваториал координатлары $\alpha \sim 18^h 48^m,9$, $\delta=0°$-дир (Гартал бүрҹүндәдир), $Л^э$ енән дүјүнүн екваториал координатлары $\alpha=6^h 48^m,9$ вә $\delta=0°$-дир (Тәкбујнуз бүрҹүндә јерләшир).



Шәкил 156. Галактик координат системи.

Галактика мүстәвисинин көј сферасы илә кәсишмәсиндән алынан бөјүк даирә олан галактик екваторун гүтбләри *галактик гүтбләр* адланырлар. Шимал галактик гүтбүн (Г) екваториал координатлары $\alpha=12^h, 48^m,9$ вә $\delta=+27°,4$-дир (Верониканын Сачлары бүрҹүндәдир), ҹәнуб галактик гүтбүн (Г′) екваториал координатлары $O=0^h 48^m,9$ вә $\delta=-27°,4$-дир (Һејкәлтәраш бүрҹүндәдир). Галактик екватор көј сферасыны *шимал вә ҹәнуб галактик јарымкүрәләрә* бөлүр.

Галактик координат системиндә јардымчы даирә Галактиканын гүтбләриндән вә көј ҹисминдән кечән вә *галактик енлик даирәләри* адланан даирәләрдир (156-чы шәкилдә ГСГ′ вә ГSnГ′ даирәләри). Бу координат системиндә објектин вәзијјәти *галактик енлик* (b) вә *галактик узунлуғла* (l) тә'јин олунур. Објектин (Sин) галактик енлији онун галактик енлик даирәси бојунча галактик екватордан олан бучаг мәсафәсидир ($b=nS$). Галактик енлик, енлик даирәси бојунча галактик екватордан һәр ики тәрәфә $\pm 90°$-дәк өлчүлүр (+ишарәси шимал галактик јарымкүрәдә, — ишарәси исә ҹәнуб галактик јарымкүрәдә көтүрүлүр). Галактик узунлуғу тә'јин етмәк үчүн Галактиканын мәркәзинә јөнәлмиш истигамәтин галактик екваторла кәсишмә нөгтәси башланғыч гәбул едилир. Галактиканын мәркәзи (С) Охатан бүрҹүндә һәмин бүрҹүн Әгрәб бүрҹү илә сәрһәдди јахынлығында јерләшир вә галхан дүјүндән 33°,0 гәрбдәдир ($Л_е C=33°,0$). Галактика мәркәзинин галактик енлик даирәси илә Галактиканын гүтбләриндән вә дүнјанын гүтбләриндән кечән даирә арасындакы бучаг 123°,0-дир. Галактика мәркәзинин екваториал координатлары $\alpha=265°$, $\delta=-29°$-дир. Објектин (S-ин) галактик узунлуғу (l) галактик екватор бојунча Галактика

даирәсинин галактик екваторла кәсишдији нөгтәјәдәк олан гөвсүн узунлуғудур (l=Cп). Галактик узунлуг гәрбдән шәргә саат әгрәбинин әкси истигамәтдә һесабланыр вә 0°-дән 360°-дәк гијмәтләр алыр.

Галактик координатлар билаваситә өлчүлмүр, сәма чисмләринин екваториал координатларына көрә һесабланыр (0°1, бә'зән дә 0°,01 дәгигликлә).

§ 132. ГАЛАКТИКАДА УЛДУЗЛАРЫН ПАЈЛАНМАСЫ. ГАЛАКТИКАНЫН ҮМУМИ ГУРУЛУШУ

Мүхтәлиф истигамәтләрдә (галактик мүстәвидә вә ондан һәр ики тәрәфә) ваһид һәчмдәки улдузларын сајыны тапмаг үчүн көј сферасыны мүхтәлиф саһәләрә ајырараг, һәр саһәдәки улдузлары сајмаг лазым кәлир. Бизим Галактикада улдузларын пајланмасы һаггында илк тәсәввүрүн јаранмасы үчүн Күнәшәтрафы фәзада улдузлары сајмышлар. Күнәшә јахын фәзадакы улдузлара гәдәр мәсафәләри тригонометрик параллакс үсулу илә тапмаг мүмкүн олдуғундан әввәлчә мәһз бу фәзадакы улдузларын мигдары сајылмышдыр. Бу әмәлијјат көстәрмишдир ки, һәр куб парсек һәчмә 0,12 улдуз, башга сөзлә һәр улдуза 8 $пс^3$ һәчм дүшүр. Бу о демәкдир ки, Күнәшәтрафы улдузларын бир-бириндән орта мәсафәләри 2 пс-дир.

Галактиканын гурулушуну өјрәнәркән вә бурадакы улдузларын үмуми сајыны тә'јин едәркән улдуз астрономијасында ики статистик параметрдән истифадә олунур. Бунлардан бири *парлаглығын интеграл функсијасы* N(m)-дир; N(m) параметри көјүн истәнилән саһәсиндә ән парлаг улдуздан өлчүсү m олан улдуза гәдәр бүтүн улдузларын сајыдыр. Икинчи параметр *парлаглығын дифференсиал функсијасы* A(m)-дир; A(m)-лә улдуз өлчүләри $m - 0^m,5$ вә $m + 0^m,5$ арасында олан улдузларын сајы тә'јин олунур, јә'ни A(m). улдуз өлчүсү 1 дәјишәндә улдузларын сајынын дәјишмәсини характеризә едир; A(m) вә N(m) параметрләринин мә'насындан ајдындыр ки:

$$A(m) = \frac{dN(m)}{dn}$$

Бүтүн улдуз көјүндә апарылан сајма әмәлијјаты илә ашағыдакы гијмәтләр алынмышдыр:

$$N(0) = 4,\ N(1) = 17,\ N(2) = 50,\ N(3) = 175, \cdots$$

$$N(6) = 3100, \cdots,\ N(21) = 889 \cdot 10^6$$

Көстәрмәк олар ки, улдузлар бизим Галактикада мүнтәзәм пајлансајды вә онларын орта ишыглығы ејни олсајды, онда

$$\frac{N(m+1)}{N(m)} = 3{,}98$$

оларды (бу Зееликер теореми адланыр). Доғрудан да, фәрз едәк ки, улдузлар Галактикада мүнтәзәм пајланмышлар вә онлар ејни орта ишыглыға маликдирләр. Улдуз өлчүсү m олан улдуз r мәсафәдә олсун; онда улдуз өлчүләри m-дән кичик олан бүтүн улдузлар радиусу r олан сфера дахилиндә олмалыдырлар; бунларын сајы N(m) олсун; улдуз өлчүсү $(m+1)$ олан улдуза гәдәр мәсафә исә R олсун; Онда (m+1)-дән парлаг улдузларын һамысы R радиуслу сфера дахилиндә оларлар; бунларын сајы $N(m+1)$ олсун. Шәртә көрә улдузлар мүнтәзәм пајландыглрындан

$$A(m)=\frac{N(m+1)}{N(m)}=\frac{R^3}{r^3}$$

олмалыдыр. Дикәр тәрәфдән көрүнән парлаглыг мәсафәнин квадраты илә тәрс мүтәнасибдир; јә'ни

$$\frac{E_m}{E_{m+1}}=\frac{R^2}{2}=2,512.$$

Бу ики мүнасибәтин мүгајисәсиндән

$$A(m)=2,512^{3/2}=3,98$$

әдәди алыныр. Беләликлә Галактикада улдузлар мүнтәзәм пајланмыш олсалар вә онлар ејни ишыглыға малик олсалар онда бүтүн улдуз өлчүләри үчүн A(m) нисбәти ејни ($\sim$4) оларды. Лакин һәтта ән парлаг улдузлар үчүн белә A(m) $<$3-дүр. Дикәр тәрәфдән ән мүһүм чәһәт бурасыдыр ки, $m=21^m$-ә гәдәр апарылан статистик тәдгигатлара көрә A(m) параметри дә N(m) кими m бөјүдүкчә бөјүјүрсә дә онун бөјүмә темпи улдуз өлчүсү бөјүдүкчә кичилир. Мәсәлән, N(6):N(5)=2,85 олдуғу һалда N(13):N(12) = 2,47, N(21):N(20)=1,76-дыр. Бу ону көстәрир ки, улдузлар Галактикада гејри-мүнтәзәм пајланыблар вә улдузларын галактикада сајыны тә'јин етмәк үчүн истифадә олунан сыра «топланандыр». Екстрополјасија тәтбиг етмәклә апарылан ријази статистика көстәрир ки, галактикада ән бөјүк саја малик олан улдузларын улдуз өлчүсү 30^m-дур. Мәһз бу мүһакимәләрә әсасән мүәјјән етмишләр ки, бизим Галактикада $200\cdot10^9$ сајда улдуз вардыр.

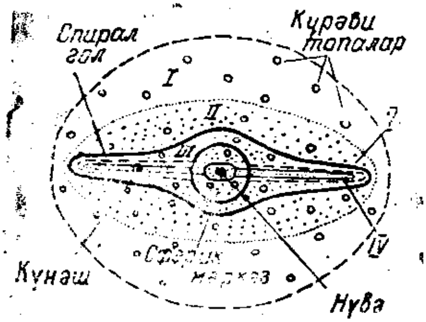
Беләликлә, Галактиканын мәркәзинә јөнәлмиш истигамәтдән башга бүтүн галан истигамәтләрдә улдузларын сај сыхлығы, јә'ни ваһид һәчмдәки сајы азалыр вә мүәјјән мәсафәдә сыфыр олур. Бу көстәрир ки, мүшаһидә етдијимиз Ағ Јол вә онун әтрафындакы улдузлар доғрудан да ваһид систем тәшкил едирләр.

Статистик тәдгигатлар көстәрир ки, Галактика мүстәвисинә јахынлашдыгча (b→0 олдугча) көрүнән улдузларын (хүсусилә зәифләринин) сајы сүр'әтлә артыр. Бу дәлил N(m;0°) : N(m;90°) нисбәти илә тә'јин олунан вә *галактик консентрасија* адланан параметрин ашағыдакы гијмәтләриндән ајдын көрүнүр: N (7^m; 0°) : N (7^m; 90°) =3,5 ол-

дуғу һалда N(21^m;0°) : N(21^m;90°) = 44,2-дир. Бу о демәкдир ки, Галактикаја дахил олан улдузларын 95%-и Аҕ Јолда галактиканын мәркәзи мүстәвисиндә јерләшир.

Галактиканын објектләринә гәдәр мәсафәләрин тә'јини вә онларын статистик тәдгигатлары нәтичәсиндә тапылмышдыр ки, Галактика, ән бөјүк диаметри 30 кпс (~ 100000 ишыг или) олан нәһәнк дискә бәнзәјир. Күнәш Галактиканын мәркәз мүстәвисиндән бир гәдәр шимала доғру (25 пс) Галактиканын мәркәзиндән ~ 10 кпс (~ 30000 и. и.) мәсафәдә јерләшир. Галактика мүрәккәб спиралвари гурулуша маликдир.

157-чи шәкилдә меридиан мүстәвисиндә Галактиканын гурулуш схеми верилмишдир. Бурадан көрүнүр ки, Галактика доғрудан да галактик мүстәвијә нәзәрән басыг системдир. Бу системин мәркәз мүстәвисинә вә һәмин мүстәвидән дә Галактиканын мәркәзинә доғру улдузларын сыхлығы артыр. Беләликлә, улдузларын Галактикада пајланмасында ики ашкар мејл вардыр. Бунлардан бири одур ки, галактик мүстәвијә тәрәф улдузларын консентрасијасы сүр'әтлә артыр; икинчи мејл ондан ибарәтдир ки, Галактиканын мәркәзинә доғру улдузларын консентрасијасы бөјүјүр вә Галактиканын нүвәси вә ја *Галактиканын мәркәзи сыхлашмасы* адланан һиссәдә бу сыхлыг ән бөјүк олур. Галактика мүстәвисиндән узаглашдыгча улдузларын консентрасијасынын азалмасы тәдричән олур вә Галактиканын кәскин сәрһәддини тә'јин етмәк мүмкүн олмур.



Шәкил 157. Меридиан мүстәвисиндә Галактиканын гурулуш схеми.

Галактика беш алтсистемә бөлүнүр: *сферик алтсистем (I), аралыг сферик алтсистем (II), аралыг диск алтсистеми (III), гоча мүстәви алтсистем (IV), чаван мүстәви алтсистем (V).*

Ајры-ајры објектләр алтсистемләрдә беләпајланмышлар:

(I)-дә күрәви улдуз топалары, парлаг субчыртданлар, RR Лира типли дәјишән улдузлар.

(II)-дә: Бөјүк сүр'әтә малик F—M синифләринә мәхсус улдузлар, бөјүк периодлу дәјишәнләр вә бә'зи башга улдузлар.

(III)-дә: Баш ардычыллығын әксәр улдузлары (о чүмләдән Күнәш), јени улдузлар, планетар думанлыглар, гырмызы нәһәнкләр.

(IV)-дә: А синфинә мәхсус улдузлар.

(V)-дә: О вә В синифләринә мәхсус улдузлар, Т Буға типли улдузлар вә башгалары.

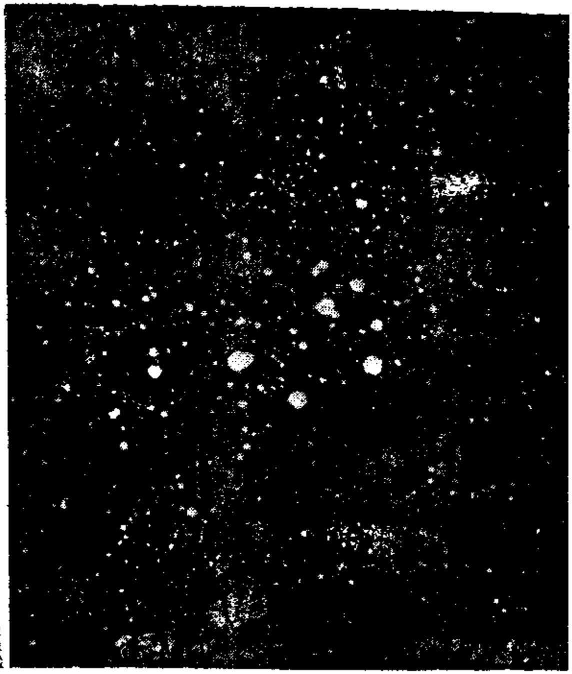
Јухарыда адларыны чәкдијимиз објектләрин аз һиссәси илә биз һәлә таныш дејилик. Бунларла да таныш олаг.

§ 133. УЛДУЗ ТОПАЛАРЫ

Улдузларын бир гисми улдуз топалары адланан групларда топлашыр. Һәр бир улдуз топасындакы улдузлар бир-бириләрилә гаршылыглы чазибәдә олурлар вә фәзада бир ваһид објект кими һәрәкәт едирләр. Улдуз топалары үч нөвә бөлүнүр: *ачыг вә ја сәпилән улдуз топалары, күрәви улдуз топалары вә улдуз ассосиасијалары.*

Ачыг вә күрәви улдуз топаларынын илк мүкәммәл каталогуну франсыз астроному Месје (1730—1817) тәртиб етмишдир. Бу каталогда топа М һәрфи вә ондан сонра топанын һәмин каталогдакы нөмрәсини көстәрән рәгәмлә ишарә олунур. Ән парлаг ачыг улдуз топаларындан бири Буға бүрчүндәки Үлкәрдир (шәкил 158). Һәмин улдуз топасы Месје каталогунда М 45 кими ишарә олунур.

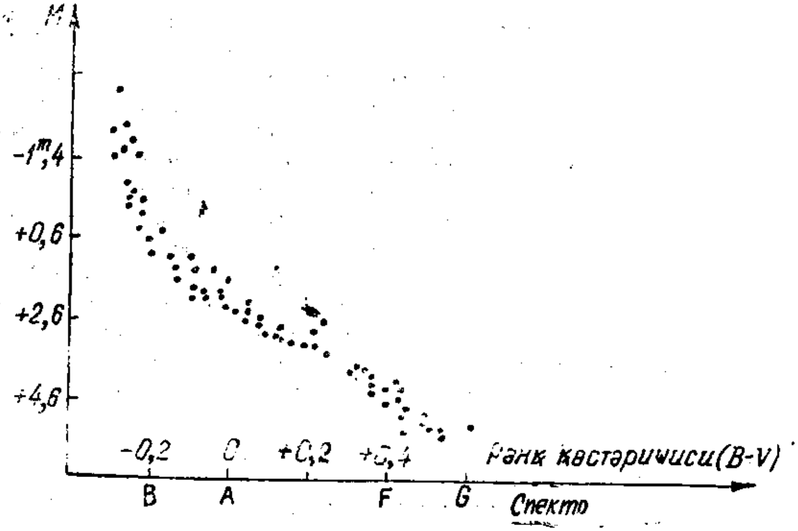
Драјерин (1852—1926) тәртиб етдији Јени Үмуми Каталогда топалар гыса олараг NGC вә бу гыса ишарәнин јанында топанын нөмрәси илә верилир. Мәсәлән, Һеркулес бүрчүндәки күрәви улдуз топасы (шәкил 159) NGC 6205 шәклиндә јазылыр.



Шәкил 158. Буға бүрчүндә Үлкәр ачыг улдуз топасы (М 45).

Ачыг улдуз топалары әсасән Ағ Јолда топланмышлар. Бу топаларын улдузларыны үмуми галактик фондан ајырмаг чох чәтиндир. Бунун үчүн спектрал тәдгигатлар апармаг, чохлу сајда улдузларын рәнк көстәричиләрини вә мәхсуси һәрәкәтләрини өјрәнмәк лазымдыр. Һәр бир ачыг топанын улдузлары ејни шүа сүр'әтинә вә мәхсуси

Шәкил 159. Һеркулес бүрҹүндә күрәви улдуз топасы (NGC 6205).



Шәкил 160. Үлкәр ачыг улдуз топасында «спектр—мүтләг улдуз өлчүсү» диаграмы.

һәрәкәтә маликдир. 160-чы шәкилдә ачыг улдуз топаларынын ән јахшы нүмајәндәси олан Үлкәрин улдузларынын мүтләг улдуз өлчүләри илә спектрал синифләри вә рәнк көстәричиләри арасында әлагә диаграмы верилмишдир. Бу «спектр-мүтләг улдуз өлчүсү» диаграмындан көрүрүк ки, топа әсасән баш ардычыллығын улдузларындан ибарәт-

дир (бу топада нәһәнк вә ифрат нәһәнк улдузлар чох аздыр). Һәр бир топадакы улдузлары ејни мәсафәдә һесаб етмәк олар. Одур ки, топанын һәр бир улдузуну Һерсшпрунт-Ресcел диаграмында өз јериндә мүәјјән етмәклә вә бу диаграмда баш ардычыллыгдан кәнарда галан улдузлары топанынкы һесаб етмәмәклә топаја мәхсус улдузлары ајырмыш оларыг. Әлбәттә, бу заман улдузларарасы мүһитдә удулманы нәзәрә алмаг лазымдыр. Истинад улдузлары үчүн гурулмуш Һерсшпрунг-Ресcел диаграмындан истифадә етмәклә спектр (еффектив температур) вә ја B—V-јә ујғун олан M мүтләг улдуз өлчүләри тапылыр. Бундан сонра мә'лум m көрүнән улдуз өлчүсүнү дә нәзәрә алараг M, m, r арасындакы мүнасибәтдән топаја гәдәр r мәсафәси һесабланыр.

Гејд едәк ки, Үлкәр сәпилән улдуз топасында ади көзлә једди улдуз көрүнүр; күчлү телескопда 200, һәмин телескопларда мүасир фотоемулсијаларын көмәји илә исә 300-ә гәдәр улдуз гејдә алыныр.

Бизим Галактикада 1200-ә гәдәр ачыг улдуз топасы ашкар едилмишдир. Бунлара гәдәр мәсафә 2 пс-дән 20 пс-ә гәдәрдир. Бу топаларын орта диаметри 3—5 пс-дир.

Күрәви улдуз топалары сферик вә ја еллиптик формада олурлар. Һәр бир күрәви топада јүз минләрлә, һәтта милјонларла улдуз олур. Орта диаметрләри 30 пс-дир. Күнәшәтрафы фәзада һәр 8 пс^3 һәчмә бир улдуз дүшдүјү һалда күрәви улдуз топасында, хүсусилә онун мәркәзи һиссәсиндә һәр куб парсек һәчмә он минләрлә улдуз дүшүр. Күрәви улдуз топалары парлаг олдугларындан онлар чох узаг мәсафәдән көрүнүрләр. Индијәдәк бизим Галактикада 130 күрәви топа кәшф олунуб. Күрәви улдуз топаларында нәһәнк улдузлара вә RR Лира типли дәјишәнләрә чох раст кәлирик. Күрәви топалар галактик екватордан һәр ики тәрәфә симметрик пајланыблар. Галактика мүстәвисиндә удучу газ-тоз мүһити сых олдуғундан күрәви топалар бурада аз көрүнүрләр. Күрәви топалар әсасән Галактиканын мәркәзиндә топланыблар. Күрәви улдуз топалары үчүн «спектр-ишыглыг» диаграмындан көрүнүр ки, бу топаларын улдузлары баш ардычыллыгдан үстдә хүсусилә F—G синифләри истигамәтдә шагули (даһа јухарыда нәһәнкләрә тәрәф сага әјилмәклә) вә B—F синифләринә паралел үфүги истигамәтдә јерләширләр. Ачыг вә күрәви улдуз топаларынын «спектр-ишыглыг» диаграмларындакы чидди фәрг көстәрир ки, онларын јашларында чох бөјүк фәрг вардыр (күрәви улдуз топалары чох гочаман објектләрдир).

Сон вахтлар күрәви улдуз топаларынын күчлү рентген шүаланмасы мәнбәји олдуғу мүәјјән едилмишдир. Бә'зи алимләрин фикринчә күрәви улдуз топаларынын мәркәзиндә гара чухур вардыр вә улдузларарасы газ күтләләринин бу мәркәзә аккресија етмәси нәтичәсиндә күчлү рентген шүаланмасы баш верир.

XX јүзиллијин орталарында мүшаһидәләр вә онларын нәзәри интерпретасијасы јолу илә мүәјјән етмишләр ки, O вә B синифләринә мәхсус бөјүк ишыглыглы улдузлар динамик бағлы олан мүәјјән груплар тәшкил едирләр. Бунлар *улдуз ассосиасијалары* адланыр. Ики нөв улдуз ассосиасијасы вардыр. Нөвләрдән бириндә бөјүк ишыглыглы ис-

ти О вә В улдузлары топланыр вә белә ассосиасија ОВ типли исти ассосиасија адланыр; һәр белә ассосиасијада јүзә гәдәр О вә В синифләринә мәхсус ишыглыглары бөјүк олан исти улдузлар вардыр. Икинчи нөв ассосиасијалар Т Буға типли дәјишәнләрдән ибарәтдир; белә ассосиасијалар Т типли сојуг ассосиасијалар адланыр. Јерә ән јахын Т—ассосиасијалардан бири Орион бүрчүндәдир; бу ассосиасијада 500-дән чох Т Буға типли улдуз вардыр. Гејд етмәк лазымдыр ки, улдуз ассосиасијалары Галактикада чох бөјүк вә сых газ-тоз комплексиндә јерләширләр. Беләликлә ачыг улдуз топалары кими улдуз ассосиасијалары да мүстәви алтсистемдә јерләширләр.

Улдуз ассосиасијаларында улдузлар чох чаван олдуғундан вә ассосиасијалар һәм дә дајаныгсыз олдуғундан ики мүһүм нәтичә сөјләмәк олар: улдузәмәләкәлмә просеси бизим Галактикада инди дә давам едир вә улдузлар тәк-тәк дејил, групларда — улдуз ассосиасијаларында әмәлә кәлирләр.

§ 134. УЛДУЗЛАРАРАСЫ ТОЗ ВӘ БУРАДА ИШЫҒЫН УДУЛМАСЫ. ТОЗ, ГАЗ-ТОЗ ВӘ ГАЗ ДУМАНЛЫГЛАРЫ. КОСМИК МАЗЕРЛӘР

Улдузлорарасы тоз вә бурада ишығын удулмасы (тоз думанлыглары). Улдуз көјүнүн Ағ Јол бојунча мүхтәлиф саһәләриндән алынмыш фотошәкилләриндән көрүнүр ки, бир јердә зәиф улдузларын сајы чох, башга јердә аздыр вә һәтта елә јерләр вардыр ки, һеч улдуз көрүнмүр. Бу мәнзәрә улдузлараросы мүһитдә гејри-мүнтәзәм пајланмыш тозлардан ибарәт удан мүһитин олмасы илә әлагәдардыр. Улдузларын ишығынын улдузлараросы мүһитдә удулмасы фикринә илк дәфә Струве кәлмишдир (1847-чи илдә). О, бу фикрә көјүн мүхтәлиф саһәләриндә мәһз улдузларын пајланмасыны өјрәнмәклә кәлмишди. Инди мә'лумдур ки, галактик мүстәви јахынлығында һәр килопарсек мәсафәдә улдузларын ишығы визуал шүаларда 2^m гәдәр, фотографик областда исә 4^m гәдәр зәифләјир. Бу зәифләмәјә сәбәб Галактикада мөвчуд олан диффуз материјадыр. Галактикада мөвчуд олан бу диффуз маддәнин сыхылмышы, тоз думанлығыдыр. Диффуз маддә башга думанлыглар олан јердә даһа сыхдыр. Бунларын пајланмасы исә гејри-мүнтәзәмдир. Тоз думанлыгларынын ән характерик нүмајәндәләри Орион бүрчүндәки «Ат башы» думанлығы (шәкил 161) вә Чәнуб Хачы бүрчүндәки «Көмүр Чувалы» думанлығыдыр. Гу бүрчүндән Сенттавр бүрчүнә гәдәр һача көрүнән Ағ Јолда вә бу һачаларын арасы боју белә тутгун тоз думанлыгларына чох раст кәлмәк олур. Галактиканын нүвәси истигамәтдә вә онун мәркәзи һиссәсиндә белә думанлыглар хүсусилә сых вә чохдурлар. Мәһз бу сәбәбдән дә Галактиканын мәркәзи һиссәси билавасигә көрүнмүр вә бу һагда мә'луматымыз аздыр.

Мүшаһидәләрдән мә'лум олмушдур ки, Күнәшәтрафы јахын улдузларын спектрләри илә бу улдузларын мәхсус олдуглары синифләрдән олан узаг улдузларын спектрләри арасында фәрг олур. Узаг ул-

Шәкил 161. Орион бүрчүндә «Ат башы» тоз думанлығы.

дузларын кәсилмәз спектриндә енержинин пајланмасындан көрүнүр ки, бу улдузларда спектрин көј областы зәифдир. Бунун нәтичәсиндә һәмин улдузларын рәнки бир нөв гырмызылашыр. Бу да улдузларарасы диффуз маддә һесабына удулма илә әлагәдардыр. Доғрудан да, әкәр гејри-шәффафлыг әмсалы далға узунлуғу илә тәрс мүтәнасиб оларса, онда көј шүалар гырмызылара нисбәтән даһа чох удулмалыдырлар. Бу асылылыг 4000—7000 Å диапазонда апарылан тәдгигатлар васитәсилә улдузларын спектриндә енержинин пајланмасынын мүгајисәли тәдгигиндән алынмышдыр. Гејри-шәффафлыг әмсалы о вахт далға узунлуғундан тәрс мүтәнасиб асылы олар ки, диффуз материјаны тәшкил едән зәррәчикләрин һәр биринин өлчүсү 10^{-5}—10^{-4} см олсун. Галынлығы r олан гатын ишығы удма еффективлији бу гатын оптик галынлығы илә тә'јин олунур. Әкәр тоз зәррәчикләринин ен кәсијинә σ, консентрасијасына n десәк, онда бу зәррәчикләрдән ибарәт r галынлыға малик гатын оптик галынлығы $\tau \simeq n\sigma r$ олар; дикәр тәрәфдән $\sigma = \pi\rho^2 \sim 3{,}14(4.10^{-5})^2 \sim 5.10^{-9}$ см^2 олдуғундан $n = \frac{\tau}{5 \cdot 10^{-9} r}$ аларыг.

Инди фәрз едәк ки, бу гата улдуздан дүшән шүанын интенсивлији I_0, бу гатдан кечәндән сонра мүшаһидә олунан интенсивлик I-дир. Онда оптик галынлығын тә'рифинә әсасән $\tau = \ln\frac{I_0}{I}$, јахуд $I = I_0 e^{-\tau}$ јазарыг. Дикәр тәрәфдән диффуз материја олмајан һалда улдузун ишыгланмасына E_0, мүшаһидә олунан ишыгланмаја E вә бунлара ујғун улдуз

өлчүләринә m_0 вә m десәк, онда $\frac{E_0}{E}=2{,}512^{m-m_0}$ олар, $m-m_0=\Delta m$ ишарә едәк ($\Delta m>0$-дир). Сон ики мүнасибәтин мүгајисәсиндән $e^{\tau}=2{,}512^{\Delta m}$, јахуд $\tau\simeq 0{,}9\Delta m$ аларыг.

Δm-и гијмәтләндирмәк үчүн диффуз материјанын удма габилијјәтинин далға узунлуғундан асылылыг ганунуна истинад етмәк лазымдыр. Бу ганунa әсасән диффуз материја улдузун рәнк көстәричисини бөјүтмәлидир, јә'ни мүшаһидә олунан *(B—V) рәнк* көстәричиси илә һәгиги рәнк көстәричиси $(B-V)_0$ арасында E_{B-V} фәрг м јаранмалыдыр:

$$E_{B-V}=(B-V)-(B-V)_0.$$

Бу фәргә *рәнк артыглығы* дејилир. Рәнк артыглығы илә Δm арасында $\Delta m=\gamma E_{B-V}$ асылылығы вардыр вә бурада γ әмсалы фотографик областда ~ 4, визуал областда исә 3,2-дир. Беләликлә визуал шүалар үчүн $\Delta m=3{,}2\ E_{B-V}$-ди .

Күнәшдән 1 кпс мәсафәдә рәнк артыглығы $E_{B-V}\simeq 0{,}^m5$ олдуғундан $\Delta m\simeq 1{,}^m6$ олар. Беләликлә $\tau\simeq 0{,}9\ \Delta m$-дән $\tau\simeq 1{,}47$ вә улдузлараpасы мүһитдә тозларын орта сыхлығы үчүн $n\simeq\frac{\tau}{5\cdot 10^{-9}\text{г.}}\simeq 10^{-7}\ \frac{\text{зәррәчик}}{\text{м}^3}$ аларыг.

Бу, анҹаг орта консентрасијадыр. Јухарыда гејд етдијимиз кими бизим Галактика өлчүләри бир нечә пс олан тоз думанлыглары илә зәнкиндир. Бу думанлыгларда консентрасија — $\sim 0{,}2\ \frac{\text{зәррәчик}}{\text{м}^3}$ ола биләр.

Һәтта өлчүләри 0,1—1 пс олан елә тутгун објектләр вар ки, онларда тоз зәррәҹикләринин консентрасијасы ади тоз думанлыгларындакындан он дәфәләрлә бөјүк олур. Белә објектләр *глобуллар адланыр.*

Ишығын улдузлараpасы мүһитдә удулмасыны рус алими Паренаго даһа мүкәммәл өјрәнмишдир. 1 пс мәсафәдә ишығын удулмасы улдуз өлчүләри илә A_1 олсун. Онда улдуза гәдәр r пс мәсафәдә бу удулма A_1r олар. Удулма олмадыгда улдуз өлчүсү (јә'ни һәгиги улдуз өлчүсү) m_0, мүшаһидә олунан улдуз өлчүсү исә m олсун; улдузлараpасы мүһитдә удулма варса, онда $m-m_0=A_1r$ олар. Беләликлә удулма олдугда һәгиги көрүнән улдуз өлчүсү $m_0=m-A_1r$ олар; одур ки, көрүнән вә мүтләг улдуз өлчүләри вә улдуза гәдәр мәсафә арасындакы мүнасибәт ашағыдакы кими јазылыр:

$$M=m+5-5\lg r-A_1r.$$

Беләликлә ишығы удан мүһитдән кечән Каинат објектинә гәдәр мәсафәнин тә'јининдә хәта етмәмәк үчүн бу удулманы мүтләг нәзәрә алмаг лазымдыр. Дедикләримизи бир мисалла әјаниләшдирмәк: фәрз

26 сиф. 598

едәк ки, фотографик областда рәнк артыглығы $E_{B-V}=1^m,25$-дир; онда $A_{pg}\simeq 4E_{B-V}$ вә $A_{pg}=A_1r$ мүнасибәтләринә әсасән дејә биләрик ки, удулма нәзәрә алынмазса мәсафәни сүн'и олараг 10 дәфә бөјүтмүш оларыг; доғрудан да: $M=m+5-5\lg r_1$ вә $M=m+5-5\lg r-A_{pg}$ мүнасибәтләриндән (бурада r—һәгиги мәсафә, r_1—удулма нәзәрә алынмадыгда мәсафәдир) $\lg\frac{r_1}{r}=1$ јахуд $r=\frac{1}{10}r_1$ аларыг.

Газ-тоз вә газ думанлыглары. Бизим Галактикада газ-тоз булудундан ибарәт диффуз думанлыглар адланан објектләр вардыр. 162-чи шәкилдә белә думанлыглардан бири көстәрилмишдир. Думанлыг формасыз кәнарлара маликдир. Өлчүләри јүзләрлә персекә чатыр. Думанлыг галактика мүстәвисинә јахын олдугда онун тоз компонентинин концентрасијасы артыр вә галактик мүстәвидә сых тоз думанлыгларына чеврилир. Компакт диффуз думанлығын күтләси 10^4 Күнәш күтләсинә бәрабәрдир. Газ-тоз думанлығынын јахынлығында парлаг улдуз оланда о, ишыгланыр. Газ компоненти әсас оланда газ-тоз думанлығынын спектри емиссија хәтләриндән ибарәт олур, тоз компоненти әсас оланда исә газ-тоз думанлығынын спектри удулма хәтләриндән ибарәт олур ки, бу да әслиндә јахынлыгдакы улдузун спектридир. Биринчиләр емиссија думанлыглары, икинчиләр исә әксетдиричи думанлыглар адланыр.

Шәкил 162. Орион бүрчүндә бөјүк диффуз думанлыг (Орион диффуз думанлығы).

Диффуз думанлыг дејәндә чох вахт мәһз емиссија думанлыгларыны нәзәрдә тутурлар. Беләликлә бу думанлыглар, јахынлығындакы чох исти (O—B синфинә мәхсус) улдуз вә ја улдузлар тәрәфиндән ишыгланырлар. Бу һалда ишыгланманын сәбәби һәмин чох исти улдузун күчлү ултрабәнөвшәји шүаларынын думанлыгда удулараг кө-

рүнән областда јенидән шүаланмасыдыр. Әксетдирән думанлығын спектри исә, гејд етдијимиз кими садәчә олараг ону ишыгландыран улдузун спектри илә үст-үстә дүшүр.

Индијәдәк 150 газ-тоз думанлығы мә'лумдур. Бу думанлыглар јалныз јахынлыгда исти улдуз олдугда ишыгландыгларындан, газ-тоз думанлыглары әслиндә Галактикада даһа чох (1000-ә гәдәр) олмалыдыр. Бә'зән тутгун думанлыг парлаг думанлыгла мүшаһидәчи арасында олур вә парлаг думанлығы гисмән екранлајыр; бә'зән дә тутгун думанлыг парлаг думанлығын ичәрисинә дахил олур вә фил хортумуна бәнзәр мәнзәрә јарадыр; белә думанлыг *фил хортуму думанлығы* адланыр.

Газ думанлыгларынын диффуз нөвүндән башга (белә думанлыгларын һәр бирինин күтләси 500 $m_{\odot}$-дир), планетар думанлыглар адланан нөвү дә вардыр. 163-чү шәкилдә бир планетар думанлыг көстәрилмишдир. Думанлығын планетар адландырылмасы онунла әлагәдардыр ки, бу думанлыглар ја планет кими даирәви вә ја овал диск шәклиндә, ја да планет һалгасы шәклиндә Уран вә Нептун кими јашылачалан рәнкдә көрүнүрләр. Планетар думанлығын мәркәзиндә һөкмән ја Волф-Раје типли, ја да О синфинә мәхсус чох исти чыртдан улдуз олур. Јери кәлмишкән *Волф—Роје типли улдузлар* (WR шәклиндә ишарә олунурлар) һаггында гыса мә'лумат верәк. Бу улдузлар һәр шејдән әввәл ән исти вә гејри-стасионар улдузлардыр. Бунлар бизим Галактиканын ән парлаг објектләри олуб, аз сајда груп тәшкил едирләр. Индијәдәк чәми 200 WR типли улдуз гејдә алынмышдыр. Бу улдузларын мүтләг улдуз өлчүләри орта һесабла -4^m-дир. WR типли улдузларын спектриндә 10 А-ләрлә енә малик парлаг хәтләр вардыр. Күчлү кәсилмәз спектр фонунда олан бу енли парлаг хәтләр ионлашма потенсиаллары бөјүк олан атом вә ионлара (H, HeI, HeII, CIII, NIII, OIII вә с.) мәхсусдурлар. Бу хәтләрдә шүаланан енержи кәсилмәз спектрдә шүаланан енержи илә мүгајисә олуначаг гәдәр бөјүкдүр. Бунун сәбәби еффектив температуру 100000 К-ә чатан WR типли улдузун чох күчлү ултрабәнөвшәји шүаланма мәнбәји олмасыдыр. Бу күчлү шүаланма нәтичәсиндә јаранан ишыг тәзјиги, күман ки, WR типли улдузун атмосфериндә (фотосфериндә) атом вә ионлары сүр'әтләндирәрәк онлары улдузун сәтһиндән узаглашмаға мәчбур едир. WR типли улдузун спектриндә шүаланма хәтләринин чох енли олмасы да көстәрир ки, улдуз тә'чилләкенишләнән өртүјә маликдир. WR типли улдузлар чаван објектләрдир вә гошалыг бунлар үчүн сәчијјәвидир. WR типли улдузун күчлү ултрабәнөвшәји квантлары думанлыгда һидрокен, оксикен, азот, һелиум вә башга елементләрин атомларыны ионлашдырыр. Думанлыгда ионлашма просесиндә јаранан сәрбәст електронлар бөјүк кинетик енержијә малик олдуғундан думанлығын електрон газы 10^4—$2 \cdot 10^4$ К-ә гәдәр гызыр. Һидрокен вә һелиум ионлары сәрбәст електронларла рекомбинасија едир вә бу заман кәсилмәз шүаланма јараныр; рекомбинасија едән електрон ашағы енержи сәвијјәләринә пилләли кечидләр едир вә нәтичәдә емиссија хәтләри әмәлә кәлир. Оксикен, азот вә башга елементләрин атом вә ионлары исә сәр-

Шәкил 163. Лира бүрҹүндә планетар думанлыг.

бәст електронларла тоггушараг һәјәчанланыр вә һәјәчанланмыш сәвијјәдән ашағы енержи сәвијјәләринә кечәрәк емиссија хәтләринин јаранмасына сәбәб олурлар; бу хәтләр адәтән *гадаған олунмуш хәтләр* олур. Планетар думанлыг спектрин көрүнән областында о дәрәҹәдә ишыгланыр ки, онун көрүнән парлаглығы мәркәзи улдузункундан он дәфәләрлә бөјүк олур. Планетар думанлығын спектриндә хәтләрин икиләшдији, јахуд он илләрлә фасиләдән сонра думанлығын өлчүсүнүн бөјүдүјү мүшаһидә олунур. Бу дәлилләр көстәрир ки, планетар думанлыглар (10—30) км/сан сүр'әтлә генишләнирләр. Индијәдәк 1300-ә гәдәр планетар думанлыг мүшаһидә олунуб; бунларын әксәријјәти бизим Галактикададыр. Планетар думанлыгларын өлчүләри орта һесабла 10000 а. в.-дир; онлар әсасән Галактиканын мәркәзинә тәрәф топлашыблар.

Нәһајәт *лифвари думанлыглар* да вар ки, онлар ифрат јениләрин галыгларыдыр. Доплер еффекти нәтиҹәсиндә хәтләрин сүрүшмәсиндән тапылмышдыр ки, лифвари думанлыгларда газлар (100—1000) $\frac{км}{сан}$ сүр'әтлә һәрәкәт едирләр.

Космик мазерләр. Гејд етмәк лазымдыр ки, газ думанлыгларынын чоху радиошүаланма мәнбәјидир. $\lambda=18$ см далғада бу шүаланма хүсусилә күчлүдүр. Бу, OH һидроксидинә аиддир. Үмумијјәтлә улдузларарасы мүһитдә чохлу молекулјар бирләшмәләр тапылмышдыр (CH, CH^+, CN, H_2, CO, OH, CS, SiO, SO вә б.). Һидроксид золағынын ени 0,5 кһс-дир. Бу ендә шүаланма һиссәҹикләрин истилик һәрәкәти нәтиҹәсиндә олсајды, онда думанлығын температуру ҹәми 3 K оларды. Һалбуки, хәтләрдә шүаланмаја көрә тә'јин олунан парлаглыг температуру 10^{15} K гијмәтләндирилир. Әлбәттә белә нәһәнк температур реал температур ола билмәз.

Олдугча енсиз спектр интервалында белә чох күчлү радиошүаланма јалныз коһерент, јә'ни фаза вә истигамәтчә ејни јајылан шүаланмада ола биләр. Белә шүаланма исә квант кенераторларында алыныр. Радиодиапазонда бунлара мазерләр дејилир. OH (вә H_2O) молекуллары илә ишләјән мазерләрә улдузлапарасы фәзада тез-тез раст кәлирик. Гејд етмәк лазымдыр ки, нәзәри олараг космик мазерләрин варлығыны илк дәфә Шкловски 1949-чу илдә сөјләмишдир. Јалныз 70-чи илләрдә бу нәзәри фикир мүшаһидәләрлә тәсдиг олунду.

Галактикада чох компакт објектләр вар ки, онларын шүаланмасы мазер механизмидир. Әлбәттә компакт сөзү астрономик мигјас бахымындан ишләдилир: һаггында данышдығымыз објектин диаметри 1 а. в. ола биләр. Мазер шүаланмасыны тәчһиз едән мәнбә објектин мәркәзиндә јерләшән инфрагырмызы шүаланма мәнбәјидир. Белә бир фикир сөјләмәјә әсас вар ки, космик мазерләр улдузәмәләкәлмә областлары илә сых сурәтдә бағлыдыр. Чүнки космик мазерләр ја чаван O вә B улдузлары областында, ја да өлчүсү 0,1 пс олан вә ади улдузлапарасы булудлара нисбәтән јүз дәфәләрлә сых мүһитдә олурлар. Бә'зән бу објектләр күчлү инфрагырмызы шүаланма мәнбәји олан нөгтәви објект кими көрүнүрләр. Бу објектләрин јашлары чәми бир нечә он мин илдир. Тәзәчә әмәлә кәлмиш исти улдузу әһатә едән чох сых газ-тоз мүһити һәмин улдузун ишыг тәзјиги илә кенишләнмәли вә нәтичәдә көрүнән олмалыдыр. Белә објектә «улдуз-барама» ады верилмишдир. Күман етмәк олар ки, мазер шүаланмасы мәһз белә објектләрдә баш верир.

§ 135. ГАЛАКТИК РАДИОМӘНБӘЛӘР ВӘ ИФРАТ ЈЕНИЛӘРИН ГАЛЫГЛАРЫ

Билирик ки, индијәдәк Галактикада 90-а гәдәр ифрат јени улдузларын галығы тапылмышдыр ки, бунларын әксәријјәти радиоастрономик үсулла әлдә едилмишдир. Демәли бизим Галактикада әсас радиомәнбәләрдән бири ифрат јениләрин галыгларыдыр. Бу објектләрин радиошүаланмасы синхротрон механизмидир. Демәли ифрат јениләрин галығы һесаб едилән думанлыгларда һәм релјативист електронлар вә һәм дә магнит саһәси вардыр. Буға бүрчүндә 1054-чү илдә партламыш ифрат јенинин галығы олан Јенкечәбәнзәр Думанлығын тимсалында биз бу һагда данышмышдыг. Бураја ону да әлавә едәк ки, Јердән һәмин думанлыға гәдәр мәсафә 5500 и. и.-дир. Думанлығын өлчүсү $3' \times 2'$, улдуз өлчүсү $8^m,6$ вә кенишләнмә сүр'әти 1000 км/сандир; електронларын лифләрдә консентрасијасы $4 \cdot 10^3$ $см^{-3}$, температуру исә 17000 K-дир. Билирик ки, бу думанлығы релјативист електронларла думанлығын мәркәзиндә јерләшән пулсар тәчһиз едир. Думанлығын радиодиапазонда шүаланма интенсивлијинин тезликдән асылылығы $J(\nu) \sim \nu^{-0,8}$ -дир. Онда бурада релјативист електронларын пајланмасы $N(E) \sim E^{-2,6}$ гануну илә олар. Думанлыгда магнит саһәсинин кәркинлији $H \simeq 7 \cdot 10^{-4}$ Е-дир; § 87-дә (7.82) вә (7.83) дүстурларына әсасән саһәнин кәркинлијинин бу гијмәтиндә синхротрон шүаланма

тезлијинә ујғун релјативист електронун енержиси $E=(10^4-10^5)\ mc^2$— олмалыдыр. Ифрат јениләрин галығы олан думанлыгда релјативист електронларын мәнбәјинин пулсар олмасы шүбһәсиздир. Лакин 90 ифрат јени улдузун галығы сајылан думанлыгларын јалныз үчүндә пулсар кәшф едилмишдир. Күман етмәк олар ки, галан думанлыглар релјативист електронларла јахынлыгдакы пулсар васитәсилә тәчһиз олунур; лакин думанлыг сүр'әтлә кенишләндијиндән о, мүвафиг пулсардан бөјүк бучаг мәсафәсиндә јерләшир.

Јенкәчәбәнзәр Думанлыг оптик радио вә рентκен шүаланма илә јанашы һәмчинин γ шүаланма мәнбәјидир. Бу шүаланманын механизми релјативист електронлардан ишыг квантларынын комптон сәпилмәсидир. Билирик ки, оптик вә ултрабәнөвшәји шүалар релјативист електронлардан сәпиләндә $\nu=10^{23}-10^{25}$ һс тезликләрдә, јә'ни сәрт γ шүаларда квантлар јараныр.

Ифрат јенинин галығы олан радиомәнбәләрдән бири дә Кассиопеја А-дыр. Бу галығын оптик диапазонда бучаг өлчүсү 4′-дир. Бу думанлыг дартылмыш лифләрдән вә чох сајда улдузабәнзәр конденсасијалардан ибарәтдир. Бу конденсасијалар $\sim$ 8000 $\frac{км}{сан}$ сүр'әтлә һәрәкәт едирләр.

1572-чи илдә Тихо Браһе вә 1604-чү илдә Кеплер тәрәфиндән мүшаһидә едилән Ифрат Јениләрин галыглары да күчлү радиошүаланма мәнбәјидир. Башга бир радиомәнбә Һеркулес, Илан, Нахырчы, Гыз вә Қаса бүрчләри үзрә узанан 110° диаметрли назик һәлгәви објектдир. Буна галактик шпур (инкилисчә spur сөзүндәндир) дејилир. Бу објект дә күчлү синхротрон радиошүаланма мәнбәјидир.

Демәк олар ки, бүтүн ифрат јениләрин галыглары јумшаг рентκен шүаланмасы мәнбәләридир. Бу шүаланма сејрәк вә милјонларла дәрәчә гызмыш плазманын тормозланма шүаланмасыдыр. Ифрат јени галығы олан думанлыг чох исти ола биләр. Чүнки ифрат јени партлајанда атылан өртүк сәс сүр'әтиндән бөјүк сүр'әтлә кенишләндијиндән, өртүјүн улдузлараpасы мүһитдәки сәрһәддиндә зәрбә далғалары әмәлә кәлир. Бу далғаларын кинетик енержисинин диссипасијасы истилијә чеврилир вә бу сәбәбдән дә ифрат јениләрин өртүкләри милјонларла дәрәчәјәдәк гызыр.

Галактикада башга радиомәнбәләр планетар думанлыглардыр. Лакин ифрат јениләрин галыгларындан фәргли олараг планетар думанлыгларын радиошүаланмасы механизми истилик механизмидир.

§ 136. ГАЛАКТИК ҚОСМИК ШҮАЛАР ГАЛАКТИК ГАММА ШҮАЛАНМА ВӘ ГАЛАКТИК ТАЧ

Ишығы улдузлараpасы тоз мүһитиндән кечән улдузларын шүаланмасында полјаризасија һадисәси мүшаһидә олунур. Бу көстәрир ки, һәмин мүһитдә 10^{-5} Е кәркинликли магнит саһәси вардыр. Бу саһә тоз зәррәчикләрини ејни чүр истигамәтләндирир. Ишығын улдузлараpасы полјаризасијасыны өјрәнмәклә тапмышлар ки, Галактикада Ағ

Јол мүстәвисинә паралел олан магнит саһәси вардыр вә һәмин саһә Галактиканын спирал голлары—будаглары боју истигамәтләнир (Галактикада чох мүрәккәб спиралвари голлар—будагланмалар вардыр вә улдузлар бу голлар үзрә јерләширләр).

Јерә космик фәзадан чох јүксәк—орта һесабла 10^{10} еВ енержили јүклү зәррәчикләр сели кәлир. Бунлар *галактик космик шүалардыр.* Бу шүалар селинин интенсивлији (сыхлығы) бүтүн истигамәтләрдә ејнидир. Демәк, космик шүалар изотропдур—хүсуси сечилмиш мәнбәјә малик дејил. Инди гәти мә'лумдур ки, галактик космик шүаларын мәнбәји ифрат јениләрин партламасыдыр вә нәтичә е'тибарилә бүтүн Галактика космик шүаларла долудур.

1940-чы илләрин ахырларында јер атмосфериндән харичдә космик шүаларын тәркиби вә енержи сыхлығы тә'јин едилди. Мә'лум олду ки, космик шүалар әсасән протонлардан ибарәтдир, електронларын пајы бүтүн шүаларын јүздә бирини тәшкил едир, галан чох чүзи һиссә исә ағыр нүвәләрә аиддир. Космик шүаларын енержи сыхлығы улдузларын енержи сыхлыглары гәдәрдир. Космик шүаларын енержијә көрә пајланмасы $N(E) \sim E^{-2,6}$ кимидир.

Бизим Галактиканын радиошүаланмасынын тәдгигиндән мә'лум олмушдур ки, бизим Галактикада узун далғалар диапазонунда гејри-истилик тәбиәтли радиошүаланма мәнбәләри вардыр. Бу мәнбәләр Галактикада бәрабәр пајланмышлар. $\lambda=10$ м далғада бу шүаланманын парлаглыг температуру 10^5 К-дир. Әкәр електронларын енержиси 10^{10} еВ, онларын енержијә көрә пајланмасы $N(E) \sim E^{-2,6}$ гануну илә верилләрсә вә магнит саһәси 10^{-5}Е-дирсә онда Галактиканын бу радиошүаланмасынын мүшаһидә олунан хүсусијјәтләрини изаһ етмәк олар. Бу нәтичәләр көстәрир ки, бизим Галактиканын магнит саһәси вә космик шүаларын релјативист електронлар компоненти вардыр.

Космик шүаларын протон компонентинин пајланмасындан галактик гамма шүаланманын пајланмасыны алмаг олар. Белә ки, релјативист протон улдузлараарасы мүһитдә башга нүвәләрлә (әсасән протонла) тоггушанда гејри-стабил π° мезонлары јараныр ки, бунларын да һәр бири сонра ики гамма кванта чеврилир. Бу гајда илә јаранан *галактик гамма квантларын енержиси* $\geqslant$68 МеВ олур. Сүн'и пејкләр васитәсилә ашкар едилиб ки, гамма шүаланма мәнбәләри әсасән улдузлараарасы газлар јерләшән галактик мүстәвидәдир. Әкәр космик шүаларын протон компонентләри Галактикада һәр јердә ејни чүр пајланарса онда галактик гамма шүаланмасынын мүшаһидә олунан интенсивлијини тә'јин етмәк олар.

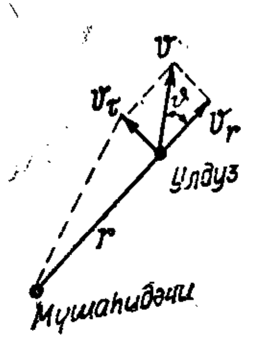
Беләликлә космик шүаларын Галактикада мүнтәзәм пајландығыны гәбул етмәк олар. Онлар Галактиканын мүрәккәб гурулушлу магнит саһәсиндә спиралвари гүввә хәтләри бојунча һәрәкәт едәрәк узун јол кечәндән сонра Јерә чатырлар.

Космик шүалар галактик мүстәвидән чох-чох узагда јерләшән сејрәк улдузлараарасы газы бир нечә милјон дәрәчәјәдәк гыздырыр. Галактиканын сферик алтсистеминә дахил олан бу сејрәк вә исти газ кениш һалга јарадыр ки, бу да *галактик тач* адланыр.

§ 137. УЛДУЗЛАРЫН МӘХСУСИ ҺӘРӘКӘТЛӘРИ ВӘ ШҮА СҮР'ӘТЛӘРИ

Јахын улдузун (α, δ) координатларыны илләри әһатә едән бөјүк вахт интервалында бир-бирилә мүгајисә етдикдә бу координатларын дәјишдијини көрәрик. Улдузун екваториал координатларынын дәјишмәсинә сәбәб олан бүтүн астрономик һадисәләри *(пресессија, нутасија, аберрасија, иллик параллакс)* нәзәрә алдыгдан сонра координатлар арасында галан фәрг улдузун фәзада Күнәшә нисбәтән һәрәкәтинин нәтиҹәси олур. Улдузун бир илдә көј сферасында бучаг санијәләрилә јердәјишмәсинә онун *мәхсуси һәрәкәти* демишдик. *Беләликлә мәхсуси һәрәкәт улдузун Күнәшә нисбәтән фәза һәрәкәтинин тәзаһүрүдүр.* Билирик ки, һәтта јахын улдузларын мәхсуси һәрәкәтләри чох кичикдир. Одур ки, мәхсуси һәрәкәт нисбәтән јахын улдузлар үчүн мүшаһидә олунан һадисәдир.

Јахын улдузларын спектрләринин тәһлилиндән көрүнүр ки, онларын спектрал хәтләринин вәзијјәтиндә Доплер сүрүшмәси баш верир. Бу көстәрир ки, *һәмин улдузлар шүа сүр'әтинә* маликдир. *Бу да улдузун Күнәшә нисбәтән фәза һәрәкәтинин нәтиҹәсидир. Беләликлә улдузун истәр мәхсуси һәрәкәти, истәрсә дә бахыш шүасы үзрә һәрәкәти онун Күнәшә нисбәтән фәза һәрәкәтләринин нәтиҹәсидир.* Башга сөзлә, улдузлар фәзада Күнәшә нәзәрән мүәјјән V сүр'әти илә һәрәкәт едирләр. Буна улдузун *фәза сүр'әти* дејилир. Бу сүр'әт мүшаһидәчинин бахыш шүасы илә мүәјјән θ бучағы әмәлә кәтирир. Бу сүр'әтин Күнәшдән улдуза јөнәлмиш истигамәтә перпендикулјар мүстәви үзрә пројексијасына *улдузун Күнәшә нисбәтән танкенсиал сүр'әти* (V_t), бу истигамәт үзрә пројексијасына исә *улдузун Күнәшә нисбәтән шүа сүр'әти* (V_r) дејилир.



Шәкил 164. Јердәки мүшаһидәчијә көрә улдузун v фәза сүр'әти вә бу сүр'әтин компонентләри — v_r шүа сүр'әти вә v_t — танкенсиал сүр'әт

Әввәлҹә улдузун јер мүшаһидәчисинә көрә фәза һәрәкәтинә бахаг. Јерә нисбәтән улдузун фәза һәрәкәт сүр'әти v, шүа сүр'әти v_r вә танкенсиал сүр'әти v_t олсун. 164-ҹү шәкилдә Јердәки мүшаһидәчијә көрә улдузун v фәза сүр'әти вә бу сүр'әтин компонентләри v_r шүа сүр'әти вә v_t танкенсиал сүр'әти тәсвир олунмушдур. Ајдындыр ки, улдузун фәза һәрәкәт истигамәти илә бахыш шүасы арасындакы θ бучағы Күнәшә нисбәтән һәрәкәт заманы дәјишмәз галыр, чүнки Күнәшлә Јер арасындакы мәсафә улдуза гәдәр мәсафәдән мүгајисәсиз дәрәҹәдә кичикдир.

Улдузун мәхсуси һәрәкәтинә μ дејәк. Δt вахт фасиләсиндә улдуз көј сферасында σ гөвсү ҹызырса, онда

$$\mu = \frac{\sigma}{\Delta t} \; (''/\text{ил})$$

олар. μ мәхсуси һәрәкәтинин дүз доғуш вә мејл үзрә компонентләрини μ_α вә μ_δ десәк, $\mu = \sqrt{\mu_\delta^2 + \mu_\alpha^2}$ олар.

Улдузун Күнәшә нисбәтән фәза сүр'әтинин V_t танкенсиал компонентини тапмаг үчүн онун көј сферасында $T_0 = 1$ илдә кетдиҹи S_t хәтти јолуну T_0-а бөлмәк лазымдыр, јә'ни $V_t = \frac{S_t}{T_0}$-дир. Дикәр тәрәфдән $S_t = r \sin \mu = \frac{r\mu}{206265}\, пс$ -дир.

Бурада r—улдузун Күнәшдән (Јердән) парсекләрлә мәсафәсидир; μ чох кичик олдуғундан S_t-нин ифадәсиндә $\sin\mu = \mu'' \sin 1'' = \frac{\mu}{206265}$ шәклиндә јазылмышдыр. $1\ пс = 206265\ a.b. = 206265 \cdot 149{,}6 \cdot 10^6$ км, $r = \frac{1}{\pi}$ (π улдузун иллик параллаксыдыр) вә $T_0 = 3{,}16 \cdot 10^7$ сан олдуғундан

$$V_t = \frac{\mu}{206265\, T_0} = \frac{206265 \cdot 149{,}6 \cdot 10^6}{206265 \cdot 3{,}16 \cdot 10^7} \frac{\mu}{\pi} \frac{км}{сан}, \text{ јә'ни}$$

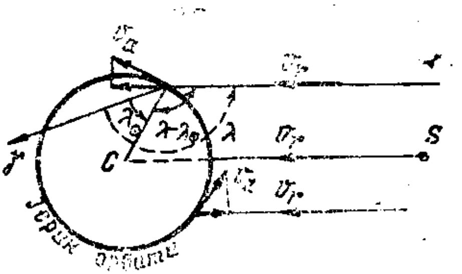
$$V_t = 4{,}74 \frac{\mu}{\pi} \frac{км}{сан} \tag{11.1}$$

Ајдындыр ки, $V_t = v_t$-дир.

Улдузун Јер мүшаһидәчисинә нәзәрән шүа сүр'әти

$$v_r = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

дүстурундан тапылыр. Мә'лумдур ки, Јер $v_a = 29{,}8$ км/сан сүр'әтлә өз орбити үзрә һәрәкәт едир вә онун сүр'әт вектору даим вәзијјәтини фәзада дәјишир. 165-ҹи шәкилдә Јерин садәлик үчүн даирәви орбити, онун өз орбити үзрә һәрәкәтинин ики вәзијјәти, бу вәзијјәтләрдә Јерин v_a сүр'әт вектору, бу векторун S улдузуна јөнәлмиш истигамәт үзрә пројексијасы, Јерә нәзәрән улдузун v шүа сүр'әти вектору, Јердән ♈ јазбәрабәрлији нөгтәсинә вә Күнәшә јөнәлмиш истигамәтләр арасындакы $\lambda_\odot$ бучағы (јә'ни Күнәшин кеосентрик еклиптик узунлуғу), Јердән ♈ јазбәрабәрлији нөгтәсинә вә улдуза јөнәлмиш истигамәтләр



Шәкил 165. Улдузун һелиосентрик шүа сүр'әтинин тә'јини үчүн шәкил; S—улдуз, C—Күнәшдир.

арасындакы λ бучагы (улдузун кеосентрик еклиптик узунлуғу) вә бу бучагларын $\lambda-\lambda_\odot$ фәрги көстәрилмишдир. Улдузун Күнәшә нәзәрән нисби V_r шүа сүр'әтини тапмаг үчүн онун Јерә нәзәрән v_r шүа сүр'әтиндән Јерин v_a орбитал хәтти сүр'әтинин улдуза јөнәлмиш истигамәт үзрә проjексиjасыны чыхмаг лазымдыр. Бу проjексиjанын гиjмәти улдузун вә Күнәшин еклиптик узунлуглары фәргиндән, јә'ни $(\lambda-\lambda_\odot)$-дән вә һәмчинин улдузун β еклиптик енлиjиндән асылыдыр. Һәмин асылылыг

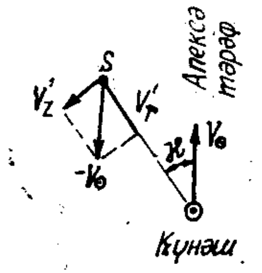
$$V_r = v_r - 29{,}8 \cdot \sin(\lambda - \lambda_\odot)\cos\beta \tag{11.2}$$

дүстуру илә ифадә едилир. Улдуз каталогларында улдузларын мәһз бу һелиосентрик шүа сүр'әтләри верилир.

Беләликлә улдузун фәза сүр'әти (11.1) вә (11.2) дүстурларыны нәзәрә алмагла

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2} \tag{11.3}$$

дүстурундан тапылыр.



Шәкил 166. Улдузун сүр'әтинин параллактик компонентләри.

Индиjәдәк 300000-ә гәдәр улдузун мәхсуси һәрәкәти вә 20000-ә гәдәр улдузун шүа сүр'әти тапылыб. Дедик ки, ән бөјүк мәхсуси һәрәкәтә малик улдуз Барнардын «учан» улдузудур. Бу улдузун Күнәшдән мәсафәси $r = 1{,}81$ пс, улдуз өлчүсү $m = 9{,}^m5$, спектрал синифи M5V-дир. Бу улдуз үчүн $\mu = 10'',31$ вә $V_r = -108$ км/сандир.

§ 138. КҮНӘШ СИСТЕМИНИН ҺӘРӘКӘТИ

Улдузларын әввәлки параграфда тапылан шүа вә танкенсиал сүр'әтләри Күнәшә нәзәрән тә'јин олундуғундан бу сүр'әтләр Галактикада фәза сүр'әтинин һәгиги компонентләри деjилләр. Башга сөзлә нәзәрә алмаг лазымдыр ки, Күнәш өзү дә бүтүн чисимләри (планетләри) илә бирликдә мүәjјән фәза сүр'әтинә маликдир. Беләликлә улдузларын мүшаһидә олунан һәрәкәтләри ики топланандан ибарәтдир. Бунлардан бири Күнәшин һәрәкәтинин нәтичәсидир, дикәри исә улдузларын өзләринә мәхсусдур. Күнәшин фәза һәрәкәти нәтичәсиндә јаранан компонентә *улдузун фәза сүр'әтинин параллактик компоненти* деjилир. Улдузун өзүнә мәхсус һәрәкәтиндән доған компонентә исә *пекулјар сүр'әт* деjилир (латынча Peculiaris мәхсусиjјәт демәкдир). Беләликлә улдузун Галактикада һәгиги һәрәкәтини-пекулјар сүр'әти-

ни тапмаг үчүн параллактик компоненти онун фәза сүр'этиндән чыхмаг лазымдыр. Бунун үчүн исә V_r шүа сүр'этинин вә V_t танкенсиал сүр'әтин V_t' вә V_r' параллактик компонентләрини билмәк лазымдыр. Бу компонентләри һесабламаг үчүн Күнәшин фәза сүр'әтини тә'јин етмәк лазымдыр.

Күнәшин фәза сүр'әти улдузлараpасы фәзада мүәјјән бир нөгтәјә јөнәлмәлидир. Бу нөгтәјә *Күнәш апекси дејилир, она әкс нөгтә* исә *Күнәшин антиапексидир.*

S улдузуна нәзәрән Күнәшин фәза һәрәкәт сүр'әтинә бахаг. Фәрз едәк ки, Күнәшдән бу улдуза јөнәлән истигамәт апексә јөнәлән истигамәтлә $\varkappa$ бучағы әмәлә кәтирир. Күнәшин улдуза нисбәтән фәза сүр'әти $V_\odot$ олсун. Онда улдузун Күнәшә нисбәтән параллактик јердәјишмәјә аналожи хәјали сүр'әти — $V_\odot$ олар. Бу, антиапексә доғру јөнәлир. 166-чы шәкилдә улдузун сүр'әтинин параллактик компонентләри көстәрилмишдир.

Шәкилдән ајдындыр ки,

$$V_r' = -V_\odot \cos \varkappa, \qquad (11.4)$$

$$V_t' = -V_\odot \sin \varkappa. \qquad (11.5)$$

Апексә јахын ($\varkappa \simeq 0°$) улдузлар үчүн $V_r' \approx -V_\odot$ вә антиапексә јахын ($\varkappa \simeq 180°$) улдузлар үчүн $V_r' \simeq V_\odot$-дир.

Күнәшин $V_\odot$ фәза сүр'әти вә апексинин вәзијјәти ајры-ајры улдузларын шүа сүр'әтләринә көрә дејил, көјүн мүхтәлиф саһәләриндә олан вә һәр бири чох сајда улдузу әһатә едән улдуз групларынын шүа сүр'әтләринә көрә тапылыр, һабелә белә групда һәр бир улдузун өз пекулјар сүр'әти вардыр. Одур ки, чох сајда улдузу олан групдакы улдузларын пекулјар сүр'әтләринин гијмәт вә истигамәтләри чох мүхтәлиф олмалыдыр. Нәтичәдә бу улдузларын пекулјар сүр'әтләринин бахыш шүасы үзрә пројексијалары бир-бирләрини јох етмәлидир. Ашағыда көрәчәјик ки, бу мүһакимә там дәгиг дејил. Одур ки, һәр група улдузларын шүа сүр'әтләринин орта гијмәти (V_r) групун шүа сүр'әтинин параллактик компонентини (V_r'-и) верир.

Күнәшин апекси елә група јөнәлмиш истигамәтдә олмалыдыр ки, һәмин групун шүа сүр'әтинин параллактик компоненти V_r' модулча максимум олсун; бу һалда $V_r' = -V_\odot$-дир. Антиапекс апексин әкси истигамәтдә олдуғундан антиапекс дә V_r'-ин максимум олдуғу група јөнәлмиш истигамәтдә олмалыдыр; бу һалда $V_r' = +V_\odot$ -дир.

Ади көзлә көрүнән, јә'ни 5^m—6^m улдуз өлчүсүндән зәиф олмајан улдузларын шүа сүр'әтләри вә мәхсуси һәрәкәтләринә әсасән тапылмышдыр ки, бу улдузлара нәзәрән Күнәш $V_\odot = 19{,}5$ км/сан сүр'әтлә ν Һеркулес улдузуна доғру һәрәкәт едир. Стандарт күнәш апекси адланан нөгтә (Һеркулесин ν улдузу) үчүн $\alpha_A = 18^h00^m = 270°$ вә $\delta_A = +30°$, $l_A = 56°$ вә $b_A = +23°$-дир Стандарт антиапекс үчүн $\alpha = 6^h00^m = 90°$ вә $\delta = -30°$, $l = 236°$ вә $b = -23°$-дир вә бу антиапекс нөгтәси Көјәрчин бүрчүндәдир.

Ади көзлә һәм јахын улдузлар, һәм дә узаг нәһәнкләр көрүндүјүндән бүтүн бунлара көрә јухарыда тапылан $V_\odot$ сүр'әти вә апексин (вә антиапексин) координатлары анчаг баш ардычыллығын јахын улдузларына көрә тапыланлардан фәргли олур. Белә ки, баш ардычыллығын јахын улдузларына көрә: $V_\odot = 15{,}5$ км/сан, $\alpha_A = 17^h 40^m = 265°$ вә $\delta_A = +21°$, $l_A = 45°$ вә $b_A = +24°$-дир. Бу апекс Күнәшин әсас һәрәкәт апекси адланыр вә о да Һеркулес бүрчүндәдир (лакин ајдындыр ки, бу бүрчүн ν улдузундан хејли аралы нөгтәдәдир); әсас антиапекс Орион бүрчүндән чәнубда Довшан бүрчүндәдир.

Күнәшин $V_\odot$ сүр'әти вә онун һәрәкәт апексинин (вә антиапексин) координатларынын јахын вә узаг улдузлара нисбәтән мүхтәлиф алынмасыны улдузларын фәза һәрәкәтинин тамамилә хаотик (пәракәндә) олмасы фикринин дүзкүн олмамасы илә изаһ едә биләрик. Бу о демәкдир ки, чох сајда улдуздан ибарәт групда пекулјар сүр'әтләрин бахыш шүасы үзрә проjексиjалары бир-бирини тамамилә јох етмир.

Улдузларын V_* пекулјар сүр'әтләри ашағыдакы дүстурла тапылыр:

$$V_* = \sqrt{(V_r - V_r^1)^2 + (V_t - V_t^1)^2} \tag{11.6}$$

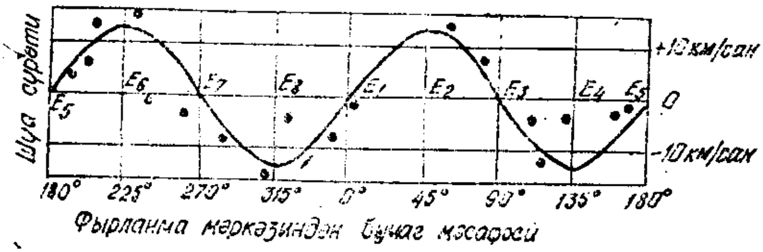
V_r' вә V_t' мә'лум $V_\odot$ вә $\varkappa$-ја әсасән (11.4) вә (11.5) дүстурларындан, V_t вә V_r компонентләри исә (11.1) вә (11.2) дүстурундан тапылыр.

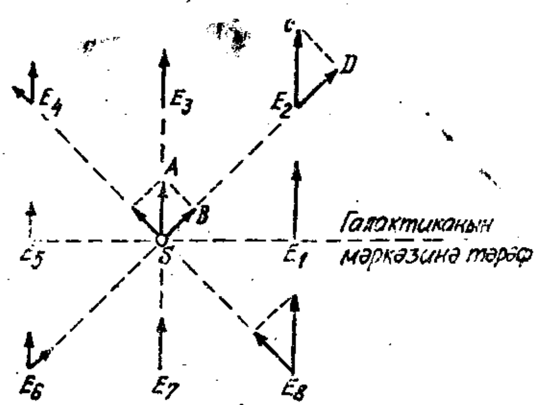
§ 139. ГАЛАКТИКАНЫН ФЫРЛАНМАСЫ

Илк дәфә 1927-чи илдә мәшһур Һолланд астроному Оорт Галактиканын фырландығыны сүбут етмишдир. Галактика вә үмумијјәтлә һәр бир улдуз системи улдузларла о гәдәр зәнкин вә гурулушча о гәдәр мүрәккәбдир ки, онун һәр бир үзвүнүн һәрәкәт ганунуну вермәк гејри-мүмкүндүр (мүәјјән һәчмдә јерләшән газлардан ибарәт мүһитдә һәр бир атом вә молекулун һәрәкәт ганунуну вермәк мүмкүн олмадығы кими). Биз јалныз улдуз системинин мүәјјән областындакы улдузларын орта һәрәкәтини өјрәнә биләрик. Галактиканын фырланмасы нәзәријјәсинә көрә Галактика галактик мүстәвидә Галактиканын мәркәзи әтрафында фырланыр. Галактиканын нүвәсиндә күтлә о гәдәр бөјүкдүр ки, Нјутонун үмумдүнја чазибә ганунуна көрә улдуз системинин һәр бир нөгтәсиндә Галактика мәркәзинә јөнәлән чазибә гүввәси әсас гүввәдир. Бу гүввәдән башга һәр бир улдуза бүтүн улдуз системинин дә чазибә гүввәси тә'сир едир. Механикадан мә'лумдур ки, әкәр систем фырланма еллипсоидинә јахын шәклә маликдирсә (бизим Галактика кимидирсә), онда икинчи гүввә дә тәгрибән системин мәркәзинә доғру јөнәлмәлидир. Ајры-ајры улдузларын бир-биринә тә'сирини исә нәзәрә алмамаг олар. Әкәр јалныз икинчи гүввә олсајды онда систем сабит бучаг сүр'әтилә бәрк чисим кими фырланарды: бу һалда системин нөгтәләринин хәтти сүр'әтләри $v = \omega r$ мәркәздән олан r мәсафәси илә мүтәнасиб бөјүјәрди. Лакин Галактикада Нјутон гүввәси бу икинчи

гүввәдән бөјүкдүр. Одур ки, системин һәр бир улдузунун бучаг сүр'әти онун мәркәздән олан мәсафәсинин квадраты илә дејил, 3/2 дәрәчәси илә тәрс мүтәнасиб олмалыдыр, јә'ни $\omega \sim r^{-3/2}$ олмалыдыр; дикәр тәрәфдән $v \sim r\omega$ олдуғундан $v \sim r^{-\frac{1}{2}}$ олар.

Системин вә нүвәнин күтләләри мә'лум олса мәркәздән истәнилән мәсафәдәки нөгтәдә хәтти сүр'әти һесабламаг олар. Лакин бу сүр'әт мәһз һәмин нөгтәјә дејил, онун әтрафындакы улдузлар групуна аид олар-ды. Чүнки һәр бир улдузун јахын улдузлара нисбәтән фәрди һәрәкәти мөвчуддур (мәсәлән, дедик ки, Күнәш баш ардычыллығын јахын улдузларына нисбәтән $\sim$ 16 км/сан сүр'әтлә һәрәкәт едир). Беләликлә биз,мәсәлән, Күнәш вә онун јахын әтрафында олан улдузлардан ибарәт групун Галактика мәркәзи әтрафында фырланма һәрәкәтиндән даныша биләрик. Бу һәрәкәти ашкар етмәк үчүн узаг улдузларын (В синфинә мәхсус нәһәнкләрин) орта шүа сүр'әтләрини тәдгиг етмәк лазымдыр. Күнәш вә бу улдузлар Галактиканын мәркәзиндән орта һесабла мүхтәлиф мәсафәләрдәдирләр. Одур ки, онларын доланма сүр'әтләри Күнәшинкиндән фәргли олмалыдыр. 167-чи шәкилдә Галакти-





Шәкил 167. Галактиканын фырланмасынын улдузларын шүа сүр'әтләринә тә'сири.

канын фырланмасынын улдузларын шүа сүр'этләринә тә'сири тәсвир олунмушдур. Шәкилдә S Күнәшдир; Галактиканын мәркәзиндән узаглашдыгча чисимләрин Галактикада доланма хәтти сүр'эти билдијимиз кими кичилир. Одур ки, Күнәш, E_1-дән кичик сүр'әтлә, E_5-дән исә бөјүк сүр'әтлә доланыр. E_1, E_2, ... E_8 вә Күнәш (S) Галактика мәркәзи әтрафында доланаркән E_1, E_3, E_5, E_7 нөгтәләринин Күнәшә нәзәрән шүа сүр'әтләри сыфырдыр, E_2 вә E_6 улдузлары Күнәшдән узаглашмалы, E_4 вә E_8 Күнәшә јахынлашмалыдыр. Дедикләримиз 167-чи шәкилдә ајдын көрүнүр.

Оортун јухарыдакы нәзәри фикирләри мүшаһидәләрлә сүбут едилмишдир. Бу мүшаһидәләрдән һәм дә мә'лум олмушдур ки, Галактиканын мәркәзи әввәлләр башга јолларла тапылан мәркәзлә үст-үстә дүшүр (Галактиканын мәркәзинин галактик узунлуғу $l_0=330°$-дир). Галактиканын фырланмасы тәкчә улдузларын шүа сүр'әтләринә көрә дејил, улдузларарасы мүһитин шүа сүр'әтләринә көрә дә өјрәнилир вә һәр ики јолла ејни нәтичә алыныр. Беләликлә Галактика өзүнүн улдузлары вә улдузларарасы мүһити тәшкил едән маддә илә бирликдә фырланыр.

Галактиканын фырланмасынын тәдгигиндән тапылмышдыр ки, фырланма бучаг сүр'әти Галактиканын мәркәзиндән узаглашдыгча кичилир, лакин бу кичилмә Кеплер ганунларына әсасән баш верән кичилмәдән зәифдир. Галактиканын мәркәзиндән узаглашдыгча доланманын хәтти сүр'әти әввәлчә бөјүјүр вә Күнәшә гәдәр мәсафәдә тәгрибән 250 км/сан-ә чатыр, сонра исә јаваш-јаваш кичилир.

Беләликлә *Күнәш бир тәрәфдән баш ардычыллығын јахын улдузларына нәзәрән ~ 16 км/сан сүр'әтлә Һеркулес бүрчүнә доғру һәрәкәт едир, дикәр тәрәфдән дә әтрафындакы јахын улдузларла бирликдә ~ 250 км/сан сүр'әтлә Галактиканын мәркәзи әтрафында доланыр* вә бу һәрәкәт Гу бүрчүнә доғру јөнәлмишдир. Күнәшин Галактиканын мәркәзиндән мәсафәсини 10 кпс гәбул етсәк онун Галактика мәркәзи әтрафында там доланма мүддәти үчүн $200 \cdot 10^6$ ил аларыг. Бу вахт фасиләси *галактик ил* адланыр.

XII ФӘСИЛ

БАШГА ГАЛАКТИКАЛАР

(Галактикаданкәнар астрономија)

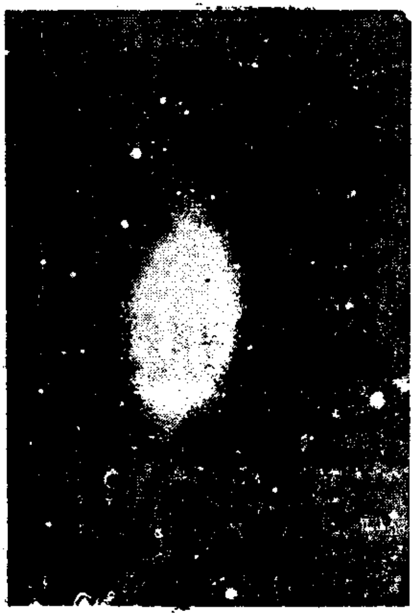
§ 140. ГАЛАКТИКАЛАРЫН ТӘСНИФАТЫ ВӘ СПЕКТРЛӘРИ

Мүшаһидә олуна билән галактикаларын сајы һазырда бир нечә милјарда чатыр. Улдузларынын сајына, һәр бириндә улдузларын пајланмасына, өлчү вә гурулушларына көрә әксәр галактикалар бир-бирләриндән кәскин фәргләнирләр. Буна бахмајараг, даһа үмуми олан

чәһәтләринә көрә (һәр шеједән әввәл харичи көрүнүшләринә вә парлаглығын пајланмасына көрә) галактикалары охшар груплара ајырмаг, јә'ни онларын тәснифатыны вермәк мүмкүн олмушдур. Бу чәһәтдән илк аддым АБШ-да Һабл тәрәфиндән атылмышдыр. Һабл тәснифатына көрә галактикалар үч типә бөлүнүр: *еллиптик (E), спирал* (S) вә *гејри-дүзкүн* (Ir). Бу тәснифат принсипи инди дә әсас һесаб едилир.

Еллиптик галактикалар даирәви вә ја еллиптик формада олур. Онларын парлаглығы мәркәздән кәнара доғру ләнк азалыр. Бу галактикаларда инчә гурулуш мүшаһидә олунмур. (шәкил 168).

Спирал галактикаларын типик нүмајәндәләри бизим Галактика вә Андромеда Думанлығыдыр. Еллиптик галактикалардан фәргли олараг спирал галактикалар инчә гурулуша маликдирләр (шәкил 169). Спирал гурулуш о вахт јахшы өјрәнилир ки, спирал, бахыш шүасына



Шәкил 168. NGC 205 еллиптик галактика (Андромеда Думанлығынын пејкидир).

Шәкил 169. M51 спирал галактика.

перпендикулјар олур. Улдузәмәләкәлмә просеси спиралын голларында кедир. Буна сүбут, һәмин голларда газ-тоз думанлыглары илә чаван улдузларын ејни јердә мүшаһидә едилмәсидир. Бу улдузлар узаг мәсафәләрдә һидрокен атомларыны ионлашдырыр. Елә спирал голларын ајдын көрүнмәсинә сәбәб дә һәмин голларда чаван улдузларын, чаван улдуз топаларынын вә ишыглы газ думанлыгларынын (HII зонасынын) олмасыдыр.

Гејри-дүзкүн галактикаларда ән характерик чәһәт онларда мәркәзи сыхлашманын вә симметрик гурулушун олмамасыдыр. Бу галак-

Шәкил 170. Ҝејри-дүзкүн галактикалар.—Бөјүк вә Кичик Макеллан булудлары.

тикалар һәм дә кичик ишыглыға маликдирләр вә нејтрал һидрокенин мигдары бунларда чохдур. Ҝејри-дүзкүн галактикаларын типик нүмајәндәси бизим галактиканын пејкләри—Макеллан Булудларыдыр (шәкил 170).

Јухарыда адларыны чәкдијимиз үч галактика типиндән вә онларын алт типләриндән башга бу вә ја дикәр характерик хүсусијјәтә малик олан галактикалар да вардыр; бунлара *пекулјар галактикалар* дејилир. Нәһајәт *линзајабәнзәр галактикалары* да гејд етмәк лазымдыр.

Бүтүн галактикаларын спектрләри улдуз спектрләрини хатырладан кәсилмәз шүаланма фонунда удулма хәтләриндән ибарәтдирләр. Спектрләринә көрә галактикалар A, F, G вә K синифләринә мәхсусдур; бә'зи галактикаларын спектриндә емиссија хәтләри дә мүшаһидә олунур (газ думанлыгларындакы кими). Галактикаларын спектриндә мүшаһидә олунан бу әламәтләр көстәрир ки, кәнар галактикалар да бизим галактика кими улдузлардан вә диффуз маддәдән ибарәтдир.

Ҝејри-дүзкүн галактикаларын спектрләри A вә F синифләринә, спирал галактикаларын спектрләри F вә G синифләринә, еллиптикләринки исә G вә K синифләринә аиддир. Бу көстәрир ки, ҝејри-дүзкүн вә спирал галактикаларда чаван улдузларын нисби сајы еллиптик галактикалардакындан чохдур.

Гаршылыглы тә'сирдә олан галактикалар хүсусилә марағлыдыр (шәкил 171). Белә галактикалар 2—8 галактикадан ибарәт олур. Бу галактикалар бир-бири илә ишыглы газ вә ја улдузларла зәнкин олан аракәсмәләрлә әлагәдардырлар вә онлар бир-биринә габарма тә'сири көстәрир.

Галактикаларын 50%-и спирал, 25%-и еллиптик, 20%-и аралыг тәшкил едән галактикалар нөвүнә аиддир; мә'лум галактикаларын галан 5%-и гејри-дүзкүн галактикалар тәшкил едир.

§ 141. ГАЛАКТИКАЛАРА ГӘДӘР МӘСАФӘНИН ТӘ'ЈИНИ ҮСУЛЛАРЫ

Галактикалара гәдәр мәсафәни дәгиг тә'јин етмәјин бөјүк әһәмијјәти вардыр. Белә ки, галактикаларын күтлә, ишыглыг вә башга параметрләрини гијмәтләндирмәк үчүн галактикалара гәдәр мәсафәни билмәк лазымдыр. Индијәдәк галактикалара гәдәр мәсафәни тә'јин етмәк үчүн 10-а гәдәр үсул тәклиф олунмушдур. Бунлардан ән е'тибарлысы ашағыдакылардыр:

Сефеидләр үсулу. Периодлары 40 суткадан бөјүк олан сефеидләрин фотографик мүтләг улдуз өлчүләри $M_{pg} \simeq -6^m$ олдуғундан јахын галактикаларда белә улдузлары мүшаһидә етмәк олур. Одур ки, сефеидләрә гәдәр мәсафәнин § 126-дан бизә мә'лум олан тә'јини үсулу илә галактикалара гәдәр мәсафәни тапа биләрик.

Шәкил 171. VV 21 гаршылыглы тә'сирдә олан галактикалар.

Јени улдуз үсулу. Һәр бир јени улдуз гејдә алыныр. Бунларын тәдгиги көстәрир ки, јени улдуз максимум парлаглыгдан сонра нә гәдәр тез сөнсә, онун максимум парлаглығы бир о гәдәр бөјүк олур. Јени улдузун максимум парлаглыгдан сонра 3^m улдуз өлчүсү гәдәр зәифләмәси үчүн лазым олан вахт фасиләси t олсун. Әкәр $t < 12$ сутка оларса максимум парлаглыгда $M \simeq -9^m$ олур. t бөјүдүкчә максимум парлаглыг азалыр. Максимум парлаглыгда көрүнән улдуз өлчүсүнү вә t-јә әсасән мүтләг улдуз өлчүсүнү билмәклә галактикаја гәдәр r мәсафәсини бу үч кәмијјәт арасындакы мә'лум мүнасибәтдән тапа биләрик. Јени улдуз үчүн t-ни дәгиг тә'јин етмәк мүмкүн олан һалда бу үсул ән е'тибарлы үсулдур.

HII зонасынын ән парлаг областлары үсулу. Јахын галактикаларын мүшаһидәси көстәрир ки, HII зонасынын ән парлаг областлары ејни хәтти өлчүјә маликдир ($\sim$ 200 пс). Узаг галактикаларда да белә олдуғуну гәбул етсәк, онларын HII зонасынын ән парлаг областынын бучаг өлчүләрини мүшаһидәдән тә'јин етмәклә һәмин галактикалара гәдәр мәсафәни тапмаг олар.

Галактиканын типи вә бучаг өлчүсүнә көрә она гәдәр мәсафәни гиjмәтләндирмәк олур. Лакин чох узаг галактикалара гәдәр мәсафәни jалныз онларын спектриндә хәтләрин доплер сүрүшмәсинә көрә тапмаг олур (нөвбәти параграфа бах).

§ 142. ГАЛАКТИКАЛАРЫН СПЕКТРИНДӘ ГЫРМЫЗЫ СҮРҮШМӘ

Чох jахын галактикалар мүстәсна олмагла мүшаһидә олунан бүтүн галактикаларын спектрләриндә хәтләр гырмызы тәрәфә сүрүшүр. Аjдындыр ки, бу сүрүшмәни биринчи нөвбәдә галактикаларын бир-бириндән, о чүмләдән биздән узаглашмасы илә изаһ етмәк олар. Әкәр λ далға узунлуғунда сүрүшмә $\Delta\lambda$-дырса, онда мүшаһидәчидән галактикаjа јөнәлмиш истигамәт үзрә галактиканын v_r узаглашма сүр'әти (шүа сүр'әти) Доплер еффектинә әсасән

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c = zc \qquad (12.1)$$

олар. Бурада $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ нисбәти хәттин Доплер сүрүшмәси адланыр.

1929-чу илдә Һабл онларла галактика үчүн мә'лум r мәсафәсинә көрә мүәjјән етмишдир ки, галактикаларын v_r шүа сүр'әтләри илә онлара гәдәр r мәсафәси арасында ашағыдакы әлагә вардыр:

$$v_r = H \cdot r; \qquad (12.2)$$

бурада r—мегапарсекләрлә ифадә едилир.

(12.2)-дән көрүнүр ки, галактиканын Јердән узаглашма сүр'әти галактикаjа гәдәр мәсафә илә дүз мүтәнасибдир. Бурада мүтәнасиблик әмсалы H *Һабл сабити* адланыр. Бу сабит үчүн Һабл 1929—36-чы илләрдә $500 \div 560 \ \frac{\text{км}}{\text{сан} \cdot \text{Мпс}}$ алмышдыр. Сонралар Һабл сабити дәфәләрлә дәгигләшдирилмишдир; һазырда бу сабит үчүн $H = (53 \pm 5) \ \frac{\text{км}}{\text{сан} \cdot \text{Мпс}}$ гиjмәти гәбул едилмишдир.

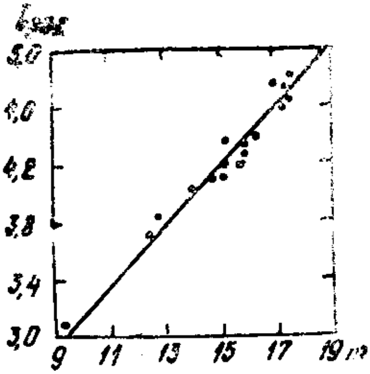
H-ын мә'лум гиjмәтинә вә мүшаһидәдән тапылан v_r-ә әсасән

$$r = \frac{v_r}{H} = \frac{1}{H} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{1}{H} cz \qquad (12.3)$$

дүстурундан галактикаjа гәдәр r мәсафәси тапылыр. Мә'лум $M = m + 5 - 5 \lg r$ вә (12.3) дүстурундан галактиканын көрүнән улдуз өлчүсү үчүн

$$m = (M-5-5\lg H) + 5\lg cz \qquad (12.4)$$

алыныр; бурада M галактиканын мүтләг улдуз өлчүсүдүр. 172-чи шәкилдә lg cz илә m арасындакы асылылыг тәсвир олунмушдур. Бу, *Һабл диаграмы* адланыр. Бу диаграмдан көрүнүр ки, галактиканын көрүнән улдуз өлчүсү бөјүдүкчә lg cz бөјүјүр, јә'ни галактиканын шүа сүр'әти артыр.



Шәкил 172. Һабл диаграмы.

Индијәдәк спектрал мүшаһидәләрдән 1500 галактиканын гырмызы сүрүшмәси өлчүлмүшдүр.

$z>1$ оланда (12.1) классик Доплер дүстуру әвәзинә хүсуси нисбилик нәзәријјәсиндән алынан дүстурдан истифадә олунмалыдыр. Бу нәзәријјәдә Доплер гырмызы сүрүшмәсинә һәрәкәтдә олан һесаблама системиндә вахтын ләнкимәси кими бахылыр (бу, хүсуси нисбилик нәзәријјәси еффектидир). Објект системинин гәбуледичи системә нисбәтән сүр'әти v_r, ишығын сүр'әти исә с-дирсә

$$z = \sqrt{\frac{v_r + c}{v_r - c}} - 1 \qquad (12.5)$$

олур вә мүшаһидә олунан гырмызы сүрүшмәјә әсасән

$$v_r = c\,\frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1} \qquad (12.6)$$

тапылыр. (12.5)-дән көрүрүк ки, $v_r \to c$ оланда $z\to\infty$ олур, јә'ни гырмызы сүрүшмә гејри-мәһдуд бөјүк олур. Мәсәлән, хүсуси һалда $\Delta\lambda = \lambda(z=1)$ оланда $v_r = 0{,}6c$, $z=2$ оланда $v_r = 0{,}8$ с олур. Мүшаһидә олунан ән узаг објект үчүн (бу објект квазар адланыр—бах § 114) радиомүшаһидәләрдән тапылмышдыр ки, $z=3{,}53$-дүр, одур ки, бу објектдән өтрү $v_r = 0{,}91$ с алырыг. Беләликлә бу објект биздән $\sim$ 5500 Мпс мәсафәдәдир.

§ 143. ГАЛАКТИКАЛАРЫН ФИЗИЗКИ ХҮСУСИЈЈӘТЛӘРИ

Галактикалар өлчүләринә, күтләләринә, ишыглыгларына вә башга чәһәтләринә көрә бир-бирләриндән чох кәскин фәргләнирләр. Бу фәрг һәтта ејни типдән олан галактикалара да аиддир. Һәр бир мүәјјән өлчүдә көрүнән објект кими, јә'ни һәр бир гејри-нөгтәви објект кими галактикаларын да хәтти өлчүләрини билмәк үчүн онлара гәдәр мәсафәни вә онларын бучаг өлчүләрини билмәк лазымдыр. Лакин галактиканын

бучаг өлчүсүнү биргиjмәтли тә'jин етмәк олмур. Белә ки, бөjүк експозисиjа илә алынан әксин өлчүсү кичик експозисиjа илә алынандан бөjүк олур, фотоелектрик үсулла тапылан өлчү исә даһа бөjүк олур. Нәһаjәт галактикаларда парлаглыг периферијаjа доғру ләнк азалдығындан галактиканын һәгиги кәнар һүдудунун өзү дүзкүн мүәjјән едилә билмир. Галактиканын өлчүсүнүн тә'jининдә едилән хәта онун күтлә вә ишыглығынын тә'jининдә дә хәтаjа кәтирир.

Галактикаларын фырланмасы онларын мүхтәлиф һиссәләриндә спектрал хәтләрин сүрүшмәсини бир-бирилә мүгаjисә етмәк jолу илә, jахуд спектр хәтләринин кенишләнмәсинә әсасән мүәjјән едилир. Мәсәлән, фырланан спирал галактиканын спиралы шәкил мүстәвисиндәдирсә, галактика дискинин бир кәнары мүшаһидәчиjә jахынлашанда әкс кәнары ондан узаглашыр. Одур ки, бу һалда спектрографын jарығы галактиканын бөjүк оху бојунча jерләшибсә, онда спектр хәтләри дүзхәтли галмагла бу оха меjилли олар. Бу исә о демәкдир ки, галактиканын фырланма хәтти сүр'әти мәркәздән олан мәсафәдән хәтти асылыдыр; башга сөзлә, бу һалда фырланма бучаг сүр'әти сабитдир, демәли, белә галактиканын нүвәси бәрк чисим кими фырланыр. Галактикаларын мәркәзләриндән олан мүәjјән мәсафәдән е'тибарән онларын хәтти вә бучаг сүр'әтләри азалыр вә орадакы һәр бир улдуз Кеплерин үчүнчү гануну илә мәркәз әтрафында доланыр. Галактикаларын фырланма дөврләри 50—5000 милјон ил арасындадыр. Нүвәси күтләчә кичик олан спирал галактикалар вә гејри-дүзкүн галактикалар јаваш, әсас күтләси нүвәсиндә јерләшән спирал галактикалар вә линзаjабәнзәр галактикалар сүр'әтлә фырланырлар. Еллиптик галактикаларын фырланмасы һагда е'тибарлы мә'лумат јохдур. Галактикаларын спектрал хәтләринин бөjүк енә малик олмасы көстәрир ки, онларын улдузлары бөjүк хаотик сүр'әтә маликдир..

Әкәр галактиканын әсас күтләси онун нүвәсиндә топланыбса, онда кәнарлардакы улдузларын гравитасиjа тә'чили $g = \frac{v^2}{R} = \frac{Gm}{R^2}$ олар (R—галактиканын радиусу, m—күтләси, v—кәнарлардакы улдузларын доланма хәтти сүр'әтидир). Беләликлә бу чүр галактикаларын күтләси

$$m = \frac{Rv^2}{G} \qquad (12.7)$$

олур. (12.7) дүстуру васитәсилә спирал галактикаларын күтләләри үчүн (10^8—10^{12}) $m_{\odot}$ гиjмәти алыныр. Галактика објектләринин доланма сүр'әтинин мәсафәдән асылылыг гануну мә'лум олса галактикада күтләләрин пајланмасыны да мүәjјәнләшдирмәк олар.

Гоша галактикаларын күтләси гоша улдузларынкы кими онларын нисби һәрәкәт сүр'әтләриндән тапылыр. Бу сүр'әтләр исә спектрал хәтләрин Доплер сүрүшмәсиндән тә'jин олунур.

Еллиптик галактикаларын күтләси онларын спектрал хәтләринин Доплер ениндән тә'jин олунан улдузлара мәхсус $\overline{v}$ орта хаотик сүр'әт-

ләр ...ситәснлә тапылыр. Бурада нәзәрә алыныр ки, галактикадакы улдузларын там кинетик енержиси онларын потенсиал енержисиндән кичикдир. Әкс һалда улдузлар галактиканы тәрк едә биләрдиләр. Нәзәријјә галактиканын m күтләси илә онун улдузларынын $\bar{v}$ орта хаотик сүр'әти арасында

$$m = \frac{R\bar{v}^2}{G} \qquad (12.8)$$

асылылығыны верир. Еллиптик галактикаларын күтләси 10^{13} $m_{\odot}$-ә чатыр. Чыртдан галактикалар $\leqslant 10^6$ $m_{\odot}$ күтләјә маликдир. Гејри-дүзкүн галактикаларын күтләләри (10^8—10^{10}) $m_{\odot}$ интервалында олур.

Бурадан көрүнүр ки, һәтта ејни типә аид галактикалар күтләчә бир-бириндән чох кәскин фәргләнир.

Галактикаларын ишыглығлары да бир-бириндән чох фәрглидир. Хүсусилә еллиптик галактикалар ишыглыгларына көрә бир-бирләриндән кәскин фәргләнирләр. Мәсәлән, нәһәнк еллиптик галактиканын ишыглығы $L \simeq 3 \cdot 10^{11}$ $L_{\odot}$ $(M = -24^m)$ олдуғу һалда, чыртдан еллиптик галактиканынкы $L \simeq 10^5$ $L_{\odot}$ $(M = -8^m)$-дир. Спирал галактикаларын мүтләг улдуз өлчүләри $M = -14^m$ -дән $M = -18^m$ -ә гәдәр олур.

Галактиканын тәркибиндәки улдузлар һаггында фикир демәк үчүн $\frac{m}{L}$ нисбәти бир нөв ме'јардыр. Ајдындыр ки, галактика улдузларынын әксәријјәти күнәшәбәнзәр олсајды $\frac{m}{L} = 1$ оларды. Лакин бу нисбәт мүхтәлиф тип галактикаларда вә һәтта ејни тип галактикаларда мүхтәлифдир. Мәсәлән, күтләси $m = 300 \cdot 10^9$ $m_{\odot}$ олан Андромеда галактикасы үчүн $\frac{m}{L} \approx 30$, күтләси $m = 6 \cdot 10^9$ $m_{\odot}$ олан Бөјүк Макеллан Булуду үчүн $\frac{m}{L} \approx 4$-дүр. Үмумијјәтлә $\frac{m}{L}$ нисбәти спирал вә гејри-дүзкүн галактикалар үчүн еллиптик галактикалара нәзәрән бөјүкдүр. Бу ону көстәрир ки, спирал вә гејри-дүзкүн галактикалардакы улдузларла еллиптик галактикадакы улдузлар арасында фәрг вардыр: еллиптик галактикаларда исти нәһәнк вә ифрат нәһәнкләр јохдур, бу галактикалар әсасән сары вә гырмызы чыртданлардан ибарәтдир (јухарыда гејд етдик ки, еллиптик галактикалар G—K синифләринә мәхсусдур). Спирал вә гејри-дүзкүн галактикаларда исә O вә B синифләринә мәхсус чохлу исти нәһәнк вә ифрат нәһәнк улдузлар вардыр.

Галактикаларын нүвәләри вә онларын фәаллығы галактикаларын физики хүсусијјәтләриндә мүһүм јер тутур. Галактикалар ичәрисиндә тәкчә Андромеда Думанлығынын нүвәсиндә ајры-ајры улдузлары мүшаһидә етмәк олур. Нүвәнин спектри удулма хәтләриндән (улдуз спектриндән) вә емиссија хәтләриндән (исти газ спектриндән) ибарәтдир. Бә'зи галактикаларын нүвәси фәал олур. Беләләри *фәал галактикалар* адланыр. Бу фәаллыг өзүнү ашағыдакыларда көстәрир: нүвә геј-

ри-истилик шүаланма мәнбәјидир ($I \sim \nu^{-\alpha}, \alpha > 0$-дир); ултрабәнөвшәји областда енержи артыглығы вардыр; нүвәнин спектриндә енли емиссија хәтләри вардыр ки, бу да орада чох исти газларын олмасы вә бунларын 500-дән 4000 км/сан сүр'әтәдәк һәрәкәт етмәси илә әлагәдардыр; нүвәдә компакт, дәјишән радиошүаланма мәнбәләри вардыр; нүвәдән бурулмуш кәндирә бәнзәр газ шырнаглары вә релјативист зәррәчикләр ајрылыр вә бунларын күтләләри 10^6—10^7 $m_{\odot}$-ә, кинетик енержиләри исә 10^{49} Ч-а чатыр. Нүвәнин фәал һалда галма мүддәти ~ 10^6 илдир.

Ејни фәал галактикада бир-бириндән ајры мүшаһидә олунан атылмаларын олмасы илә фәаллығын һәр 10^8 илдән бир тәкрарландығы фәрз едилир.

Спирал галактикалардан фәаллары илк дәфә Сејферт (АБШ) тәрәфиндән мүшаһидә едилиб. Бу галактикалара Сејферт галактикалары дејилир. Белә галактикаларын нүвәсинин диаметри бә'зи һалларда чох кичик—10 пс-дир. Демәли, нүвә чох күчлү енержи мәнбәјидир. Сејферт галактикалары үчүн күчлү инфрагырмызы шүаланма сәчијјәвидир.

Еллиптик галактикалар ичәрисиндә еләләри вар ки, онлардан ајрылан күтлә 10^7 $m_{\odot}$, күтләнин атылма сүр'әти 3000 км/сан, бу заман ајрылан енержи, јә'ни әтраф космик фәзаја пүскүрүлән маддәнин атылма енержиси 10^{55} Ч-дур. Һәмин галактикалар һәмчинин күчлү радиошүаланма мәнбәјидирләр.

Фәал галактикаларын башга нөвләри дә мөвчуддур; һәмин галактикалар үчүн ултрабәнөвшәји шүаланма артыглығы сәчијјәвидир. Күман едилир ки, бу галактикаларын гејри-ади мави рәнкдә олмасы онларда һал-һазырда күчлү улдузәмәләкәлмә просесинин кетмәси илә әлагәдардыр.

§ 144. РАДИОГАЛАКТИКАЛАР, КВАЗАРЛАР ВӘ КВАЗАГЛАР

Бүтүн галактикалар радиодиапазонда бу вә ја дикәр дәрәчәдә енержи шүаландырыр. Бизим Галактикада ајры-ајры радиошүаланма мәнбәләри—ифрат јениләрин галыглары вардыр. Лакин галактикаларын әксәријјәтинин радиодиапазонда ишыглығы оптик диапазондакындан милјон дәфәләрлә кичикдир. Бунунла белә 1946—1986-чы илләрдә 10000-ә гәдәр дискрет радиошүаланма мәнбәји ашкар едилмишдир. Дискрет космик радиошүаланма мәнбәләринин бир нечә јүзү оптик галактикалардадыр. Лакин бу галактикаларын һәр биринин радиодиапазонда ишыглығы онларын оптик ишыглығы тәртибдә, јахуд ондан хејли бөјүкдүр.

Чох күчлү радиогалактикаларын парлаг нүмајәндәси Гу бүрчүндәки Гу—А радиогалактикасыдыр. Бу галактиканын ики компоненти арасында 18-чи улдуз өлчүлү зәиф галактика вардыр. Гу—А радиогалактикасына гәдәр мәсафә 170 Мпс-дир. Бу галактиканын оптик шүа-

ланмасынын јарысы емиссија хәтләриндә баш верир вә һәмин галактиканын радиопарлаглығы оптик парлаглығындан алты дәфә бөјүкдүр. Оптик галактикаларла үст-үстә дүшән бир нечә јүз белә радиогалактиканын әксәријјәти еллиптик галактикалардыр. Белә галактикаларда бир гајда олараг радиошүаланманын әһатә етдији областын өлчүсү оптик галактиканын өлчүсүндән бөјүк олур. Чох вахт радиошүаланма мәнбәләри гоша вә мисилли систем тәшкил едирләр. Бу галактикаларда радиошүаланма мәнбәләри көрүнән објектин (оптик галактиканын) һәр ики тәрәфиндә јерләширләр. Һәмин радиошүаланма мәнбәләринин мәркәзи оптик галактикадан олан мәсафәләри он вә һәттә јүз мин ишыг или илә өлчүлүр. Бу көстәрир ки, радиошүаланма мәнбәләри релјативист плазмадан ибарәт ики вә мисилли зәррәчикләр булудларыдыр вә бу булудлар оптик галактикада баш верән партлајыш нәтичәсиндә әмәлә кәлмишләр. Башга сөзлә, бу булудлар оптик галактиканын мәркәзиндән атылан јүксәк енержили јүклү елементар зәррәчикләр селиндән јаранмышдыр. Белә партлајыш просесиндә 10^{53} Ҹ енержи ајрылыр ки, бу да ифрат јени улдузларын партлајышы заманы ајрылан енержидән милјард дәфә бөјүкдүр. Радиогалактикаларын шүаланма механизми синхротрон механизмдир. Релјативист електронларын тормозланмасы нәтичәсиндә заман кечдикчә радиошүаланманын интенсивлији азалыр. Бу азалманын тәдгиги көстәрир ки, әкәр радиогалактика партлајандан сонра әлавә релјативист електронларла тәчһиз олунмурса, онда радиогалактика чәми бир нечә милјон ил әввәл јаранмышдыр.

Квазар адланан објектләр даһа күчлү радиошүаланма мәнбәјидир. Квазарын һәрфи мә'насы квазиулдуз радиомәнбә демәкдир. Илк квазар 1963-чү илдә кәшф олунуб. Үчүнчү Кембрич каталогунда бу илк квазар 3C48 кими ишарә олунду. Үчбучаг бүрчүндә тапылан бу објект улдуз өлчүсү 16^m олан улдузабәнзәр радиомәнбәдир. Илк квазарын кәшфиндән 3 ил сонра белә објектләрдән бири Гыз бүрчүндә тапылды, бу ән парлаг квазарын ишарәси 3C273-дир, радиомәнбәји 13^m улдуз өлчүлү улдузла ејниләшдирилмишдир. Сонралар мә'лум олду ки, квазарларын спектрләри бир-биринә бәнзәмир вә чох мүрәккәбдир. Бу спектрләрдә мүшаһидә олунан чох күчлү емиссија хәтләри һеч бир мә'лум кимјәви елементин хәтләри илә үст-үстә дүшмүр. Лакин аз сонра мә'лум олду ки, һәмин емиссија хәтләри чох бөјүк гырмызы сүрүшмәјә мә'руз галыбдыр. Бу сүрүшмә илк дәфә 3C273-дә тапылды вә мүәјјән едилди ки, бу квазар үчүн $z = \frac{\lambda}{\lambda} = 0{,}16$-дыр. Сонралар башга квазарлар үчүн дә z кәмијјәти тә'јин едилди вә бу, һәмин објектләрә гәдәр мәсафәни вә онларын ишыглыгларыны тапмаға имкан верди. Индијәдәк 1500-ә гәдәр квазар ашкар едилмишдир вә мә'лум олмушдур ки, бунларын ән узагда оланы үчүн $z = 3{,}53$-дүр. Квазарларын ишыглығы 10^{40}—40^{41} Вт-дыр, јә'ни јүз милјардларла улдуздан ибарәт олан нәһәнк галактикаларын ишыглығындан 100—1000 дәфәләрлә бөјүкдүр. Бурадан ајдын олур ки, квазарлар нөгтәви көрүнсәләр дә, «ағласығмаз» күчә малик оптик вә радиошүаланма мәнбәјидирләр.

Квазарларын кимјәви тәркиби улдузларынкындан аз фәргләнир. Бунларын шүаланмасынын әсас һиссәси синхротрон шүаланмадыр. Квазарлар үчүн ултрабәнөвшәји вә инфрагырмызы областларда енержи артыглыгы олмасы вә ај, һәтта һәфтә әрзиндә шүаланманын дәјишиклијә уграмасы чох сәчијјәвидир. Бу исә өз нөвбәсиндә көстәрир ки, нөгтә кими көрүнән квазарлар һәгигәтән дә компактдырлар. Бә'зи квазарларын јахынлыгында фәал галактикаларын нүвәләриндә вә радиогалактикаларда олдугу кими маддә атылмалары мүшаһидә олунур.

1965-чи илдә даһа јени бир груп нөгтә көрүнүшлү күчлү оптик шүаланма мәнбәләри кәшф олунду. Бунлара *квазаглар-квазиулдуз галактикалар* ады верилди. Квазарлардан фәргли олараг квазаглар нәзәрә чарпачаг гәдәр радиошүаланма мәнбәји дејилләр. Белә фәрз едилир ки, квазарлар вә квазаглар галактикаларын гыса мүддәт давам едән мүәјјән мәрһәләсидир.

§ 145. ГАЛАКТИКАЛАРЫН ФӘЗА ПАЈЛАНМАСЫ

Зееликер теореминә әсасән галактикалар фәзада мүнтәзәм пајлансајдылар

$$\frac{N(m+1)}{N(m)} \simeq 4 \qquad (12.9)$$

оларды.

Галактикаларын фәза пајланмасы илә илк дәфә Һабл мәшғул олмушдур. 1934-чү илдә о, көјү 1283 кичик саһәләрә бөләрәк һәр саһәдә олан 20^m улдуз өлчүсүндән парлаг галактикаларын сајыны 2,5 метрлик Поламар (АБШ) рефлекторунда апардыгы мүшаһидәләр васитәсилә тә'јин етмишдир. О, тапмышдыр ки, улдуз көјүнүн һәр квадрат дәрәчәсиндә 131 дәнә галактика вардыр. Бүтүн улдуз көјүнүн саһәси 41253 квадрат дәрәчә олдугундан 20^m-чи улдуз өлчүсүнә гәдәр бүтүн галатикаларын үмуми сајы $5{,}4\cdot10^6$ алынар.

Билирик ки, Русија Елмләр Академијасынын Хүсуси Астрофизика Рәсәдханасындакы 6 метрлик рефлектор васитәсилә 24^m-чи улдуз өлчүсүнә малик олан зәиф објектләри мүшаһидә етмәк олур. Одур ки, (12.9)-а әсасән $\frac{N(m+n)}{N(m)}=4^n$ вә $n=24-20=4$ олдугуну нәзәрә алараг 24^m-чи улдуз өлчүсүнә гәдәр галактикаларын үмуми сајы $5{,}4\cdot10^6\times256=1{,}4\cdot10^9$ олар. Һабл мүәјјән етди ки, Зееликер теореми бүтүн истигамәтләр үчүн доғрудур. Демәли, галактикалар фәзада орта һесабла нәинки мүнтәзәм, һәм дә изотроп пајланыблар.

Бир гәдәр әтрафлы тәдгигатлар көстәрир ки, 40 Мпс-дән кичик миғјасларда галактикалар груп вә топалар тәшкил едирләр. Мәсәлән, бизим Галактика, Андромеда, Үчбучаг Думанлыглары, Бөјүк вә Кичик Макеллан Булудлары вә бир нечә кичик галактика (чәми 35 галактика) Јерли груп тәшкил едирләр. Һәр бир бөјүк галактика бир нечә пејкә маликдир. Мәсәлән, Бөјүк вә Кичик Макеллан Булудла-

ры вә бунлардан әлавә сәккиз чыртдан галактика бизим Галактиканын пејкләридир. Андромеда Думанлығынын дөрд пејки вардыр.

Индијә гәдәр астрономлара 4000-ә гәдәр галактикалар топасы мә'лумдур. Бунларын һәр бириндә јүзләрлә, минләрлә, һәтта он минләрлә улдуз системләри вардыр. Мәсәлән, Вероникалын Сачлары бүрҹүндә бучаг өлчүсү 12° олан вә биздән 70 Мпс мәсафәдә јерләшән галактикалар топасында 40000 улдуз системи—галактика вардыр. Бә'зи кичик областда 100-дән артыг галактика топалары гејдә алыныр вә бу топалардакы галактикаларын үмуми сајы 100000-ә чатыр.

Бизә ән јахын галактика топасы 12 Мпс мәсафәдә Гыз бүрҹүндәдир. Бу топада једди нәһәнк радиогалактика (о ҹүмләдән Гыз—А радиогалактикасы) вә он спирал галактика вардыр. Ола билсин ки, бу топа чох нәһәнк—40 Мпс өлчүсү олан Ифрат Топанын мәркәзи һиссәсидир вә бизим Галактика да бу Ифрат Топаја дахилдир. Индијәдәк 50-дән артыг белә Ифрат Галактика Топалары тапылмышдыр. Бүтүн мә'лум Ифрат Галактика Топалары Метагалактика адланан бүтөв бир системин тәркиб һиссәсидир. Метагалактиканын өлчүсү 6000 Мпс вә бурадакы галактикаларын үмуми сајы 10^{11} һесаб едилир.

КОСМОГОНИЈА ВӘ КОСМОЛОКИЈАНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

XIII ФӘСИЛ

КОСМОГОНИЈАНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

§ 146. КӨЈ ЧИСИМЛӘРИ ВӘ ОНЛАРЫН СИСТЕМЛӘРИНИН МӘНШӘЈИ ВӘ ТӘКАМҮЛҮ ПРОБЛЕМЛӘРИ

*Көј чисимләри вә онларын мувафиг системләринин мәншәји вә тәкамүлү проблемләри астрономијанын космогонија бөлмәсиндә өјрә*нилир. Бу бөлмә астрономијанын ән чәтин тәдгигат саһәсидир. Бурада һәлл олунасы проблемләр чохдур. Космогонија проблемләрини өјрәнәркән һәр шејдән әввәл астрономик објектләрин кечмиши вә кәләчәји һаггында дүзкүн тәсәввүр олмалыдыр. Бу тәсәввүр ики јолла јарана биләр:

1. Сырф нәзәри јол: физиканын әсас ганунларына әсасланараг көј чисминин индики һалда олмасы үчүн онун кечдији јолу мүәјјән етмәк, сонра исә онун һансы јолла тәкамүл едәчәјини сөјләмәк.

2. Мүшаһидә јолу: көј чисимләринин мүхтәлиф тәкамүл мәрһәләләрдәки һалларыны бир-бирилә мүгајисә етмәклә бу мәрһәләләрин давам етмә ардычыллығыны мүәјјәнләшдирмәк.

Бу икинчи үсулу анчаг чохсајлы објектләрә тәтбиг етмәк олар. Бу објектләр улдузлар, улдуз топалары, думанлыглар вә галактикалардыр. Күнәш системи һәләлик јеканә мүшаһидә олуна билән планет системи олдуғундан икинчи үсулу она тәтбиг етмәк мүмкүн олмур. Одур ки, һәләлик бурада јалныз биринчи јолдан истифадә етмәк олар. Јә'ни Күнәш системинин индики һалына әсасән онун кечдији вә кәләчәкдә кечәчәји јоллары нәзәри олараг мүәјјәнләшдирмәк јолу.

Бурада бир дәлил тәдгигата көмәк едә биләр. Бу да ондан ибарәтдир ки, Күнәш системинин бә'зи үзвләри узун мүддәт әрзиндә аз дәјишикликә уғрамыш вә онлар Күнәш системинин јарандығы илк дөврләрдәки маддә һалыны сахламышлар. Бунлар әсасән узун периодлу кометләрдир. Одур ки, бу кометләри өјрәнмәклә Күнәш системинин һансы маддә формаларындан јаранмасы һаггында фикир сөјләмәк олар. Индики дөврдә кометләри өјрәнмәк үчүн космик техникадан истифадә имканларынын олдуғуну билирик.

Бундан башга биз § 108-дә көрдүк ки, хондрит нөвлү метеоритләр Күнәш вә планетләр әмәлә кәлмәздән әввәл мөвчуд олан маддә формасындан јаранмышлар. Бу илкин маддә карбонлу хондритдир. Одур ки, бу метеоритләри өјрәнмәк дә, Күнәш системинин мәншәјини

өјрәнмәјә көмәк едә биләр. Ашағыда көрәчәјик ки, карбонлу хондрит һәтта улдуз әмәләкәлмә механизмини ајдынлашдырмаг проблеминдә дә әһәмијјәт кәсб едир.

§ 147. УЛДУЗЛАРЫН МӘНШӘЈИ ВӘ ТӘКАМҮЛҮНҮН ИЛК МӘРҺӘЛӘСИ

Мүасир тәсәввүрләрә көрә улдузлар, улдузлараросы фәзада олан газ-тоз мүһитиндән ибарәт гејри-бирчинс диффуз материјанын гравитасија сыхылмасы нәтичәсиндә әмәлә кәлир.

Улдузларын улдузлараросы мүһитдә гејри-бирчинс газ-тоз материјасынын гравитасија сыхылмасы нәтичәсиндә әмәлә кәлмәси фикрини реаллашдыран мүхтәлиф дәлилләр вардыр. Бунлардан бири одур ки, чаван улдузлар галактикаларын спирал голларында топланмышдыр; бу голларда һәм дә газ вә тозлардан ибарәт улдузлараросы диффуз маддә топланмышдыр. Һәмин диффуз мүһити галактиканын спирал голларында сахлајан галактиканын магнит саһәсидир. Улдузлар исә белә зәиф магнит саһәси тәрәфиндән узун мүддәт сахлана билмәз. Она көрә дә, јашлы улдузлар галактиканын голларында сахланыла билмәмиш вә онлара биз бу јерләрдә тәсадүф етмирик. Галактиканын спирал голларындакы чаван улдузлар исә бир нечә мин улдуздан ибарәт комплекс тәшкил едирләр. Бу комплекси əhатә едән газ-тоз мүһити сүр'әтлә кенишләнәрәк бу комплексдән узаглашыр. Бу о демәкдир ки, бөјүк сүр'әтлә кенишләнән газ-тоз күтләси әввәлләр чох сых күтләјә малик олмушдур. Диффуз газ-тоз маддәсиндән улдуз вә онларын комплексинин әмәлә кәлмәси үчүн бу маддә ағырлыг гүввәсинин тә'сири илә сыхылмалыдыр. Белә сыхылма гравитасија коллапсы адланыр. Гравитасија коллапсынын баш вермәси үчүн бахылан һәчмдә күтлә мүәјјән бөһран гијмәтинә малик олмалыдыр. Бу бөһран күтләнин өзү исә мүһитин температурундан, сыхлығындан вә орта нисби молекулјар күтләсиндән асылыдыр. Бу мәсәләјә илк дәфә инкилис астроному Чинс бахмышдыр. Чинсә көрә мүһитдә маддәләрин бәрабәр пајланмасы һәр һансы сәбәб нәтичәсиндә позуларса, јаранан гејри-бирчинслијин инкишаф етмәси, јә'ни бу мүһитдә сыхылмаға башлајан һәчмләрин сыхылмагда давам етмәси, бир сөзлә гравитасија коллапсынын олмасы үчүн бу гејри-бирчинслик мүәјјән шәрти өдәмәлидир. Бу шәрт-Чинс критериси адланыр. Гејри-бирчинслијин Чинс бөһран өлчүсү λ_j олсун.

Бу өлчү $P_г = A\frac{\rho T}{\mu}$ газ тәзјиги илә $P_G = \frac{Gm}{\lambda_j^4}$ ағырлыг гүввәси тәзјиги

арасындакы таразлыг шәртиндән тапылыр ($P_г > P_G$ оларса газ тәзјигинин тә'сири илә кенишләнмә башларды вә гејри-бирчинслик јох оларды). $P_G = G\rho^2\lambda_j^2$ олдуғуну нәзәрә алараг

$$A\frac{\rho T}{\mu} = G\rho^2\lambda_j^2$$ бәрабәрлијиндән

$$\lambda_j = \sqrt{\frac{AT}{G\mu\rho}} \qquad (13.\ 1)$$

ифадәсини аларыг. Чинс дајанығсызлығы нәтичәсиндә $\sim\lambda_j^3$ һәчминдә $m \simeq \lambda^3\rho$ күтләсинин сыхылмасы баш верир.

$$m \simeq \sqrt{\frac{A^3\,T^3}{G^3\,\mu^3\rho}} \simeq 4\cdot10^{22}\,\sqrt{\frac{T^3}{\rho}}$$

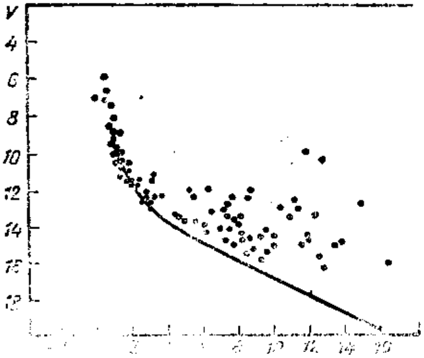
јахуд

$$m \simeq 2\cdot10^{-11}\,m_{\odot}\sqrt{\frac{T^3}{\rho}} \qquad (13.\ 2)$$

олур. (13,2)-дән көрүрүк ки, газ-тоз булудунун өлчүсү $\sim$ 1 пс, күтләси $m \simeq m_{\odot}$, температуру бир нечә он дәрәчә оларса, о, сыхыла билмәз, чүнки бу һалда газ тәзјиги мәхсуси ағырлыг гүввәси илә таразлашар. Белә газ-тоз булудлары чох мүшаһидә олунур. Әкәр газ-тоз булудунун өлчүсү онларла парсек, күтләси минләрлә Күнәш күтләси, температуру исә онларла дәрәчә оларса, (13.2) шәртинә әсасән белә булудда гравитасија дајанығсызлығы баш верәр вә думанлыг сыхылар. Бу сыхылма заманы гравитасија енержисинин бир гисми думанлығын гызмасына сәрф олунур. Һесабламалар көстәрир ки, газ-тоз комплекси бу истилији дәрһал инфрагырмызы шүаланмаја чевирир. Мүһит өзү инфрагырмызы шүаланмаја там шәффаф олдуғундан һәмин инфрагырмызы шүаланма сыхылмагда олан думанлығы манеәсиз тәрк едир. Беләликлә, думанлығын инфрагырмызы шүаланмасы нәтичәсиндә сојумасы илә гравитасија сыхылмасы нәтичәсиндә гызмасы демәк олар ки, бир-бирини таразлајыр. Сыхылма нәтичәсиндә чинс критериси даһа кичик күтлә үчүн өдәнир вә бу күтлә сон мәрһәләдә Күнәш күтләси тәртибдә ола биләр. Газ-тоз комплексинин илкин күтләси кифајәт гәдәр бөјүк олдугда сыхылма илә јанашы думанлыгда ајры-ајры мәркәзләрә парчаланма баш верир вә һәр белә мәркәз сыхылмагда давам едәрәк сон нәтичәдә улдуза чеврилир. Гравитасија каллапсы башлајан анда протоулдуз јараныр. Протоулдузун сыхылмагда давам етмәси үчүн сыхылма нәтичәсиндә јаранан истилик, мүһити тәрк етмәлидир; әкс һалда газ тәзјиги бөјүјәрәк сыхылманын габағыны алар ды. Јухарыда дедик ки, протоулдуз инфрагырмызы шүалара там шәффафдыр. Одур ки, протоулдуз күчлү инфрагырмызы шүаланма мәнбәји олмалыдыр.

Мүшаһидәләр көстәрир ки, улдузларарасы газ-тоз комплексләриндә күчлү инфрагырмызы шүаланма мәнбәләри вардыр. Бунлар бу објектләри кәшф едән алимләрин шәрәфинә Хербиг—Аро објектләри адланыр. Протоулдузларын H_2O вә OH молекулларынын мазер шүаланмасы мәнбәләри олдуғуну билирик. Бу о демәкдир ки, протоулдузун сыхылмагда давам етмәси үчүн шәраит вардыр. Протоулдуз сыхылдыгча нәһајәт мүәјјән анда онун сыхлығы о гәдәр бөјүк гијмәт алыр ки, мүһит инфрагырмызы шүалара гејри-шәффаф олур, сонракы сыхыл-

малар исә протоулдузун күчлү гызмасына кәтириб чыхарыр. Гызма нәтичәсиндә протоулдуздакы тозлар дағылыр, молекуллар диссосиасија едир вә бурадакы гејри-шәффафлыг даһа да артыр, протоулдуз исә даһа бөјүк сүр'әтлә гызыр. Күтләси $m \simeq m_{\odot}$ олан протоулдуз үчүн бу, мәрһәлә, радиус $R \simeq 10^5 R_{\odot}$ вә ишыглыг $L \simeq 10^3$ $L_{\odot}$ оланда башлајыр. Бу заман протоулдузун шүаланмасы һәлә дә инфрагырмызы областда олур. Бундан сонракы сыхылма заманы протоулдузун ишыглығы кәскин азалыр. Чүнки гравитасија енержиси молекулларын диссосиасијасына, атомларын ионлашмасына вә мүһитин гызмасына сәрф олунур. $R \simeq 10^3$ $R_{\odot}$ олан кими улдузун ишыглығы 400 $L_{\odot}$-ә гәдәр зәифләјир. Бу мәрһәләдә улдузун парлаглығы чох дәјишкән олур. Протоулдузун гејри-шәффафлығы сүр'әтлә артыр, нәтичәдә енержи тәкчә шүаланманын көчүрүлмәси јолу илә үст гатлара өтүрүлә билмир вә беләликлә конвексија јараныр. Т Буға типли улдузларын инкишафы дедијимиз мәрһәләјә чох бәнзәјир (бах: § 128). Билдијимиз кими бу улдузларын парлаглығы чох гејри-мүнтәзәм дәјишир; һәтта белә һесаб едирләр ки, бу улдузларда һәлә истилик-нүвә реаксијалары башланмајыб вә онларын енержи мәнбәји һәләки гравитасија сыхылмасыдыр. Бурасы да мараглыдыр ки, бу улдузлар «Фил хортуму»на бәнзәјән думанлығын баш һиссәсиндә јерләширләр. Бир мүлаһизәјә көрә протоулдузларын әчдадлары парлаг думанлыг фонунда мүшаһидә олунан тутгун даирәви глобуллар вә назик золаг шәклиндә парлаг думанлыға чив кими дахил олан «Фил хортуму» адланан төрәмәләрдир. Т Буға типли улдузларын јухарыда бәһс етдијимиз мәрһәләдә олмасына башга бир сүбут, онларын Һерсшпрунг-Рессел диаграмындакы јерләридир. Мә'лумдур ки, бу улдузлар һәмин диаграмда баш ардычыллығын ашағы һиссәсиндә нормал улдузлардан үстдә јерләширләр (бах: шәкил 151). Газ-тоз комплексиндә олан бу улдузларын Т ассосиасијаларында олмасы да јухарыда бәһс етдијимиз улдузәмәләкәлмә моделинин доғрулдуғуна бир сүбутдур. Бу дедикләримизи NGC 6530 улдуз топасы үчүн «рәнк көстәричиси-улдуз өлчүсү» диаграмындан да ајдын көрүрүк (шәкил 173). Бурада абссис оху үзериндә B—V рәнк көстәричиси, ординат оху үзәриндә сары шүаларда V улдуз өлчүсү гејд едилмишдир. Бу шәкилдә тәгрибән диагонал үзрә чәкилән хәтт баш ардычыллығын тәсвиридир. (B—V)>0 нөгтәләринә ујғун улдузлар әсасән Т Буға типли улдузлардыр. Шәкилдән көрүрүк ки, бу улдузлар баш ардычыллығын ашағы һиссәсиндә ондан үстдәдирләр, јә'ни һәлә сыхылмагда давам едән чаван улдузлардыр. NGC 6530 топасы, күман ки, 10 милјон ил әввәл әмәлә кәлмишдир. Бу топанын бөјүк күтләјә малик олан улдузлары баш ардычыллығын O вә



Шәкил 173. NGC 6530 улдуз топасы үчүн «рәнк көстәричиси—улдуз өлчүсү» диаграмы

B синифләринә чеврилмиш, нисбәтән кичик күтләли улдузлары исә һәлә гравитасија сыхылмасы мәрһәләсиндәдир.

Протоулдузун сыхылмасы јавашыјанда белә, температур бөјүмәкдә давам едир; нәһајәт температур, һидрокенин һелиума синтези илә нәтичәләнән истилик-нүвә реаксијаларынын кетмәси үчүн лазым олан дәрәчәјә чатыр (буна гәдәр температурун азачыг кичик гијмәтләриндә дејтериум, сонра литиум, бериллиум «јаныр»). Бу вахт улдуз, күтләсинин гијмәтиндән асылы олараг, баш ардычыллығын мүәјјән бир јеринә чыхыр (күтлә кичик олдугча баш ардычыллығын даһа ашағы һиссәсинә чыхмагла). Беләликлә баш ардычыллыг, нүвәсиндә һидрокенин«јанмаға» башладығы андан е'тибарән мүхтәлиф күтләјә малик олан улдузларын һәндәси јеридир. Һесабламалар көстәрир ки, протокүнәшин $R=10^3\ R_\odot$-дән $R=R_\odot$ радиуса гәдәр сыхылмасы үчүн 20 милјон ил лазымдыр (үмумијјәтлә гравитасија сыхылмасы просеси протокүнәшдә 50 милјон ил давам етмишдир). Протоулдузун күтләси бөјүк олдугча онун баш ардычыллыға чыхма тәкамүлү дә сүр'әтли олур: $m=15\ m_\odot$ күтләли протоулдузун баш ардычыллыға чыхмасы үчүн $6\cdot10^4$ ил, $m=0{,}5\ m_\odot$ күтләли протоулдуз үчүн исә $1{,}5\cdot10^8$ ил лазымдыр.

§ 148. УЛДУЗЛАРЫН БАШ АРДЫЧЫЛЛЫГДАН ЧЫХМАСЫ. УЛДУЗЛАРЫН ТӘКАМҮЛҮНҮН СОН МӘРҺӘЛӘСИ.

Һидрокенин һелиума синтези илә нәтичәләнән истилик-нүвә реаксијаларынын нөвү улдузун нүвәсиндәки температурдан, нүвәнин температуру исә улдузун күтләсиндән асылыдыр (бах: § 121). Билирик ки, баш ардычыллығын бөјүк күтләјә малик улдузларынын, јә'ни баш ардычыллығын исти улдузларын нүвәсиндә әсасән карбон-азот дөвријјәсиндән ибарәт реаксијалар кедир; бу ардычыллығын кичик күтләли улдузларынын, јә'ни сојуг улдузларынын нүвәсиндә исә протон-протон дөвријјәсиндән ибарәт реаксијалар кедир. Одур ки, баш ардычыллығын бөјүк күтләли вә демәли исти улдузлары бу ардычыллығы даһа тез тәрк едирләр. Улдузун баш ардычыллыгда галма мүддәтинин онун күтләсиндән асылы олмасы тәбиидир. Чүнки улдузун ишыглылығы күтләдән $L\sim m^4$, енержи еһтијаты исә $E\sim m$ кими асылыдыр; одур ки, улдузун баш ардычыллыгда галма мүддәти

$$t=\frac{E}{L}\approx10^{10}\left(\frac{m_\odot}{m}\right)^3 \qquad (13.3)$$

дүстуру васитәсилә гијмәтләндирилир.

Бундан әввәлки параграфда вә инди дедикләримиз, 13-чү чәдвәлдә тәсвир олунмушдур.

Бу чәдвәлдә күтлә, радиус вә ишыглыг Күнәшин ујғун параметрләри ваһидләриндә верилмишдир.

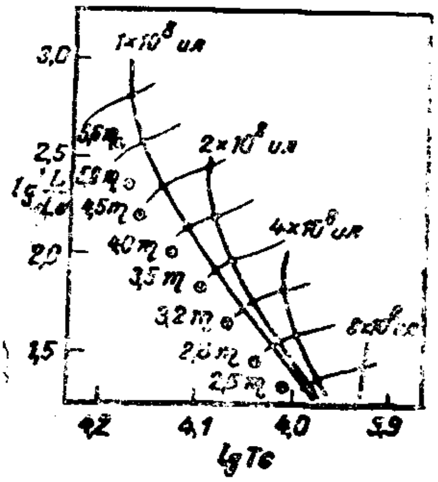
Дедик ки, истилик-нүвә реаксијалары баш ардычыллығын улдузларынын нүвәсиндә кедир. Заман кечдикчә нүвәдә маддәләр даим бир-

Улдузларын гравитасија сыхылмасы вә онларын баш ардычыллыгда галмасы мүддәтләри. Чәдвәл 13.

Спектрал синиф	Күтлә	Радиус	Ишыглы	Мүддәт, илләрдә	
				Гравитасија сыхылмасы	Баш ардычыллыгда галмасы
B_0	17,8	7,4	20000	$1,1\cdot10^5$	$1,1\cdot11^7$
B_5	6,4	3,8	800	$6,8\cdot20^5$	$1, \cdot10^8$
A_0	3.2	2,5	80	$2,6\cdot10^6$	$5,1\cdot10^8$
A_5	1,9	1,7	20	$5,3\cdot10^6$	$1,2\cdot10^9$
F_0	1,7	1,35	6,3	$1.7\cdot10^7$	$3,5\cdot10^9$
F_5	1,3	1,20	2,5	$2,8\cdot10^7$	$6,7\cdot10^9$
Go	1,10	1,05	1,2	$4,8\cdot10^7$	$1,2\cdot10^{80}$
((Күнәш)	1,00	1,00	1,0	$5, \cdot10^7$	$1,3\cdot10^{70}$
G_5	0,93	0,93	0,79	$5,5\cdot10^7$	$1,5\cdot10^{10}$
K_0	0,78	0,85	0,4н	$8,9\cdot10^7$	$2,5\cdot10^{10}$
K_5	0,69	0,74	0,06	$1,0\cdot10^9$	$1,5\cdot10^{11}$

биринә гарышыр. Һидрокен «јандыгча» конвектив нүвә радиус вә күтләчә кичилир. Һесабламалар көстәрир ки, бу просес спектр-ишыглыг диаграмы үзрә улдузун тәдричән саға тәрәф јердәјишмәси илә мүшајиәт олунур; белә јердәјишмә бөјүк күтләли улдузда даһа сүр'әтлә кетдијиндән баш ардычыллығын јухары һиссәси тәдричән саға тәрәф әјилир. 174-чү шәкилдә мүхтәлиф күтләјә малик улдузларын замандан асылы олараг баш ардычыллыгдан јердәјишмәси тәсвир олунмушдур.

Нүвәдә һидрокен тамамилә һелнума чевриләндә улдузун икинчи тәкамүл мәрһәләси гуртарыр, јә'ни *улдуз баш ардычыллыгдан чыхыр.* Нүвәдә һидрокен тамамилә һелиума чевриләндән сонра истиликнүвә реаксијалары конвектив нүвәнин харичи сәрһәддиндә назик гатда башлајыр. Бу онунла әлагәдардыр ки, улдузун мәркәзиндә һидрокен түкәндикчә гејри-шәффафлыг да тәдричән кичилир; просес улдузун арасы кәсилмәдән јенидән гурулмасы илә мүшајиәт олунур, јә'ни улдузун нүвәси сыхылыр, өртүјү исә кенишләнир. Бу заман потенсиал енержинин бир гисми истилијә чеврилир вә нүвәдә температур бөјүјүр. Лакин, бу температур һелиумун «јанмасы» үчүн кифајәт етмир; нүвә чох сыхылараг (350 кг/см³-а гәдәр) чырлашмыш һелиумдан ибарәт олур; өртүк кенишләндијиндән улдузун ишыглығы сүр'әтлә бөјү-



Шәкил 174. Мүхтәлиф күтләјә малик олан улдузларын замандан асылы олараг баш ардычыллыгдан сүрүшмәси.

јүр вә күтләсиндән асылы олараг о, *гырмызы нәһәнкә* вә ја *ифрат нәһәнкә* чеврилир. Беләликлә дә улдуз баш ардычыллығы тәрк едир.

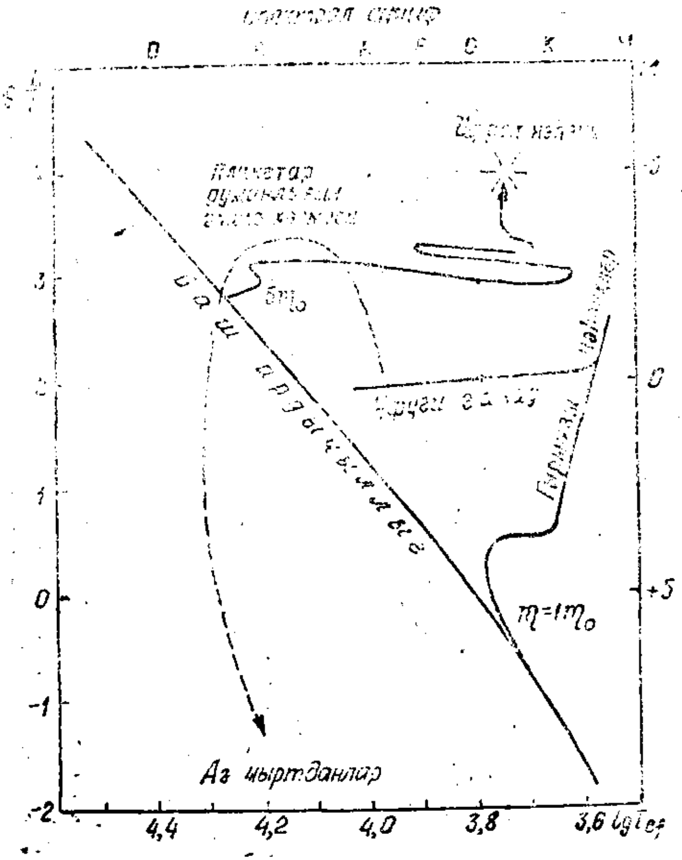
Әлбәттә бу тәкамүл схеми јеканә схем дејилдир. Белә ки, нүвәэтрафы назик һалгада һидрокен һелиума чеврилдикчә орадакы һелиумун күтләси бөјүмәлидир. Бу исә өз нөвбәсиндә ағырлыг гүввәсини бөјүтмәли, сыхлыг вә температуру јүксәлтмәлидир. Бу һалда енержи тәкчә шуакөчүрмә јолу илә дејил, һәм дә конвексија јолу илә өтүрүлүр. Сыхлыг вә температурун артмасы о вахтадәк давам едир ки, даһа ағыр елементләрин синтези башлајыр. $T \geq 10^8$ дәрәчә температурда $3^4He \to {}^{12}C$ реаксијалары кедир, температурун даһа бөјүк гијмәтләриндә исә оксикен, неон вә с. атомлар әмәлә кәлир. Бу заман бөјүк енержи ајрылыр вә һәмин енержи; нүвәнин сыхылмасыны дајандырыр. Истилик-нүвә синтез реаксијалары дәмир атомлары әмәлә кәләнә кими давам едир; даһа ағыр елементләрин әмәлә кәлмәси енержи сәрфи тәләб етдијиндән улдуз сојуjур.

Дедик ки, улдузун нүвәсиндә һидрокен јаныб гуртарандан сонра күтләсиндән асылы олараг, о, гырмызы нәһәнкә, јахуд ифрат нәһәнкә чеврилөрәк баш ардычыллығы тәрк едир.

Улдузун күтләси $m < 1.2\ m_\odot$ оларса, нүвәдә һидрокен түкәнәндән сонра улдуз сыхылмаға башлајыр. Бир нечә он мин илдә нүвәнин радиусу бир нечә мин километр, сыхлығы 1 $см^3$-дә јүзләрлә килограм олур. Бу мәрһәләдә нүвәнин сыхылмасы дајаныр, чүнки чырлашмыш нүвәдә газ-тәзјиги гравитасија илә таразлашыр; бу тәкамүл јолу сонда *улдузун ағ чыртдана чеврилөрәк баш ардычыллығы тәрк етмәси илә нәтичәләнир* вә ејни заманда улдузун кениш өртүјү атылыр. Әкәр улдуз өртүјү сахлајырса, билдијимиз кими о, *гырмызы нәһәнк* вә ја *ифрат нәһәнкә* (күтләдән асылы олараг) чеврилир вә јенә дә баш ардычыллығы тәрк едир. Әслиндә өртүјүнү атан улдуз, мәркәзиндә ағ чыртдан, јахуд Волф-Раје типли улдуз олан *планетар думанлыг* олур. Кенишләнән думанлыг бир нечә он мин илдән сонра улдузларарасы фәзаја јајылыр, ағ чыртдан өзү исә јүз милјон илләр гравитасија сыхылмасы дөврүндә топладығы истилик енержисини шүаландырыр.

175-чи шәкилдә $m = 1m_\odot$ вә $m = 5m_\odot$ күтләли улдузларын Һерсшпрунг—Рессел диаграмында тәкамүл јоллары схеми тәсвир олунмушдур. Бурада гырыг хәтлә $m = 1m_\odot$ күтләли улдузун планетар думанлыға вә ағ чыртдана чеврилмәсинин тәкамүл истигамәти схематик олараг көстәрилмишдир.

Улдузун күтләси $1{,}2 < m \leq 5m_\odot$ оларса, бөјүк күтләли нүвә сыхыларкән онун температуру јүзләрлә милјон, һәтта милјардларла дәрәчәјә галхыр. Мәсәлән, $m = 2\ m_\odot$ күтләли улдузун нүвәси сыхыланда тәмиз һелиумдан ибарәт олан нүвәнин температуру $1{,}7 \cdot 10^9$ дәрәчәјә галхыр. Белә нүвәдә силисиум әмәлә кәләнә гәдәр истилик—нүвә реаксијалары кедир. «Спектр-ишыглыг» диаграмында нүвәсиндә һидрокени јаныб гуртаран улдуз сағa јухарыја сүрүшәрәк гырмызы нәһәнк



Шәкил 175. Күтләләри $m = 1m_{\odot}$ вә $m = 5m_{\odot}$ олан улдузларын Һерсшпрунг—Рессел диаграмында тәкамүл јоллары.

вә ја ифрат нәһәнкә чеврилир (шәкил 175). Улдузун күтләси $m > 5\ m_{\odot}$ олдугда нүвә сыхыларкән температур $2 \cdot 10^8$ дәрәчәјә чатанда орада һелиум јанмаға башлајыр вә улдузун үст гатларында дәјишиклик баш верир: өртүкдә конвексија дајаныр вә улдузун өлчүсү әһәмијјәтли дәрәчәдә кичилир. «Спектр—ишыглыг» диаграмында улдуз јүз мин илләрлә үфүги истигамәтдә баш ардычыллыға гәдәр сола сүрүшүр. Нүвәдә һелиум түкәнәндә нүвә јенидән сыхылыр вә јенидән күчлү конвексија өртүјү јараныр. Улдуз јенидән сағ тәрәфә, јә'ни гырмызы ифрат нәһәнкләр областына сүрүшүр. Бу просес бир нечә дәфә тәкрарланыр; нәһајәт «спектр—ишыглыг» диаграмында илкәк чызмагла тәкамүл јолу кечән улдузун дахили грулушунда јенидән дәјишиклик баш верир—улдузда дајаныгсызлыг јараныр, о, дөјүнән улдуза чеврилир. Дөјүнән—дәјишән улдузларын «спектр—ишыглыг» диаграмында тутдуглары јерләрлә јухарыдакы нәзәри һесабламаларын нәтичәләри үст-үстә дүшүр (бах: § 126 вә шәкил 151).

Биз § 121-дә улдузларын дахилиндәки физики шәраитдән бәhс етмишдик. Орада көрдүк ки, улдузун илкин күтләсиндән асылы олараг онун тәкамүлү мүхтәлиф јолларла кедир. Мәсәлән, улдузун илкин күтләси $m < 1{,}2\ m_{\odot}$ оланда, о, тәкамүлүн сон мәрhәләсиндә *ағ чыртдана* чеврилир. Илкин күтлә $m < 3m_{\odot}$ оланда исә улдуз *нејтрон улдузуна* чеврилир. Улдузун илкин күтләси $m > 3m_{\odot}$ оланда тәкамүлүн сон мәрhәләсиндә улдуз *гара чухура* чеврилә биләр.

Нејтрон улдузларынын әмәлә кәлмәси илә әлагәдар олараг бир тәфсилаты јадымыза салаг: нејтрон улдузу әмәлә кәләнәдәк улдузун сыхылмасы чох бөјүк сүр'әтлә олур, чүнки белә сыхылманын габағыны алан hеч бир манеә олмур. Бу чүр сыхылма, јә'ни коллапс заманы улдузун үст гатлары онун нүвәси илә тоггушур вә нәтичәдә јухарыја доғру јајылан күчлү зәрбә далғасы әмәлә кәлир. Бу заман улдузун өртүјү күчлү партлајыш нәтичәсиндә кәнара атылыр—*ифрат јени јараныр. Бунунла әлагәдар олараг белә hесаб етмәк олар ки, улдузларарасы фәзаны улдуз мәрhәләси кечмиш маддә илә тәчhиз едән әсас мәнбә ифрат јениләрин алышмасыдыр; икинчи јол, улдузун сакит јолла өртүјүнү атмасыдыр, күнәш күләји типли маддә ахыныдыр* вә с.

Кимјәви елементләрин мәншәји улдузларын тәкамүлү илә сыхы сурәтдә әлагәдардыр. Биз нөвбәти фәсилдә (XIV фәсилдә) көрәчәјик ки, кенишләнән Каинатын тәкамүлүнүн илк мәрhәләсиндә анчаг hидрокен вә hелиум кими јүнкүл елементләр јаранмышлар. Одур ки, дикәр елементләр улдузларын мәншәји вә тәкамүлүнүн, јә'ни јараныб, инкишаф едиб, чеврилиб јенидән јаранмасы кими просесләрин мәhсулудур. Бу елементләрин јаранма механизмләри исә улдузларын дахилиндә кедән мүхтәлиф нөв истилик-нүвә реаксијаларыдыр. Беләликлә әмәлә кәлән ағыр нүвәләр кәләчәкдә јаранаҹаг улдузларын агрегаты олур. Бундан өтрү улдуз партламалы вә онун ағыр нүвәләрлә зәнкин маддәси улдузларарасы фәзаја јајылмалыдыр. Бурада ән еhтималлы јол, јухарыда гејд етдијимиз кими, ифрат јенинин алышмасыдыр; икинчи јол улдузун сакит hалда өртүјүнү итирмәсидир. Улдузларын бу ики тәкамүл јолу билдијимиз кими онларын күтләсиндән асылыдыр. Ағыр елементләрлә зәнкин олан маддәнин сонракы инкишафы улдузәмәләкәлмә просеси илә нәтичәләнә биләр. Бу јолла јаранан јени улдузларда әввәлкиндән фәргли олараг ағыр кимјәви елементләр даhа зәнкин олмалыдыр. Бу улдузун тәкамүлү исә улдузун дахилиндә кедән истилик-нүвә реаксијасынын нөвүндән асылы олараг даhа ағыр елементләрин јаранмасы илә нәтичәләнә биләр. Белә ардычыллыгла кедән инкишаф Каинатда кетдикчә даhа ағыр елементләрин јаранмасы вә јени нәсл улдузларынын әмәлә кәлмәси илә нәтичәләнмәлидир. *Бизим Күнәш икинчи нәсл улдузудур,* јә'ни Күнәш, артыг бир дәфә улдуз мәрhәләси кечмиш маддәдән—агрегатдан јаранмышдыр.

Ајдындыр ки, ән гоча улдуз илк нәслә, ән чаван улдуз исә сон нәслә аиддир. Биринчиләр јүнкүл кимјәви елементләрлә, икинчиләр исә ағыр кимјәви елементләрлә зәнкин олмалыдырлар.

Биз бу мәсәләјә галактикаларын мәншәјиндән данышанда јенә гајыдачағыг.

§ 149. УЛДУЗ ТОПАЛАРЫНЫН ЈАШЫ.

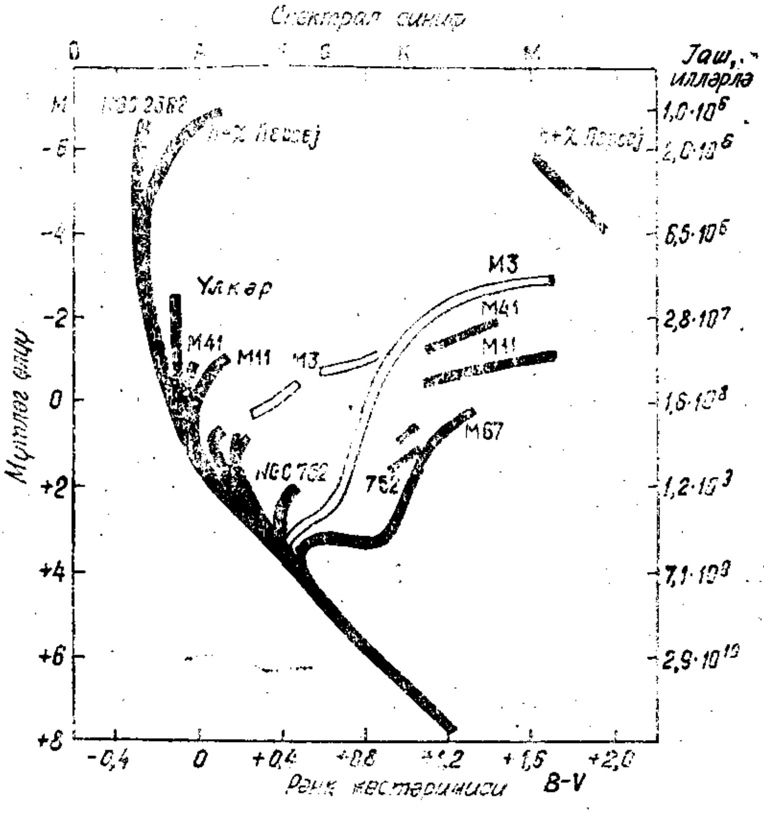
Ајры-ајры улдузларын јашыны дүзкүн тә'јин етмәк мүмкүн дејил. Һәттә улдузун күтлә, радиус вә ишыглығы дәгиг мә'лум олдугда белә онун јашыны дәгиг тә'јин етмәк мүмкүн олмур. Бунун сәбәби улдузун јашында әһәмијјәтли рол ојнајан бир сыра амилләрин дәгиг нәзәрә алынмасынын гејри-мүмкүн олмасыдыр. Бунлар улдузун кимјәви тәркиби, фырланмасы, магнит саһәси вә с. кими амилләрдир.

Топалара дахил олан улдузлара кәлинчә бурада мәсәлә хејли асанлашыр. Чүнки һәр бир топада улдузларын ејни вахтда әмәлә кәлмәси шүбһә доғурмур. Одур ки, топанын јашыны тә'јин едә билсәк орадакы улдузларын јашыны тә'јин етмиш олуруг. Бу мәсәләни һәлл етмәк үчүн «спектр-ишыглыг» диаграмы гурулур. Бу заман мә'лум олур ки, һәр бир топа әмәлә кәләндә онун улдузлары баш ардычыллығын бүтүн интервалыны, јә'ни бүтүн спектрал синифләри әһатә едир. Билирик ки, ардычыллығын исти улдузлары һәм дә күтләчә бөјүк олдугларындан онларын баш ардычыллыгда галма мүддәтләри ән гыса, әксинә сојуг улдузларынкы (кичик күтләлинки) ән узун олур. Одур ки, ән әввәл баш ардычыллығын исти улдузлары (ардычыллығын јухары һиссәсиндәки улдузлар) нәһәнк вә ја ифрат нәһәнкләр олан јерә тәрәф сүрүшүрләр. Баш ардычыллығын јухары һиссәсиндә бу әјилмә нөгтәсинин вәзијјәтини билмәклә топанын јашыны мүәјјән етмәк олур: әкәр әјилмә јохдурса, јә'ни топанын бүтүн улдузлары һәлә баш ардычыллыгдадырса, топа јени әмәлә кәлмишдир (мәсәлән, дејирик ки, топанын јашы ән чоху 10^7 илдир); әјилмә варса, әјилмә нөгтәсинә ујғун улдуз күтләсини биләрәк (13.3) дүстурундан онун баш ардычыллыгда галма мүддәтини тапа биләрик. Бу гајда илә улдуз топасынын јашы һагда мә'лумат әлдә едилир.

Ачыг улдуз топалары үчүн гурулмуш Һерсшпрунг—Рессел диаграмларынын тәдгиги көстәрир ки, бу топаларын әксәр улдузлары баш ардычыллыгдадыр, башга сөзлә, топанын чох аз сајда улдузлары тәкамүл просесиндә баш ардычыллығы тәрк етмиш, нәһәнк вә ја ифрат нәһәнкләр областларына кечмишдир. Биз буну § 133 вә 160-чы шәкилдә көрдүк. Күрәви улдуз топаларында вәзијјәт бунун әксинәдир: Бу топалар үчүн Һерсшпрунг-Рессел диаграмында баш ардычыллығын јухары һиссәсиндә күрәви топаларын улдузларындан демәк олар ки, јохдур, ардычыллығын тәгрибән орта һиссәсиндә исә улдузлар нәһәнк вә ифрат нәһәнкләрә доғру шагули истигамәтдә сүрүшүбләр. Бу дәлилләр көстәрир ки, күрәви улдуз топалары ачыг улдуз топаларына нисбәтән јашлыдырлар.

Дедикләримиз 176-чы шәкилдә даһа ајдын тәсвир олунмушдур. Бу шәкилдә бир нечә ачыг улдуз топасы вә бир күрәви топа үчүн Һерсшпрунг—Рессел диаграмы тәсвир олунмушдур. Диаграмда ачыг топалар гара золагла, күрәви топа ағ золагла көстәрилмишдир. Абсис охунда (B—V) рәнк көстәричиси вә спектрал синифләр, ординат охунда мүтләг улдуз өлчүсү вә илләрлә топаларын јашы көстәрилмишдир. Шәкилдән көрүрүк ки, NGC2362 ачыг улдуз топасынын улдузларынын һамысы баш ардычыллыгда јерләширләр, јә'ни бу топа ән чавандыр.

Бу диаграмда Персејин h вә χ топасынын исти улдузлары артыг баш ардычыллығы тәрк едәрәк нәһәнкләрә тәрәф сүрүшмүшләр, јә'ни бу топа бир гәдәр јашлыдыр. Шәкилдә тәсвир олунан ән гочаман ачыг улдуз топасы М 67-дир; баш ардычыллығын F8-ә гәдәр јухары һиссәсиндә бу топанын һеч бир улдузу јохдур, ардычыллығын ашағы јарысындакы улдузлар исә нәһәнкләрә тәрәф сүрүшмәкдәдирләр, јә'ни F8 улдузлары артыг баш ардычыллығы тәрк едирләр. Бу улдузларын күтләси $1{,}1\,m_{\odot}$ олдуғундан (13.3)-ә әсасән топанын јашы үчүн 10^{10} ил алырыг. Беләликлә ән гочаман ачыг улдуз топасынын јашы 10 милјард илдир. Јашы $\sim 10^7$ ил олан даһа «чаван» ачыг топалара исә чох тәсадүф едилир.



Шәкил 176. Бизим Галактиканын 9 ачыг улдуз топасы вә бир күрәви улдуз топасынын Һерсшпрунг—Рессел диаграмында тәкамүл схемләри.

М92 күрәви улдуз топасы үчүн Һерсшпрунг-Рессел диаграмындан көрүнүр ки, бу топанын јашы 10^{10} илдир. Күрәви топалар Галактиканын сферик алт системиндә, ачыг топалар исә мүстәви алт системиндә јерләшдикләриндән белә нәтиҹәјә кәлмәк олар ки, сферик алтсистемә дахил олан објектләр мүстәви алтсистемә дахил олан објектләрдән

јашлыдыр. Ән чаван (јашы 10 милјон илдән кичик олан) ачыг улдуз топалары Галактиканын спирал голларында јерләширләр. Әслиндә белә дә олмалыдыр, чүнки ән чаван улдузлар, о чүмләдән Т Буға типли дәјишән улдузлар да Галактиканын спирал голларында јерләширләр; билирик ки, газ-тоз комплексләри дә әсасән бурададырлар.

Ачыг топалар үчүн гырмызы нәһәнкләрин шахәси күрәви топаларынкына нисбәтән ашағыдан, баш ардычыллығын шахәси исә јухарыдан кечир. Нәзәри олараг бу дәлилләри күрәви топаларда ағыр елементләрин нисби мигдарынын аз олмасы илә изаһ етмәк олар. Сферик вә мүстәви алтсистемләрин улдузларынын кимјәви тәркибинин тә'јини көстәрир ки, биринчиләрдә доғрудан да ағыр елементләр аздыр.

Бу параграфда дејиләнләрдән белә бир үмуми нәтичәјә кәлмәк олар ки, улдуз топаларынын јашы илә әлагәдар олараг топаларын улдузларынын дахили гурулушу вә тәкамүлү нәзәријјәсинә әсасланан нәтичәләрлә мүшаһидәләр үст-үстә дүшүр.

§ 150. СЫХ ГОША УЛДУЗЛАРЫН ТӘКАМҮЛ ХҮСУСИЈЈӘТЛӘРИ

Биз § 123-дә гоша улдузлардан, о чүмләдән сых гоша улдузлардан бәһс едәндә дедик ки, сых гоша системләрин әксәријјәтинин компонентләриндән бири субнәһәнк, дикәри баш ардычыллығын нормал улдузларындандыр. Һәр белә системдә субнәһәнкин күтләси нормал улдузункундән кичикдир. Һәр бир гоша системин ејни вахтда әмәлә кәлмәси шүбһәсиздир. Дикәр тәрәфдән исә кечән параграфда көрдүк ки, баш ардычыллыгдан нәһәнкләрә тәрәф сүрүшмә бөјүк күтләјә малик улдузларда даһа тез башлајыр. Мүгајисә илк бахышда бизи зиддијјәтә кәтирир. Лакин бурада әслиндә һеч бир зиддијјәт јохдур: сых гошанын субнәһәнк компоненти гоша системин јаранмасынын башланғыч мәрһәләсиндә күтләчә бөјүк олуб; тәкамүлүнүн сонракы мәрһәләләриндә субнәһәнкин нүвәсиндә һидрокен јандыгча онун нүвәси сыхылыр, өртүјү исә шиширӧ. Субнәһәнк компонентин харичи өртүјү кенишләнмә просесиндә Рош бөһран сәтһи илә һүдудланмыш бошлуғу долдурур вә бундан сонра бөһран сәтһиндән икинчи компонентә күтлә ахыны башлајыр. Нәтичәдә субнәһәнк компонентин күтләси кичилир, нормал компонентин күтләси исә артыр. Бу она кәтирир ки, субнәһәнк пејкә, нормал улдуз исә баш улдуза чеврилир. Бу гајда илә тәкамүл просесиндә сых гоша системләрин компонентләри арасында «ролларын» дәјишмәси баш верир. Сых гоша системләрдә субнәһәнк улдузлар күтләчә кичик олсалар да онларын ишыглығы дикәр компонентдән 3^m улдуз өлчүсү гәдәр бөјүкдүр. Бу дәлили онунла изаһ етмәк олар ки, белә субнәһәнкин харичи өртүјү һелиумла зәнкиндир. Бу сәбәбдән харичи гатларын шәффафлығы артыр. Нәтичәдә улдузун дахили исти гатларынын шүаланмасы улдузу асанлыгла тәрк едир. Сых гоша системләрдә компонентләр арасында ролларын дәјишмәсинә әсасән онларын мүшаһидә олунан хүсусијјәтләрини о вахт изаһ етмәк олар ки, компонентләр арасында еффектив күтлә мүбадиләси

мүддәти улдузун баш ардычыллыгда галма мүддәтиндән хејли гыса олсун. Әкс һалда нормал адланан компонент даһа әлавә күтлә алмагла тәкамүл просесинин сүр'әтләнмәси һесабына баш ардычыллығы даһа тез тәрк едәрди. Гејд етмәк лазымдыр ки, сых гошаларда ролларын дәјишмәси бир нечә дәфә тәкрар ола биләр: башланғычда күтләчә бөјүк компонент олан субнәһәнк һесабына Рош фәзасы долур вә бу компонентдән икинчијә маддә ахыр, икинчинин күтләси бөјүјүр, субнәһәнкинки кичилир, нәтичәдә субнәһәнк пејк, баш ардычыллыгдакы компонент баш улдуз олур; сонра просес тәрсинә кедир—баш ардычыллыгдакы компонентдән пејкә-субнәһәнкә доғру маддә ахыр вә субнәһәнк јенидән күтләчә бөјүјәрәк баш улдуза, ардычыллыгдакы компонент исә пејкә чеврилир вә бу гајда илә сых гошанын компонентләринин роллары тәкрар-тәкрар дәјишир. Нәзәри һесабламалара көрә күтлә мүбадиләси бир нечә он вә ја јүз мин ил давам едир.

$m_1=5\,m_\odot$ вә $m_2=4m_\odot$, араларындакы мәсафә $a=13{,}8\ R_\odot$ олан сых гоша системә бахаг. Бу системдә әввәлчә биринчи улдузун тәкамүлү тәк улдузунки кими олур: улдузун күтләси бөјүк олдуғундан баш ардычыллыгда галма мүддәти тез гуртарыр вә о, Һерсшпрунг-Рессел диаграмында нәһәнк улдузлара тәрәф сүрүшүр, тезликлә бу улдуз кенишләнмә просесиндә өз Рош бошлуғуну долдурур, бундан сонра һәмин улдуздан икинчи компонентә маддә ахыр, нәтичәдә икинчи компонентин күтләси хејли бөјүјүр, биринчининки исә мүвафиг олараг кичилир ($\sim 0{,}94\ m_\odot$ олур). Бу улдуз Һерсшпрунг-Рессел диаграмында баш ардычыллыға демәк олар паралел галмагла ашағы дүшүр, ишыглығы 10 дәфә азалыр. Бундан сонра һәмин улдуз диаграмда јухары сүрүшүр вә әввәлки ишыглығына чатыр, даһа сонра тәдричән сола тәрәф сүрүшәрәк ағ чыртдан областына кечир. Бу просесдә икинчи компонентин күтләси ики дәфә бөјүјүр вә баш ардычыллыг үзрә диаграмда јухары сүрүшүр.

Белә тәкамүл просесиндә гоша системи тәшкил едән һәр ики компонентин күтләсинин хејли гисми тәкамүл нәтичәсиндә улдузларарасы фәзаја сәпилир.

Биз јени улдузлардан бәһс едәндә онларын алышма механизмини бу улдузларын сых гошалығы илә әлагәләндирдик. Дедик ки, бу улдузлар сых гоша олдугларындан ағ чыртдан компонентә дикәр компонентдән маддә ахыр вә әсасән һидрокендән ибарәт олан бу маддә чох исти ағ чыртданын сәтһиндә истилик—нүвә реаксијалары нәтичәсиндә «јаныр». Һесабламалара көрә ағ чыртдан компонентә $10^{-3}\,m_\odot$ гәдәр маддә ахарса, улдузун сәтһиндә јаранан температур вә сыхлыг шәраити карбон-азот дөвријјәли истилик-нүвә реаксијаларынын кетмәси үчүн тамамилә кифајәтдир. Ағ чыртданын сәтһиндә бу гајда илә һасил олан истилик енержиси кәнара ләнк өтүрүлүр. Бу сәбәбдән улдузун өртүјүндә истилик дајанығсызлығы јараныр, партлајыш баш верир вә әлавә өртүк зәрбә далғасынын тә'сирилә улдуздан ајрылыр. Бу механизм јени улдузларын мүшаһидә олунан алышма күчүнү вә һәмчинин тәкрар јениләрин алышмасыны изаһ едир.

Биз улдузларын мәншәји вә тәкамүлүндән бәһс едәркән онларын күтлә, радиус вә ишыглыгы кими ән мүһүм параметрләрини нәзәрә алдыг. Лакин магнит саһәсинин ролундан данышмадыг. Мә'лумдур ки, O, B, A синифләринә мәхсус исти улдузлар бөјүк фырланма сүр'әтинә маликдирләр. F синфиндән сојуг синифләрә мәхсус улдузларын фырланма сүр'әтләри кичик олдуғундан онларын фырланма сүр'әтләрини јүксәк дәгигликлә өлчмәк чәтиндир. Билирик ки, Күнәшин фырланма хәтти сүр'әти онун екваторунда чәми 2 км/сан-дир. Мүшаһидәләрдән мә'лумдур ки, улдузлараразы газ-тоз комплексләриндә ајры-ајры булудлар бир-бирләринә нисбәтән 1 км/сан сүр'әтлә һәрәкәт едир. Одур ки, белә булудлардан әмәлә кәлән протоулдуз мүәјјән һәрәкәт мигдары моментинә малик олмалыдыр. Протоулдуз сыхылдыгча онун фырланма сүр'әти бөјүмәлидир. Әкәр бу сүр'әт $v=\sqrt{\frac{Gm}{R}}$ бөһран сүр'әтиндән бөјүк оларса, онда белә конфигурасија улдуза чеврилә билмәз, о, гәлпәләнәр. Беләликлә улдузәмәләкәлмә просесиндә протоулдузун һәрәкәт мигдары моментинин мүәјјән һиссәси ондан ајрылмалыдыр. Бу ајрылмаја сәбәб протоулдузун гоншулуғундакы сејрәк мүһитдә «дондурулмуш» магнит гүввә хәтләри васитәсилә һәрәкәт мигдары моментинин бир гисминин көчүрүлмәсидир. Һәрәкәт мигдары моментинин әтрафа верилмәси протоулдузун мүәјјән гәдәр сыхылмасына кими давам етмәли, сонра исә кәсилмәлидир. Исти улдузларда һәрәкәт мигдары моментинин хејли һиссәси галдығындан бу улдузлар сүр'әтлә фырланырлар (күтләдән асылы олмајараг). Сојуг улдузларда исә һәрәкәт мигдары моментинин әсас һиссәси ондан ајрылыр. Мәсәлән, Күнәш кими сојуг улдузда һәрәкәт мигдары моментинин чәми 2%-и галыб, галан 98%-и планетләрә верилиб. Күнәш системи әмәлә кәлән анда олан һәрәкәт мигдары моменти тамамилә Күнәшдә сахлансајды инди о, 100 км/сан сүр'әтлә фырланарды. *Әкәр бүтүн сојуг улдузлар һәрәкәт мигдары моментинин аз һиссәсини өзләриндә сахламаг һесабына кичик сүр'әтлә фырланарларса, онда онларын да планет системләри олмалыдыр. Бу шәрт дахилиндә бизим Галактикада хејли планет системинин варлығы реаллашыр.*

§ 151. ГАЛАКТИКАЛАРЫН ӘМӘЛӘ КӘЛМӘСИ

Һесаб едирләр ки, галактикалар кенишләнән Каинатда һидрокен вә һелиумдан ибарәт гејри-бирчинс газ булудларындан әмәлә кәлмишләр. Бизим Галактиканын орта сыхлығы $\rho\simeq10^{-24}$ г/см^3-дур. Әкәр Галактиканын јарандығы мүһитин сыхлығы белә оларса, онда $m=10^{11}m_\odot$ күтләјә малик мүһитин сыхылараг Галактикаја чеврилмәси үчүн температур $T\simeq10^6$ K олмалыдыр (бах: (13.2). Температурун кичик гијмәтиндә нисбәтән кичик күтлә сыхылмалы иди вә онда бизим Галактикадан күтләчә кичик галактика јаранарды. Дикәр тәрәфдән исә биз XIV фәсилдә көрәчәјик ки, кенишләнән Каинат 10^{-24} г/см^3 сыхлыға $\simeq7\cdot10^{14}$ сан $\simeq2\cdot10^7$ илдән сонра чатмышдырса (бах: § 155), бу анда температур 10^6K дејил, 500 K олмалыдыр. Бу температура исә (13.2)

дүстуруна әсасән нисбәтән кичик күтләли ($\sim 10^6 m_\odot$) галактика уjғун кәлир. Одур ки, галактикаларын jаранма мәншәjини кенишләнән Каинат нәзәриjjәсинә әсасән изаһ етмәк үчүн фәрз едирик ки, $t \simeq 2 \cdot 10$ ил анында кенишләнән Каинатда бизим Галактиканын jарандығы фәзада мүһитин температуруну 10^6 К-э галдыран вә һәләлик бизә мә'лум олмаjан мүәjjән просес баш вермишдир.

§ 152. ПЛАНЕТ КОСМОГОНИЈАСЫНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

Бу фәслин киришиндә гејд етдик ки, Күнәш системинин мәншәjи мәсәләси космогониjанын ән чәтин вә һәлә там һәлл олунмамыш мәсәләсидир. Бунун сәбәби бу системин чох рәнкарәнк олмасы вә һәләлик башга планет системләринин билаваситә мүшаһидә едилмәмәсидир. Күнәш системинин мәншәjи вә тәкамүлү проблемини чәтинләшдирән бир ҹәһәт дә бурада олдугҹа мүхтәлиф амилләри нәзәрә алмағын зәрури олмасыдыр. Бу амилләр магнит саһәси, протопланет булудунда турбулентлик, истилик вә гравитасиjа даjаныгсызлығы еффектләри, газ компонентинин диссипасиjасы, протокүнәшин фырланмасындакы гејри-бирҹинслик вә башга амилләрдир. Бу амилләр Күнәш вә планет-әмәләкәлмә просесиндә чох әһәмиjjәтли рол оjнамалыдыр. Күнәш системинин әмәләкәлмә просесини моделләшдирәркән бу амилләри там нәзәрә алмаг һәлә мүмкүн деjилдир. Нәһаjәт проблеми чәтинләшдирән амилләрдән бири дә Күнәш системинин мәншәjи мәсәләсинә комплекс бахмағын зәрури олмасыдыр.

Күнәш системинин мәншәjи һаггында илк космогоник һипотезләр. Һәлә Декарт 1644-чү илдә белә бир фәрзиjjә ирәли сүрмүшдүр ки, Күнәш системи газ вә тоз булудларындан әмәлә кәлмишдир.

1755-чи илдә алман философу Амануjел Кант Күнәш системинин мәншәjинә аид фәрзиjjә верди. Бу фәрзиjjәjә көрә газ-тоз булудларынын мәркәзиндә Күнәш, кәнарларында исә планетләр әмәлә кәлмишдир. Күнәш системинин әмәлә кәлмәси һаггында елми фикир дә о вахтдан башламышдыр. Лакин Кантын фәрзиjjәсини инкишаф етдирмәк үчүн атом нәзәриjjәси, термодинамика, газларын кинетик нәзәриjjәси, кимjәви елементләрин тәкамүлү нәзәриjjәси (анлаjышы) олмалы иди. Бунлар исә чох сонралар jаранды.

Кантын һипотезиндән фәргли бир һипотези 1796-чы илдә мәшһур Франсыз риjазиjjатчысы вә астроному Лаплас верди. О, планетләрин әмәлә кәлмәсиндә думанлығын фырланмасына хүсуси әһәмиjjәт верди. Бу, лап jеринә дүшдү. Доғрудан да фәрз едәк ки, мүәjjән күтләjә малик сыхылан сферик газ-тоз думанлығы фырланыр. Бу думанлығын мәркәзиндән r мәсафәдә m_0 күтлә елементинин ω бучаг сүр'әти илә фырландығыны гәбул едәк. Бу елементин һәрәкәт мигдары моменти

$$I = m_0 \omega r^2$$

олар. Әкәр $I = \mathrm{const}$ оларса, думанлыг сыхыланда ω сүр'әтлә бөjүмәлидир. Думанлығын там күтләси m оларса, онун m_0 күтлә елементи илә гаршылыглы ҹазибә гүввәси

$$F_1 = G\frac{m m_0}{r^2},$$

мәркәздәнгачма гүввәси исә

$$F_2 = m_0\omega^2 r = \frac{I^2}{m_0 r^3}$$

олар. F_1 вә F_2-нин мүгајисәсиндән ајдындыр ки, думанлыг фырланаркән сыхыларса мәркәздәнгачма гүввәси чазибә гүввәсинә нисбәтән сүр'әтлә бөјүмәлидир. $F_1 = F_2$ оланда фырланма дајанығсызлығы әмәлә кәлир. Бу һалда думанлыг мәрчијәбәнзәр јасты вә узунсов шәкил алар, онун екваторундан (фырланма охуна перпендикулјар мүстәвисиндән) маддә ајрылар. Нәтичәдә думанлығын екватор мүстәвисиндә ајрылан маддәләрдән ибарәт мүхтәлиф радиуслу һалгалар әмәлә кәләр (Сатурнун һалгалары кими). Лапласа көрә ајры-ајры һалгаларын сонракы консентрасијасындан Күнәш системинин планетләри әмәлә кәлмишдир.

Кант вә Лаплас һипотезләринин елементләри мүасир планет космогонијасында өз әксини тапыр. Бурада Күнәш вә планетләрин газтоз думанлығындан бир јердә әмәлә кәлмәси идејасы, фырланма дајанығсызлығы нәзәрдә тутулур. Беләликлә Кант вә Лаплас һипотезләри тәкчә тарихи мараг чәһәтдән дејил, һәм дә мүасир планет космогонијасы бахымындан әһәмијјәтлидир.

Билирик ки, Күнәш системиндә һәрәкәт мигдары моментинин 98%-и планетләрдә, чәми 2%-и исә Күнәшдә топланмышдыр. Әкәр һәрәкәт мигдары моментини ваһид күтләјә аид етсәјдик, јә'ни хүсуси бучаг моментинә бахсајдыг, онда планетләрин пајына дүшән һәрәкәт мигдары моменти Күнәшин пајына дүшәндән 50 дәфә дејил, бундан мин дәфә чох, јә'ни 50000 дәфә бөјүк оларды. Кант вә Лаплас һипотезләри буну изаһ едә билмәзди. Чүнки бу һипотезләрә көрә илкин думанлығын бүтүн күтлә елементләри ејни һүгуглудур, јә'ни һәрәкәт мигдары моментләри бу һипотезләрә әсасән күтләләрә көрә бәрабәр пајланмалы иди. Белә олдугда Күнәшин пајына даһа чох импулс моменти дүшәрди; чүнки Күнәшин күтләси планетләрин һамысынын күтләсиндән 750 дәфә бөјүкдүр.

Күнәш системинин мәншәји вә илк тәкамүлү һаггында мүасир тәсәввүрләр.

Күнәш системинин мәншәји нәзәријјәси ашағыдакы дәлилләри нәзәрдә тутмалыдыр:

1. Плутон (вә аз да олса Меркури) мүстәсна олмагла бүтүн планетләрин орбит мүстәвиләри еклиптикаја, јахуд Күнәш екваторуна чох јахындырлар—чох аз мејиллидирләр.

2. Плутон (вә аз да олса Меркури) мүстәсна олмагла бүтүн планетләрин орбитләри даирәјә чох јахындырлар, мүстәсналыг тәшкил едән планетләр дә дахил олмагла бүтүн планетләр Күнәшин фырланма истигамәтиндә онун әтрафына доланырлар.

3. Венера вә Уран мүстәсна олмагла галан планетләрин өз охлары әтрафында фырланмалары Күнәш әтрафында доланмалары истигамәтдәдир.

4. Нептун вә Плутон мүстәсна олмагла планетләрин Күнәшдән мәсафәләри Титсиус-Боде емпирик гајдасына табедирләр.

5. Планетләрин күтләси Күнәшинкиндән 750 дәфә кичик олса да һәрәкәт мигдары моментинин 98%-и онларын пајына дүшүр.

6. Физики хүсусијјәтләри, кимјәви тәркибләри, күтлә вә өлчүләринә көрә планетләр бир-бириндән кәскин фәргләнән ики група бөлүнүрләр—Јер групу планетләри вә Јупитер групу планетләри, јахуд нәһәнк планетләр.

7. Планет пејкләринин бөјүк әксәријјәти өз планетләринин екваторуна јахын мүстәвиләрдә даирәјә јахын орбитләр үзрә планетин фырланмасы истигамәтиндә доланырлар.

Күнәш системинин мәншәји вә тәкамүлү нәзәријјәси јухарыда көстәрилән хүсусијјәтләри вә үмумијјәтлә бүтөвлүкдә Күнәш системинин хүсусијјәтләринин бүтүн инчәликләрини изаһ етмәлидир. Белә нәзәријјә һәләлик јохдур. Лакин мүәјјән ардычыллыгла баш верә билән елә просесләр мүмкүндүр ки, онлар Күнәш системинин мәншәји вә илк тәкамүлү нәзәријјәсини гурмаг үчүн имканлар ачыр. Бунлар ашағыдакылардыр.

1. H_2, H_2O, OH вә башга молекуллардан вә тоз зәррәчикләриндән ибарәт улдузлараpaсы мадләнин газ-тоз булудларында сыхылмасы. Ола билсин ки, бу сыхылма һәмин думанлығын јахынлығында ифрат јени улдузун партламасы нәтичәсиндә јајылан зәрбә далғаларынын тә'сири илә башланмышдыр. Бурада улдузларла планетләрин мәншәјиндә үмумилик өзүнү бир чох чәһәтдән көстәрир. Белә ки, улдузун әмәлә кәлмәсиндә гравитасија коллапсы әсасдырса, онда бу коллапса сәбәб ола билән һадисә илә бу һадисәдән төрәјән башга чәһәтдә үмумилик олмалыдыр: илкин сыхылмаја сәбәб ифрат јенинин партламасы нәтичәсиндә јајылан зәрбә далғасыдырса, онда бу партлајышын мәһсулундан әмәлә кәлән објектләр дә олмалыдыр; белә објектләр хондрит нөвлү метеорит ола биләр. Доғрудан да, карбонлу хондритин тәркибиндә ^{26}Mg изотопу вардыр (өзү дә артыгламасы илә); бу изотоп исә аз јашајан ^{26}Al изотопунун парчаланмасындан јараныр; ^{26}Al изотопу Каинат објектләри ичәрисиндә анчаг ифрат јени улдузларын алышмасы заманы атылан јүксәк температурлу өртүкдә јарана биләр. Демәли карбонлу хондрит әмәлә кәлән дөврдә Каинатын бу областында (1—10 пс радиуслу сферада) ифрат јенинин партладығыны көзләмәк олар.

Бу партлајышдан јаранан зәрбә далғасы улдузлараpaсы газ-тоз мүһитиндә бөһран сыхлыгдан бөјүк сыхлашма әмәлә кәлмәсинә сәбәб олар вә нәтичәдә гравитасија коллапсы башлајар.

2. Јухарыдакы јолла сыхылан газ-тоз булудларынын улдуз күтләси тәртибдә оланларындан улдузлар вә онларын системләри әмәлә кәлә биләр. Булудлар ајры-ајры һиссәләрә (фрагментләрә) парчалананда бу һиссәләрдән Күнәш вә онун планетләри јарана биләр. Һәр бир фрагмент өзү исә сыхлашма мәркәзинә малик ола биләр вә белә фрагмент планет вә онун пејк системини әмәлә кәтирә биләр.

Бурада нәзәрә алмаг лазымдыр ки, һәр бир белә фрагментин чазибә мәркәзи аккресија мәркәзи олур, онун әтрафында әлавә күтлә топланыр.

3. Мәркәзи сыхлашманын күтләси 0,1 $m_{\odot}$ оланда маддә гејри-шәффаф олур, температур бөјүјүр вә тоз бухарланыр. Бу фрагмент сыхылма башлајандан 10^4—10^5 ил сонра јараныр. Тозлар бухарланыб гуртаран кими һидрокен молекуллары диссосиасија етмәјә башлајырлар. Бу заман чох гыса мүддәтдә (10—100 илдә) мәркәзи сыхлашма күчләнир вә протоулдуз (протокүнәш) јараныр. Протокүнәш әмәлә кәләндән сонра аккресија давам едир, онун күтлә вә радусу бөјүјүр вә 10^5 илдән сонра протокүнәшин күтләси индики күтләјә чатыр, радиусу ~ 100 дәфә индикиндән бөјүк олур. Бундан сонра аккресија дајаныр, гравитасија сыхылмасы башлајыр. Бу просеслә јанашы мәркәзиндә протокүнәш олан дискә бәнзәр газ-тоз думанлығы да јараныр; бу, протопланет думанлығыдыр. Ола билсин ки, протопланет диски фырланма дајаныгсызлығы нәтичәсиндә протокүнәшлә ејни заманда јараныр; лакин протопланет думанлығында аккресија узун мүддәт давам едир. Мүхтәлиф аккресија нәзәријјәләринә көрә протопланет думанлығынын максимум күтләси (0,01÷2) $m_{\odot}$ арасында олур. Ола билсин ки, диск шәкилиндә олан протопланет думанлығы һалгавары гурулуш алсын. Протодуманлығын харичи һиссәсиндә нәһәнк планетләр формалашыр —јаранмаға башлајыр. Бу јаранма јолу да протокүнәшинки кими олур: һәр бир нәһәнк протопланетин әтрафында диск јараныр вә бу дискдән дә сонрадан пејкләр әмәлә кәлир. Протоулдуз әмәлә кәләркән бухарланан газ сонра јенидән протопланет дискләринә кери төкүлүр вә јенидән бәрк фаза һалына кечир. Буна конденсасија просеси дејилир. Бу просес нәтичәсиндә ади хондритләр (метеорит нөвләри) вә онларын ајры-ајры һиссәләри јараныр.

Бәс нә үчүн һәрәкәт мигдары моментинин 98%-и планетләрин пајына дүшүр? Мүасир моделләрдә гәбул едилир ки, протопланет думанлығында газ гисмән ионлашма һалында олур вә протокүнәш күчлү магнит саһәсинә маликдир. Плазма илә магнит саһәсинин гаршылыглы тә'сириндән һәрәкәт мигдары моментини протокүнәшдән протопланет думанлығына көчүрән газ ахынлары јараныр.

4. Нөвбәти тәкамүл дөврү 10^8 ил давам едир. Протокүнәшин (протоулдузун) гравитасија сыхылмасы давам едир. Бу просесин башланғычы дөврүндә протоулдуз Т. Буға типли гејри-стасионар улдузлар мәрһәләсиндә олур. Протоулдузун (протокүнәшин) өлчүләри тәдричән кичилир вә индики өлчүјә чатыр. Күчлү улдуз күләкләри протопланет думанлығынын дахили гатларындан газ вә тозу кәнара үфүрүр, протопланет думанлығынын кәнар һиссәләриндә нәһәнк планетләрин формалашмасы давам едир.

Протопланет думанлығынын тоз маддәси мүәјјән аралыг мүстәвидә конденсасија олур, тоз һиссәчикләри мүһит сыхлашдыгча даһа тез-тез тоггушараг ири зәррәчикләр јарадыр, бәрк чисимләрин аккумулјасијасы (топланмасы) давам едир. Бу јолла јаранан астероидләрә бәнзәр гәлпәләр кәләчәк бөјүк планетләрин рүшејмләри олур. Нәһајәт бир нечә бөјүк бәрк чисим гәлпәләри әмәлә кәлир вә бунлар кәләчәк јер групуна дахил олан протопланетләрә чеврилирләр. Бунлар тоггушма нәтичәсиндә һәм бирләшир, һәм дә әксәр һалда дағылырлар. Белә дағылма мүхтәлиф күтләли метеорларын јаранмасына сәбәб олур.

Јер 10^8 ил вә ја даһа кичик (10^5 ил) вахт әрзиндә формалашараг индики һала чатмышдыр. Венера ола билсин ки, даһа сүр'әтлә формалашмышдыр. Аккресија дөврү, јер типли планетләрин әмәлә кәлмә просесиндә ән тәлатүмлү дөвр олуб; планет сәтһинә аккресија едән ири күтләли чисимләр нәһәнк кратерләр әмәлә кәтирмиш, планетин сәтһиндән бөјүк күтләли маддә әтраф фәзаја атылмыш, бир сөзлә планетин сәтһи даим бөјүк дәјишикликләрә мә'руз галмышдыр. Бу просес протопланет јаранандан сонра јарыммилјард ил давам етмишдир. Бир мүлаһизәјә көрә әввәлчә ағыр вә кеч әријән елементләр (мәсәлән, дәмир) аккресија етмиш, сонра исә силикат мантија јаранмышдыр.

Јер групу планетләринин мәншәјинә аид јухарыдакы тәсвир јеканә дејил. Башга бир мүлаһизәјә көрә бу планетләрин илкини ири протопланетләр олублар, сонра һәмин чисимләр Күнәшин сарсыдычы тә'сириндән газ өртүкләрини итирмишләр. Нәһәнк планетләрә кәлинчә онларын да протопланетләри чох нәһәнк олуб; лакин бу протопланетләрин бәрк маддәсинин хејли һиссәсинин Күнәш системиндән кәнара атылдығы күман олунур.

Планетләрин өз охлары әтрафында фырланма истигамәтләри вә сүр'әтләри статистик јолла тә'јин едилир. Протопланет үзәринә дүшән ән ири чисмин күтләсинә әсасән кәләчәк планетин фырланма охунун орбит мүстәвисинә мејлини тапмаг олур. Мәсәлән, Јер үчүн бу чисмин күтләси 0,001 јер күтләсинә бәрабәр олмалыдыр. Уранын фырланма охунун орбит мүстәвиси илә 98° бучаг әмәлә кәтирмәси Јупитер вә Сатурнун бу планетә тә'сиринин нәтичәсидир. Белә ки, бу планетләрин протопланет мәрһәләсинин илк дөврләриндә һәмин протопланетләрин күтләси (2—3) јер күтләсинә чатанда даһа кичик протопланетләрин һәрәкәтини сарсытмышлар вә бу кичик протопланетләрин хејли гисми бөјүк сүр'әт алараг Күнәш системини тәрк етмишләр; протоуран тәсадүфән бунлардан бири илә тоггушмуш вә нәтичәдә тәрсинә фырланмаға башламышдыр. Уранын сәтһинә дүшән ән бөјүк чисмин күтләси 0,07 планет күтләсинә бәрабәр олмушдур.

Нәһәнк планетләрин протопланетләри нәинки Марсла Јупитер арасында бөјүк планет әмәлә кәлмәсинә мане олмушлар, онлар һәмчинин Уранын нисбәтән кичик күтләјә малик олмасына да сәбәб олмушлар.

Ајры-ајры парчаларын Јерә дүшмәси вә Јерин сыхылмасы планетин нүвәсинин сыхылмасына кәтириб чыхармышдыр. Бундан сонра радиоактив парчаланма нәтичәсиндә планетин дахили гатларынын гызмасы күчләнмишдир. Бу јолла истилик ајрылмасы ағыр елементләрин ашағы кечмәсинә сәбәб олмуш, фаза кечидләри баш вермишдир. Бу просес тәгрибән бир милјард ил давам етмишдир. Протојерин илк дөврләриндә, о, һәр биринин радиусу 100 км олан кичик пејкләрлә әһатә олунмушдур. Сонра протојердән 10 јер радиусу гәдәр мәсафәдә һәмин пејкләрдән Ај әмәлә кәлмишдир. Даһа сонра исә габарма гүввәсинин тә'сири илә Ај тәдричән Јердән узаглашмыш, Јерин фырланма сүр'әти исә кичилмишдир. Бу просесләр чох јаваш да олса инди дә давам едир.

Планет системинин мәншәји һаггында индики мүлаһизәләрә әсасән әлдә едилән әсас нәтичәләрдән бири дә ондан ибарәтдир ки, Га-

лактикада планет системи олан хејли улдуз олмалыдыр. Онда белә суал мејдана чыхыр: башга планет системләриндә чанлы варлыг, о чүмләдән шүурлу варлыг вармы вә о чохму јајылмышдыр? Күман етмәк олар ки, белә варлыг вардыр вә чох јајылмышдыр. Әлбәттә јалныз күман етмәк олар. Һәгигәтдә белә олмаја да биләр. Бу чох марағлы суала чаваб вермәк үчүн һал-һазырда кениш елми ахтарышлар апарылыр вә *проблем Јердәнкәнар сивилизасијанын ахтарышы* адланыр.

XIV ФӘСИЛ

КОСМОЛОКИЈАНЫН ЕЛЕМЕНТЛӘРИ

§ 153. КОСМОЛОКИЈАНЫН МӘШҒУЛ ОЛДУҒУ МӘСӘЛӘЛӘР ВӘ ӘСАС ПРИНСИПЛӘРИ

Космолокијада Каинатын гурулушу, онун ваһид бир објект кими физикасы, мәншәји, тәкамүлү вә бүтөвлүкдә инкишафынын ганунаујғунлуглары өјрәнилир. Космолокијада Каинат дедикдә Метагалактика, даһа кениш мә'нада исә мүшаһидәләр вә онларын үмумиләшдирилмәләри әсасында астрономија елминин өјрәндији Каинат нәзәрдә тутулур. Бу каинат *Астрономик Каинат* адланыр. Беләликлә *космолокијада Астрономик Каинат өјрәнилир.*

Космолокија проблемләринин һәллиндә астрофизика, улдузлар астрономијасы, о чүмләдән әлбәттә, галактикаданкәнар астрономија мүшаһидә вә тәдгигатларынын нәтичәләриндән кениш истифадә олунур. Астрономик мүшаһидәләр космолокијанын әсасыны тәшкил едир. Космолокијанын нәзәри әсасларыны исә физиканын үмуми ганунлары тәшкил едир. Бу ганунлар, нисбилик нәзәријјәсиндән чыхан ганунлар, атом вә нүвә физикасы, елементар зәррәчикләр физикасы, електродинамика, плазма физикасынын мүхтәлиф саһәләрини әһатә едән ганунлардыр.

Космолокијада ән чәтин чәһәт орасыдыр ки, һазырда Астрономик Каинат һесаб едилән Метагалактика онун ајры-ајры һиссәләринин садәчә синтези дејилдир.

Биз һәләлик Метагалактиканын ајры-ајры објектләри һаггында билдикләримизи бүтөв Метагалактикаја, һәтта даһа кениш Каината екстраполјасија едирик вә фәрз етмәли олуруг ки, фундаментал физика ганунлары бүтөв Каината да тәтбиг едилә биләр.

Космолокијанын истинад етдији әсас мүшаһидә дәлилләри ашағыдакылардыр:

Метагалактикада галактика топалары вә ифрат топалар еләпајланмышлар ки, Метагалактиканын ајры-ајры фәза һиссәләриндә орта сыхлыг ејнидир вә бу фәза һиссәләринин һәр биринин өлчүсү Метагалактикадан чох-чох кичик. мәһәлли (локал) гејри-бирчинс областларын өлчүләриндән исә чох-чох бөјүкдүр (50—100 Мпс-лә өлчүлүр-

ләр). Мәһәлли гејри-бирчинсликләр улдузлар вә онларын системләри илә әлагәдардыр. Мәсәлән, биз билирик ки, һәр бир галактикада, галактиканын кичик бир һиссәси олан улдуз топаларында улдузлар гејри-бәрабәр пајланыблар. Галактикаларын вә һәтта онларын топаларынын да гејри-бирчинс олдуғуну билирик.

Метагалактиканын бирчинс олмасы көстәрир ки, Каинат фәзасында һәр јердә маддәнин сыхлығы ејнидир. Изотроплуг исә көстәрир ки, Каинат фәзасынын физики хүсусијјәтләри бүтүн истигамәтләрдә ејнидир.

Каинатын изотроплуғуну сүбут едән ики нөв мүшаһидә дәлили вардыр:

1) Һабл көстәрмишдир ки, Зееликер теореми ($\frac{N(m+n)}{N(m)} \simeq 4^n$) бүтүн истигамәтләрдә доғрудур; 2) галактикаларын узаглашмасы бүтүн истигамәтләрдә ејни ганунa табедир.

Беләликлә космолокијада Каинат кенишләнән һесаб едилир. Бу исә Каинатын *гејри-стасионар* олдуғуну көстәрир.

Каинатын бирчинс вә изотроп олмасы фәрзијјәси космоложи принсип адланыр.

Каинатын гејри-стасионар олмасы фикринә кәләнәдәк космолокијада бөјүк чәтинлик вар иди. Бу чәтинлик ики парадоксла (анлашылмазлыгла) әлагәдар иди. Бунлар фотометрик вә гравитасија парадокслары ады илә мәшһурдурлар. Бу парадокслар Ејнштејнин үмуми нисбилик нәзәријјәси вә ја релјативист гравитасија нәзәријјәси илә арадан галхыр. Һәмин парадоксларла таныш олаг.

Фотометрик парадокс Исвечрәдә 1744-чү илдә Шезо, чох сонралар—1826-чы илдә исә Алманијада Олберс тәрәфиндән үмумиләшдирилмиш шәкилдә ирәли сүрүлмүшдүр. Шезо—Олберс парадоксунун маһијјәти беләдир: Әкәр сонсуз фәза улдузларла бәрабәр долмушса, онда истәнилән истигамәтдә јөнәлмиш бахыш шүасы кеч-тез мүәјјән бир улдуздан кечмәлидир. Објектин интенсивлији (парлаглығы) она гәдәр мәсафәдән асылы олмадығындан көј бүтүн истигамәтләрдә Күнәш диски кими парлаг објектләрлә там өртүлмүш кими ишыгланарды. Әслиндә исә бүтүн Каинат фәзасы—Метагалактика гаранлыгдыр. Бу нәдән ирәли кәлир? Улдузлараpасы мүһитдә шүаланманын удулмасы да фотометрик парадоксу изаһ едә билмир, чүнки удулан шүалар кеч-тез јенидән шүаланмалыдыр. Лакин әкәр објектләр (галактикалар) бир-бириндән узаглашырса, онда гырмызы сүрүшмә нәтичәсиндә онларын мүшаһидә олунан енержиләри кичилмәли вә беләликлә зәифләмәлидир вә һәтта оптик шүаларда онлар көрүнмәз олмалыдырлар. Ајдындыр ки, онда фотометрик парадокс да олмаз.

Гравитасија парадоксу Алманијада XIX әсрдә Нејман вә Зееликер тәрәфиндән сөјләнмишдир: маддә илә бәрабәр долдурулмуш сонсуз Каинатын ихтијари нөгтәсиндә, Нјутонун үмумдүнја чазибә ганунуна әсасән, гравитасија гүввәсини биргијмәтли һесабламаг олмаз. Доғрудан да, әкәр нүмунә күтләсинин јерләшдији нөгтә консентрик гатлардан ибарәт сферанын мәркәзиндә оларса, бу сферанын күтләсинин нүмунә күтләсинин чазибә гүввәси сыфыр олар; әкәр нүмунә күтләси олан нөгтә консентрик гатлардан ибарәт сферанын мәркәзиндән r мәсафәдә

јерләшәрсә, бу сферанын күтләсинин нүмунә күтләсини чазибә гүввәси, r радиуслу күрәнин онун сәтһиндәки нүмунә күтләсини чәзб етмә гүввәси илә тә'јин олунар. Бу гејри-биргијмәтлилик гравитасија парадоксу адландырылмышдыр. Бу парадокс онунла әлагәдардыр ки, Нјутонун гравитасија нәзәријјәсини бүтөвлүкдә Каината, һәмчинин Метагалактикаја тәтбиг етмәк олмаз. Чүнки Нјутон гравитасија нәзәријјәсиндә чазибә гүввәсинин Евклид фәзасында ани јајылдығы гәбул едилир (әјрилији сыфыр олан фәза Евклид фәзасыдыр). Сонсуз Каинат фәзасында исә нәһәнк күтләләр пајландығындан Ејнштејнин үмуми нисбилик нәзәријјәсинә көрә фәза әјилир—Евклид фәзасындан кәнара чыхыр (ашағыја, § 154-ә бах); дикәр тәрәфдән исә чох узаг галактикалар ишыг сүр'әтинә јахын сүр'әтлә бир-бириндән узаглашырлар. Бурадан ајдын олур ки, бөјүк мигјаслы мәсафәләрдә гравитасија гаршылыглы тә'сирини өјрәнмәк үчүн Нјутонун гравитасија нәзәријјәсинә дејил, Ејнштејнин үмуми нисбилик нәзәријјәсинә-релјативист гравитасија нәзәријјәсинә истинад етмәк лазымдыр. Бу һалда Нјутон механикасынын мәһдудлуғундан доған гравитасија парадоксу өз маһијјәтини итирир.

Ејнштејн тәрәфиндән 1916-чы илдә верилмиш үмуми нисбилик нәзәријјәси онун 1905-чи илдә ирәли сүрдүјү хүсуси нисбилик нәзәријјәсинин үмумиләшдирилмәсидир. Хүсуси нисбилик нәзәријјәсиндә јалныз инерсиал һесаблама системләри нәзәрдә тутулур; мәсәлән, хүсуси нисбилик нәзәријјәсиндә Доплер гырмызы сүрүшмәсинә, һәрәкәт едән һесаблама системиндә вахтын ләнкимәсинин нәтичәси кими бахылыр; үмуми нисбилик нәзәријјәсиндә исә бу хүсуси нәзәријјә үмумиләшдириләрәк ораја тә'чилли һәрәкәт, чазибә (гравитасија) вә эталәт (инерсија) дахил едилир; мәсәлән, үмуми нисбилик нәзәријјәсинә көрә күтләси кифајәт гәдәр бөјүк олан чисмин әтрафында фәза Евклид фәзасы олмур, о, әјилир.

Ејнштејнин нисбилик нәзәријјәси космолокијада јени мәрһәлә олду. Статик Каинат үчүн әсас космоложи тәнликләр Ејнштејн тәрәфиндән алынмыш вә һәлл едилмишдир. Сонра—1922-чи илдә мәшһур рус ријазијјатчысы А. А. Фридман мәсәләни даһа үмуми шәкилдә Каинатын статик олмадығыны әсас гәбул етмәклә һәлл етмишдир. Даһа сонралар мә'лум олду ки, бә'зи мүһүм космоложи нәтичәләри Нјутон тәнликләриндән дә алмаг олар. Әлбәттә космолокија проблемләринин там һәлли јалныз Ејнштејнин үмуми нисбилик нәзәријјәси васитәсилә мүмкүндүр.

§ 154. НЈУТОНУН ГРАВИТАСИЈА НӘЗӘРИЈЈӘСИНӘ ӘСАСЛАНАН БИРЧИНС ИЗОТРОП КАИНАТ МОДЕЛИ. РЕЛЈАТИВИСТ КОСМОЛОКИЈА.

Мүрәккәб просесләрлә зәнкин олан тәбиәт објектләрини өјрәнмәјин еффектив үсулларындан бири моделләшдирмәдир. Објектин моделләшдирилмәси о демәкдир ки, һәмин објект һаггында мүшаһидәдән (јахуд тәчрүбәдән) алынан мә'луматлара әсасән, јахуд гәбул едилән-

ләрә көрә бу објектә аид галан параметрләр вә онларын заман вә мәканда дәјишмәси ријази һесабланыр вә нәзәри физиканын көмәји илә изаһ олунур. Бундан сонра алынан нәтичәләр мүшаһидәләрлә тутушдурулур.

Бирчинс вә изотроп Каинат моделинә бахаг. Үмуми нисбилик нәзәријјәси чәрчивәсиндә бирчинс вә изотроп Каинат моделинә илк дәфә А. А. Фридман бахмышдыр. О көстәрмишдир ки, белә Каинат гејри-стасионар олмалыдыр. Беләликлә о, галактикаларын бир-бириндән ушаглашмасыны сүбут едән мүшаһидәләри нәзәри олараг әсасландырмышдыр.

Әввәлчә бу моделә Нјутонун гравитасија нәзәријјәси чәрчивәсиндә бахаг. Нјутон нәзәријјәсинә әсасланмаг үчүн күтлә сонлу олмалыдыр. Одур ки, Каинатын сонлу күтлә һиссәсинә бахаг. Мүшаһидәләрә әсасән иддиа едирик ки, бу һиссә гејри-стасионардыр—галактикалар бир-бириндән узаглашырлар. Үмуми шәкилдә һесаб едирик ки, бахылан Каинат һиссәсиндә ону тәшкил едән елементләрин гравитасија чазибәси нәтичәсиндә һәмин һиссә сыхылмалы, јахуд, бу һиссәнин күтләси кифајәт гәдәр кинетик енержи еһтијатына маликдирсә, кенишләнмәлидир; кенишләнмә гравитасија гүввәләринин тә'сири илә заман кечдикчә тормозланмалыдыр.

Фридман моделинә көрә t анында Каинатын истәнилән ики објекти арасындакы мәсафә $r(t)=r_0k(t)$ васитәсилә ифадә олуна биләр; бурада r_0—башланғыч анда (t—t_0 вахт фасиләсинин башланғычында) һәмин ики објект арасындакы мәсафә, $R(t)$ исә *мигјас факторудур*. Јухарыдакы мүнасибәтин доғру олдуғуну көстәрмәк үчүн мигјас факторунун замандан асылылығынын Каинатын кенишләнмәсини сәчијјәләндирдијини көстәрмәк кифајәтдир. Доғрудан да, бирчинслик вә изотроплуға әсасән r радиуслу сферанын бүтүн нөгтәләри мәркәздән ејни сүр'әтлә узаглашмалы олдуғундан, бу сферанын радиусу заман t-дән асылы олан мигјас фактору R функсијасы илә мүтәнасиб бөјүмәлидир:

$$r(t)=r_0R(t). \tag{14.1}$$

Мәсафәнин дәјишмә сүр'әти Һабл ганунуна әсасән

$$v(t)=\frac{1}{R}\frac{dR}{dt}r(t)=H(t)r(t) \tag{14.2}$$

мүнасибәтиндән тапылыр; бурада

$$H(t)=\frac{1}{R}\frac{dR}{dt} \tag{14.3}$$

Һабл сабитидир.

H=0 оланда кенишләнмә јохдур. Буна статик модел дејилир. Лакин статик модел дајанығсыздыр. Чүнки башга гүввәләр јохдурса мәхсуси

гравитасија саһәсиндә күтлә ја кенишләнмәли (кинетик енержи еһтијаты потенсиал енержидән бөјүк оланда), ја да сыхылмалыдыр (потенсиал енержи кинетик енержи еһтијатындан бөјүк оланда).
Һабл сабитинин гијмәти

$$H = 50 \frac{\text{км}}{\text{сан} \cdot \text{М пс}} \qquad (14.4)$$

олсун. r радиуслу сферанын m күтләси сферанын һәр бир нөгтәсиндә бәрабәр пајланмышдырса, бу сферанын ρ сыхлығы илә r вә m арасында

$$m = \frac{4}{3} \pi \rho r^3 \qquad (14.5)$$

әлагәси вардыр. Бу сферанын сәрһәддиндә (сәтһиндә) ваһид күтләјә ујғун кәлән кинетик енержи

$\frac{V^2}{2}$ вә потенсиал енержи $-G\frac{m}{r}$ олдуғундан, енержинин сахланмасы ганунуна әсасән бу ики енержинин **чәми** сабит олмалыдыр:

$$\frac{1}{2} V^2 + \left(-G\frac{m}{r}\right) = E_{\text{там}} \qquad (14.6)$$

Там енержи **E** $>$ 0 оларса, **кенишләнмә сүр'әти r-ин һеч бир гијмәтиндә** сыфыр ола билмәз, јә'ни кенишләнмә гејри-мәһдуд давам етмәлидир. Бу һалда мигјас фактору R(t) даим артыр. Әксинә там енержи $E<0$ оларса, кенишләнмәнин сүр'әти заман кечдикчә азалмалы вә нәһајәт сыфыр олмалыдыр вә бундан сонра кенишләнмә сыхылма илә әвәз олунмалыдыр. $V=0$ олан анда $R(t)$ ән бөјүк гијмәтә чатыр, сонра о азалан функсијаја чеврилир. Бу ики кәнар һаллар арасында $E_{\text{там}} = 0$ олур вә бу һалда кенишләнмә гејри-мәһдуд давам едир, лакин кенишләнмә сүр'әти сыфра јахынлашыр; (14.6)-дан көрүрүк ки, бу һалда кенишләнмә сүр'әти

$$V = \sqrt{\frac{2Gm}{r}} \qquad (14.7)$$

олур ки, бу да $V = V_п$ параболик сүр'әтдир.

(14.7) дүстурунда (14.2) Һабл ганунуну вә (14.5)-и нәзәрә алсаг, ρ сыхлығы үчүн

$$\rho = \rho_0 = \frac{3H^2}{8\pi G} \qquad (14.8)$$

Бу, бөһран сыхлыгдыр; бу сыхлыг там енержинин $E_{\text{там}} = 0$ һалына ујғундур. (14.8)-дән көрүрүк ки, бөһран сыхлығы r радиусундан асылы дејилдир.

Бу о демәкдир ки, алынан нәтичә истәнилән бөјүк радиус вә бөјүк мигјас үчүн доғрудур. Бөһран сыхлығы реал сыхлыгла мүгајисә едәрәк Каинатын гејри-стасионарлыг хүсусијјәти мүәјјәнләшдирилир:

1) әкәр $\rho > \rho_0$ оларса, Каинатын кенишләнмәси мүәјјән вахтдан сонра сыхылма илә әвәз олунмалыдыр. Бу һалда фәзанын һәндәси хүсусијјәтләри сферик һәндәсә илә, јә'ни мүсбәт әјрилијә малик фәза һәндәсәси илә тә'јин олунур. Бу модел *гапалы Каинат модели* адланыр;

2) $\rho = \rho_0$ оларса Каинатын кенишләнмәси гејри-мәһдуд давам етмәлидир. Бу һалда фәзанын әјрилији сыфра бәрабәрдир; билирик ки, әјрилији сыфыр олан фәза Евклид фәзасы адланыр; беләликлә $\rho = \rho_0$ оланда фәза Евклид һәндәсәси илә тә'јин олунур;

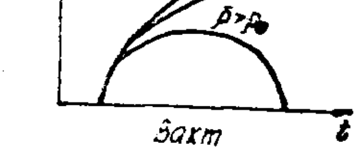
3) $\rho < \rho_0$ оларса Каинатын кенишләнмәси замана көрә гејри-мәһдуддур. Бу һалда фәзанын әјрилији мәнфи олур; әјрилији мәнфи олан фәза Лобачевски фәзасы адланыр; беләликлә $\rho < \rho_0$ оланда фәза Лобачевски һәндәсәси илә тә'јин олунур.

$\rho \leqslant \rho_0$ һалына ујғун модел *ачыг Каинат модели* адланыр.

Космоложи моделин јухарыдакы үч нөвү 177-чи шәкилдә тәсвир олунмушдур.

Һабл сабитинин һазырда гәбул олунмуш (14.2) гијмәтиндә (14.8)-ә әсасән $\rho_0 = 5\cdot10^{-31}$ г/см^3 олур.

Метагалактикадакы галактикаларын сајыны 10^{11}, бу галактикаларын һәр биринин орта күтләсини бизим Галактиканынкына бәрабәр һесаб етсәк, өлчүсү 6000 Мпс олан Метагалактиканын орта сыхлығы үчүн $\rho \simeq 5\cdot10^{-31}$ г/см^3 аларыг. Метагалактиканын бу орта сыхлығынын ρ_0 бөһран сыхлығы илә мүгајисәсиндән көрүрүк ки, $\rho < \rho_0$, јә'ни Каинатын модели мәнфи әјрилији олан фәза һәндәсәси илә тәсвир олунур вә онун мүшаһидә олунан кенишләнмәси гејри-мәһдуд характер дашыјыр.



Шәкил 177. Космоложи моделин үч нөвү

Лакин Каинатда сыхлығы тә'јин едәркән мүшаһидә олунан—шүаландыран күтлә нәзәрә алынмышдыр. Һазырда күман едилир ки, Каинатда мүшаһидә олунмајан (кизли) күтләләр дә вардыр. Бунлар чох кичик ишыглыға малик кичик күтләли улдузлар вә нејтринодур (әлбәттә нејтрионун сүкунәт күтләсинә малик олдуғуну гәбул едириксә). Әкәр нејтрионун сүкунәт күтләсинә малик олмасы гәти сүбут едиләрсә, бу һесаба Каинатын күтләси он дәфәләрлә бөјүмәлидир.

Каинатда күлли мигдарда нејтрино вардыр (бунлар Каинатын илк кенишләнмә дөврүндә әмәлә кәлмишләр). Белә ки, һәр протона милјард дәнә нејтрино дүшүр, она көрә дә нејтринонун сүкунәт күтләси лап електронункундан да чох кичик олса белә нејтрино һесабына Каинатын үмуми күтләси 30 дәфә бөјүк алынар. Беләдирсә, онда $\rho > \rho_0$ ол-

малыдыр, јә'ни Каинат фәзасы мүсбәт әјрилијә малик олмалы, онун кенишләнмәси мүәјјән вахтдан сонра сыхылма илә әвәз олунмалыдыр.

Орта сыхлығын гијмәтинин дәгиглијиндән асылы олмајараг бирчинс вә изотроп Каинат моделләри $R=0$ һалына ујғун t_0 анында *сонсуз сыхлыг* илә сәчијјәләнир. Каинат маддәсинин бу һалы *сингулјар һал* адланыр. Евклид фәзасында $t_0 \simeq \frac{2}{3H} \simeq 13$ милјард илдир. Бә'зән t_0 -а *Каинатын јашы* да дејилир. t_0 елә бир вахт интервалыдыр ки, бу интервалын башланғычындан әввәлки дөврә физика ганунларыны екстраполјасија етмәк олмаз. Мәсәлән, бу дөврдә Каинатын сыхлығы гәдәр бөјүк олмушдур ки, Каинатын бу илкин һалына Ејнштејнин үмуми нисбилик нәзәријјәсини тәтбиг етмәк олмаз; јә'ни бу нәзәријјәјә әсасән о дөврдә кенишләнмәнин характери, мүддәти вә маддәсинин һалы һаггында һеч нә демәк олмаз.

Бу параграфда таныш олдугларымыза әсасән дејә биләрик ки, классик физика Каинатын мүһүм хүсусијјәтләрини, јә'ни гејри-стасионарлығыны, кенишләнмә вә ја сыхылма характерини, бөһран сыхлығын гијмәтини, кенишләнмә мүддәтини (Каинатын «јашыны») тә'јин етмәјә имкан верир.

Бүтүн бунлара бахмајараг, Метагалактиканын күтләси чох бөјүк олдуғундан вә узаг галактикаларын узаглашма сүр'әтләри ишығын сүр'әтинә јахын олдуғундан космолокија мәсәләләри үмуми нисбилик нәзәријјәсинә-релјативист гравитасија нәзәријјәсинә әсасән өјрәнилир.

Биз ρ илә ρ_0 арасындакы мүнасибәтә әсасән Каинат фәзасынын һәндәсәси вә Каинат моделләри һаггында бәһс етдикдә әслиндә релјативист космолокијанын нәтичәләриндән истифадә етдик. Доғрудан да, ρ илә ρ_0 арасындакы мүнасибәтин Каинат һәндәсәсинә тә'сири үмуми нисбилик нәзәријјәсиндән чыхан нәтичәдир. Бу нәзәријјәјә көрә кифајәт гәдәр бөјүк күтлә, мәкан—заман хүсусијјәтләринә тә'сир етмәлидир (нисбилик нәзәријјәсиндә дөрдөлчүлү координат системиндән истифадә олунур, бу, мәкан — заман демәкдир). Бу һалда вәрдиш етдијимиз Евклид фәзасынын хүсусијјәтләри дәјишир—бөјүк күтлә јахынлығында фәза тәһриф олур. Мәсәлән, Күнәшин лап јахынлығында онун гравитасија тә'сири илә фәза әјилмәли вә бу фәзадан кечән шүаларын истигамәтләри $\sim 2''$ гәдәр дәјишмәлидир. Бу һадисә Күнәшә чох јахын истигамәтдә јерләшән улдузларын көрүнән вәзијјәтләрини чох азачыг дәјишдирмәлидир. Бу чүр дәјишмә там күнәш тутулмалары заманы ашкар едилмишдир.

Галактикаларын, онларын топаларынын фәзаја гравитасија тә'сирләри даһа күчлү олмалыдыр, бу тә'сир исә өз нөвбәсиндә Каинатын үмуми тәкамүлүнә тә'сир етмәлидир.

§ 155. «ГАЈНАР КАИНАТ» МОДЕЛИ

Електромагнит шүаланмасынын мүхтәлиф диапазонларында апарылан астрономик мүшаһидәләрдән мә'лум олмушдур ки, елә шүаланма мәнбәләри вардыр ки, онлары ајырд етмәк, јә'ни һансы конкрет

објектә аид олдуғуну мүәјјән етмәк чәтиндир. Мараглы чәһәт орасыдыр ки, белә шүаланма бүтүн истигамәтләрдә мөвчуддур, јә'ни бу шүаланма санки бүтүн көјү бүрүјүр. Бу шүаланма *галактикаданкәнар шүаланма фону* адланыр. Һәмин фонун хүсусијјәтләринә әсасән онун һансы ајырд едилә билмәјән објектләрә (мәсәлән, рентген мәнбәјинә, јенинин галығына вә с.) аид олдуғуну билмәк олур. Лакин елә галактикаданкәнар шүаланма фону да вар ки, ону һеч бир таныш космик објект шүаланмасына бәнзәтмәк олмур. Бу шүаланма 60 см илә 0,6 мм диапазонда гејдә алыныр. Бу шүаланманын әсас хүсусијјәти ондан ибарәтдир ки, онун спектриндә енержинин пајланмасы, температуру 2,7 К олан мүтләг гара чисмин шүаланма спектриндәки пајланмаја ујғундур. Бу шүаланманын енержи сыхлығы $4\cdot10^{-13}$ ерг/см^3-дур, максимуму исә $\lambda_{max}=\frac{0.29}{T}\simeq 1,1$ мм-ә ујғундур. Мәһз бу шүаланманы һеч бир објектә аид етмәк олмур о, чидди изотропдур. Демәли бу шүаланма бүтөв Каината аиддир. Јә'ни һесаб едилир ки, бу шүаланма вахты илә чох сых вә гејри-шәффаф олан Каинат шүаланмасынын галығыдыр. Одур ки, бу шүаланма реликтив (галыг) шүаланма адланыр. Реликтив квантларын индики енержиси вә һәмчинин Каинатын индики орта сыхлығы чох кичикдир. Одур ки, бу шүаланманын квантлары илә Каинат маддәси арасында гаршылыглы тә'сир чох зәифдир вә Каинат бу шүалара чох шәффафдыр. Һесабламалар көстәрир ки, сыхлыг 10^{-21} г/см^3-а гәдәр азаландан сонра Каинат шәффаф олмушдур. Бу сыхлыг исә Каинатын индики орта сыхлығындан 10^9 дәфә бөјүкдүр. Сыхлыг һәчмлә, јә'ни хәтти өлчүнүн кубу илә тәрс мүтәнасиб дәјишдијиндән, Каинатын гејри-шәффафлығы епохасынын сонунда онун бүтүн өлчүләри индикиндән $\sim (10^9)^{\frac{1}{3}}= 10^3$ дәфә кичик олмушдур (бурада гәбул едирик ки, Каинат онда да индики кими кенишләнирмиш). Буну нәзәрә алсаг дејә биләрик ки, о вахтлар електромагнит шүаланмасынын ујғун далға узунлуглары да индикиндән 1000 дәфә кичик олмушдур. Бу о демәкдир ки, о вахтлар Каинатын максимум шүаланмасына ујғун далға узунлуғу $\lambda_{max}=\frac{1мм}{1000}=1$ мкм олмушдур. Белә шүаланма исә мүтләг гара чисмин $T=\frac{2900}{1}\simeq 3000$ К температурда шүаланмасына ујғундур.Беләликлә , Каинатын индики вә гејри-шәффафлыг епохасынын сонундакы орта сыхлығынын мүгајисәсиндән вә бунун әсасында онун реликтив шүаланмасынын максимумуна ујғун далға узунлугларынын гијмәтләриндән көрүрүк ки, Каинат кечмишдә нәинки чох сых, һәм дә чох исти олмушдур. *«Гајнар Каинат»* анлајышы да белә јараныб.

Бәс Каинатын лап әввәли нечә олмушдур? Ајдындыр ки, Каинатын сыхлығы $>10^{-21}$ г/см^3 оланда о, даһа исти олмушдур. Бу узаг кечмишдән електромагнит шүаланмасынын һеч бир изи галмајыб, чүнки Каинат о дөврдә һәмин шүалара там гејри-шәффаф олуб. Лакин нејтрино селинин изи галмалыдыр. Анчаг, узаг кечмишин нејтрино селини техники чәһәтдән мүшаһидә етмәк имканы һәлә јохдур. Чүнки

реликтив нејтринолар Каинаты тәрк едә билмишләр (онун сыхлығы $\leqslant 10^7$ г/см^3 оландан сонра); о вахтдан кечән мүддәтдә реликтив нејтрино Каинат маддәси илә һеч бир гаршылыглы әлагәдә олмамышдыр; дикәр тәрәфдән исә реликтив шүаланма кими реликтив нејтрино да кенишләнмә нәтичәсиндә космоложи гырмызы сүрүшмәјә мә'руз галыб. Реликтив нејтрионларын һәр биринин енержиси $<10^{-4}$ електрон-Волтдур ки, бу кичик енержијә малик нејтринолар селини мүшаһидә етмәк, јухарыда гејд етдијимиз кими һәләки техники чәһәтдән мүмкүн дејилдир.

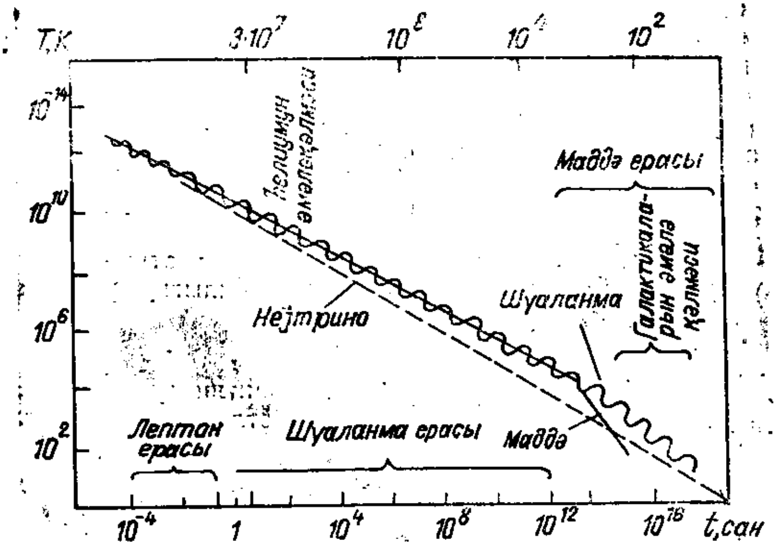
Кенишләнән Каинат нәзәријјәсинә көрә температур (T) вә сыхлығын (ρ) санијәләрлә верилән заман t-дән асылылығы

$$T \simeq \frac{1{,}2\cdot 10^{10}}{\sqrt{t}} K, \quad \rho = \frac{4{,}5\cdot 10^{5}}{t^2} \text{ г/см}^3 \qquad (14.9)$$

дүстурлары илә ифадә олунур. Физики шәраитин керијә, јә'ни $t=0$ анына садә, јә'ни индики фәза-заман хүсусијјәтләрини сахламагла екстраполјасијасы көстәрир ки, $t=10^{-6}$ сан оланда Каинатын сыхлығы атом нүвәсиндәкиндән бөјүк олмушдур, јә'ни $\rho > 10^{14}$ г/см^3 олмушдур. Әлбәттә белә екстраполјасија дәгиг олмаја да билэр, чүнки о вахт үчүн мүһитин фәза-заман хүсусијјәтләри бизә мә'лум дејилдир. Башга сөзлә, сингулјар Каинат вә онун кенишләнмәјә башладығы илк анлар һаггында дәгиг мә'лумат јохдур. Јери кәлмишкән гејд едәк ки, сингулјар Каинатын кенишләнмәјә башладығы лап илк ан «Бөјүк партлајыш» аны адланыр. Һадисәнин өзүнә исә *«Бөјүк партлајыш»* дејилир. Јухарыда гејд етдик ки, һәтта үмуми нисбилик нәзәријјәсинин өзү дә сонсуз сыхлыг шәраитинә—сингулјар Каината тәтбиг едилмир. $\rho > 10^{93}$ г/см^3 *олан һалда баш верән* квант еффектләрини бу нәзәријјә дә нәзәрә ала билмир; Планк епохасы адланан бу дөврдә күман ки, гравитасија саһәси квантлары-гравитонлар әмәлә кәлмишдир.

Каинатда физики хүсусијјәтләрин дәјишмәси, «Бөјүк партлајышдан» 10^{-44} санијә кечәндән сонра үмуми нисбилик нәзәријјәсини тәтбиг етмәклә изләнә билир. Каинатын инкишафы ашағыдакы дөрд мәрһәләдән-ерадан кечир: *«адрон ерасы», «лептон ерасы», «шүаланма ерасы»* вә *«маддә ерасы»*. Дедикләримиз 178-чи шәкилдә тәсвир олунмушдур.

Биринчи ера («адрон ерасы») 10^{-4} сан анына гәдәр олуб. Бу дөврдә маддә протон вә нејтронлардан, анти маддә-антинејтронлардан вә башга антизәррәчикләрдән ибарәт олуб (антизәррәчик—елементар зәррәчик олуб ади јүклү зәррәчикдән әкс јүк вә әкс магнит моменти илә, јүксүз зәррәчикдән исә әкс магнит моменти илә фәргләнир). Бу мәрһәләнин әсас хүсусијјәти ондан ибарәт олуб ки, маддә вә антимаддә јанашы јашаја билибләр. Һәмин дөврдә ваһид һәчмдә олан зәррәчикләрин сајы ишыг квантларынын сајына бәрабәр олуб. Гравитасија саһәсинин әсас јарадычылары ағыр зәррәчикләр-адронлар олуб. Биринчи мәрһәләнин сонунда ағыр зәррәчикләр өз антизәррәчикләри илә аннигилјасија етмиш, аз мигдарда галан нуклонлар Каинатын кәләчәк хүсусијјәтләрини мүәјјән етмишдир. Бу мәрһәләнин сонуна јахын сыхлыг нүвәнин сыхлығындан бөјүк (10^{16} г/см^3) олмуш, еранын лап



Шәкил 178. Каинат моделинин тәкамүлү заманы әсас параметрләрин дәјишмәси

сонунда температур 10^{12} K, сыхлыг нүвәнин сыхлығы (10^{14} г/см^3) гәдәр олмушдур.

Сонра ($t \simeq 10$ *сан анадәк*) *«лептон ерасы»* башлајыр. Бу ера мүддәтиндә температур 10^{12} K-дән $5\cdot10^9$ K-ә гәдәр дүшмүш, сыхлыг 10^{14} г/см^3-дән 10^7 г/см^3-ә гәдәр азалмышдыр. Һәмин еранын башланғычында енержи фотонлар, електронлар вә позитронлар арасында, һәмчинин мјуонлар, нејтрино вә антинејтринолар арасында бәрабәр пајланмышдыр; нејтрино вә антинејтрино електрон вә позитронун анниһилјасијасы нәтичәсиндә јаранмышлар: $e^+ + e^- \rightleftarrows \nu + \bar{\nu}$. Ејни заманда бу дөврдә протонларын нејтронлара вә тәрсинә чеврилмәси реаксијалары баш вермишдир: $p + e^- \rightleftarrows n + \nu$, $p + \bar{\nu} \rightleftarrows n + e^+$. Температур кичилдикчә протонларла нејтронларын бирләшмәси һесабына дејтериум (^{2}H), тритиум (^3H) вә һелиумун ^{3}He ^{4}He изотопларынын әмәлә кәлмәси еффектли олмушдур. Икинчи еранын («лептон ерасы»нын) мәһз бу мәрһәләсиндә вә үчүнчү еранын («шуаланма ерасы»нын) илк он санијәләриндә улдузларын вә галактикаларын индики тәркиб һиссәсини тәшкил едән һелиум атомлары јаранмышдыр. Бу о демәкдир ки, истилик-нүвә реаксијалары нәтичәсиндә һидрокенин һелиума синтези һесабына һелиум әмәләкәлмә просеси Каинатда аз рол ојнамышдыр. Доғрудан да, Метагалактиканын кенишләнмәјә «башладығы» андан кечән $13\cdot10^9$ илдә һидрокенин һелиума синтези нәтичәсиндә бизим Галактикада $4\cdot10^{54}$ Ч енержи һасил олмушдур; бир һелиум нүвәси јарананда $2{,}5\cdot10^{-12}$Ч енержи ајрылдығындан $13\cdot10^9$ илдә

һидрокенин һелиума синтези нәтиҹәсиндә $\sim10^{66}$ һелиум нүвәси, јахуд $6{,}7\cdot10^{39}$ кг һелиум јаранмышдыр; Галактиканын үмуми күтләси $4\cdot10^{41}$ кг олдуғундан, истилик-нүвә реаксијалары нәтиҹәсиндә һидрокенин һелиума синтези **һесабына әмәлә кәлән һелиум нүвәләринин** мигдары бу үмуми күтләнин ҹәми $\sim2\%$-ни тәшкил едир. Һалбуки орта Каинатда үмуми күтләнин 29%-ини Не тәшкил едир. Беләликлә, доғрудан да истилик-нүвә реаксијалары һесабына бизим Галактикада әмәлә кәлән һелиум онун һәгиги мигдарындан күтләҹә 15 дәфә аздыр. Башга сөзлә, Галактикадакы һелиумун ән әсас һиссәси һәлә Галактика вә онун улдузлары јаранандан әввәл-икинҹи еранын («лептон ерасы»-нын) сонунда вә үчүнҹү еранын («шүаланма ерасы»нын) илк бир нечә он санијәси әрзиндә әмәлә кәлмишдир. Әлбәттә бу дедикләримиз бүтүн Метагалактикаја да аиддир.

«Гајнар Каинат» нәзәријјәси дә буну тәсдиг едир. Белә ки, бу нәзәријјәјә көрә «Бөјүк партлајыш»дан 100 санијә кечәнә гәдәр үмуми күтләнин 65%-ини һидрокен, 25%-ини исә һелиум тәшкил етмишдир. Әслиндә бу нәтиҹәнин јухарыдакы нәтиҹә илә үст-үстә дүшмәси «Гајнар Каинат» нәзәријјәсинин дүзкүнлүјүнә ән тутарлы сүбутлардан биридир, бу исә һәмин нәзәријјәнин гәләбәси һесаб едилир.

Үчүнҹү ера, јә'ни «шүаланма ерасы» 10 сан-дән $t=10^{13}$ *сан* $=3\cdot10^{6}$ ил вахт интервалында давам етмишдир. Бу мәрһәләдә Каинатын гравитасија күтләси шүаланма һесабына јаранмышдыр. Еранын **башланғычында һелиум әмәләкәлмә просеси дајанмыш, електронлар**ла позитронларын анниһилјасијасы давам етмишдир. Бүтүн бу мүддәтдә шүаланма температуру илә маддә температуру бәрабәр олмушдур. $T\simeq3000$ К **оланда фотонун енержиси кифајәт олмадығындан** һидрокенин ионлашмасы дајанмышдыр. Нәтиҹәдә протонларын сәрбәст електронларла рекомбинасијасы һидрокенин ионлашмасындан еффектив олмушдур. Бу исә шүаланманын маддәдән «ајрылмасы», јә'ни шүаланма илә маддә арасындакы таразлығын позулмасы илә нәтиҹәләнмишдир. Бу таразлығын позулдуғу андан е'тибарән Каинатын кенишләнмәсиндә әсас ролу шүаланма дејил, маддә ојнамыш вә бу андан е'тибарән дөрдүнҹү ера, јә'ни «маддә ерасы» башланмышдыр.

Дөрдүнҹү ерада температур 3000 К-дән индики 2,7 К-ә гәдәр дүшмүш, сыхлыг 10^{-1} г/см^3-дан индики 10^{-30} г/см^3-а гәдәр азалмышдыр. «Маддә ерасы» рекомбинасија просесләри илә башламыш, инди дә бу просесләр сәчијјәләнир. Шүаланма илә маддә арасында таразлығын позулмасы илә әлагәдар олараг Каинатда гејри-бирҹинслик күчләнмишдир. Бунун нәтиҹәсиндә исә сыхлашмалар башламыш вә «маддә ерасы»нын мүәјјән мәрһәләсиндән е'тибарән улдузлар вә галактикалар әмәлә кәлмәјә башламышдыр.

Космолокијада һәлл едилмәмиш мәсәләләр чохдур. Лакин ајдындыр ки, Астрономик Каинат адланан Метагалактиканын мәкан-заман фәзасында сонсуз Каинатын бир үзвү олмасы мүһакимәси јеганә дүзкүн нәтиҹәдир. Бу нәтиҹәјә фәзада ваһид бир ҹисим кими һәрәкәт едән вә милјардларла, јахуд он вә ја јүз милјардларла улдузу олан галактиканын Метагалактиканын бир үзвү олмасы нәтиҹәсинин садәҹә екс-

траполіасиіасы кими бахмаг олмаз. Һәр шеідән әввәл она көрә ки, Метагалактика мәкан вә заманда сонлугдур, Каинат исә сонсуздур. Метагалактика һаггында билдикләримизи мәкан вә заманда сонсуз олан Каинат үчүн еталон кими гәбул етмәк олмаз. Каинатда сонсуз сајда бир-биринә бәнзәмәјән метагалактикалар олмалыдыр. Улдузлар кими һәр бир метагалактика онун фәзасындакы илкин маддәдән, јахуд артыг там тәкамүл јолуну кечмиш вә сонра дағылмыш метагалактика материалындан јарана биләр. Улдузлар кими илкин вә икинчи материалдан (маддәдән) јаранан метагалактикалар бир-биринә бәнзәрсиз олмалыдыр. Беләликлә улдузлар вә галактикалар кими метагалактикалар да бир-бириндән кәскин фәргләнмәлидирләр. Бизим Галактикадан башга дикәр галактикаларын олмасы нәтичәсинә кәлмәк үчүн узун вахт, мүрәккәб астрономик мүшаһидәләр лазым олмушдур. Јалныз XX јүзиллијин икинчи јарысындан сонра Метагалактиканын варлығы һагда астрономик нәтичә әлдә едилмишдир. Инкишафда олан астрономик техника шүбһәсиз ки, башга метагалактика (һәтта метагалактикалар) кәшф етмәјә имкан вермәлидир. Лакин буна гәдәр *астрономик мүһакимәләр она кәтирир ки, мадди олан Каинат сонсуз сајда бәнзәрсиз метагалактикалардан ибарәт олмалыдыр.*

Астрономија фәнни, о чүмләдән космологонија вә хүсусилә космолокија чох бөјүк вә мүһүм фәлсәфи маһијјәтә маликдир. Дүзкүн дүнјакөрүшүнүн формалашмасында, мүасир тәбиәтшүнаслығын фәлсәфи проблемләринин һәллиндә астрономија елми чох әһәмијјәтли јер тутур.

ӘЛАВӘЛӘР.

I. Улдуз бүрҹләринин адлары вә ишарәләри

Латынча	Ишарәси	Русча	Азәрбајҹанча
Andromeda	And	Андромеда	Андромеда
Antlia	Ant	Насос	Тулумба
Apus	Aps	Райская птица	Ҹәннәт гушу
Aquariut	Aqr	Водолей	Долча
Aquila	Aql	Срел	Гартал
Ara	Ara	Жертвенник	Гурбанкаһ
Aries	Ari	Свен	Гоч
Auriga	Aur	Возничий	Арабачы
Bootes	Boo	Волопас	Нахырчы
Caelum	Cae	Резец	Мишар
Camelopardalis	Cam	Жираф	Зүрафә
Cancer	Cnc	Рак	Хәрчәнк
Canes Venatici	CVn	Гончие Псы	Тазылар
Canis Major	CMa	Большой Пес	Бөјүк Көпәк
Canis Minor	CMi	Малый Пес	Кичик Көпәк
Capricornus	Cap	Козерог	Оғлаг
Carina	Car	Киль	Кил
Cassiopeja	Cas	Кассиопея	Кассиопеја
Centaurus	Cen	Центавр	Сентавр
Cepheus	Cep	Цефей	Сефеј
Cetus	Cet	Кит	Балина
Chamaeleon	Cha	Хамелеон	Бугәләмун
Circinus	Cir	Циркуль	Пәркар
Columba	Col	Голубь	Көјәрчин
Coma Berenices	Com	Волосы Вероники	Вероникаnын сачлары
Corona Austrina	CrA	Южная Корона	Ҹәнуб Тачы
Corona Borealis	CrB	Северная Корона	Шимал Тачы
Corvus	CrV	Ворон	Гарға
Crater	Crt	Чаша	Каса
Crux	Cru	Крест (южный)	Ҹәнуб Хачы
Cygnus	Cyg	Лебедь	Гу
Delphinus	Del	Дельфин	Делфин
Dorado	Dor	Золотая рыба	Гызыл Балыг
Draco	Dra	Дракон	Әждаһа
Equleus	Equ	Малый Конь	Дајча
Eridanus	Eri	Эридан	Еридан
Fonax	For	Печь	Соба
Gemini	Gem	Близнецы	Әкизләр, Чөвза
Grus	Gru	Журавль	Дурна
Hercules	Her	Геркулес	Һеркулас

Латынча	Ишарәси	Русча	Азәрбајҹанча
Horologium	Hor	Часы	Саат
Hydrà	Hya	Гидра	Һидра
Hydrus	Hyi	Южный змей	Ҹәнуб Иланы
Indus	Ind	Индеец	Һиндли
Lacerta	Lac	Ящерица	Кәртәнкәлә
Leo	Leo	Лев	Шир
Leo Minor	LMi	Малый Лев	Кичик Шир
Lepus	Lep	Заяц	Довшан
Libra	Lib	Весы	Тәрәзи
Lupus	Lup	Волк	Ҹанавар
Lynx	Lyn	Рысь	Вашаг
Lyra	Lyr	Лира	Лира
Menca	Men	Столовая Гора	Оникулдуз
Microscopium	Mic	Микроскоп	Микроскоп
Monoceros	Mon	Единорог	Тәкбујнуз
Musca	Mus	Муха	Милчәк
Norma	Nor	Наугольник	Күнјә
Octans	Oct	Октант	Октант
Ophiuchus	Oph	Змееносец	Овсунчу
Orion		Орион	Орион
Pavo	Ori	Павлин	Товуз (гушу)
Pegasus	Pav	Пегас	Пегас
Perseus	Peg	Персей	Персеј
Phoenix	Per	Феникс	Феникс
Pictor	Phx	Живописец	Рәссам
Pisces	Pic	Рыба	Балыглар
Piscis Austrinus	PSA	Южная Рыба	Ҹәнуб балығы
Puppis	Pup	Корма	Көјәртә
Pyxis	Pyx	Компас	Компас
Reticulum	Sct	Сетка	Тор
Sagitta	Rge	Стрела	Ох
Sagittarius	Sgr	Стрелец	Охатан
Scorpusi	Sco	Скорпион	Әгрәб
Sculptor	Scl	Скульптор	Һејкәлтәраш
Scutum	Sct	Щит	Галхан
Serpens	Ser	Змея	Илан
Sextans	Sex	Секстант	Секстант
Taurus	Tau	Телец	Буға
Telescopium	Tel	Телескоп	Телескоп
Triangulum	Tri	Треугольник	Үчбучаг
Triangulum Australe	TrA	Южный Треугольник	Ҹәнуб Үчбучағы
Tucana	Tuc	Тукан	Тукан
Ursa Major	UMa	Большая Медведица	Бөјүк Ајы
Ursa Minor	UMi	Малая Медведица	Кичик Ајы
Vela	Vel	Паруса	Јелкән
Virgo	Vir	Дева	Гыз
Volans	Vol	Летучая Рыба	Учан Балыг
Vulpecula	Vul	Лисичка, Лиса	Түлкү

11. Парлаг улдузлар.

Ишарәси	Ады	Керүнән улдуз өлчүсү	Спектри	Мәхсуси һәрәкәти	Параллаксы	И. И. илә мәсафәси	Мүтләг улдуз өлчүсү	Ишыглыгы ($L_\odot=1$)	Радиусу ($R_\odot=1$)	Күтләси ($m_\odot=1$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
α Б. Көпәк	Сириус	$-1^m,6$	A_1V	11",315	0",375	8,7	$+1^m,3$	23	0,9	3,4
α Кил	Канопус	−0,9	F0	0,022	0,018	180	−4,6	5100	42,5	50
α Сентавр	Толимак	0,1	G0	3,682	0,751	4,3	+4,7	1,0	0,5	1,1
α Лира	Вега	0,1	A0V	0,315	0,123	27	+0,6	44	1,1	2,8
α Арабачы	Капелла	0,2	G0	0,439	0,073	52	−0,5	125	6	7,5
α Нахырчы	Арктур	0,2	K_2III	2,287	0,090	37	0,0	80	13	11
β Орион	Рикел	0,3	B_8Ia	0,005	0,005	540	−6,2	23000	16,5	40
α К. Көпәк	Просион	0,5	F_5IV	1,242	0,288	11,2	+2,8	6	0,9	1,2
α Еридан	Әхрәнәһр	0,6	B_5	0,083	0,034	96	−1,7	370	—	—
β Сентавр	—	0,9	B_1	0,039	0,016	190	−3,1	1450	—	—
α Гартал	Әлтаир	0,9	A_7V	0,659	0,198	16	+2,4	8	0,7	1,7
α Орион	Бәтәлкеjзе	0,9	M_2I	0,0[illegible]2	0,005	300	−5,6	13000	180	15
α Хач	—	1,0	B_1	0,048	0,013	250	−2,8	1000	—	—
α Буға	Әлдебаран	1,1	K_5III	0,205	0,048	64	−0,5	125	20	4
α Гыз	Сүнбүл	1,2	B_1V	0,052	0,021	300	−2,2	1000	2,5	11
β Әкизләр	Поллукс	1,2	K0III	0,633	0,100	33	+1,0	70	—	—
α Әгрәб	Антарес	1,2	CM_1	0,032	0,019	270	−2,4	700	165	50
α Чәнуб Балығы	Фәмәлһут	1,3	A_3	0,367	0,144	23	+2,1	11	—	—
α Гу	Денеб	1,3	A_2Ia	0,004	0,035	800	−5,2	940	17,5	35
α Шир	Регул	1,3	B_7V	0,244	0,039	80	−0,7	140	—	—

III. Планетләрин бә'зи орбит елементләри вә башга кинематик характеристикалары.

Ишарәләр; а—орбитин бөјүк јарымоху
е—орбитин ексcентриситети
i—орбитин мејли

Т—доланма сидерик периоду
S—доланма синодик периоду
n—орта суткалыг һәрәкәт
v_a—орта орбитал сүр'әт

Планет	a		e	i	T		S		V_a км/сан
	а. в	млн. км			Тропик иләрлә	Ил вә суткаларла	суткаларла	n	
Меркури	0,3871	57,91	0,2056	7°,00	0,2408	87^d,97	115,9	4°,092	47,86
Венера	0,7233	108,21	0,0068	3 89	0,5152	224^d,70	583,9	1,602	35,01
Јер	1,0000	149,60	0,0167	—	1,0000	1 ил 0^d,	—	0,986	29,78
Марс	1,5237	227,95	0,0934	1,85	1,8809	1 321^d,73	779,9	0,524	24,12
Јупитер	5 2028	778 34	0,0481	1,31	11,8622	11,314^d,84	398,9	0,083	13,06
Сатурн	9,5388	1427,00	0,0538	1,49	29,4577	29,166^d,98	378,1	0,034	9 64
Уран	19,1910	2870,97	0,0460	0,77	84,0158	81,7^d,45	369,8	0,012	6,80
Нептун	30,0707	4498,58	0,0079	1,77	164,7883	164,280^d,30	367,5	0,006	5,43
Плутон	39,52	5912,2	0,2534	17,14	247,6968	247,255^d,1	366,7	0,004	4,74

ƏДƏБИJJAT

1. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс обшей астрономии—5-е издание. М. Наука, 1983.
2. Дагаев М. М., Демин В. Г., Климишин И. А., Чаругин В. М., Астрономия М. Просвещение, 1983.
3. Климишин И. А. Астрономия наших дней—3-е издание. — М. Наука, 1986.
4. Куликов К. А. Курс сферической астрономии. 3-е издание. М. Наука, 1974.
5. Климишин И. А. Календарь и хронология. М., Наука, 1981.
6. Мәммәдбәјли Һ. Ч. Тарихи чевирмәк үчүн синхроник чәдвәлләр. Бакы, Елм, 1961.
7. Субботин И. Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.
8. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе 5-е издание М., Наука, 1979.
9. Воронцов-Вельяминов Б. А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. 7-е издание. М., Наука, 1977.
10. Дагаев М. М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. 2-е издание. М. Высщая школа. 1972.
11. Мартынов Д. Я. Курс практической астрофизики. 3-е издание. М., Наука, 1977.
12. Мартынов Д. Я. Курс общея астрофизики. 4-е издание. М., Наука, 1988.
13. Пикельнер С. Б. Солнце М., Физматгиз, 1961.
14. Каплан С. А., Цытович В. Н. Плазменная астрофизика. М., Наука, 1972.
15. Маров М. Я. Планеты солнечной системы. М., Наука, 1981.
16. Каплан С. А. Физика звезд, 3-е издание, М., Наука 1977.
17. Шклоский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. 3-е издание. М., Наука, 1984.
18. Куликовский П. Г. Звездная астрономия. М., Наука, 1978.
19. Каплан С. А., Пикельнер С. Б. Физика межзвездной среды. М., Наука, 1979.
20. Холопов П. Н. Звездные скопления. М. Наука, 1981.
21. Воронцов-Вельяминов Б. А. Внегалактическая астрономия. 2-е издание. М., Наука, 1978.
22. П. Ф. Полак. Курс общей астрономии. Издание шестое—М. 1951.
23. Новиков И. Д. Эволюция вселенной. 2-е издание. М. Наука. 1983.
24. Астономический календарь: Постоянная часть. 7-е издание. М. Наука. 1981.
25. Астрономический календарь: Переменная часть. М. Наука. Һәр ил нәшр олунур.
26. Һашымзадә М. У. Астрономија, Бакы, 1970.
27. Аббасгулу аға Бакыханов «Әсрару—л—Мәләкут»—«Каинатын сирләри», Бакы—Елм—1985.
28. «Русча—Азәрбајчанча—Инкилисчә Астрономија Терминләри Лүғәти». Профессор Рәһим Һүсејновун үмуми редактәси илә. Азәрнәшр, Бакы—1989.

МҮНДӘРИЧАТ

Өн сөз 3
Кириш 5
§ 1. **Астрономија фәнни** 5
§ 2. Астрономијанын бөлмәләри вә бу бөлмәләрдә өјрәнилән әсас мәсәләләр 5
§ 3. Астрономијанын гыса тарихиндән 8
§ 4. Астрономијанын елми-техники тәрәггидә тутдуғу јер 12

I. бөлмә

Астрометријанын әсаслары

I фәсил. **Сферик астрономија** 13

§ 5. Көј гүббәси вә көј сферасы. Улдуз бүрчләри. Көј сферасынын фырланмасы 15
§ 6. Көј сферасынын әсас елементләри 19
§ 7. Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәти. Еклиптика 23
§ 8. Дүнја гүтбүнүн үфүгдән олан һүндүрлүјү һаггында теорем вә көј сферасынын мүхтәлиф мәрһәләләриндә көрүнүшү 25
§ 9. Астрономик координат системләри 28
§ 10. Сферик тригонометријанын әсас дүстурлары 32
§ 11. Астрономик координатларын чеврилмәси 34
§ 12. Көј чисимләринин кулминасијасы вә бу заман онларын һүндүрлүјү . 36
§ 13. Күнәшин көрүнән иллик һәрәкәтинин гејри-мүнтәзәм олмасы. Сидерик ил (улдуз или) вә тропик ил 38
§ 14. Астрономик рефраксија 40
§ 15. Илин фәсилләри вә иглим гуршаглары 42
§ 16. Јерин өлчүләри вә формасы 47
гәдәр кеосентрик мәсафәнин тә'јини. Астрономик ваһид вә онун тә'јини 51
§ 17. Суткалыг параллакс, үфүги параллакс вә Күнәш системи чисимләринә
§ 18. Күнәш системи чисимләринин хәтти өлчүләринин тә'јини . . . 55
§ 19. Аберрасија вә иллик параллакс 56
§ 20. Вахт анлајышы һаггында илкин мә'лумат вә вахты өлчмәк принсипләри 61
§ 21. Улдуз суткасы вә улдуз вахты 62
§ 22. Һәгиги күнәш суткасы вә һәгиги күнәш вахты 63
§ 23. Орта күнәш суткасы вә орта күнәш вахты 64
§ 24. Вахт тәнлији 65
§ 25. Үмумдүнја вахты вә јерли вахт 66
§ 26. Дилим вахты 66
§ 27. Декрет вахты 67
§ 28. Јерин фырланмасынын гери-мүнтәзәмлији. Кварс саатлары. Атом вахты 68
§ 29. Улдуз вә орта күнәш вахтлары арасында әлагә 70
§ 30. Тарихин дәјишдирилдији хәтт 71
§ 31. Тәгвим 72
§ 32. Көј чисимләринин доғуб-батма вахтларынын вә бу анларда онларын азимутларынын һесабланмасы 73
§ 33. Алагаранлыг вә торанговушма. Бәјаз кечәләр 76

II ф ә с и л. **Практик астрономијанын елементләри** 77

§ 34. Көј чисимләринин үфүги координатларынын өлчүлмәси вә көј меридианынын вәзијјәтинин тә'јини. Универсал аләт 77
§ 35. Улдузларын мејли вә мәһәллин чоғрафи енлијинин тә'јини . . . 79
§ 36. Вахт хидмәти 80
§ 37. Улдузун дүз доғушу вә мәһәллин чоғрафи узунлуғунун тә'јини . . 82

II бөлмә

Нәзәри астрономија вә көј механикасынын әсаслары

III ф ә с и л. **Күнәш системинин кинематикасы** 83

§ 38. Күнәш системинин үмуми мәнзәрәси 83
§ 39. Планетләрин көрүнән һәрәкәтләри. Птолемејин кеосентрик системи. Коперникин һелиосентрик системи вә онун тәбиәтшүнаслыгда ингилаби әһәмијјәти 85
§ 40. Планетләрин конфигурасијалары, мүшаһидә олунма шәраитләри вә көрүнән һәрәкәтләринин изаһы 91
§ 41. Планетләрин Күнәшдән нисби мәсафәләринин вә сидерик периодларынын Коперник үсулу илә тә'јини 97
§ 42. Синодик һәрәкәт тәнлији 100
§ 43. Кеплер ганунлары 100
§ 44. Планет орбитинин елементләри вә бу елементләрә әсасән планетин ефемеридинин һесабланмасы 103
§ 45. Орбит елементләринин һесабланмасы принсипи 109
§ 46. Ајын һәрәкәти, орбити, фазалары, дөврләри вә либрасијалары . 110
§ 47. Күнәш тутулмалары вә бу тутулмаларын баш вермә шәртләри . 116
§ 48. Ај тутулмалары вә бу тутулмаларын баш вермә шәртләри . . 118
§ 49. Тутулмаларын тезлији вә сарос 120

IV ф ә с и л. **Күнәш системинин динамикасы** 121

§ 50. Нјутонун үмумдүнја чазибә гануну 121
§ 51. Ики чисим мәсәләси. Үмумиләшдирилмиш Кеплер ганунлары . . 128
§ 52. Ики чисим мәсәләсиндә характерик сүр'әтләр 134
§ 53. Үч вә чох чисим мәсәләсинин маһијјәти 135
§ 54. Сарсынан һәрәкәт вә сарсыдычы гүввә һаггында анлајыш . . . 136
§ 55. Көј чисимләринин күтләсинин тә'јини 139
§ 56. Ајын һәрәкәтини сарсыдан гүввә 141
§ 57. Нептунун кәшфи 143
§ 58. Күнәш системинин дајаныглығы мәсәләси 143
§ 59. Габарма вә чәкилмә 145
§ 60. Пресессија вә нутасија 148
§ 61. Јерин гүтбләринин онун сәтһи үзрә һәрәкәти 152

V ф ә с и л. **Астродинамиканын елементләри** 154

§ 62. Космик учушларын һәјата кечирилмш бә'зи мәрһәләләри . . 154
§ 63. Тә'сир сферасы һаггында үмуми анлајыш 155
§ 64. Үч космик сүр'әт 157
§ 65. Сүн'и пејкин орбитинин елементләри вә онларын сарсынмасы . . 161

III бөлмә.

Астрофизиканын әсаслары.

VI ф ә с и л. **Астрофизика чиһазлары** 164

§ 66. Астрофизикаја кириш 164
§ 67. Астрофизикада тәдгиг олунан електромагнит шүаланмасынын спектри вә јер атмосферинин бу спектри бурахмаг хүсусијјәтләри . . . 165

§ 68. Оптик телескоплар 169
§ 69. Радиотелескоплар 177
§ 70. Шүаланма гәбуледичиләри 181

VII фәсил. **Астрофизика тәдгигат үсуллары**

I һиссә. Астрофотометрија 197

§ 71. Астрофотометрија вә фотометрик кәмијјәтләр 197
§ 72. Көрүнән улдуз өлчүләри 200
§ 73. Көрүнән улдуз өлчүсү васитәсилә телескопун оптик гүввәсинин гијмәтләндирилмәси 204
§ 74. Мүтләг улдуз өлчүсү 205

II һиссә. Астроспектроскопија 206

§ 75. Астроспектроскопијаја кириш 206
§ 76. Шүаланманын мүһитдә зәифләмәси вә мүһитин оптик галынлығы . 207
§ 77. Шүаланманын көчүрүлмәси тәнлији 209
§ 78. Мүтләг гара чисмин шүаланмасы ганунлары вә онларын астрофизикада бә'зи тәтбигләри 211
§ 79. Астроспектроскопијада истифадә олунан бә'зи анлајышлар . . . 215
§ 80. Спектрал хәтләрин кенишләнмәси 225
§ 81. Доплер еффекти вә онун астрофизикада бә'зи садә тәтбигләри . 226
§ 82. Астроспектроскопијанын Каинат објектләринин кимјәви тәркибини өјрәнмәјә тәтбиги һаггында үмуми анлајыш 231

III һиссә. Физиканын бир сыра бөлмәләринин астрофизики мәхсусијјәтләри . 233

§ 83. Атом спектроскопијасынын бә'зи астрофизики мәхсусијјәтләри . . 233
§ 84. Нүвә физикасынын бә'зи астрофизики мәхсусијјәтләри 236
§ 85. Астрофизиканын плазма физикасы илә әлагәси һаггында үмуми анлајыш 245
§ 86. Зәрбә далғалары һаггында үмуми анлајыш 250
§ 87. Гејри-истилик шүаланма механизмләри 253

VIII фәсил. **Күнәш физикасы** 256

§ 88. Күнәшин әсас характеристикалары 256
§ 89. Күнәшин спектри. Күнәш спектриндә енержинин пајланмасы. Күнәшин кимјәви тәркиби 260
§ 90. Күнәшин дахили гурулушу 265
§ 91. Фотосфер 271
§ 92. Күнәш хромосфери вә тачы 277
§ 93. Күнәшин радиошүаланмасы 281
§ 94. Хромосфер вә тачын гызмасы 283
§ 95. Күнәшин фәал төрәмәләри. Күнәш фәаллығы вә онун Јерә тә'сиринин бә'зи тәзаһүрләри 284

IX фәсил. **Күнәш системи чисимләринин физикасы** 295

I һиссә. Бөјүк планетләр 295

§ 96. Үмуми мә'лумат 295
§ 97. Јер планет кими 297
§ 98. Ај 304
§ 99. Меркури 308
§ 100. Венера 309
§ 101. Марс 312
§ 102. Јупитер 316
§ 103. Сатурн 319
§ 104. Уран, Нептун вә Плутон 321

II һиссә. Күнәш системинин кичик чисимләри 322

§ 105. Кичик планетләр (астероидләр) 322
§ 106. Кометләр 325
§ 107. Планетләрарасы фәзада тоз мүһити вә метеорлар 328
§ 108. Метеоритләр 330
§ 109. Зодиак ишығы вә экспарылты 332

X фәсил. **Улдузлар** 333

§ 110. Үмуми мә'лумат 333
§ 111. Тригонометрик параллакс үсулу илә улдузлара гәдәр мәсафәнин тә'јини 334
§ 112. Улдузун ишыглығы 334

I һиссә. Нормал улдузлар 335

§ 113. Нормал улдузларын спектрал тәснифаты 335
§ 114. Колориметријанын әсаслары 339
§ 115. Улдузларын температурунун тә'јини 341
§ 116. Улдузларын радиусу 346
§ 117. Улдузларын күтләси 347
§ 118. «Спектр-ишыглыг» диаграмы, улдузларын ишыглыг синифләри вә спектрал параллакс 350
§ 119. Улдузларда күтлә-ишыглыг, радиус-ишыглыг, күтлә-радиус, күтлә-температур әлагәләри. Күтлә вә ишыглыг функсијалары . . 356
§ 120. Улдузларын фырланмасы. Улдузларын магнит саһәси . . . 357
§ 121. Улдузларын дахилиндә физики шәраит. Нејтрон улдузлары. Гара чухурлар 359
§ 122. Улдузларын атмосферләри (фотосферләри) 364

II һиссә. Гоша вә дәјишән улдузлар 366

§ 123. Гоша улдузлар 366
§ 124. Улдузларын көрүнмәјән пејкләри 373
§ 125. Дәјишән улдузлар 374
§ 126. Дөјүнән дәјишән улдузлар 375
§ 127. Улдузларын дөјүнмәсинин сәбәби 379
§ 128. Еруптив дәјишән улдузлар 380
§ 129. Пулсарлар 385
§ 130. Рентген улдузлары 387

IV бөлмә.

Улдузлар астрономијасынын елементләри 390
XI фәсил. **Бизим Галактика** 390
§ 131. Ағ јол. Галактик координатлар 390
§ 132. Галактикада улдузларын пајланмасы. Галактиканын үмуми гурулушу 393
§ 133. Улдуз топалары 396
§ 134. Улдузлар арасы тоз вә бурада ишығын удулмасы. Тоз, газ-тоз вә газ думанлыглары. Космик мазерләр 399
§ 135. Галактик радиомәнбәләр вә ифрат Јенилләрин галыглары . . 405
§ 136. Галактик космик шүалар. Галактик гамма шүаланма вә галактик тач 406
§ 137. Улдузларын мәхсуси һәрәкәтләри вә шүа сүр'әтләри . . . 408
§ 138. Күнәш системинин һәрәкәти 410
§ 139. Галактиканын фырланмасы 412

XII фәсил. **Башга галактикалар (Галактикаданкәнар астрономија)** . 414

§ 140. Галактикаларын тәснифаты вә спектрләри 414
§ 141. Галактикалара гәдәр мәсафәнин тә'јини үсуллары 417
§ 142. Галактикаларын спектриндә гырмызы сүрүшмә 418

§ 143. Галактикаларын физики хүсусијјәтләри 419
§ 144. Радиогалактикалар, квазарлар вә квазаглар 422
§ 145. Галактикаларын фәза пајланмасы 424

V бөлмә.

Космогонија вә космолокијанын елементләри 426

XIII фәсил. **Космогонијанын елементләри** 426
§ 146. Көј чисимләри вә онларын системләринин мәншәји вә тәкамүлү проблемләри 426
§ 147. Улдузларын мәншәји вә тәкамүлүнүн илк мәрһәләси . . . 427
§ 148. Улдузларын баш ардычыллыгдан чыхмасы. Улдузларын тәкамүлүнүн сон мәрһәләси 430
§ 149. Улдуз топаларынын јашы 435
§ 150. Сых-гоша улдузларын тәкамүл хүсусијјәтләри 437
§ 151. Галактикаларын әмәлә кәлмәси 439
§ 152. Планет космогонијасынын елементләри 440

XIV фәсил. **Космолокијанын елементләри** 445
§ 153. Космолокијанын мәшғул олдуғу мәсәләләр вә әсас принсипләри 445
§ 154. Нјутонун гравитасија нәзәријјәсинә әсасланан бирчинс изотроп Каинат модели. Релјативист космолокија 447
§ 155. «Гајнар Каинат» модели 451
Әлавәләр 457
Әдәбијјат 461

Редактору *Н. М. Әһмәдова*
Рәссамы *С. А. Шатиков*
Бәдии редактору *А. А. Әләкбәров*
Техники редактору *Е. М. Сәфәров*
Корректорлары *Н. Ф. Фәрзәлијева, Т. Тапдыг гызы.*

Јығылмаға верилмиш 19. 02. 92. Чапа имзаланмыш 04. 06. 97. Нәшрин форматы 70×90 $^{1}/_{16}$. Сәнаје-чап кағызы. Әдәби гарнитур. Јүксәк чап. Физики чап вәрәги 29,25. Шәрти ч. в. 34,22. Шәрти рәнк-оттиск 34,36. Учот нәшр. вәрәги 31,4. Тиражы 500.
Сифариш № 598. Гијмәти мүгавилә илә.
Азәрбајҹан Республикасы Мәтбуат вә Информасија Назирлијинин «Маариф» нәшријјаты, Бакы—370111, Ә. Тағызадә күчәси, № 4.
Азәрбајҹан Республикасы Мәтбуат вә Информасија Назирлијинин 3 №-ли Бакы Китаб Мәтбәәси, Бакы, Ә. Тағызадә күчәси, № 4.

Һусејнов Рәһим Әјјуб оғлу

Физика-ријазијјат елмләри доктору, проф.

АСТРОНОМИЈА

Али мәктәбләр үчүн дәрслик

Азәрбајҹан Республикасы Дөвләт Тәдрис
Педагожи Әдәбијјаты нәшријјаты «Маариф»

Бакы — 1997