

**Bilik*

The End of
CERTAINTY

*Time, Chaos, and the
New Laws of Nature*

ILYA PRIGOGINE

In collaboration with Isabelle Stengers

THE FREE PRESS

New York London Toronto Sydney Singapore

MÜƏYYƏNLİYİN SONU

*Zaman, Xaos və
Təbiətin yeni qanunları*

ILYA PRIQOJIN

Isabelle Stengers-lə əməkdaşlıqda

İngilis dilindən tərcümə edənlər:

Samirə Tofiq qızı Babazadə
Vəfa Teyyub qızı Quliyeva

Bilik

Bakı-2003

Ilya Prigogin (İlya Priqojin).

Müəyyənliyin sonu. Zaman, kaos və təbiətin yeni qanunları. – Bakı, «Bilik» nəşriyyatı. – 2003. 224 səhifə.

Tel: 611392

Müəllif göstərir ki, dönməyən proseslər tarazlıqdan uzaq şəraitdə qurucu rol oynayır. Ətrafımızda meydana çıxan yenilikləri, nizamın, özünütəşkilin və bioloji strukturların əmələ gəlməsini də məhz bununla izah edir. Problemlər mürəkkəb riyazi aparata əl atmadan izah edilir ki, bu da hər bir oxucuya kitabla tanış olmaq imkanı verir.

ISBN 9952-8033-0-3

© Ilya Prigogin, 2003.

© Azərbaycan dilinə tərcümə ACİ-YF Azərbaycan, 2003.

© Ağalaroğlu firmasının «Bilik» nəşriyyatı, 2003.

Elmi redaktor: Babayev Mirbaba Mircavad oğlu,
fizika-riyaziyyat elmləri namizədi.

Texniki redaktor: Hidayətova S.Q.

Korrektor: Babazadə S.T.

Bu nəşr ACİ Yardım Fondu xeyriyyə təşkilatının verdiyi qrant məbləğindən maliyyələşdirilmişdir.

This publication was supported by a grant from the OSI Assistance Foundation.

MÜNDƏRİCAT

<i>Elmi redaktordan</i>	vii
<i>Təşəkkürlər</i>	ix
<i>Müəllifin qeydi</i>	xi
Giriş. Yeni rasionallıq?	1
1. Epikur dilemması	9
2. Yalnız illüziya?	57
3. Ehtimaldan dönməyənlilik	73
4. Xaosun qanunları	89
5. Nyuton qanunlarından kənarında	107
6. Kvant nəzəriyyəsinin ümumiləşmiş ifadəsi	129
7. Təbiətlə dialoqumuz	153
8. Zaman mövcudluqdan əvvəldirmi?	163
9. Dar cığır	183
<i>Qeydlər</i>	191
<i>Terminlərin izahlı lüğəti</i>	201
<i>Mövzu göstəricisi</i>	207

Elmi redaktordan

Məlumdur ki, fizikanın təməlinə duran qanunlar – Nyutonun II qanunu (klassik fizikada) və Şredinger tənliyi (kvant fizikasında) zamana görə simmetrikdir. Belə olduqda, ətrafımızda daim baş verən dönməyən proseslərin ilkin səbəbi nədir? Necə olur ki, mikroskopik planda dönməyən proseslərdən makroskopik miqyaslarda dönməyənlik törənir? Nə klassik fizika, nə də kvant fizikası çərçivəsində bu suallara qanəedici cavab tapılmayıb.

Termodinamika dönməyənliyin köklərini açıqlaya bilməsə də, maddənin tarazlığa yaxın halını, dönməyən proseslərin əksəriyyətini uğurla təsvir edə bilər. Lakin onun təsvir etdiyi hadisələrin izahı özbaşına buraxılan sistemlərin tarazlığa gəlməsinə əsaslanır. Doğrudur, termodinamika özbaşına tarazlıqdan çıxmanı – flüktuasiyaları qəbul edir, lakin bunu keçici, son nəticəyə ciddi təsir etməyən proseslər hesab edir. Belədirsə, tarazlıqdan çox uzaq olan hadisələri – burulğanları, kimyəvi rəqsləri, özünütəşkili, bioloji strukturların əmələ gəlməsini necə izah etmək olar?

Bu kitab belə maraqlı məsələləri əhatə edir. Bu məsələlər XX əsrin ortalarından güclü inkişafa başlamış tarazlıqdan uzaq termodinamika sahəsi ilə sıx bağlıdır. Kitabın müəllifi İlya Priqojin (1917-2003) elmin bu sahəsinin inkişaf etdirilməsində böyük xidmətləri olan alimdir. Dönməyən proseslərin statistik termodinamikası sahəsində tədqiqatlar onun işləri ilə başlanıb. Priqojin elmə entropiya istehsalı, entropiya seli kimi anlayışlar daxil etmiş, sübut etmişdir ki, stasionar halda termodinamik sistemdə entropiya istehsalının sürəti minimal olur (Priqojin teoremi) və açıq sistemlərdə dönməyən proseslər

üçün entropiya istehsalı minimuma yaxınlaşır (Priqojin meyarı). Onun əldə etdiyi nəticələr təkcə fizikada deyil, kimya və biologiyada da mühüm əhəmiyyətə malikdir. Priqojin göstərir ki, dönməyən proseslər tarazlıqdan uzaq şəraitdə qurucu rol oynayır. O, ətrafımızda meydana çıxan yenilikləri, nizamın, özünütəşkilin və bioloji strukturların əmələ gəlməsini məhz bununla izah edir.

Dönməyən proseslərin termodinamikası sahəsində işlərinə və onların kimya və biologiyada tətbiqinə görə Nobel mükafatına layiq görülmən (1977) Priqojin, bundan əlavə ondan çox elmi mükafat və medal almış, 64 milli akademiyanın və elmi təşkilatın üzvü olmuşdur.

Kitabda baxılan məsələlər bir sıra fəlsəfi problemlərlə, xüsusən, zaman problemi ilə sıx bağlıdır. Zaman nədir? Kainat əvvəl yaranıb, yoxsa zaman? Zamanın əvvəli və sonu varmı? Gələcək əvvəlcədən müəyyən olunubmu? Müəllif bu suallara özünəməxsus şəkildə cavablar verməyə çalışır.

Priqojinin əvvəlki kitablarından fərqli olaraq bu kitab elmi-kütləvi janrda yazılıb; burada problemlər mürəkkəb riyazi aparata əl atmadan izah edilir ki, bu da hər bir oxucuya kitabla tanış olmaq imkanı verir. Müəllif öz böyük təcrübəsindən və biliyindən istifadə edərək çox mürəkkəb məsələləri oxucuya sadə şəkildə başa salır.

Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, kitabda baxılan problemlərin bir çoxu hələ son həllini tapmayıb və burada verilən yeni ideyaları ehkam kimi qəbul etmək olmaz. Müəllifin qeyd etdiyi kimi, o, oxucunu hazırda qurulmaqda olan elm sahəsinə səyahətə aparır, belə səyahətlərdə isə həmişə gözlənilməz şeylərlə rastlaşırsan. Kitabı maraqlı edən cəhətlərdən biri də budur və biz inanırıq ki, bu kitab oxucular üçün əsl mənəvi qida olacaq.

Mirbaba Babayev,

Baş elmi işçi,

fizika-riyaziyyat elmləri namizədi.

TƏŞƏKKÜRLƏR

Bu kitab bir qədər qeyri-adi tarixə malikdir. Başlanğıcda Isabelle Stengers və mən *Entre le Temps et l'Eternite* (Zaman və əbədiyyət arasında) adlı kitabımızı ingilis dilinə tərcümə etmək fikrindəydik.¹ Biz artıq, biri almanca digəri isə rusca nəşr olunmuş bir neçə variant hazırlamışdıq.² Lakin elə həmin zaman biz yanaşma üsulumuzun riyazi cəhətdən formalaşdırılmasında mühüm nailiyyət əldə etdik. Nəticədə biz orijinal kitabı tərcümə etməkdən əl çəkib, bu yaxınlarda fransız dilində nəşr olunmuş yeni variant yazmağı qərara aldıq.³ Isabelle Stengers adının yeni təqdimatın həmmüəllifi kimi deyil, yalnız mənim əməkdaşım kimi qeyd edilməsini xahiş etdi. Hərçənd mən onun istəyinin nəzərə alınmasını özümə borc bildim, lakin xüsusi qeyd etmək istəyirəm ki, onsuz bu kitab heç vaxt yazılmayacaqdı. Kömək üçün mən ona çox minnətdaram.

Bu mətn həm Brüssel, həm də Ostin qruplarının onilliklər boyu apardığı işlərin nəticəsidir. Fiziki ideyalar xeyli əvvəl aydınlaşsa da, onların dəqiq riyazi ifadəsi yalnız son bir neçə ildə formalaşmış.⁴ Mən bu kitabın əsasını təşkil edən məsələnin - zamanın təbiətinə yeni yanaşma üsulunun müəyyən edilməsində xidmətləri olan gənc, ilhamlı əməkdaşlarıma, xüsusən Ioannis Antoniou (Brüssel), Dean

Driebe (Ostin), Hiroshi Hasegawa (Ostin), Tomio Petrosky (Ostin) və Shuichi Tasaki-yə (Kioto) minnətdarlığımı bildirirəm. Mən, həmçinin, sonrakı inkişafı mümkün edən təməlləri qoymuş köhnə Brüssel qrupumu yada salmaq istəyirəm. Radu Balescu, Michel de Haan, Francoise Henin, Claude George, Alkis Grecos və Fernand Mayne-yə təşəkkürlərimi bildirirəm. Təəssüf ki, Pierre Resibois və Leon Rosenfeld artıq aramızda yoxdur.

Bu kitabda təqdim edilmiş tədqiqat bir sıra təşkilatların köməyi olmadan başa çatdırıla bilməzdi. Mən Belçikadakı Fransız icması, Belçika federal hökuməti, Beynəlxalq Solvey İnstitutu (Brüssel), ABŞ-ın Enerji departamenti, Avropa Birliyi və Welch Fonduna (Texas) xüsusilə təşəkkür etmək istəyirəm.

İngilis dili mənim ana dilim deyil, mən Ostindəki Texas Universitetində çalışan Dr. E. C. George Sudarshan və Dr. Dean Driebe-yə, həmçinin David Lortimer-ə (London) mətni xüsusi diqqətlə oxuduqlarına görə çox borcluyam. Mən, həmçinin, bu kitabı yazmağa məni həvəsləndirmiş fransız nəşirim Odile Jacob-a, mənim Birləşmiş Ştatlardakı redaktorum Stephen Morrow, habelə Judyth Schaubhut Smith-ə ingilis nəşrinin hazırlanmasında etdikləri köməyə görə təşəkkür edirəm.

Mən inanıram ki, biz elm tarixinin mühüm dönüş mərhələsindəyik. Biz, zamanca dönən və determinist Kainatın şəklini çəkmiş Qaliley və Nyutonun saldıqları yolun sonundayıq. Biz artıq determinizmin aşınmasını və fizika qanunlarının yeni ifadəsinin meydana çıxmasını görürük.

Ilya Prigogine

MÜƏLLİFİN QEYDİ

Mən bu kitabı geniş oxucu kütləsi üçün anlaşılın, oxunaqlı və tam etməyə çalışmışam. Lakin xüsusən V və VI Fəsilərdə texniki təfsilatların dərinliyinə getməyi qərara aldım, çünki mənim təqdim etdiyim tapıntılar ənənəvi baxışlardan mühüm dərəcədə fərqlənir. Bu cild onilliklər boyu aparılmış tədqiqatların nəticəsi olsa da, sualların çoxu hələ də öz cavablarını gözləyir. Lakin hər birimizin həyatının sonlu olduğunu nəzərə alaraq, fəaliyyətimin meyvələrini bu gün olduğu vəziyyətdə göstərdim. Mən oxucuları arxeologiya muzeyinə yox, quruculuq mərhələsində olan eczakkar elm dünyasına səfər etməyə dəvət edirəm.

YENİ RASİONALLIQ?

Bu əsrin əvvəllərində *The Open Universe: An Argument for Indeterminism* kitabında Karl Popper yazırdı: «Bir tərəfdən sağlam şüur belə bir fikrə gətirir ki, hər bir hadisə özündən əvvəlki hadisə ilə şərtlənir, deməli hər bir hadisə izah edilə və ya proqnozlaşdırıla bilər... Digər tərəfdən...sağlam şüur hesab edir ki, yetkin və sağlam insan fərdlərinin... öz fəaliyyətinin müxtəlif imkanları arasında azad seçim etmək qabiliyyəti var»¹. William James-in «determinizmin dilemması» adlandırdığı bu dilemma zamanın mənası ilə sıx bağlıdır.² Gələcək qabaqcadan verilib, yoxsa daimi quruculuq prosesindədir? Zaman mövcudluğumuzun fundamental ölçüsü olduğundan, bu bütün bəşəriyyət üçün dərin bir dilemmadır. Məhz Qaliley fizikasının konseptual sxeminə zamanın daxil edilməsi müasir elmin başlanğıcını qoydu.

İnsan zəkasının bu təntənəsi həm də yeni problemə – *zaman oxu* adlandırılan şeyin rədd edilməsinə gətirdi. Bu kitabın bəhs etdiyi əsas məsələ də məhz budur. Yaxşı məlumdur ki, Albert Einstein (Eynşteyn) tez-tez təkrar

edərdi: «Zaman illüziyadır». Həqiqətən də, klassik Newton (Nyuton) dinamikasından tutmuş nisbilik və kvant fizikasına qədər fizikanın əsas qanunları vasitəsilə təsvir olunan formada zaman, keçmiş və gələcək arasında heç bir fərq qoymur. Bu gün də fiziklərin çoxunun inamı belədir ki, təbiətin fundamental təsvirinin mümkün olduğu heç bir yerdə zaman oxu mövcud deyil.

Buna baxmayaraq, kimya, geologiya, kosmologiya, biologiya və humanitar elmlərdə - hər yerdə keçmiş və gələcək müxtəlif rollar oynayır. Fizikanın zamana görə simmetrik dünya kimi təsvir etdiyi aləmdə zaman oxu necə əmələ gələ bilər? Bu, kitabın mərkəzi mövzularından biri olan *zaman paradoksudur*.

Zaman paradoksu yalnız XIX əsrin ikinci yarısında, Vyana fiziki Ludwig Boltzmann (Lüdvıq Bolsman), Charles Darwin-in (Çarlz Darvin) biologiyada etdiyinə oxşar olaraq, fizikada təkamül yanaşması formalaşdırmağa cəhd göstərdikdən sonra müəyyən olunub. Newton fizikasının qanunları çoxdan həqiqi biliklərin ideal ifadəsi kimi qəbul edilmişdi. Bu qanunlar keçmiş və gələcək arasında ekvivalentliyi nəzərdə tutduğundan, zaman oxuna fundamental məna vermək üçün göstərilən hər bir cəhd bu ideala təhlükə kimi rədd edilirdi. Bu gün kvant mexanikası fiziklərin çoxu tərəfindən son mərhələ hesab edildiyi kimi, Isaac Newton-un qanunları da özünün tətbiq sahəsində yekun mərhələ hesab edilirdi. Elə isə insan zəkasının bu heyvətə nailiyyətlərini dağıtmadan bir-istiqlamətli zaman anlayışını necə daxil etmək olar?

Boltzmann-dan başlayaraq zaman oxu fenomenologiya sahəsinə qovulmuşdu. Guya biz, natamam bəşər müşahidəçiləri kimi, təbiətin təsvirində istiafdə etdiyimiz yanaşmalar vasitəsilə keçmiş və gələcək arasındakı fərq üçün

cavabdehik. Bu fikir hələ də üstünlük təşkil etməkdə olan elmi rəydir. Bəzi mütəxəssislər elmin cavab verə bilməyəcəyi həlledilməz sirr qarşısında qaldığımızdan şikayətlənirlər. Son iki irəliləyişdən: qeyri-tarazlıq fizikasının və dayanıqsız sistemlərin dinamikasının xaos ideyası ilə başlanmış güclü inkişafından sonra biz bunun belə olmadığına inanırıq.

Son bir neçə onillik ərzində yeni elm – *tarazlıqda olmayan proseslər fizikası* yaranmış və bugün kosmologiya, kimya, biologiya, habelə ekologiya və sosial elmlər də daxil olmaqla fənlərin geniş spektrində işlədilən *özünütəşkil və dissipativ strukturlar* kimi anlayışlara gətirmişdir. Tarazlıqda olmayan proseslər fizikası bir-istiqlamətli zaman effektlərini təsvir edir və dönməyənlik termininə yeni məna verir. Fizikada zaman oxu əvvəllər yalnız diffuziya və ya özlülük kimi sadə proseslər vasitəsilə təzahür edirdi ki, bunları da ənənvi, zamanca dönən dinamikanı genişləndirmədən başa düşmək olurdu. Artıq bu, belə deyil. Biz artıq bilirik ki, dönməyənlik zaman oxunun mühüm *qurucu* rolunu nümayiş etdirən burulğanın formalaşması, kimyəvi rəqslər və lazer şüası kimi bir çox yeni hadisələrin yaranmasına gətirir. Dönməyənlik, biliklərimiz kifayət olan kimi yox olan ilğımla eyniləşdirilə bilməz. Həqiqətən də, bu, milyard-milyard hissəciyi əhatə edən effektlərə - koherentliyə gətirir. Təşbehlə desək, zaman oxu olmayan halda tarazlıqdakı materiya «kordur», zaman oxu ilə o «görməyə» başlayır.

Dönməyənliyin nəticəsi olan bu koherentlik olmadan tarazlıqda olmayan proseslər, Yer üzərindəki həyatın özü də mümkün olmazdı. Ona görə də zaman oxunun «yalnız fenomenoloji» və ya subyektiv olduğunu iddia etmək cəfəngiyyatdır. Biz, əslində, zaman oxunun, təkamülün övladlarıyıq, onun əcdadları deyilik.

Zaman anlayışının təftiş edilməsi istiqamətində ikinci həlledici irəliləyiş dayanıqsız sistemlər fizikasının formalaşdırılması olub. Klassik elm nizam və dayanıqlığa xüsusi əhəmiyyət verirdi, indi isə biz, əksinə, flüktuasiyaları, dayanıqsızlığı, çoxsaylı imkanlar arasında seçimləri və müşahidənin bütün səviyyələrində əvvəlcədən xəbər vermə imkanının məhdud olmasını görürük.

Xaos kimi ideyalar çox geniş yayılmağa və kosmologiyadan iqtisadiyyata qədər elmin demək olar ki, bütün sahələrində baxışlarımıza təsir etməyə başlayıb. Biz göstərəcəyik ki, indi dayanıqsızlıq və xaosu daxil etmək üçün klassik və kvant fizikasını genişləndirə bilirik. Sonra, biz təbiət qanunlarının və artıq təkamül edən Kainatımızın təsvirinə uyğun gələn ifadəsini almağı bacarmışıq, elə bir ifadə ki, zaman oxunu öz daxilində saxlayır, keçmiş və gələcək artıq simmetrik rol oynamır. Klassik təsəvvürlərə görə (biz bura kvant mexanikası və nisbiliyi də daxil edirik) təbiətin qanunları yəqinlikləri təsvir edir. Uyğun başlanğıc şərtlər verildikdə, biz tam əminliklə, gələcəyi xəbər verə və ya keçmişə «bərpa» edə bilərik. Dayanıqsızlıq daxil ediləndən sonra bu, artıq belə olmur və təbiətin qanunlarının mənası köklü surətdə dəyişir, çünki indi onlar imkanları və ya ehtimalları ifadə edir. Burada biz Qərb təfəkkürünün köklü ənənələrindən birinin – müəyyənliyə inamın əksinə gedirik.

Gerd Gigerenzer və başqalarının «*The Empire of Chance*» əsərində qeyd edildiyi kimi, «Aristotle-i Claude Bernard-ın Paris-indən ayıran iki minillik ərzində elmdə baş vermiş çevrilişlərə baxmayaraq, alimlər ən azı bir inamı bölüşürlər: elm təsadüfər haqqında yox, səbəblər haqqındadır. Kant isə universal səbəb determinizmini bütün elmi biliklərin zəruri şərti statusuna yüksəldirdi».³ Lakin fərqli səslər də vardı. Böyük fizik James Clerk Maxwell (Ceyms Klerk Maksvell)

determinizmin birtərəfli yanaşmasını dəf edəcək «biliklərin yeni növü» haqqında danışırdı.⁴ Lakin ümumilikdə üstün fikir bundan ibarət idi ki, ehtimallar dünyanın halından daha çox şüurun halıdır. Kvant mexanikasının, statistik anlayışları fizikanın lap özəyinə daxil etməsinə baxmayaraq, münasibət bu gün də belədir. Çünki kvant mexanikasının fundamental obyektı olan *dalğa funksiyası* determinist, zamanca dönən tənliyi ödəyir. Kvant mexanikasının ənənəvi forması ehtimal və dönməyənliliyi daxil etmək üçün, müşahidəçinin mövcudluğunu tələb edir.

Özünün ölçmələri vasitəsilə müşahidəçi zamanca simmetrik olan Kainata dönməyənlilik gətirərdi. Zaman paradoksunda olduğu kimi, yenə də biz, müəyyən mənada, Kainatın təkamül modeli üçün özümüzü cavabdeh hesab edirik. Müşahidəçinin, kvant mexanikasına subyektiv əlamət verən bu rolu, kvant mexanikasını bəyənməkdən Einstein-i çəkindirən əsas səbəb olub və indiyə qədər də sonsuz sayda mübahisələr yaradır.

Müşahidəçinin rolu, dönməyənliliyin və ya zaman axınının kvant nəzəriyyəsinə daxil edilməsi üçün, zəruri bir anlayış olmuşdur. Lakin dayanıqsızlığın simmetriyanı pozması göstəriləndən sonra müşahidəçi zəruri olmur. Zaman paradoksunu həll etməklə biz kvant paradoksunu da həll edir və kvant nəzəriyyəsinin yeni, realist formasını alırıq. Bu, klassik, determinist ənənələrə qayıtmaq deyil, əksinə, biz kvant mexanikasının ənənəvi qanunları ilə əlaqədar olan müəyyənliklərdən kənara çıxır və ehtimalların fundamental rolunu vurğulayırıq. Həm klassik, həm də kvant fizikasında əsas qanunlar indi ehtimalları ifadə edir. Bizim təkcə *qanunlara* deyil, həm də təbiətin təsvirinə köklü yenilik elementi gətirən *hadisələrə* ehtiyacımız var. Bu yenilik bizi Maxwell-in öncədən gördüyü «biliklərin yeni növünə» doğru

aparır. Klassik ehtimal nəzəriyyəsinin banilərindən biri olan Abraham De Moivre-yə görə təsadüf nə müəyyən edilə, nə də başa düşülə bilər.⁵ Biz göstərəcəyik ki, indi ehtimalları fizikanın əsas qanunlarının ifadələrinə daxil edə bilərik. Bunu edən kimi Newton determinizmi aradan qalxır; artıq gələcək indi ilə müəyyən edilmir və keçmişlə gələcək arasındakı simmetriya pozulur. Bu bizi sualların ən mürəkkəbləri ilə qarşı-qarşıya qoyur: Zamanın kökləri nələrdir? Zaman «Böyük Partlayışla»mı başlayır, yaxud zaman bizim Kainata qədər mövcud idi?

Bu suallar bizi məkan və zamanın ön sərhədlərinə aparır. Bizim mövqeyimizin kosmologiya ilə əlaqəsinin ətraflı şərhini ayrıca monoqrafiya tələb edərdi. Bununla belə qısaca desək, biz inanırıq ki, Böyük Partlayış bizim Kainatı yaratmış mühitin daxilindəki hər hansı dayanıqsızlıqla bağlı olan bir hadisə olub. O, bizim Kainatın başlanğıcını müəyyən edib, zamanın başlanğıcını yox. Bizim Kainatın müəyyən bir yaşda olsa da, bizim Kainatı yaratmış mühit yaşa malik deyil. Zamanın başlanğıcı və yaqin ki, sonu da yoxdur.

Lakin burada biz fərziyyələr aləminə qədəm qoyuruq. Bu kitabın əsas məqsədi aşağı enerjilər oblastında təbiət qanunlarının ifadə formasını təqdim etməkdir. Bu, makroskopik fizika, kimya və biologiya sahəsidir. Bu, əslində, insan həyatının mövcud olduğu mühitdir.

Zaman və determinizm problemləri, Socratics-in sələflərindən başlayaraq, Qərb təfəkkürünün nüvəsində durmaqdadır. Determinist dünyada insanın yaradıcılığını və ya etikanı biz necə təsəvvür edə bilərik?

Bu sual bir tərəfdən bilik və obyektivliyin vacibliyinə, digər tərəfdən isə demokratiyanın ideali kimi qəbul edilən fərdi məsuliyyət və seçim azadlığına xüsusi əhəmiyyət verən Qərb humanist ənənəsindəki dərin ziddiyyəti əks etdirir.

Popper və bir çox digər filosofların qeyd etdiyi kimi, nə qədər ki, biz təbiəti yalnız determinist elmlə təsvir edirik, həlledilməz problemlə üz-üzə qalacağıq.⁶ Özümüzü təbii dünyadan ayrı hesab etsək, bu, müasir şüur üçün qəbul edilməsi çətin olan dualizmə (ikiliyə) gətirər. Bu kitabda məqsədimiz, artıq, bu maneəni dəf etməyin mümkünlüyünü göstərməkdir. Əgər Richard Tarnas-ın yazdığı kimi «Qərb dünyasının istəyi öz mövcudluğunun təmali ilə yenidən vəhdətə gəlməkdirsə», biz istəyimizin sonundayıq, söyləmək yəqin ki, həddən artıq lovğalıq olmaz.⁷

Bəşəriyyət dönüş nöqtəsində, artıq elmin müəyyənliklə, mümkünlüyün isə biliksizliklə eyniləşdirilmədiyi yeni rasionallığın başlanğıcındadır. Biz Yvor Leclerc-in yazdığı «biz bu əsrdə elmin və fəlsəfənin, Newton fizikasının onsəkkizinci əsrdəki tənənəsindən sonra, bir-birindən ayrılmasının əziyyətini çəkirik» fikrinə tamamilə şərikik.⁸ Jacob Bronowski eyni fikri belə gözəl bir formada ifadə edib: «insan təbiətinin və insanın təbiətdə yerinin başa düşülməsi elmin mərkəzi mövzularından biridir.»⁹

XX əsrin sonunda tez-tez soruşulur ki, elmin gələyi necə ola bilər. Bəziləri üçün Stephen W. Hawking-in *Brief History of Time* əsərində yazdığı kimi biz sona, «Allahın iradəsini» oxuya biləcəyimiz ana yaxınıq.¹⁰ Biz isə, əksinə, hesab edirik ki, əslində biz yeni elmi dövrün başlanğıcındayıq. Biz ideallaşdırılmış və sadələşdirilmiş vəziyyətlərlə məhdudlaşdırılmayan, real dünyanın mürəkkəbliyini əks etdirən bir elmin, bizə və bizim yaradıcılığımıza təbiətin bütün səviyyələrində mövcud olan fundamental istiqamətin bir hissəsi kimi baxan bir elmin doğulmasını müşahidə edirik.

EPICURUS (EPIKUR) DILEMMASI

I

Kainat determinist qanunlarlamı idarə olunur? Zamanın təbiəti necədir? Bu suallar Qərb rasionallığının lap başlanğıcında Socratics-in (Sokrat) sələfləri tərəfindən ortaya atılıb. İyirmibəş əsrdən çox keçsə də həmin suallar hələ bizimlədir. Lakin son zamanlarda fizika və riyaziyyatın xaos və dayanıqsızlıqla bağlı inkişafı tədqiqat üçün yeni yollar açmışdır. Biz bəşəriyyətin təbiətdə əsl yeri ilə bağlı olan bu problemləri yeni işıqda görməyə başlamışıq və keçmiş ziddiyyətlərdən qaça bilərik.

Yunan filosofu Epicurus (Epikur) fundamental bir dilemma irəli sürən ilk şəxs olmuşdur. Democritus-un (Demokrit) ardıcılı kimi o, dünyanın atom və boşluqlardan təşkil olunduğuna inanırdı. Bundan əlavə, o belə nəticə çıxarırdı ki, atomlar boşluqda eyni sürətlə və paralel yollar boyunca düşürlər. Elə isə necə olur ki, onlar toqquşur?

Atomların kombinasiyaları ilə bağlı yeniliklər necə əmələ gəlir? Epicurus-a görə elmin problemləri, təbiətin dərk edilənliyi və insan taleyi bir-birindən ayrılmazdır. Atomların determinist dünyasında insan azadlığının hansı rolu ola bilər? Epicurus-un Meneceus-a yazdığı kimi «bizim iradəmiz muxtar və müstəqildir, ona görə də biz lehinə və ya əleyhinə ola bilərik. Beləliklə, azadlığımızı saxlamaq üçün, allahlara etiqad hissənə bağlanıb qalmaq, fiziklərin gəldiyi qənaətdən - taleyin qulu olmaqdan daha yaxşı olardı: birincisi bizə vəd və qurbanlar vasitəsilə Allahın mərhəmətini qazanmaq ümidi verir, ikinci isə, əksinə toxunulmaz zərurətə gətirir.»¹ Bu fikir nə qədər də müasir səslənir! Qərb ənənəsinin Immanuel Kant, Alfred North Whitehead və Martin Heidegger kimi dahi mütəfəkkirləri dəfələrlə hiss ediblər ki, onlar etiqadsızlaşdıran elm ilə qeyri-elmi fəlsəfə arasında faciəli seçim etməlidirlər. Onlar hər hansı kompromis tapmağa çalışıblar, lakin cəhdlərin heç biri məqbul olmayıb.

Epicurus hesab edirdi ki, bu dilemmanın həllini tapıb və bu həlli *clinamen* adlandırmışdı. Lucretius-un (Lukretsi) ifadə etdiyi kimi, «ilk cinismlər boşluqda öz ağırlıqları ilə düz xətt boyunca aşağı düşərkən, tamam *qeyri-müəyyən zaman və qeyri-müəyyən məkan daxilində öz yollarından*, istiqamətini dəyişmiş hesab edilə biləcək qədər, *yüngülcə sapırlar*».² Lakin bu *clinamen* üçün heç bir mexanizm verilməyib. Təəccüblü deyil ki, buna həmişə yad, əsaslandırılmamış element kimi baxılıb.

Lakin ümumiyyətlə belə yeniliyə bizim ehtiyacımız varmı? Popper-in dediyinə görə Heraclitus (Heraklit) üçün «həqiqət – təbiətin təşəkkül etdiyini qavramaqdan, yəni onu nəzərdə tutulan sonsuz, *özündə proses* kimi təsvir etməkdən ibarətdir».³ Parmenides əks fikirdə idi. Mövcudluğun unikal reallığı haqqında məşhur poemasında o yazırdı: «İndi olduğu tək hamısı bir yerdə, bu, heç vaxt olmamış, olmayacaqdır.»⁴

Maraqlıdır ki, Epicurus-un klinameni bizim əsrin elmində dönə-dönə peyda olub. Atomların bir haldan digərinə keçməsi ilə bağlı olan foton şüalanması haqqında klassik məqaləsində (1916) Einstein elmi determinizmə öz inamını açıq bildirsə də, fərz edirdi ki, bu şüalanmalarda təsadüf hökm sürür.

Yunan fəlsəfəsi Epicurus dilemmasını həll etmək qabiliyyətində deyildi. Plato (Platon) həqiqəti varlıqla – törənəndən sonra dəyişməz qalan gerçəkliklə bağlayırdı. Lakin artıq onun özü bu mövqeyin paradoksal xarakterini başa düşürdü, çünki bu, həm həyatın, həm də təfəkkürün nüfuzunu aşağı salırdı. *The Sophist* əsərində o belə nəticəyə gəlirdi ki, bizim həm mövcud olana, həm də təşəkkülə ehtiyacımız var.⁵

Bu ikilik Qərb təfəkkürünü bu günə qədər incidir. Fransız filosofu Jean Wahl tərəfindən müşahidə edildiyi kimi, Qərb fəlsəfəsinin tarixi, ümumilikdə, öz-özünə inkişaf edən dünya ideyası ilə Allahın Kainatı idarə etməsi ideyası (teologiya) arasında daimi tərəddüdlərlə xarakterizə edilən uğursuz bir şey olmuşdur.⁶ Bunların hər ikisi determinizmin formasıdır.

XVIII əsrdə «təbiət qanunlarının» kəşf edilməsi ilə bu mübahisələr yeni istiqamətə yönəldi. Ən məşhur nümunə qüvvə və təcili əlaqələndirən Newton qanunu oldu. Bu kəmiyyətlərin hər ikisi determinist xarakterə malikdir və ən başlıcası, zamanca dönəndir. Başlanğıc vəziyyəti bilməklə biz sonrakı, habelə əvvəlki bütün halları hesablaya bilərik. Bundan başqa, Newton qanunu zamanın işarəsinin dəyişməsinə görə $t \rightarrow -t$ invariant olduğu üçün, keçmiş və gələcək eyni rol oynayır. Bu, Pierre-Simon de Laplace (Pyer Simon Laplas) tərəfindən düşünülmüş belə bir vahiməyə gətirir ki, İblis Kainatın indiki vəziyyətini müşahidə etmək və onun təkamülünü qabaqcadan xəbər vermək imkanına malikdir.⁷

Yaxşı məlum olduğu kimi, Newton qanunu XX əsrdə kvant mexanikası və nisbilik nəzəriyyəsi ilə əvəz edildi. Lakin

qanunların əsas xüsusiyyətləri – determinizm və zaman simmetriyası – qorunub saxlandı. Kvant mexanikasının trayektoriyalarla deyil, dalğa funksiyası ilə işlədiyi doğrudur (bu fəslin IV Bölməsinə və VI Fəslə bax), lakin qeyd etmək vacibdir ki, kvant mexanikasının əsas tənliyi – Schrodinger (Şredinger) tənliyi determinist və zamanca dönən xarakterə malikdir.

Belə tənliklər vasitəsilə təbiətin qanunları müəyyənləşməyə gətirir. Başlanğıc vəziyyət verilən kimi hər şey müəyyənləşir. Təbiət, ən azı prinsipcə bizim idarə edə biləcəyimiz avtomatdır. Yalnız bizim insan baxışımıza görə yenilik, seçim və özbaşına hadisələr var.

Tarixçilərin çoxu hesab edir ki, XVII əsrdə hər şeyə qadir olan yeganə qanunverici kimi qəbul edilən Xristian Allaha təbiətə belə baxışda mühüm rol oynayıb. İlahiyyət və elm razılığa gəldilər. Gottfried von Leibniz-in yazdığı kimi, «Allahın nəzərləri kimi nüfuzedicilərin nəzərləri kainatda *quae sint, quae fuerint, quae mox futura trahantur (olan, olmuş və gələcəkdə olacaq)* hadisələrin bütün gedişini, ən azı mahiyyətcə, oxuya bilər».⁸ Beləliklə təbiətin determinist qanunlarının kəşfi insan biliyini ilahi biliyə, zamanın fəvqündə dayanan nəzər nöqtəsinə yaxınlaşdırdı.

Determinist və zamanca dönən qanunlara tabe olan passiv təbiət anlayışı tamamilə Qərb dünyasına xas olan bir şeydir. Çin və Yaponiyada təbiət «öz-özlüyündə olan» mənası daşıyır. Joseph Needham özünün *Science and Society in East and West* adlı gözəl kitabında yezuitlərin müasir elmin təntənəsi haqqında bəyanatlarını Çin salnaməçilərinin necə istehza ilə qarşıladıklarını bizə söyləyir.⁹ Təbiətin sadə, anlaşılacaq qanunlarla idarə edilməsi ideyası onlara antroposentrik axmaqlığın əsl nümunəsi kimi görünürdü. Çin ənənələrinə görə təbiət özlüyündə harmoniyadır; «təbiətin

qanunları» haqqında danışmaq təbiəti hansısa kənar hakimiyyətə tabe etdirmək deməkdir.

Einstein böyük hind şairi Rabindranath Tagore-a (Rabindranat Taqor) məktubunda yazırdı:

Əgər Yer ətrafında öz əbədi yolunu gedən Aya özünüdərk qabiliyyəti verilsəydi, o tam əminliklə belə hiss edərdi ki, öz yolunu bir dəfə və həmişəlik qəbul etdiyi öz qərarına uyğun olaraq gedir.

Eləcə də, insanı və onun əməllərini müşahidə edən, daha artıq anlamaq qabiliyyəti və daha kamil ağıl verilmiş Varlıq, insanın guya öz azad iradəsi əsasında hərəkət etməsi illüziyasına gülərdi.

Əgər adam dəqiq bildiyini və başa düşdüyünü ən uzaq nəticələrə qədər fikirləşsə və özünəvurgunluğu mane olmasa, çətin ki, deyilən nöqtəyi-nəzərlə razılaşmayan olsun. İnsan, Kainatın gedişində gücsüz bir obyekt olduğunu etiraf etməkdən çəkinir. Lakin baş verən hadisələrin, özünü qeyri-üzvi təbiətdə getdikcə daha çox biruzə verən, qanunauyğunluğu bizim beynimizin fəaliyyətinə öz təsirini dayandıra bilərmə?¹⁰

Einstein üçün bu, elmin nailiyyətləri ilə uzlaşdırıla biləcək yeganə mövqe kimi görünürdü. Lakin Epicurus dövründə olduğu kimi, indi də bu fikri qəbul etmək çətindir. Zaman bizim əsas mövcudluq ölçümüdür. Georg Wilhelm Hegel, Edmund Husserl, William James, Henri Bergson, Martin Heidegger və Alfred North Whitehead-ın işlərindən gördüyümüz kimi, XIX əsrdən başlayaraq fəlsəfə zaman məsələsinə getdikcə daha çox diqqət vermişdir. Einstein kimi fiziklər üçün problem həll olunmuşdu. Filosoflar üçün bu, ontologiyanın, insan varlığının mahiyyətinin kökündə duran əsas sual olaraq qalır.

The Open Universe: An Argument for Indeterminism əsərində Popper yazırdı: «mən Laplac determinizmini, onun *prima facie* (ilk baxışda) fizikadakı determinist nəzəriyyələrlə təsdiq olunmasına və onların heyranedici uğurlarına baxmayaraq, insan azadlığı, yaradıcılıq qabiliyyəti və məsuliyyətinin başa düşülməsi və təsdiqlənməsi yolunda ən əsas və ciddi maneə kimi qiymətləndirirəm.» Popper-ə görə «zamanın reallığı və dəyişmə - realizmin əsas çətinliyidir.»¹¹

"The Possible and the Real" adlı qısa əsəsində Bergson bildirirdi: «zamanın rolu nədən ibarətdir?... Zaman hər şeyin birdən verilməsinin qarşısını alır... Zaman yaratmaq imkanının və seçimin daşıyıcısı deyilmi? Zamanın mövcudluğu təbiətdəki indeterminizmin sübutu deyilmi?»¹² Popper və Bergson-un hər ikisinə görə bizim «indeterminizm» ehtiyacımız var. Lakin biz determinizmdən kənara necə çıxa bilərik? Bu çətinlik William James-in "The Dilemma of Determinism" adlı əsəsində yaxşı təhlil edilib.¹³ Newton, Schrodinger və Einstein tərəfindən kəşf edilmiş təbiət qanunlarının göstərdiyi kimi, determinizm yaxşı müəyyən edilmiş mexanizmlərə uyğun olaraq «riyaziləşdirilə biləndir». Determinizmdən kənaraçıxmalar isə, əksinə, imkan və təsadüf kimi antropomorfik anlayışlar daxil etməyi tələb edir.

Fizikanın zamanca dönmə baxışı və zaman mərkəzli fəlsəfə arasında münaqişə açıq toqquşmaya gətirirdi. İnsan təcrübəsinin müəyyən təməl baxışlarını barışdırma bilməyən elmin vəzifəsi nədir? Heidegger-in elmə zidd mövqeyi yaxşı məlumdur. Artıq Friedrich Nietzsche (Fridrix Nitsşe) belə nəticəyə gəlirdi ki, faktlar yoxdur, ancaq təfsirlər var. John R. Searle bəyan edirdi ki, postmodern fəlsəfə, özünün dağılma ideyası ilə, həqiqət, obyektivlik və gerçəklik barədə

Qərb ənənələrini duela çağırır.¹⁴ Bundan başqa, bizim təbiəti təsvir etməyimizdə təkamülün və hadisələrin rolu daim artır. Belə halda biz fizikanın zamanca dönən baxışını necə saxlaya bilərik?

1994-cü ilin oktyabrında «*Scientific American*» jurnalının «Kainatda həyata» həsr edilmiş xüsusi buraxılışı nəşr olundu.¹⁵ Bütün səviyyələrdə – kosmologiya, geologiya, biologiya və insan cəmiyyətində biz dayanıqsızlıq və flüktuasiyalarla bağlı təkamül prosesi müşahidə edirik. Ona görə də belə bir sualdan qaça bilmərik: bu təkamül modelləri fizikanın fundamental qanunları arasında necə kök atır? Yalnız görkəmli fizik Steven Weinberg (Vaynberq) tərəfindən yazılmış bir məqalə bu problemlə əlaqədardır. O, yazır: «biz təbiəti vəhdətdə görməyə nə qədər çalışsaq da, şüurlu həyatın Kainatda həm subyekt, həm də tədqiqatçı kimi ikili rolu ilə daim üzləşməkdə davam edirik... Bir tərəfdən hər hansı sistemin dalğa funksiyasının zamana görə necə dəyişdiyini tamamilə *determinist* yolla təsvir edən Schrodinger tənliyi var. Digər tərəfdən, *ölçmə* aparılanda *alınan müxtəlif* mümkün nəticələrin ehtimallarını hesablamaq üçün dalğa funksiyasından necə istifadə edilməsini göstərən tamam ayrı prinsiplər dəsti var.»¹⁶

Bu onu göstəririmi ki, ölçmələrimiz vasitəsilə biz özümüz də kosmik təkamülün mənbəyindəyik? Weinberg daimi ikilikdən, Stephen W Hawking-in *Brief History of Time* əsəri kimi son nəşrlərdə rast gəlinən baxışlardan danışır. Bu əsərdə Hawking kosmologiyanın sırf həndəsi yozumunu müdafiə edir. Onun fikrincə, zaman məkanın təsadüfi halı ola bilər. Lakin o, başa düşür ki, belə izah kifayət deyil. Şüurlu həyatı nəzərə almaq üçün bizim zaman oxuna ehtiyacımız var. Ona görə də çoxsaylı digər kosmoloqların ardınca Hawking

antropik prinsip adlanan prinsip daxil edir. Lakin bu prinsip də Epicurus-un klinameni kimi əsassızdır. Hawking antropik prinsipin statik, həndəsi Kainatdan necə çıxa biləcəyinə işarə belə etmir.

Əvvəl qeyd edildiyi kimi, Einstein bəşəriyyət də daxil olmaqla təbiətin vəhdətini, bizi sadəcə avtomatlara çevirmək hesabına təmin etməyə çalışmışdı. Bu həmçinin Baruch Spinoza-nın da nəzər nöqtəsi idi. Lakin həmin XVII əsrdə, dualizm anlayışını daxil etməklə, Rene Descartes (Rene Dekart) tərəfindən təklif edilmiş digər yanaşma da mövcud idi: bir tərəfdə həndəsənin təsvir etdiyi qaydada materiya (*res extensa*), digər tərəfdə şüur (*res cogitans*).¹⁸ Bu yolla Descartes sürtünməsiz rəqqas kimi bəsit fiziki sistemlərin hərəkət tərzini ilə insan beyninin fəaliyyəti arasındakı heyratamiz fərqi təsvir etmişdir. Maraqlıdır ki, antropik prinsip bizi Cartesian (Dekart) dualizminə qaytarır.

Roger Penrose *The Emperor's New Mind* əsərində bildirir ki, «fizikanın fundamental qanunlarını indiki zamanda tam anlamamağımız «şüur» anlayışını fiziki və ya məntiqi terminlərlə ifadə etməyimizə mane olur». ¹⁹ Hesab edirik ki, Penrose haqlıdır, fizikanın fundamental qanunlarının yeni ifadəsinə bizim ehtiyacımız var. Təbiətin təkamül cəhətləri fizikanın fundamental qanunlarının terminlərində əks olunmalıdır. Yalnız bu yolla biz Epicurus dilemmasına kafi cavab verə bilərik. İndeterminizmin, müvəqqəti asimmetriyanın izahları dinamikaya daxil edilməlidir. Fizikanın qravitasiya və ya elektromaqnit qüvvələrini hesaba almayan nəzəriyyələri kimi, bu xüsusiyyətləri əhatə etməyən nəzəriyyələr də bitkin deyil.

İqtisadiyyatdan tutmuş genetikaya qədər elmlərin çoxunda ehtimal mühüm rol oynayır. Lakin ehtimalın ancaq şüurun məhsulu olması ideyası hələ də yaşayır. Biz indi bir

addım da irəli gedib ehtimalın istər klassik, istərsə də kvant fizikası qanunlarına necə daxil olduğunu göstərməliyik. Artıq təbiət qanunlarının yeni formasını vermək mümkündür. Bu yolla biz həm təbiətin qanunlarına, həm də yenilik və yaradıcılığa yer olan daha məqbul təsvir əldə edərək.

Bu fəslin başlanğıcında biz Socratics-in sələflərini xatırlamışdıq. İndiyə qədər bəşər tarixini formalaşdıran iki ideala görə əslində biz qədim yunanlara borcluyuq. Birincisi, təbiətin dərk edilənliyi və ya Whitehead-in sözləri ilə desək «bizim təcrübəmizin hər bir elementinin izah edilə biləcəyi terminlərdə ümumi ideyaların ardıcıl, məntiqi və zəruri sisteminin yaradılması cəhdidir». ²⁰ İkincisi, insanın azadlığı, yaradıcılıq qabiliyyəti və məsuliyyətinə əsaslanan demokratiya ideyasıdır. Nə qədər ki, elm təbiəti avtomatlaşdırılmış sistem kimi təsvir edirdi, bu iki ideal bir-birinə zidd idi. Məhz bu ziddiyyəti biz aradan qaldırmağa başlayırıq.

II

I Bölmədə biz qeyd etdik ki, zaman və determinizm problemləri elm və fəlsəfə, başqa sözlə, C. P. Snow-nun dediyi mənada iki mədəniyyət arasında sərhəd xəttini təşkil edir. ²¹ Lakin elm monolit blok olmaqdan çox uzaqdır. Əslində XIX əsr bizə ikimənalı bir miras qoymuşdur: zamanca dönən Kainatı təsvir edən Newton qanunları kimi təbiət qanunları və entropiya ilə əlaqədar olan təkamül təsviri.

Entropiya məxsusi olaraq dönməyən, zaman-yönümlü proseslərdən bəhs edən elmin - termodinamikanın mühüm hissəsidir. Hər bir kəs bu və ya digər dərəcədə belə proseslərlə tanışdır. Radioaktiv parçalanmanı və ya mayenin hərəkətini

yavaşdan özlülüyü yada salaq. Keçmiş və gələcəyin eyni rol oynadığı sürtünməsiz rəqqasın hərəkəti kimi zamanca dönən proseslərin (biz gələcəyi, yəni $+t$ - ni, keçmişlə, yəni $-t$ ilə əvəz edə bilirik) əksinə olaraq, dönməyən proseslər zamanca istiqamətə malikdir. Keçmişdə hazırlanmış radioaktiv maddə gələcəkdə yoxa çıxır. Özlülük nəticəsində zaman keçdikcə mayenin axını dayanır.

Zamanın istiqamətinin dəyişməzliyi bizim makroskopik səviyyədə öyrəndiyimiz proseslərdə, məsələn, kimyəvi reaksiyalarda və köçürmə hadisələrində də aşkar görünür. Reaksiyaya girə bilən kimyəvi qarışıqlardan başlayaq. Zaman keçdikcə onlar tarazlığa gəlir və reaksiya dayanır. Buna oxşar olaraq, diffuziya qeyri-bircins halda olan sistemi bircins hala gətirməyə çalışır. Günəşin şüalanması dönməyən nüvə proseslərinin nəticəsidir. Havanı və iqlimi müəyyən edən saysız-hesabsız dönməyən prosesləri nəzərə almadan ekosferin heç bir təsviri mümkün olmazdı. Təbiətdə həm *zamanca dönən*, həm də *zamanca dönməyən* proseslər baş verir, lakin dönməyən proseslər əsas, dönən proseslər isə istisnadır söyləmək düzgün olardı. Dönən proseslər ideallaşdırma tələb edir: rəqqasın dönən hərəkət etməsi üçün biz sürtünməni yox etməliyik. Belə ideallaşdırma mübahisəlidir, çünki təbiətdə mütləq vakuum yoxdur. Əvvəl qeyd edildi ki, zamanca dönən proseslər, klassik mexanikada Newton tənlikləri, kvant mexanikasında isə Schrodinger tənliyi ilə – zamanın işarəsinin dəyişməsinə invariant olan hərəkət tənlikləri ilə təsvir olunur. Lakin dönməyən proseslər üçün bizə zaman simmetriyasını pozan təsvir lazımdır.

Dönən və dönməyən proseslər arasındakı fərq termodinamikanın ikinci qanunu adlandırılan qanunla bağlı

olan entropiya anlayışı vasitəsilə ifadə olunur. Entropiya (yunanca sadəcə olaraq «təkamül» deməkdir) 1865-ci ildə Rudolf Julius Clausius (Klauzius) tərəfindən elmə daxil edilib.²² Bu qanuna əsasən dönməyən proseslərdə entropiya artır. Dönən proseslər isə, əksinə, entropiyanı sabit saxlayır.

Biz dönə-dönə termodinamikanın ikinci qanununa qayıdacağıq. İndi isə gəlin Clausius-un məşhur müddəasını yada salaq: «Kainatın enerjisi sabitdir. Kainatın entropiyası artır». Entropiyanın bu artımı Kainatda gedən dönməyən proseslərin nəticəsidir. Clausius-un bu müddəası, dönməyən proseslərin mövcudluğuna əsaslanan, Kainata təkamülçü baxışın ilk ifadəsi idi. Arthur Stanley Eddington entropiyanı «zamanın oxu» adlandırdı.²³ Lakin, fizikanın fundamental qanunlarına görə ümumiyyətlə dönməyən proseslər olmamalıdır. Beləliklə, görürük ki, biz XIX əsrdən təbiətə iki, bir-birinə zidd baxış miras almışıq: dinamikanın qanunlarına söykənən zamanca dönən baxış və entropiyaya söykənən təkamülçü baxış. Bu zidd baxışlar necə barışdırıla bilər? Uzun illərdən sonra da bu problem qalmaqdadır.

Vyana fiziki Ludwig Boltzmann üçün XIX əsr Charles Darwin-in, həyatı sonsuz təkamül prosesinin nəticəsi hesab edən və yaranışı bizim təbiəti dərk etməyimizin mərkəzinə qoyan adamın əsri idi. Lakin indi fiziklərin çoxu Boltzmann-ı Darwin-in fikirlərlərinin əleyhdarı hesab edir, dönməyənliyin illüziya olduğu haqqında fikrin müəllifi kimi onu qələmə verirlər. Darwin-in biologiyada etdiyini fizikada etmək cəhdi Boltzmann-ın faciəsi olub – bu, uğursuzluqla nəticələnib.

İlk baxışda XIX əsrin bu iki dahisinin yanaşmaları arasındakı bənzərlik heyrətamizdir. Darwin göstərdi ki, biz fərdlərin deyil, populyasiyaların öyrənilməsindən başlasaq, seçimin təzyiqinə məruz qalan fərdi dəyişkənliyin necə dreyf

yaratdığını başa düşə bilərik. Uyğun olaraq, Boltzmann əsaslandırır ki, fərdi dinamik trayektoriyalardan başladıqda biz termodinamikanın ikinci qanununu və entropiyanın özbaşına artmasını başa düşə bilmərik, ona görə də, bunun əvəzinə biz çoxsaylı hissəcik toplularından başlamalıyıq. Entropiyanın artması, bu hissəciklər arasındakı çoxsaylı toqquşmaların nəticəsində baş verən, ümumi dreyf ola bilər.

1872-ci ildə Boltzmann özünün məşhur H-teoremini nəşr etdirirdi²⁴ və elmə entropiyanın mikroskopik analoqu olan H-funksiyayı daxil etdi. Bu teorem hissəciklərin sürətini hər an dəyişdirən toqquşmaların təsirini nəzərə alır. Teorem göstərir ki, hissəciklər toplusunda toqquşmalar sürətlərin paylanması tarazlığa (Maxwell-Boltzmann paylanmasına) gətirir. Toplu tarazlığa yaxınlaşdıqca Boltzmann-ın H-funksiyası azalır və tarazlıqda özünün minimal qiymətini alır; bu minimal qiymət göstərir ki, toqquşmalar artıq sürətlərin paylanmasını dəyişdirmir. Beləliklə, hissəciklərin toqquşması Boltzmann üçün sistemi tarazlığa gətirən mexanizm idi.

Boltzmann və Darwin hər ikisi «fərdlərin» öyrənilməsini topluların öyrənilməsi ilə əvəz etmişdilər və göstərmişdilər ki, uzun müddət ərzində baş verən xırda dəyişikliklər (fərdlərin və ya mikroskopik toqquşmaların dəyişkənliyi) kollektiv səviyyəsində təkamül yaradır. (Sonrakı fəsillərdə biz topluların roluna qayıdacağıq). Bioloji təkamül fərdlər səviyyəsində müəyyən edilə bilmədiyi kimi, zamanın axını da global xüsusiyyətdir (V və VI Fəsillərə bax). Lakin Darwin yeni növlərin yaranmasını izah etməyə çalışdırsa, Boltzmann tarazlıq və birinciliyə doğru təkamülü təsvir edirdi. Bu iki nəzəriyyənin müxtəlif taleyə malik olması diqqətəlayiqdir. Kəskin mübahisələrə baxmayaraq qalib gəlmiş Darwin-in təkamül nəzəriyyəsi bugün də həyat fenomenini başa

düşməyimizin özülü olaraq qalır. Lakin dönməyənliyin Boltzmann izahı tənqidlərə dözməmiş, Boltzmann isə addım-addım geri çəkilməyə məcbur olmuşdur. O, entropiyanın azalması və qeyri-bircinsliklərin hamarlanması əvəzinə özbaşına artması ilə nəticələnən «antitermodinamik» təkamül imkanlarını aradan qaldıra bilməmişdi.

Boltzmann-ın qarşılaşdığı vəziyyət həqiqətən dramatik olub. O əmin idi ki, təbiəti başa düşmək üçün biz təkamül xüsusiyyətləri daxil etməliyik və termodinamikanın ikinci qanunu ilə müəyyən edilmiş dönməyənlik, bu istiqamətdə həlledici addımdır. Lakin o da dinamikanın böyük ənənəsinin varisi idi və anlayırdı ki, belə addım onun özünün zaman oxuna mikroskopik mənə vermək cəhdinin qarşısını kəsir.

Bugünkü səviyyədən baxdıqda, Boltzmann-ın fizikanın təkamülü də başa düşəcəyinə inam hissi ilə, onun ənənəvi roluna sədaqət hissi arasında seçim etmək ehtiyacı xüsusilə kəskin görünür. Onun cəhdlərinin uğursuzluqla nəticələnəcəyi indi labüd görünür. Hər bir tələbəyə öyrədilir ki, trayektoriya zamana görə dönəndir, ona görə də gələcək və keçmiş arasında fərq qoymur. Henri Poincaré-nin (Henri Puankare) qeyd etdiyi kimi dönməyənliyin, çoxsaylı da olsa, zamanca dönən trayektoriya anlayışı vasitəsilə izahı tamamilə məntiqi səhvdir.²⁵ Təsəvvür edin ki, biz bütün molekulların sürətinin işarəsini dəyişmişik. Onda sistem özünün «keçmişinə» qayıtmalıdır. Sürətin işarəsini dəyişənə qədər entropiya artırdısa, indi o azalmalıdır. Bu, Joseph Loschmidt-in (Cozef Loşmidt) sürəti döndərmə paradoksudur. Bu paradoks antitermodinamik gedişatı Boltzmann-ın istisna edə bilməyəcəyini göstərən dəlil olub. Kəskin tənqidlə üzləşən Boltzmann, ikinci qanuna özünün

verdiyi mikroskopik izahı məlumatımızın tam olmamasına əsaslanan *ehtimal* yozumu ilə əvəz edir.

Aydındır ki, nəhəng sayda (10^{23} və ya Avogradro ədədi tərtibində) molekulardan təşkil olunmuş qaz və maye kimi mürəkkəb sistemlərdə hər bir molekulun özünü necə aparmasını müəyyən edə bilmərik. Buna görə Boltsmann belə sistemin bütün mikroskopik hallarının *a priori* eyni ehtimallı olması fərziyyəsini daxil etdi. Fərq temperatur, təzyiq və digər parametrlərlə xarakterizə edilən makroskopik hallar ilə bağlı ola bilər. Boltsmann hər bir makroskopik halın ehtimalını, buna gətirən mikroskopik halların sayını hesablamaqla müəyyən edirdi.

Misal üçün, Boltsmann təklif edir ki, gəlin bir-biri ilə əlaqəsi olan iki bərabər bölməyə ayrılmış həcm təsəvvür edək. Bu həcmdə çoxlu, deyək ki, N sayda molekul var. Biz hər bir molekulun trayektoriyasını izləyə bilməsək də, hər hansı bir makroskopik parametri, tutaq ki, bölmələrdəki təzyiqi ölçməklə onların hər birində olan molekulların sayını tapa bilərik. Biz, həmçinin, elə başlanğıc vəziyyəti, fiziklərin işlətdiyi kimi «başlanğıc halı» yarada bilərik ki, iki bölmədən biri təqribən boş olsun. Biz nə görəcəyik? Vaxt keçdikcə molekular boş bölməni dolduracaq. Həqiqətən də, mümkün olan mikroskopik halların çoxu elə makroskopik vəziyyətə uyğun gəlir ki, hər bölmədə eyni miqdarda molekul olsun. Bu hallar tarazlığa, yəni hər iki bölmədə təzyiqin bərabər olmasına uyğun gəlir. Bu hal alınandan sonra da molekular bir bölmədən digərinə keçməkdə davam edəcək, lakin orta hesabla sağa və sola gedən molekulların sayı bərabər olacaq. Kiçik, sönən flüktuasiyaları çıxmaqla hər iki bölmədəki molekulların sayı

zamanca sabit qalacaq və tarazlıq qorunacaq. Lakin bu mülahizədə əsaslı bir zəiflik var. Boltzmann bunu «ehtimalsız» hesab etsə də, uzaq perspektivdə tarazlıq halından öz-özünə kənara çıxma mümkünsüz deyil.

Boltzmann-ın ehtimala əsaslanan yozumuna görə, müşahidə etdiyimiz dönməyənlik, müşahidələrimizin makroskopik xarakterindən irəli gəlir. Əgər biz ayrı-ayrı molekulun hərəkətini izləyə bilsəydik, zamanca dönən və hər bir molekulunu Newton fizikası qanunlarına tabe olan bir sistem görərdik. Biz yalnız hər bir bölmədə olan molekulların sayını izləyə bildiyimiz üçün, sistemin tarazlığa doğru dəyişməsi nəticəsinə gəlirik. Belə izaha görə dönməyənlik təbiətin fundamental qanunu deyil, sadəcə olaraq bizim müşahidələrin təqribi, makroskopik xarakterinin nəticəsidir.

Ernst Zermelo, Poincare-nin təkrarlanma teoreminə əsaslanaraq, Loschmidt-in sürəti döndərmə paradoksundan əlavə, Boltzmann-a qarşı daha bir irad irəli sürdü: kifayət qədər uzun müddət gözləsək, dinamik sistemin, özbaşına olaraq, başlanğıc halına istənilən qədər yaxınlaşa bilməsini müşahidə edə bilərik.²⁶ Fizik Roman Smoluchowski-nin (Roman Smoluxovski) dediyi kimi, biz öz müşahidələrimizi ölçüyə gəlməz dərəcədə uzun müddət davam etdirə bilsəydik, bütün proseslər dönən görünərdi».²⁷ Bu, Boltzmann-ın ikibölməli modelinə bilavasitə aiddir. Kifayət qədər uzun müddətdən sonra əvvəlcə boş olan bölmə yenidən boşalacaq. Dönməyənlik hər hansı bir əsaslı əhəmiyyəti olmayan ilğıma bənzəyir.

Gəlin yenidən I Bölmədə müzakirə edilmiş fikrə qayıdaq: biz öz yanaşmalarımız vasitəsilə Kainatın təkamül xarakteri üçün özümüzü cavabdeh saya bilərik. Bu mülahizəni ağılasığan etmək, dönməyənliyin bizim yanaşmamızın nəticəsi ola biləcəyinə inandırmaq üçün ilk addım ikinci qanunun nəticələriniə trivial və öz-özünə aşkar olan bir şey kimi baxmaqdır. Bu yaxınlarda nəşr edilmiş *The Quark and the Jaguar* adlı kitabında Murray Gell-Mann yazır:

[Dönməyənliyin] izahı odur ki, mıx və ya xırda pulun qarışıq olması variantları, onların çeşidlənmiş olması variantlarından daha çoxdur. Bir yerdə olan araxis yağı ilə jelenin bir-birini bulaşdırmaq variantları, tamamilə təmiz qalmaq variantlarından çoxdur. Oksigen və azot molekullarının qarışması variantları, onların ayrı-ayrı qalması variantlarından çoxdur. Ehtimal ki, müəyyən nizama malik olan qapalı sistem, təsadüflər nəticəsində, daha çox sayda imkanların mümkün olduğu nizamsızlığa doğru hərəkət edəcək. Bu imkanlar necə hesablanı bilər? Dəqiq təsvir edilə bilən tam qapalı sistem, mikroskopik hallar adlandırılan müxtəlif hallarda ola bilər. Kvant mexanikasında mikroskopik hallar dedikdə, sistemin mümkün kvant halları başa düşülür. Belə mikroskopik hallar müxtəlif xüsusiyyətlərinə görə (adətən makroskopik hallar adlandırılan) qruplara bölünür ki, bunları da bir-birindən *kobud paylaşdırma* fərqləndirir. Verilmiş makroskopik halda mikroskopik hallara ekvivalent hallar kimi baxılır, ona görə də yalnız onların sayı əhəmiyyət kəsb edir...

Entropiya və məlumat çox sıx bağlıdır. Əslində entropiyaya məlumatsızlığın ölçüsü kimi baxıla bilər. Sistem haqqında məlumat yalnız onun verilmiş makroskopik halda olmasından ibarətdirsə, bu makrohalın entropiyası sistemin hansı mikrohalda olması barədə bizim məlumatsızlığımızın dərəcəsini ölçür. Bu dərəcə, makrohaldakı bütün mikrohalların bərabər ehtimallı olması şərtində, mikrohalları birqiyəmətlili müəyyən etmək üçün tələb olunan əlavə məlumatın sayını hesablamaqla tapılır.²⁸

Oxşar arqumentləri zaman oxuna aid kitabların əksəriyyətində tapmaq mümkündür. Biz hesab edirik ki, bu arqumentlər etibarsızdır. Onlardan belə çıxır ki, yalnız bizim məlumatsızlığımız, bizim daxil etdiyimiz kobud paylaşdırma ikinci qanuna gətirir. Laplace-ın fərz etdiyi iblis kimi yaxşı məlumatlandırılmış müşahidəçi üçün dünya tamamilə zamanca dönən görünərdi. Biz zamanın, təkamülün uşaqları deyil atası olardıq. Dönməyənlik bizim təcrübələrimizin dəqiqliyindən asılı olmayaraq mövcuddur. Yəni, bu xassəni məlumatın natamamlığının ayağına yazmaq çətin ki, ciddi qəbul edilə bilər. Qeyd etmək maraqlıdır ki, hələ Max Planck (Maks Plank) ikinci qanunun əsaslandırılması üçün natamam məlumat ideyasından istifadə edilməsinin əleyhinə çıxmışdı. Özünün *Treatise on Thermodynamics* əsərində o, yazır:

İkinci qanunun həqiqiliyinin müşahidə və ya təcrübə aparan fizik və ya kimyaçının səriştəsindən hər hansı bir yolla asılı olduğunu fərz etmək cəfəngiyyət olardı. İkinci qanunun mahiyyətinin təcrübəyə heç bir aidiyyəti yoxdur, qanun qısaca olaraq bildirir ki, *təbiətdə elə bir kəmiyyət mövcuddur ki, bütün təbii proseslərdə həmişə eyni qaydada dəyişir*. Bu ümumi formada bəyan edilmiş mühakimə doğru ola və ya olmaya bilər, lakin Yer üzündə fikirləşən və ya ölçən varlıqların olub-olmamasından, mövcuddurlarsa, fiziki və kimyəvi proseslərin detallarını bizim bacardığımızdan vergüldən sonra bir, iki və ya yüz rəqəm artıq dəqiqliklə ölçə bilib-bilməmələrimizdən asılı olmayaraq, o necə varsa, eləcə də qalacaq. Qanunun hər hansı məhdudluğu varsa, bu, müşahidədə deyil, qanunun aid olduğu sahədə – müşahidə edilən təbiətdə olmalıdır. İnsanın təcrübəsinin qanunları çıxarmaqda ona yardım etməsi təbiətdə heç bir dəyişikliyə gətirmir, bu ancaq təbiətin qanunları haqqında bilik əldə etmək üçün bizim üsulumuzdur.²⁹

Lakin Planck-ın baxışları təklənmiş qaldı. Bildirdiyimiz kimi, fiziklərin çoxu ikinci qanuna yaxınlaşmaların nəticəsi və ya fizikanın dəqiq dünyasına subyektiv təsəvvürlərin müdaxiləsi kimi baxırdılar. Məşhur bəyanatında Max Born (Maks Born) bildirirdi ki, «dönməyənlik, məlumatsızlığın fizikanın fundamental qanunlarına daxil edilməsinin nəticəsidir».³⁰

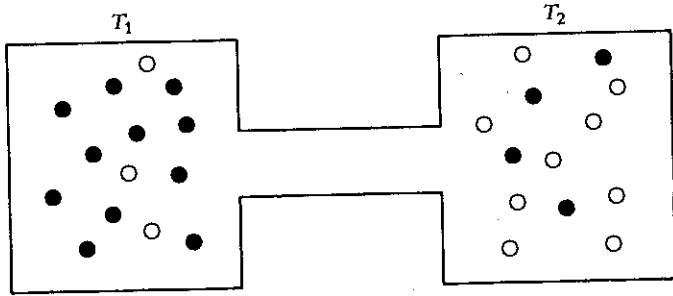
Bizim öz baxışımız isə budur ki, fizikanın ənənvi yolla ifadə edilmiş qanunları bizim yaşadığımız dayanıqsız, təkamül edən dünyadan kifayət qədər fərqli olan ideallaşdırılmış, dayanıqlı dünyanı təsvir edir. Dönməyənliyi bayağlaşdırmaqdan imtina etməyimizin əsas səbəbi odur ki, biz zaman oxunu ancaq nizamsızlığın artması ilə bağlaya bilmərik. Qeyri-tarazlıq fizikası və kimyadakı son nailiyyətlər əks istiqamətə işarə edir. Onlar birqiymətli göstərir ki, zaman oxu *nizamın* mənbəyidir. Bu hələ XIX əsrdən məlum olan sadə termodiffuziya təcrübələrindən aydın olur. Gəlin içərisində iki komponent (məsələn, hidrogen və azot) olan, bir divarı qızdırılan, digər divarı isə soyudulan qutuya baxaq (Şəkil 1.1). Sistem bir komponentin isti, digərinin isə soyuq hissədə çoxluq təşkil etdiyi dayanıqlı hala təkamül edir. Dönməyən istilik axınının yaratdığı entropiya, istilik axını olmadığı halda qeyri-mümkün olan nizamlanma prosesinə gətirir. Beləliklə, dönməyənlik həm nizama, həm də nizamsızlığa gətirir.

Dönməyənliyin yaradıcı rolu tarazlıqdan çox uzaq olan şəraitdə daha heyrətamizdir. Bu halda qeyri-tarazlıq, koherentliyin yeni formalarına gətirir (biz qeyri-tarazlıq fizikasına II Fəsilə qayıdacağıq). Biz indi öyrənmişik ki, təbiət özünün ən zərif və mürəkkəb strukturlarına məhz zaman oxu ilə bağlı olan dönməyən proseslər vasitəsilə çatmışdır.

Şəkil 1.1

Termodiffuziya

İki hissə arasındakı temperaturlar fərqi nəticəsində qara molekulların sıxlığı sol hissədə yüksək olur. Bu termodiffuziyaya uyğun gəlir.



Həyat ancaq tarazlıqda olmayan Kainatda mümkündür. Tarazlıqdan kənarlıq özünü təşkil və dissipativ strukturlar kimi anlayışlara gətirir. Bunlar II Fəsildə daha müfəssəl təsvir ediləcək. Son onilliklər ərzində tarazlıqdan kənar fizika və kimyanın diqqətə layiq nailiyyətlərinə əsaslanaraq, *From Being to Becoming* kitabında biz artıq aşağıdakı nəticələri ifadə etmişdik:

- Zaman oxu ilə bağlı olan dönməyən proseslər, fizikanın fundamental qanunları ilə təsvir olunan dönən proseslər qədər gerçəkdir; onlar əsas qanunlara əlavə edilən yaxınlaşmaların nəticəsi deyil.
- Dönməyən proseslər təbiətdə fundamental qurucu rol oynayır.³¹

Dinamik sistemlər haqqında müasir təsəvvürlərə bu anlayışlar necə təsir göstərir? Boltzmann yaxşı başa düşürdü ki, klassik dinamikada dönməyənliyin analoqu olan heç nə yoxdur, ona görə də o, belə nəticəyə gəlirdi ki, dönməyənlik

18

bizim Kainatın ilkin mərhələlərindəki başlanğıc şərait haqqında fərziyyələrdən alınə bilər. Biz dinamikanın adət etdiyimiz ifadəsini saxlaya bilərik, lakin uyğun başlanğıc şərtlərlə onu tamamlamalıyıq. Bu təsəvvürlərə əsasən ilkin Kainat yüksək dərəcədə mütəşəkkil və ona görə də az ehtimallı halda olub – bu fərziyyə son zaman yazılan kitabların bir çoxunda sakitcə qəbul edilir.³² Kainatımızda mövcud olmuş ilkin şərait maraqlı və əsasən həll edilməmiş problemlərə (VIII Fəslə bax) gətirir, lakin biz hesab edirik ki, artıq Boltzmann-ın arqumenti əsaslı sayıla bilməz. Keçmişindən asılı olmayaraq, hal-hazırda proseslərin iki növü mövcuddur: indiki dinamikanın tətbiqinin uğurlu olduğu zamanca dönən proseslər (məsələn, klassik mexanikada Ayın hərəkəti və ya kvant mexanikasında hidrogen atomu) və keçmişlə gələcək arasında asimmetriyanın labüd olduğu istilik hadisələri kimi proseslər. Bizim məqsədimiz fizikanın elə ifadəsini yaratmaqdır ki, hər hansı kosmoloji mülahizələrdən asılı olmayaraq, bu xüsusiyyətlər arasındakı fərqi izah etsin. Dayanıqsız və termodinamik sistemlər üçün buna həqiqətən nail olmaq mümkündür. Biz dinamikanın zamanca dönən qanunları ilə təbiət barədə entropiyaya əsaslanan təkamülçü baxış arasında görünən ziddiyyəti aradan qaldıra bilərik. Lakin gəlin qabağa qaçmayaq.

Təqribən iki yüz il əvvəl Joseph-Louis Lagrange (Laqranj) Newton qanunlarına əsaslanan analitik mexanikanı riyaziyyatın bir bölməsi kimi səciyyələndirmişdi.³³ Fransız elmi ədəbiyyatında tez-tez «rasional mexanika»dan danışılır. Bu mənada Newton qanunları səbəbin qanunlarını müəyyən edə bilər və mütləq ümumi olan həqiqəti göstərərdi. Lakin kvant mexanikası və nisbilik nəzəriyyəsi yaranandan sonra biz bilirik ki, bu belə deyil. İndi isə belə mütləq həqiqət statusunu kvant mexanikasına vermək istəkləri güclənib. *The*

Quark and the Jaguar-da Gell-Mann bəyan edir ki, «Kvant mexanikası ayrıca nəzəriyyə deyil, daha çox bütün müasir nəzəri fizikanın uyğun gəlməli olduğu çərçivədir»³⁴ Bu həqiqətən belədirmi? Mənim rəhmətlik dostum Leon Rosenfeld-in dediyi kimi «Hər bir nəzəriyyə riyazi ideallaşdırma yolu ilə ifadə olunan fiziki anlayışlara əsaslanır. Onlar fiziki hadisənin uyğun təsvirini vermək üçün daxil edilir. *Yararlılıq oblastı haqqında məlumat olmadan, kafi dərəcədə müəyyən edilmiş heç bir fiziki anlayış yoxdur*».³⁵

Bu, klassik mexanikada trayektoriya və ya kvant nəzəriyyəsində dalğa funksiyası kimi əsas fiziki anlayışlar üçün tələb olunan «yararlılıq oblastıdır». Həmin yararlılıq oblastının sərhədlərini cızmağa başlayaq. Bu sərhədlər növbəti bölmədə bizim qısaca təqdim edəcəyimiz dayanıqsızlıq və xaosla əlaqədardır. Biz bu anlayışları daxil etməklə, təbiət qanunlarının artıq determinist qanunlar kimi yəqinliklər üzərində deyil, daha çox *imkanlar* üzərində qurulan yeni ifadəsinə gəlib çıxırıq. Bundan əlavə, bu ehtimallı ifadə tərzində zaman simmetriyası pozulur. Kainatın təkamül xarakteri fizikanın təməl qanunları kontekstində əks etdirilməlidir. Təbiətin dərk edilənliyi idealını Whitehead-in ifadə etdiyi şəkildə yada salaq (I Bölməyə bax): bizim təcrübəmizin hər bir elementi ümumi ideyaların uzlaşdırılmış sisteminə daxil edilməlidir. Təbiət qanunlarının bu qaydada yenidən yazılmasına əsaslanaraq, biz Boltzmann-ın bir əsrdən çox bundan əvvəl başladığı işi başa çatdırıb bilərik.

Maraqlıdır ki, Emile Borel kimi dahi riyaziyyatçılar da determinizmdən imtina etməyin zəruriliyini başa düşmüşdülər. Borel yazırdı ki, Ay-Yer kimi izolə edilmiş sistemlərin nəzərdən keçirilməsi həmişə ideallaşdırmadır və biz bu sadələşdirilmiş baxışdan imtina etsək, determinizm uğursuzluğa düşər ola bilər.³⁶ Bizim tədqiqatlarımız göstərir ki, bu həqiqətən belədir.

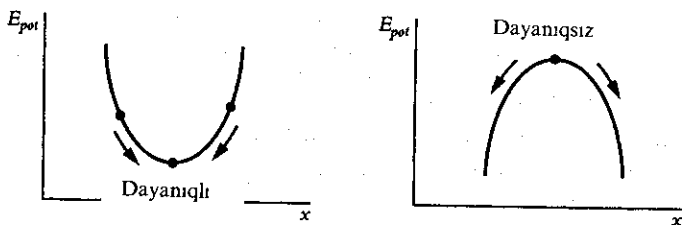
III

Hər bir kəs dayanıqlı və dayanıqsız sistemlər arasındakı fərqlə az-çox tanışdır. Misal üçün rəqqasa baxaq. Təsəvvür edək ki, başlanğıcda o, potensial enerjinin minimum olduğu tarazlıq halındadır. Əgər kiçik həyəcanlanmadan sonra sistem tarazlığa qayıdırsa, belə sistem *dayanıqlı* tarazlıqdadır (Şəkil 1.2). Əksinə, biz qələmi başı üstə qoysaq, kiçik bir həyəcanlanma onun sağa və ya sola yıxılmasına səbəb olar. Bu, bizə *dayanıqsız* tarazlığın bir modelini verir.

Dayanıqlı və dayanıqsız hərəkət arasında köklü fərq var. Qısaca desək, dayanıqlı dinamik sistemlər elə sistemlərdir ki, başlanğıc şəraitin kiçik dəyişməsi uyğun kiçik effektlərə gətirir. Lakin dinamik sistemlərin böyük bir sinfi üçün başlanğıc şəraitdəki kiçik həyəcanlanmalar zaman keçdikcə güclənir. Xaotik sistemlər dayanıqsız hərəkətin ifrat nümunələridir, çünki fərqli başlanğıc şərtlərlə təyin edilən trayektoriyalar, bu fərqi dərəcəsindən asılı olmayaraq, zaman keçdikcə, eksponensial olaraq uzaqlaşır. Bu, «başlanğıc şərtlərə həssaslıq» adlandırılır. Xaos nəticəsində güclənməyə klassik misal «kəpənək effekti»dir; təkcə qanad

Şəkil 1.2

Dayanıqlı və dayanıqsız tarazlıq



çalmaqla, tutaq ki, Amazoniyada olan kəpənək Birləşmiş Ştatlardakı havaya təsir edə bilər. Xaotik sistemlərin nümunələrini biz sonra, III və IV Fəsillərdə görəcəyik.

Xaotik sistemlərin müzakirəsinə *determinist chaos* termini də daxil edilir. Doğrudan da, hətta ayrı-ayrı nəticələr təsadüfi görünsə də, hərəkət tənzimləri Newton dinamikasında olduğu kimi deterministliyini saxlayır.

Dayanıqsızlığın mühüm rolunun kəşf edilməsi, artıq tamamlanmış hesab edilən klassik dinamikanın canlanmasına gətirdi. Əslində bu yaxınlara qədər hesab edilirdi ki, Newton qanunları ilə təsvir edilən bütün sistemlər oxşardır. Əlbəttə, hər kəs bilir ki, düşən daşın trayektoriyasını hesablamaq «üç cisim problemini», məsələn Günəş, Yer və Yupiteri əhatə edən problemi həll etməkdən asandır. Lakin hesab edirdilər ki, bu ancaq hesablama ilə bağlı olan problemdir. Yalnız XIX əsrin sonunda Poincare göstərdi ki, bu belə deyil. Dinamik sistemin dayanıqlı olub-olmamasından asılı olaraq, məsələlər köklü dərəcədə fərqlidir.

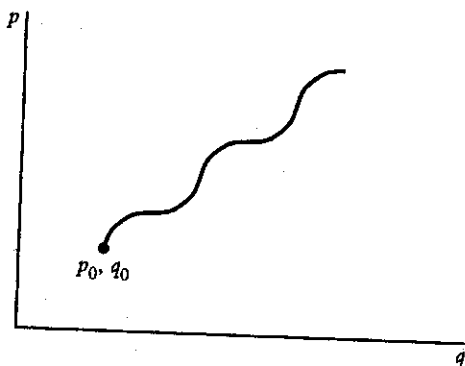
Biz xaotik sistemlərdən söz açdıq, lakin dayanıqsızlığın başqa növlərini də nəzərdən keçirmək olar. Gəlin dinamika qanunlarını dayanıqsızlığın hansı mənada genişləndirməyə gətirdiyini keyfiyyətcə təsvir edək. Klassik dinamikada başlanğıc hal koordinatlar q və sürətlərlə v (və ya impuls ilə p) təyin olunur.* Bunlar məlum olduqda Newton qanunlarından (və ya dinamikanın digər ekvivalent düsturlarından) istifadə etməklə biz trayektoriyayı tapa bilərik. Bundan başqa biz dinamik halı koordinatlar və impulslardan təşkil olunmuş fəzada q_0, p_0 nöqtəsi kimi göstərə bilərik. Bu *faza fəzası* adlanır (Şəkil 1.3). Ayrıca götürülmüş bir sistem əvəzinə biz

* Sadəlik üçün çoxlu sayda hissəciklərdən təşkil olunmuş sistemdən danışanda da biz bircə hərfdən istifadə edirik.

Şəkil 1.3

Faza fəzasında trayektoriya

Dinamik hal q, p faza fəzasında nöqtə kimi göstərilmişdir. Zamana görə dəyişmə q_0, p_0 başlanğıc nöqtəsindən çıxan trayektoriya ilə təsvir edilir.



sistemlər toplusunu öyrənə bilərik. Albert Einstein və Josiah Willard Gibbs-in (Cozayya Uillard Gibbs) XX əsrin əvvəllərindəki işlərindən başlayaraq belə sistemlər toplusu «ansambl» adlandırılır.

Bu məqamda *Elementary Principles in Statistical Mechanics* əsərinə Gibbs-in özünün yazdığı məşhur önsözün bir hissəsini vermək faydalı olar:

Biz verilmiş anda konfigurasiya və sürətlərinə görə bir-birindən fərqlənən, həm də tək-cə sonsuz kiçik fərqlənən halları deyil, konfigurasiya və sürətlərin bütün mümkün kombinasiyalarını əhatə edən çoxlu sayda eyni təbiətə malik sistem təsəvvür edə bilərik. Onda məsələ belə qoyula bilər: müəyyən sistemi [öyrənmək üçün] onun konfigurasiyalarının ardıcılığını izləmək əvəzinə, hər hansı bir anda paylanma verildikdə istənilən anda sistemlər toplusunun mümkün konfigurasiya və sürətlər arasında necə paylanacağını müəyyən etmək...

Təcrübi yolla tapılmış termodinamika qanunları külli miqdarda hissəciklərdən ibarət sistemlərin *təqribi və ehtimallı* hərəkət tərzini ifadə edir, və ya daha dəqiq desək, bu qanunlar mexanikanın qanunlarını ehtimal sistemlər üçün ifadə edirlər ki, ayrı-ayrı zərrəciklərə aid olan kəmiyyətlərin qiymətlərini ayırd etmək kimi incəliyə malik olmayan və ən böyük ehtimallı nəticədən başqa hər hansı nəticəni əldə etmək üçün öz təcrübələrini kafi dərəcədə təkrar edə bilməyən insana, bu sistemlərin hərəkət tərzini *təqribi və ehtimallı* görünür.³⁷

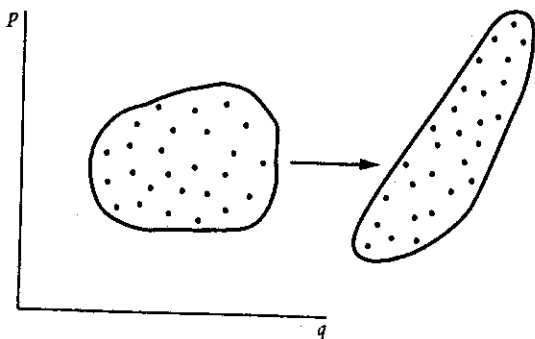
Gibbs ansambl yanaşmasından istifadə edərək toplumlar dinamikasını fizikaya daxil etdi. Ansambl faza fəzasında nöqtələr buludu kimi təsvir edilir (Şəkil 1.4). Bulud sadə fiziki yozuma malik $\rho(q, p, t)$ funksiyası ilə təsvir edilir: bu, t anında nöqtəni faza fəzasındakı q, p nöqtəsinin ətrafındakı kiçik oblastda tapmaq ehtimalıdır. Trayektoriya ρ -nun q_0, p_0 nöqtəsi istisna edilməklə hər yerdə sıfır çevrildiği xüsusi hala uyğun gəlir. Bu hal ρ -nun xüsusi şəklilə təsvir edilir. Yalnız bir nöqtədən başqa bütün nöqtələrdə sıfır bərabər olan funksiya Dirac-ın (Dirak) delta-funksiyası $\delta(x)$ adlanır. $\delta(x - x_0)$ funksiyası bütün $x \neq x_0$ nöqtələri üçün sıfır bərabərdir. Ona görə də zaman sıfır olanda ayrıca götürülmüş trayektoriya üçün paylanma funksiyası $\rho = \delta(q - q_0)\delta(p - p_0)$ şəklini alır.* Biz sonra delta-funksiyanın xassələrinə qayıdacağıq.

* $x = x_0$ götürsək $\delta(x - x_0)$ funksiyası sonsuzluğa çevrilir. Ona görə də kəsilməz x və ya $\sin x$ funksiyaları ilə müqayisədə δ -funksiya «anormal» xassələrə malikdir. Bu, ümumiləşmiş funksiya və ya paylanma (ehtimal paylanması) ρ ilə qarışdırmamalı adlanır. Ümumiləşmiş funksiyalar kəsilməz funksiya olan $\varphi(x)$ sınaq funksiyaları ilə birlikdə istifadə edilir (yəni $\int dx \varphi(x)\delta(x - x_0) = \varphi(x_0)$). Onu da qeyd edək ki, t anında $\frac{p_0 t}{m}$ sürəti ilə hərəkət edən sərbəst hissəcik üçün $\rho = \delta(p - p_0)\delta\left(q - q_0 - \frac{p_0 t}{m}\right)$ ehtimalını alırıq, yəni impuls sabit qalır və koordinat zamana görə xətti olaraq dəyişir.

Şəkil 1.4

Faza fəzasında ansamblar

Gibbs ansamblı başlanğıc şərtlərinə görə fərqlənən hissəciklər buludu kimi təsvir edilib. Buludun forması zaman keçdikcə dəyişir.



Lakin Gibbsin açıq bildirdiyi kimi, ansambl yaxınlaşması onun üçün, sadəcə olaraq, dəqiq başlanğıc şərtlər məlum olmadıqda yarayan hesablama vasitəsi idi. Onun rəyinə görə ehtimallar məlumatsızlığı və ya məlumatın qıtlığını əks etdirir. Bundan əlavə, həmişə belə qəbul edilirdi ki, dinamiki baxımdan ayrı-ayrı trayektoriyalar və ehtimal paylanmaları ekvivalent problemləri təsvir edir. Biz ayrı-ayrı trayektoriyalardan başlayıb ehtimal funksiyalarının təkamülünü ala bilərik və əksinə. ρ ehtimalı, sadəcə olaraq, trayektoriyaların superpozisiyasına uyğun gəlir və heç bir yeni keyfiyyətə gətirmir. Belə yanaşmada təsvirin hər iki səviyyəsi – *fərdi* səviyyə (ayrıca trayektoriyalara uyğun gələn) və *statistik* səviyyə (ansamblara uyğun gələn) ekvivalent olardı.

Bu həmişə belədirmi? Hər hansı bir dönməyənliyə yol verməyən, sadə dayanıqlı sistemlər üçün bu, həqiqətən, doğrudur. Gibbs və Einstein haqlı idilər. Fərdi (trayektoriya anlayışlarında) və statistik (ehtimal anlayışlarında) baxışlar bu halda ekvivalentdir. Bu asanca təsdiqlənə bilər və

V Fəsildə biz bu məqama qayıdacağıq. Bəs bu, dayanıqsız sistemlər üçün də doğrudurmu? Necə olur ki, molekulyar səviyyədə dönməyən proseslərlə məşğul olan bütün nəzəriyyələr, Boltzmann-ın kinetik nəzəriyyəsi kimi, trayektoriyalarla deyil, ehtimallarla işləyir. Bu, yenə də bizim təqribiliklərin, kobud paylaşdırmanın nəticəsidirmi? Bu belədirsə, biz kinetik nəzəriyyənin uğurlarını – seyrək qazların istilik keçiriciliyi və diffuziyası kimi təcrübədə təsdiq olunmuş bir çox xassələrinin kəmiyyətə əvvəlcədən deyilə bilməsini necə izah edə bilərik?

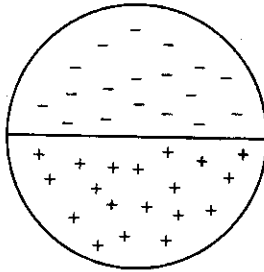
Poincare kinetik nəzəriyyənin uğurlarından o qədər təsirlənmişdi ki, «ola bilsin ki, qazların kinetik nəzəriyyəsi model rolunu oynayacaq... Onda fiziki qanunlar tamamilə yeni şəkllə düşəcək; onlar *statistik xarakterə* malik olacaq» yazmışdı.³⁸ Bu, həqiqətən, peyğəmbərcəsinə deyilmiş sözlər idi. Boltzmann qeyri-adi cürətlə hərəkət edərək ehtimalı empirik vasitə kimi daxil etmişdi. İndi, yüz ildən də artıq keçəndən sonra, biz dinamikadan termodinamikaya keçərkən, ehtimalla bağlı anlayışların necə meydana çıxdığını anlamağa başlayırıq. Dayanıqsızlıq təsvirin fərdi və statistik səviyyələri arasındakı ekvivalentliyi pozur. Onda, ehtimallar özünə məxsus bir dinamik mənə əldə edir. Bu bilik fizikanın yeni sahəsinə, bu kitabın əsas obyektı olan toplumlar (populyasiyalar) fizikasına gətirir.

Aydınlıq üçün gəlin xaosun sadələşdirilmiş nümunəsini nəzərdən keçirək. Fərz edək ki, Şəkil 1.4-də əks etdirilmiş faza fəzasında «+» və ya «-» kimi işarə edilmiş iki növ hərəkət (yəni, «yuxarı» və «aşağı» hərəkət) var. Bu bizi 1.5 və 1.6 şəkillərində verilmiş iki növ vəziyyətə gətirir. Şəkil 1.5-də faza fəzasında biri «-» hərəkətə, digəri isə «+» hərəkətə uyğun gələn iki müxtəlif oblast vardır. Əgər biz sərhədə yaxın hissələri nəzərə almasaq hər «-» hərəkət başqa «-» hərəkətlə, hər «+» hərəkət isə başqa «+» hərəkətlərlə əhatə olunub. Bu dayanıqlı sistemə uyğun gəlir. Başlanğıc şərtlərdə kiçik dəyişmələr son nəticəni dəyişmir.

Şəkil 1.5

Dayanıqlı dinamik sistem

«+» və «-» kimi işarə edilmiş hərəkətlər faza fəzasının müxtəlif oblastlarında yerləşir.

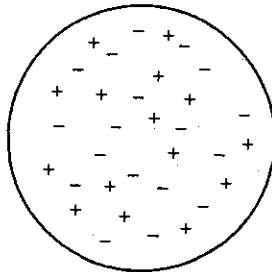


Şəkil 1.6-da isə hər «+» hərəkət «-» hərəkətlə əhatə olunub və əksinə. Başlanğıc şərtlərdə ən kiçik dəyişmə güclənir və ona görə də sistem dayanıqsızdır.

Şəkil 1.6

Dayanıqsız dinamik sistem

Hər «+» hərəkət «-» hərəkətlə əhatə edilib və əksinə.



Bu dayanıqsızlığın başlıca nəticəsi ondan ibarətdir ki, trayektoriyalar bu halda real deyil, ideallaşdırma olur. Biz artıq ayrıca trayektoriya hazırlaya bilmirik, çünki bu sonsuz dəqiqlik tələb edir. Dayanıqlı sistem üçün bunun əhəmiyyəti

yoxdur, lakin başlanğıc şərtlərə həssas olan dayanıqsız sistemlər üçün biz yalnız hərəkətin müxtəlif növlərini əhatə edən ehtimal paylanmalarını hazırlaya bilirik.

Bu yalnız praktik çətinlikdirmi? Əgər biz trayektoriyaların bu halda hesablanma bilinmədiyini nəzərə alsaq, bəli. Lakin təkcə bu deyil: ehtimalın paylanması bizə dinamik təsvirin çərçivəsinə faza fəzasının mürəkkəb mikroquruluşunu daxil etmək imkanı verir. Ona görə də, ehtimal paylanması səviyyəsində təsvir özündə fərdi trayektoriyalar səviyyəsində çatışmayan əlavə məlumat saxlayır. IV Fəsildə görəcəyimiz kimi bu, fundamental əhəmiyyət daşıyır. ρ paylanma funksiyası səviyyəsində biz elə bir yeni dinamik təsvir alırıq ki, ansamblın, gələcək təkamülünü, o cümlədən xarakterik vaxt ölçülərini öncədən görməyə imkan verir. Bu, fərdi trayektoriyalar səviyyəsində mümkün deyil. Fərdi və statistik səviyyələr arasındakı ekvivalentlik, həqiqətən də, pozulmuş olur. Biz ρ ehtimal paylanması üçün yeni həllər alırıq; çünki bu həllər ayrıca götürülmüş trayektoriyaya tətbiq edilə bilmir. Xaosun qanunları statistik səviyyədə ifadə edilməlidir. Biz əvvəlki bölmədə dinamikanın trayektoriya dilində ifadə edilə bilməyən ümumiləşdirilməsi haqqında danışanda məhz bunu nəzərdə tuturduq. Bu, keçmişdə heç vaxt üzləşmədiyimiz bir vəziyyətə gətirir. Başlanğıc hal artıq faza fəzasında bir nöqtə yox, başlanğıc $t=0$ anında ρ ilə təsvir edilən müəyyən oblastdır. Beləliklə biz *qeyri-lokal* təsvir alırıq. Trayektoriyalar hələ qalır, lakin onlar artıq ehtimallı prosesin məhsuludur. Başlanğıc şərtlərin nə dərəcədə dəqiq seçilməsindən asılı olmayaraq, biz ondan müxtəlif trayektoriyalar alırıq. Bundan başqa, görəcəyik ki, zaman simmetriyası pozulur, çünki statistik təsvirdə keçmiş və gələcək müxtəlif rollar oynayır. Əlbəttə, dayanıqlı sistemlər üçün biz determinist trayektoriyalar dilində olan ənənvi təsvirə qayıdırıq.

Təbiətin qanunlarının dönməyənliyi və ehtimalı da əhatə edən ümumiləşdirilməsinə çatmaq üçün niyə bu qədər uzun vaxt lazım olmuşdur? Səbəblərdən biri ideoloji səbəbdir – təbiətin təsvirində bizim ilahi nəzər nöqtəsinə çatmaq arzumuzdur. Lakin texniki, riyazi problemlər də var. Bizim işlərimiz, riyaziyyatın yalnız son onilliklərdə ön cəbhəyə çıxmış sahəsi olan funksional analizin son nailiyyətlərinə əsaslanır. Biz görəcəyik ki, bizim yanaşmamız genişləndirilmiş funksional fəza tələb edir. Riyaziyyatın ümumiləşmiş funksiyalardan və ya Benoit Mandelbrot-un adlandırdığı kimi fraktallardan istifadə edən bu yeni sahəsi hazırda təbiət qanunlarını başa düşməkdə həlledici rol oynayır.³⁹ Determinizm ideyasını saxlamaq üçün bizim «ilahi» nəzər nöqtəsinə ehtiyacımız var. Lakin nə insanın ölçmələri, nə də nəzəri öngörmələr başlanğıc şərtləri sonsuz dəqiqliklə bizə verə bilməz.

Determinist xaos dünyasında Laplace iblisinin başına nə gələcəyini təsəvvür etmək maraqlı olar. Başlanğıc şərtləri sonsuz dəqiqliklə bilmədiyi üçün o, artıq, gələcəyi öncədən xəbər verə bilmir. O, yalnız trayektoriya təsvirindən istifadə etməyi davam etdirə bilər. Lakin *başlanğıc təsvirin dəqiqlik dərəcəsi*ndən asılı olmayaraq, trayektoriyaların dağılmasına gətirən daha güclü bir dayanıqsızlıq mövcuddur. Dayanıqsızlığın bu forması fundamental əhəmiyyətə malikdir, çünki həm klassik, həm də kvant mexanikasına aiddir.

Əslində, bizim mövzu XIX əsrin sonundan, Jules-Henri Poincare-nin işi ilə başlayır. Poincare-yə görə dinamik sistem onu təşkil edən hissəciklərin kinetik enerjisi və onların qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisinin cəmi ilə xarakterizə olunur.⁴⁰ Buna sadə misal sərbəst, qarşılıqlı təsirdə olmayan hissəciklərdir ki, bu halda potensial enerji yoxdur və trayektoriyaların hesablanması trivialdır. Belə sistemlər tərifinə görə inteqrallandır. Poincare sonra belə bir sual

verir: bütün sistemlər inteqrallana biləndirmi? Biz potensial enerjini aradan çıxarmaq üçün uyğun dəyişən kəmiyyətlər seçə bilərikmi? Ümumi halda bunun mümkün olmadığını göstərərək o, sübut edib ki, dinamik sistemlər əsasən *inteqrallana bilməyəndir*.

Bir anlığa fasilə verib, Poincare-nin nəticələri üzərində düşünməyə dəyər. Fərz edək ki, o, bütün sistemlərin inteqrallanan olduğunu sübut edib. Bu, o demək olardı ki, bütün dinamik sistemlər sərbəst, qarşılıqlı təsirdə olmayan hissəciklərə izomorfdur. Belə halda zaman oxuna, özünütəşkilə və həyatın özünə də yer qalmır. İnteqrallanan sistemlər statik, determinist dünyanı təsvir edir. Poincare təkcə inteqrallana bilməyənliyi göstərməmiş, həm də onun səbəbini müəyyən etmişdir: *sərbəstlik dərəcələri arasında rezonansların olması*. V Fəsildə görəcəyik ki, hərəkətin hər bir növünə uyğun gələn bir tezlik mövcuddur. Buna ən sadə misal harmonik ossilyatordur ki, burada bir cisim və mərkəzi nöqtə verilmiş olur. Hissəcik, onun bu nöqtədən olan məsafəsinə mütənəsb olan qüvvə tərəfindən saxlanılır. Əgər biz cismi mərkəzi nöqtədən kənara çıxarsaq o, müəyyən tezliklə rəqs edəcək. Poincare teoremində həlledici olan rezonans anlayışına biz bu tezliklər vasitəsilə gəlib çıxırıq.

Biz hamımız rezonans anlayışı ilə az-çox tanışıq. Biz yayı tarazlıq vəziyyətindən çıxardıqda, o məxsusi tezliklə rəqs edir. Gəlin bu yaya tezliyi dəyişə bilən xarici qüvvə ilə təsir edək. Yayın və xarici qüvvənin tezliklərinin nisbəti tam ədədə bərabər olduqda (yəni tezliyin biri o birinə bərabər və ya ondan iki, üç, dörd ... dəfə böyük olduqda), yayın hərəkətinin amplituldu kəskin surətdə artır. Biz musiqi alətində bir not çaldıqda da həmin hadisə baş verir. Biz harmonikaları eşidirik. Rezonans səsləri «əlaqələndirir».

İndi iki tezliklə xarakterizə olunan sistemə baxaq. Tərifə görə $n_1\omega_1 + n_2\omega_2 = 0$ olanda (n_1 və n_2 sıfırdan fərqli tam ədədlərdir), biz rezonans alırıq. Bu o deməkdir ki, $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_2}{n_1}$;

onda tezliklərin nisbəti rəasional ədəddir. Poincare-nin göstərdiyi kimi dinamikada rezonanslar $\frac{1}{n_1\omega_1 + n_2\omega_2}$ kimi

«təhlükəli» məxrəclərə malik ifadələrə gətirir. Hər rezonans olanda (yəni faza fəzasının $n_1\omega_1 + n_2\omega_2 = 0$ olan nöqtələrində) bu ifadələr dağılır. Nəticədə, trayektoriyaları hesablamaq istədikdə biz ciddi maneələrlə rastlaşırıq.

Poincare-nin dediyi mənada inteqrallana bilməyənliyin səbəbi budur. «Sıfıra yaxın məxrəclər problemi» XVIII əsr astronomlarına artıq məlum idi, lakin Poincare teoremi göstərdi ki, onun «dinamikanın ümumi problemi» adlandırdığı bu çətinlik dinamik sistemlərin böyük əksəriyyətinə xasdır. Lakin uzun müddət ərzində Poincare-nin kəşflərinin mühümlüyü diqqətdən kənar qalmışdır.

Max Born yazırdı ki, «əgər çox cisim məsələsinin analitik çətinliklərinin arxasına sığınmaqla təbiət özünü elmin gələcək nailiyyətlərindən qoruyursa, bu, həqiqətən, çox diqqətəlayiqdir.»⁴¹ Texniki çətinliyin (rezonans nəticəsində dağılmanın) dinamikanın konseptual quruluşunu dəyişə biləcəyini güman etmək çox çətin idi. İndi biz bu problemi başqa cür görürük. Poincare-nin dağılmaları bizim üçün əlverişli bir imkandır. Həqiqətən, biz bu mənfi müddəadan yan keçə bilirik və göstəririk ki, inteqrallana bilməyənlik də xaos kimi, dinamikanın qanunlarının yeni *statistik* ifadəsi üçün yol açır. Andrei N. Kolmogorov-un Vladimir Igorevich Arnold və Jürgen Kurt Moser tərəfindən davam etdirilmiş (KAM nəzəriyyəsi adlandırılan) işləri nəticəsində bunun başa

düşülməsi üçün Poincare-dən sonra düz 40 il lazım gəlmişdir.⁴² İnteqrallana bilməyənlik, Born-un sözləri ilə desək, elmin inkişafına qarşı təbiətin müəyyən müqavimətinin məyusedici nümayişi deyil, dinamikanın yeni çıxış nöqtəsidir.

KAM nəzəriyyəsi rezonansların trayektoriyaya təsiri ilə məşğul olur. Ümumi halda ω tezliyi dinamik dəyişənlərin, məsələn koordinatlar və impulsların qiymətlərindən asılı olur. Ona görə də tezliklər faza fəzasının müxtəlif nöqtələrində müxtəlif qiymətlər alır. Nəticədə bəzi nöqtələrdə rezonans olacaq, digərlərində yox. Faza fəzasında bu, kaos üçün yenə də fəvqəladə mürəkkəbliyə gətirir. KAM nəzəriyyəsinə görə biz iki növ trayektoriya müşahidə edirik: «yaxşı» determinist trayektoriyalar və rezonanslarla bağlı «təsadüfi» trayektoriyalar; sonuncular faza fəzasında nizamsız olaraq yerini dəyişir.

Bu nəzəriyyənin digər mühüm nəticəsi ondan ibarətdir ki, biz enerjinin qiymətini artırdıqca, təsadüfiliyin üstünlük təşkil etdiyi oblastları artırmış oluruq. Enerjinin müəyyən böhran qiymətində kaos təzahür edir: biz qonşu trayektoriyaların zamana görə eksponensial dağılmasını müşahidə edirik. Bundan əlavə tam formalaşmış kaos üçün, trayektoriyanın yaratdığı nöqtələr buludu diffuziyaya gətirir. Lakin diffuziya *bizim gələcəyimizdə* bircinsliyə yaxınlaşma ilə bağlıdır. Bu, entropiya yaradan dönməyən prosesdir (I Fəslə bax). Klassik dinamikadan çıxış etməyimizə baxmayaraq, biz indi zaman simmetriyasının pozulmasını müşahidə edə bilirik. Bu necə mümkün olur? - Zaman paradoksunu aradan qaldırmaq üçün həll etməli olduğumuz əsas problem budur.

Poincare rezonansları fizikada fundamental rol oynayır. Qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklər sisteminin tarazlığa çatması prosesində işığın buraxılması və udulması rezonansların

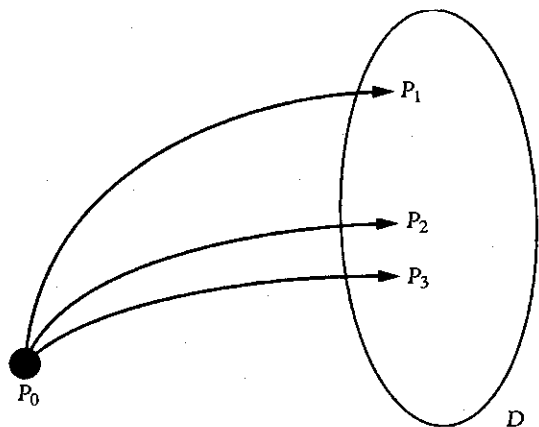
nəticəsində baş verir. Qarşılıqlı təsirdə olan sahələr də rezonanslara gətirir. Klassik və ya kvant fizikasında elə bir mühüm problem tapmaq çətindir ki, orada rezonanslar əhəmiyyətli rol oynamasınlar. Bəs, rezonanslarla bağlı olan dağılmaları biz necə aradan qaldıra bilərik? Bu işdə bəzi mühüm nailiyyətlər əldə edilib. III bölmədə olduğu kimi, biz fərdi səviyyəni (trayektoriyalar) statistik səviyyədə (ρ ehtimal paylanması ilə təsvir edilən ansamblar) fərqləndirməliyik. Fərdi səviyyədə biz dağılmalar alırıq, lakin statistik səviyyədə (V və VI Fəsillərə bax), bu məsələ həll oluna bilir; sonuncu halda rezonanslar səsərin əlaqələnməsinə bənzər olaraq hadisələrin də əlaqələnməsinə gətirir. Bu, yeni, Newton anlayışlarından fərqli anlayışlara gətirir ki, bunlar da *trayektoriya təsviri ilə uyuşmaz* olur və əvəzində statistik, ehtimallı təsvir tələb edir. Bu təəcüblü deyil. Rezonanslar lokal hadisələr deyil, yəni verilmiş nöqtədə və ya anda baş vermir. Onlara qeyri-lokal təsvir tətbiq olunur, ona görə də onlar Newton dinamikası ilə bağlı olan trayektoriya təsvirinə daxil edilə bilməz. Sonralar görəcəyimiz kimi onlar diffuz hərəkətə gətirir. Biz faza fəzasındakı P_0 nöqtəsindən başlayırıqsa, τ müddətindən sonra onun P_τ yerini artıq tam müəyyənliliklə təyin edə bilmirik. Qısaca desək, P_0 başlanğıc nöqtəsi hər biri müəyyən ehtimala malik olan çoxlu sayda mümkün P_1, P_2, P_3, \dots nöqtələrinə gətirir.

Şəkil 1.7-də P_0 nöqtəsində olan sistemin τ zamanından sonra D oblastındakı hər bir nöqtədə olması sıfırdan fərqli və tamamilə müəyyən keçid ehtimalına malikdir. Bu vəziyyət «təsadüfi hərəkət» və ya «Brown hərəkəti»nə oxşardır. Ən sadə halda, bu vəziyyət birölçülü qəfəs üzərində hər bərabər zaman intervalında biraddımlı keçid edən hissəciklə göstərilə bilər (Şəkil 1.8).

Şəkil 1.7

Diffuz hərəkət

t müddətindən sonra sistem D oblastında $P_1, P_2, P_3 \dots$ nöqtələrinin hər hansı birində ola bilər.

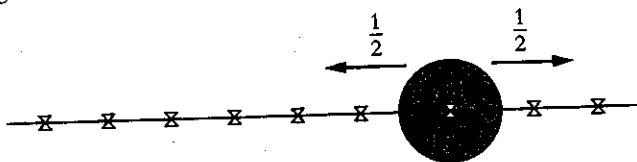


Hər addımda hissəciyin sağa hərəkət etmə ehtimalı $1/2$, sola hərəkət etmə ehtimalı da $1/2$ -dir. Hər addımda gələcək qeyri-müəyyəndir. Artıq lap başlanğıcdan trayektoriya haqqında danışmaq mümkün deyil. Riyazi olaraq, Brown hərəkəti diffuziya tənliyi kimi (Fokker-Planck tənlikləri adlanan) tənliklərlə təsvir olunur.

Şəkil 1.8

Təsadüfi hərəkət

Biröçlü qəfəsdə Brown hərəkəti. Hər addımda hissəciyin sağa getmə ehtimalı $1/2$, sola getmə ehtimalı da $1/2$ -dir.



Diffuziya zamana görə istiqamətə malik olduğundan, eyni başlanğıcda yerləşmiş nöqtələr buludu, vaxt keçdikcə yayılacaq. Hissəciklərin bəziləri mənbəyindən uzaqda digərləri isə yaxında tapıla bilər. Bu çox diqqətəlayiqdir ki, klassik dinamikadan başladıda rezonanslar həmişə diffuz hədlərə gətirir, bu isə o deməkdir ki, hətta klassik mexanika çərçivəsində belə, rezonanslar qeyri-müəyyənlik yaradır və beləliklə, zaman simmetriyasını pozur.

İntegrallana bilən sistemlər üçün, yəni belə diffuz əlavələr olmadıqda, biz yenidən trayektoriya təsvirinə qayıdırıq, lakin ümumi halda dinamikanın qanunları ehtimal paylanması səviyyəsində ifadə edilməlidir. Deməli əsas sual budur: hansı şəraitdə biz diffuz hədlərin meydana çıxacağını gözləyə bilərik? Bu baş verdikdə, ehtimal təbiətin əsas xassəsinə çevrilir. Newton dinamikasının (və ya növbəti bölmədə baxacağımız kvant nəzəriyyəsinin) doğruluq həddlərinin müəyyən edilməsini əhatə edən bu sual inqilab mahiyyəti daşıyır. Əsrlər boyu trayektoriyalara klassik fizikanın ən sadə, əsas obyektləri kimi baxılırdı. Lakin indi biz onlara rezonanslı sistemlər üçün məhdud doğruluğa malik olan obyektlər kimi baxırıq. Biz V Fəsilə, kvant mexanikası üçün isə VI Fəsilə bu məsələyə dəfələrlə qayıdacağıq. Hələlik isə gəlin bəzi ilkin cavablarla kifayətlənək. *Ani* qarşılıqlı təsirlər üçün (hissəciklər dəstəsi maneə ilə toqquşur və qayıdır) diffuz hədlər nəzərə alınmayacaq qədər kiçikdir. Lakin *davamlı* qarşılıqlı təsirlər üçün (hissəciklərin sabit axını maneənin üzərinə tökülür) onlar üstünlük təşkil edir. Kompüter modelləşməsində biz hər iki şəraiti real aləmdə olduğu kimi yarada və beləliklə, öngörmələrimizi yoxlaya bilərik. Nəticələr davamlı qarşılıqlı təsirlər üçün diffuz hədlərin meydana çıxdığını, beləliklə də həm Newton, həm də ənənəvi

Epicurus ünvanı 15

kvant mexanikası təsvirlərinin bu halda yaramadığını birqiymətli olaraq göstərir. Biz deterministik xaosda olduğu kimi bu halların hər ikisində «gətirilməyən» ehtimallı təsvir alırıq.

Lakin burada daha diqqətəlayiq digər bir məsələ də vardır. Makroskopik sistemlər adətən *termodinamik limit* anlayışı əsasında təyin edirlər; bu halda həm hissəciklərin N sayı, həm də V həcmi böyük olur. Bu limiti biz V və VI Fəsillərdə öyrənəcəyik. Bu limitlə bağlı hadisələrin müşahidəsi zamanı materiyanın yeni xassələri aşkara çıxır.

Biz cəmi bir neçə hissəciyə baxsaq, onların maye və ya qaz yaratdıqlarını deyə bilmərik. Maddənin halı, eləcə də faza keçidləri, son nəticədə, termodinamik limit vasitəsilə təyin olunur. Faza keçidlərinin mövcudluğu göstərir ki, hissəciklərin sayını azaltdıqda biz ehtiyatlı olmalıyıq. Faza keçidləri zahir olmaq xüsusiyyətlərinə uyğun gəlir. O, ayrıca hissəcik yox, yalnız toplular səviyyəsində mənaya malikdir. Bu mülahizə Poincare rezonanslarına əsaslanan fikrə bənzəyir. Davamlı qarşılıqlı təsir o deməkdir ki, biz sistemin bir hissəsini götürüb ona ayrılıqda baxa bilmərik. Məhz bu qlobal səviyyədə, toplular səviyyəsində keçmiş və gələcək arasındakı simmetriya pozulur, elm zaman axınıni etiraf edir. Bu, uzun müddət mövcud olan tapmacanı həll edir. Həqiqətən də, məhz makroskopik fizikada dönməyənlik və ehtimal ən çox nəzərə çarpır.

Termodinamika inteqrallana bilməyən sistemlərə tətbiq olunur. Bu o deməkdir ki, biz dinamik problemləri trayektoriya təsvirində həll edə bilmirik, lakin ehtimallar təsvirində həll edə bilirik. Ona görə də, determinist xaos halında olduğu kimi, klassik mexanikanın yeni statistik şəkli də riyazi çərçivənin genişlənməsinə gətirir. Bu, müəyyən

dərəcədə ümumi nisbilik nəzəriyyəsini xatırladır. Einstein-in göstərdiyi kimi, biz qravitasiyanı əhatə etmək üçün Euclide (Evklid) həndəsəsindən Riemann (Riman) həndəsəsinə keçməliyik. Funksional analizdə Hilbert fəzası adlandırılan fəza xüsusi rol oynayır; bu Euclide həndəsəsini ölçülərinin sayı sonsuz olan hal («funksiya fəzası») üçün genişləndirir. Kvant mexanikası və statistik mexanika adətən Hilbert fəzasından istifadə edir. Dayanıqsız sistemlər və termodinamik limit üçün doğru olan yeni ifadə tərzini almaq üçün biz Hilbert fəzasından daha ümumi olan funksional fəzaya keçməliyik. Bu məsələ IV-VI Fəsilərdə müfəssəl izah ediləcək.

Biz bu əsrin əvvəlindən başlayaraq belə bir ideyaya alışmışıq ki, atomlar və ya elementar hissəciklər kimi mikroskopik obyektlər və ya astronomik miqyaslı obyektlər öyrəniləndə klassik mexanika genişləndirilməlidir. Qəribədir ki, dayanıqsızlıq da klassik mexanikanın genişləndirilməsini tələb edir. İndi müraciət edəcəyimiz kvant mexanikasında da vəziyyət buna çox oxşardır. Rezonansların əmələ gətirdiyi dayanıqsızlıq kvant nəzəriyyəsinin formasının dəyişməsində fundamental rol oynayır.

IV

Kvant mexanikasında biz çox qərribə vəziyyətlə üzləşirik. Yaxşı məlumdur ki, bu nəzəriyyənin bütün nəticələri qeyri-adi dərəcədə uğurlu olub. Lakin yaranmasından altmış il sonra da onun mə'nası və tətbiq dairəsi haqqında mübahisələr əvvəlki kimi qızğın davam edir. Elm tarixində bu nadir hadisədir.⁴³ Kvant mexanikasının bütün uğurlarına baxmayaraq fiziklərin çoxu müəyyən narahatçılıq hissi

keçirirlər. Richard Feynman bir dəfə qeyd etmişdi ki, əslində kvant nəzəriyyəsini heç kim «anlamır».

Burada əsas kəmiyyət Ψ dalğa funksiyasıdır; o, müəyyən mənada klassik mexanikadakı trayektoriya rolunu oynayır. Doğrudan da, kvant nəzəriyyəsinin əsas tənliyi olan Schrodinger tənliyi dalğa funksiyasının zamana görə təkamülünü təsvir edir. Klassik mexanikada trayektoriya bir faza nöqtəsini digərinə gətirdiyi kimi, Schrodinger tənliyi başlanğıc t_0 anında verilmiş $\Psi(t_0)$ dalğa funksiyasını, t anındakı $\Psi(t)$ funksiyasına çevirir.

Newton tənliyinə oxşar olaraq, Schrodinger tənliyi də determinist və zamanca dönəndir. Klassik dinamikada olduğu kimi burada da kvant mexanikasının dinamik təsviri ilə, entropiya ilə bağlı təkamül təsviri arasında uçurum ortaya çıxır. Ψ dalğa funksiyasının fiziki mənası *ehtimalın amplitududur*. Bu o deməkdir ki, $|\Psi|^2 = \Psi\Psi^*$ (Ψ həm həqiqi, həm də xəyali hissəyə malikdir; Ψ^* isə Ψ -nin kompleks qoşmasıdır) ehtimaldır; biz onu yenə də ρ ilə işarə edəcəyik. Ehtimalın ansambla uyğun gələn və müxtəlif dalğa funksiyalarının superpozisiyası vasitəsilə alınan daha ümumi formaları mövcuddur. Ayrıca dalğa funksiyası ilə təsvir edilən təmiz halların əksinə olaraq, bunlar qarışıq hallar adlanır.

Klassik mexanikada hər bir dinamik problemin adətən trayektoriya dinamikası ilə əlaqələndirildiyinə tam oxşar olaraq, kvant nəzəriyyəsinin də əsas fərziyyəsi ondan ibarətdir ki, hər bir dinamik problem ehtimalın *amplitudu* səviyyəsində həll edilə bilər. Amma qəribəsi odur ki, maddəyə yaxşı müəyyən edilmiş xassələr aid etmək üçün biz ehtimal amplitudundan kənara çıxmalıyıq, bizə ehtimalın özü gərəkdir. Bu çətinliyi anlamaq üçün sadə bir misala baxaq.

Fərz edək ki, enerji iki, E_1 və E_2 qiyməti ala bilər. Uyğun dalğa funksiyaları u_1 və u_2 -dir. İndi xətti superpozisiyaya baxaq: $\Psi = c_1 u_1 + c_2 u_2$. Onda dalğa funksiyası hər iki səviyyədə «iştirak edir». Sistem nə 1, nə də 2 halındadır, daha doğrusu aralıq bir haldadır. Gəlin indi Ψ ilə bağlı enerjini ölçək. Onda, kvant mexanikasına görə, ehtimal amplitudlarının $|c_1|^2$ və $|c_2|^2$ kvadratlarının müəyyən etdiyi ehtimalla biz ya E_1 , ya da E_2 qiymətini alarıq.

Biz bir Ψ dalğa funksiyasından başlayıb, iki u_1 və u_2 dalğa funksiyalarının qarışığı ilə qurtardıq. Bu, çox vaxt «reduksiya» və ya dalğa funksiyasının «kollapsı» adlandırılır. Biz Ψ dalğa funksiyası ilə təyin edilən *potensial imkanlardan*, ölçə biləcəyimiz *reallığa* keçməliyik. Kvant nəzəriyyəsinin ənənəvi dili ilə desək biz təmiz haldan (dalğa funksiyasından) ansamblə və ya qarışıq hala doğru hərəkət edirik. Lakin bu necə mümkündür? Əvvəldə bildirildiyi kimi Schrodinger tənliyi bir dalğa funksiyasını ansamblə deyil, başqa dalğa funksiyasına çevirir. Bunu çox vaxt *kvant paradoksu* adlandırırlar. Belə fərz edilir ki, potensial imkanlardan reallığa keçid bizim ölçmələrimizin nəticəsində baş verir. Bu, Steven Weinberg-in ifadə etdiyi baxışdır ki, bu fəslin I Bölməsində və bir çox dərsləklərdə əksini tapmışdır. Bu, klassik mexanikada zaman paradoksu üçün təklif edilən izaha bənzər bir izahdır. Hər iki halda anlamaq çətindir ki, müşahidə kimi bir insan fəaliyyəti potensial imkanlardan reallığa keçidə necə cavabdeh ola bilər. Bəşəriyyət olmasaydı, Kainatın təkamülü fərqlimi olardı? *The New Physics: A Synthesis* kitabının girişində Paul C.W. Davies yazır:

Ən fundamental səviyyədə, kvant mexanikası mikrosistemlərin müşahidəsinin nəticələrini öncədən demək üçün çox uğurlu üsulu təmin edir, lakin müşahidə zamanı faktik olaraq nə baş verdiyini soruşduqda cəfəngiyyat alınır! Bu paradoksu aradan qaldırmaq cəhdləri Hugh Everett-in çox kainatlı izahı kimi qəribəlikdən tutmuş, John von Neumann və Eugene Wigner-in müşahidəçinin şüuruna müraciət edən mistik ideyalarına qədər uzanır. Yarım əsr ərzində aparılan mübahisələrdən sonra da kvant müşahidəsi haqqında müzakirələr əvvəllər olduğu kimi davam edir. Çox kiçik və çox böyük olanın fizikasının problemləri çox mürəkkəbdir, lakin ola bilsin ki, bu sərhəd – şüur və maddənin təmas müstəvisi – Yeni Fizikanın aldığı ən mübahisəli mirasdır.⁴⁴

Bu «şüur və maddə arasındakı təmas müstəvisi» həm də zaman paradoksunun mərkəzindədir. Əgər zaman oxu biz olmadıqda zamanca simmetrik qanunlarla idarə olunan dünya ilə yalnız bizim şüurumuzun qarşılıqlı təsirdə olması nəticəsində mövcud olsaydı, biliklərin əldə edilməsi özü paradoksal olardı, çünki onda *hər bir ölçmə artıq dönməyən proses deməkdir*. Əgər biz zamanca-dönən obyekt haqqında nə isə öyrənmək istəyiriksə, ya cihaz, ya da bizim hissiyat mexanizmi səviyyəsində ölçməyə cəlb edilmiş dönməyən proseslərdən qaça bilmərik. Beləliklə, klassik fizikada, zamanca dönən fundamental qanunlar vasitəsilə biz «müşahidəni» necə anlaya bilərik - sualını verdikdə, Davies-in ifadə etdiyi kimi «cəfəngiyyat» alırıq. Dönməyənliyin bu müdaxiləsi klassik fizikada xırda problem kimi qəbul edilmişdi. Klassik dinamikanın böyük uğurları onun obyektiv xarakterinə şübhə yeri qoymamışdı. Kvant nəzəriyyəsində vəziyyət tamamilə başqadır. Burada ölçməni təbiətin fundamental təsvirinə daxil etmək zərurəti nəzəri sistemin özündə açıq-aşkar bəyan edilir. Ona görə də biz sanki

qaçılmaz bir dualizmlə üzlaşmışik: bir tərəfdən zamanca dönən Schrodinger tənliyi, digər tərəfdən dalğa funksiyasının kollapsı.

Kvant mexanikasının bu ikili təbiəti görkəmli fizik Wolfgang Pauli (Volfqanq Pauli) tərəfindən dəfələrlə qeyd edilmişdi. Markus Fierz-ə 1947-ci ildəki məktubunda o yazırdı: «Müşahidə zamanı həqiqətən də nəşə baş verir və bununla əlaqədar ...entropiya mütləq artır. Müşahidələr arasında, ümumiyyətlə, heç nə baş vermir.»⁴⁵ Lakin bizim müşahidə edib-etməməyimizdən asılı olmayaraq üzərinde yazdığımız kağız köhnəlib saralır.

Bu paradoks necə həll edilə bilər? Davies-in qeyd etdiyi ifrat mövqeyə əlavə olaraq, Niels Bohr-un (Nils Bor) «Kopenhagen yozumu» da daxil olmaqla çoxlu sayda təkliflər irəli sürülüb.* Bohr belə nəticəyə gəlirdi ki, ölçü cihazlarına klassik qaydada baxılmalıdır. Bu o deməkdir ki, bəzi dinlərdə *o biri* dünya ilə əlaqə yaratmaq üçün keşiş və ya şaman lazım olduğu kimi, makrodünyaya aid olan bizlərə də mikrodünya ilə əlaqə yaratmaq üçün, sanki bir vasitəçi lazım gəlir.

Lakin bu problemi çətin ki həll etsin, çünki Kopenhagen yozumu bizim ölçü cihazı kimi istifadə edə biləcəyimiz fiziki sistemlərin nə ilə xarakterizə olunacağı haqqında heç bir göstəriş vermir. Bohr əsas sualdan yayınır: dalğa funksiyasının kollapsına hansı növ dinamik proseslər cavabdehdir? Bohr-un ən yaxın əməkdaşı Leon Rosenfeld Kopenhagen yozumunun məhdudluğunu çox yaxşı hiss edirdi. O, buna yalnız ilk addım kimi baxırdı, sonrakı addım

* Biz, xüsusi olaraq, Rae-nin *Quantum Physics* kitabını və Davies-in *New Physics*-nə daxil olan A. Shimony-nin "*Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*" kitabını məsləhət görürük.

ölçü cihazının roluna dinamik yozum verməkdir. Onun bu hökmü bizim tədqiqat qrupu ilə birgə bir sıra nəşrlərə gətirmişdi; bunlarda bizim indiki yanaşmamız qabaqcadan duyulmuşdu.⁴⁶

Digər fiziklər ölçü alətini hansısa «makroskopik» qurğu ilə eyniləşdirməyi təklif edirdilər. Onların fikrincə belə qurğu anlayışı təqribiliklərlə əlaqədardır. Praktiki səbəblərdən biz aparatın kvant xassələrini ölçə bilmirik. Bundan əlavə çox vaxt hesab edilirdi ki, biz aparata bütöv dünya ilə əlaqəli «açıq» kvant sistemi kimi baxmalıyıq.⁴⁷ Onda ətraf mühitdən doğan təsadüfi həyəcanlanmalar və flüktuasiyalar bizim ölçməni aparmaq qabiliyyətimiz üçün cavabdeh olardı. Lakin «ətraf mühit» dedikdə nə nəzərdə tutulur? Obyekt və onun ətraf mühiti arasındakı fərqlənməni kim müəyyən edir? Bu fərqləndirmə, fəaliyyətimiz və müşahidələrimiz vasitəsilə dalğa funksiyasının kollapsını məhz bizim yaratdığımızı iddia edən, von Neumann ideyasının yalnız dəyişdirilmiş formasıdır.

Müşahidəçi ilə əlaqədar olan subyektiv elementin aradan qaldırılması zərurətini John Bell özünün *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics* adlı gözəl kitabında qeyd etmişdi⁴⁸. Murray Gell-Mann və James B. Hartle-in bu yaxınlarda gördükləri işdə olan mülahizələr də çox mühümdür; onlar göstərir ki, kosmologiya ilə əlaqədar hallarda müşahidəçi amilinə müraciət edilməsi daha anlaşılmaqdır.⁴⁹ Kainatı kim ölçür? Bu yanaşmanı ətraflı müzakirə etmək üçün burada imkan yoxdur, ona görə də yalnız onların aldığı son nəticələrin qısa təsvirini verək.

Gell-Mann və başqaları Kainatın kvant-mexaniki tarixinin kobud paylaşılmış təsvirini daxil edirlər; bu təsvir kvant mexanikasının strukturunu dəyişir, ehtimal amplitudları nəzəriyyəsindən uyğun ehtimallar nəzəriyyəsinə

gətirir. Misal kimi yenə də u_1 və u_2 dalğa funksiyalarının superpozisiyası kimi alınmış $\Psi = c_1 u_1 + c_2 u_2$ dalğa funksiyasına baxaq. Əgər bunu kvadrata yüksəltək (sadəlik üçün Ψ -ni həqiqi hesab edəcəyik) $\Psi^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + 2c_1 c_2 u_1 u_2$ alarıq. İndi fərz edək ki, «interferensiya həddi» adlandırılan qarışıq hasilə nəzərə almaya bilərik. Bu halda kvant nəzəriyyəsinin bütün sirri itir. Ψ^2 ehtimalı «sadəcə olaraq» ehtimalların cəmi olur. Artıq potensial imkanlardan gerçəkliyə keçid haqqında danışmağa ehtiyac qalmır və biz birbaşa ehtimallarla işləyə bilərik. Lakin bu necə mümkün ola bilər? İnterferensiya hədləri kvant nəzəriyyəsinin tətbiqlərinin çoxunda mərkəzi rol oynayır. Lakin Gell-Mann və onun həmkarlarının təklifi məhz interferensiya həddinin aradan götürülməsi deməkdir. Bəs niyə bəzi hallarda bizə dəqiq, yaxşı paylaşılmış kvant təsviri, digər hallarda isə interferensiyayı aradan götürən kobud paylaşılmış kvant təsviri lazım olur? Bundan başqa, kobud paylaşdırmanı əslində kim aparır? Fundamental problemlərin həllini *təqribiliklər* dilində müzakirə etmək nə dərəcədə düzgündür? Bu, Gell-Mann-ın özünün II Bölmədə sitat gətirdiyimiz «kvant mexanikası bütün nəzəriyyələrin uyğun gəlməli olduğu çərçivədir» bəyanatı ilə necə uzlaşır?

Başqa tədqiqatçılar Epicurus-un klinamenini müasir formada yenidən daxil etməklə kvant-mexaniki tapmacanı həll etmək ümidindədir. Həqiqətən, Giancarlo Ghirardi, Emanuele Rimini və Tullio Weber hesab edirlər ki, hansısa anda, hansısa məlum olmayan səbəb üzündən dalğa funksiyasının özbaşına kollapsı baş verir.⁵⁰ Burada müzakirəyə hər hansı köklü əsaslandırma olmadan, *deus ex machina* kimi imkan anlayışı daxil edilir. Bu yeni klinamen niyə bəzi hallara tətbiq edilə bilər, digərlərinə isə yox?

Kvant nəzəriyyəsinin konseptual əsaslarının izahı üçün göstərilən bütün bu cəhdlərin demək olar ki, hamısında ən qəbuləilməz cəhət odur ki, onlar, faktik olaraq, yoxlanılması mümkün olan heç bir yeni öngörüm verməyib.

Bizim öz rəyimiz isə, ABŞ-da Abner Shimony, Fransada Bernard d'Espagnat kimi çoxlu sayda digər mütəxəssislərin rəyi ilə üst-üstə düşür.⁵¹ Onlara görə kvant mexanikasının bütün nailiyyətlərini qoruyub saxlayan, lakin nəzəriyyənin ikili strukturu ilə bağlı olan problemləri aradan qaldıran köklü yeniliklər edilməlidir. Yada salmaq ki, ölçmə problemi izolə edilmiş deyil. Ölçmə Leon Rosenfeld-in qeyd etdiyi kimi dönməyənliklə əlaqəlidir. Lakin ölçmənin dönməyənlik yaradıb-yaratmamasından asılı olmayaraq, kvant mexanikasında dönməyən proseslərə yer yoxdur. Dönməyənliyin kvant nəzəriyyəsinə daxil edilməsinin çətinliyi hələ onilliklər bundan qabaq (erqodik nəzəriyyə çərçivəsində) von Neumann, Pauli və Fierz tərəfindən müəyyən edilmişdi.⁵² Onlar problemi klassik mexanikada olduğu kimi kobud paylaşdırma yolu ilə həll etməyə çalışıblar, lakin cəhdləri uğursuz olub. Ola bilsin ki, bu, von Neumann-in son nəticədə ikili təsviri qəbul etməsinə səbəb olub: bir tərəfdə Schrodinger tənliyi, digər tərəfdə isə dalğa funksiyasının kollapsı.⁵³ Lakin kollaps dinamik terminlərdə təsvir edilməyincə bu çətin ki, kafi olsun. Bizim nəzəriyyənin nail olduğu məhz budur. Mərkəzi rolu yenə də dayanıqsızlıq oynayır. Lakin burada eksponensial olaraq dağılan trayektoriyaların istiqamətləndirdiyi determinist xaos tətbiq edilə bilməz. Kvant mexanikasında trayektoriya yoxdur. Ona görə də biz dayanıqsızlığı Poincare rezonansları vasitəsi ilə nəzərdən keçirəcəyik.

Biz Poincare rezonanslarını statistik təsvirə daxil edə və dalğa funksiyaları terminlərində kvant mexanikasının çərçivəsindən kənar qalan diffuz hədləri ala bilirik. Təsvir dalğa funksiyalarına yox, yenə də ρ ehtimalına (kvant

mexanikasında sıxlıq matrisi də adlandırılır; VI Fəslə bax) əsaslanacaq. Biz hər hansı qeyri-dinamik fərziyyələr etmədən, Poincare rezonansları vasitəsilə ehtimal amplitudlarından uyğun ehtimala keçidə nail oluruq.

Klassik dinamikada olduğu kimi, burada da ən əsas suallar bunlardır: diffuz hədlər nə vaxt meydana çıxır? Ənənvi kvant nəzəriyyəsinin hüdudları haradadır? Cavab klassik dinamikada olduğu kimidir (III Bölməyə bax). Qısaca desək, *davamlı* qarşılıqlı təsirlər zamanı diffuz hədlər üstünlük təşkil edir (VII Fəslə bax). Bu öngörüm, klassik mexanikada olduğu kimi, ədədi modelləşdirmə yolu ilə təsdiq edilib. Yalnız reduksionist təsvirdən kənara çıxmaqla biz kvant mexanikasının gerçək yozumunu verə bilərik. Burada dalğa funksiyasının kollapsı yoxdur, çünki dinamika qanunları artıq Ψ dalğa funksiyaları səviyyəsində yox, ρ sıxlıq matrisi səviyyəsindədir. Bundan başqa, müşahidəçi artıq heç bir xüsusi rol oynamır. Ölçü cihazı pozulmuş zaman simmetriyasını verməlidir. Bizim təbiəti qavramağımızda zamanın üstün istiqaməti olduğu kimi, belə sistemlər üçün də zamanın üstün istiqaməti mövcuddur. Bu o *ümumi* zaman oxudur ki, bizim fiziki dünya ilə əlaqələrimizin zəruri şərti, bəşər övladları ilə əlaqələrimizin təməlidir.

Beləliklə, klassik və kvant mexanikasının hər ikisində dayanıqsızlıq mərkəzi rol oynayır və bizi hər iki fənnin hüdudlarını genişləndirməyə məcbur edir. Bunu etmək üçün biz sadə, integrallana bilən sistemlər dairəsindən kənara çıxmalıyıq. Kvant nəzəriyyəsinin ümumiləşmiş ifadəsinin mümkünlüyü məsələsi çox cəlbedici olduğundan son on illər ərzində qızğın müzakirə edilib, lakin klassik nəzəriyyənin genişləndirilməsinə ehtiyacın olması məsələsi ondan da

gözlənilməzdir. Biz anlayırıq ki, bu, Galileo (Galiley) və Newton tərəfindən rüşeymi yaradılmış Qərb elminin lap əsaslarına gedib çıxan, rasionallıq əsasında ilə əlaqələri kəsmək deməkdir. Lakin son riyazi metodların dayanıqsız sistemlərə tətbiqinin məhz bu kitabda bəhs olunan genişlənmələrə gətirməsi sadəcə təsadüf deyil. Onlar bizə imkan verir ki, təbiətin ehtimallı təsviri əsasında Kainatımızın təkamül xüsusiyyətlərinin təsvirini daxil edək. Son məqalələrinin birində I. Bernard Cohen ehtimal inqilabını tətbiqlərdə inqilab kimi qeyd edir. O yazırdı ki, «1800-1930-cu illər arasında keçən dövr ehtimal sahəsində heç bir inqilab yaratmasa da, bu dövr *ehtimallılıq inqilabının* - nəticə etibarilə, inqilabi dəyişikliklərə məruz qalmış sahələrə ehtimal və statistikanın daxil edilməsi ilə bağlı fantastik nəticələrə müşayiət olunan əsl inqilabın əsasını qoymuşdur».⁵⁴

Bu «ehtimallılıq inqilabı» indi də davam edir.

V

Biz bu fəslin sonuna gəlib çatdıq. Biz Epicurus və Lucretius-dan, yeniliklərin yaranmasını izah etmək üçün onların klinameni icad etmələrindən başladırıq. İyirmibeş əsrdən sonra biz nəhayət bu anlayışa dəqiq fiziki mənə və bəzən bilirik; bu, dinamik sistemlərin müasir nəzəriyyəsi tərəfindən müəyyən edilən dayanıqsızlıqlardan qaynaqlanır. Əgər dünya dayanıqlı dinamik sistemlərdən formalaşsaydı, o, ətrafımızda müşahidə etdiyimizdən köklü surətdə fərqlənməli idi. O, statik, proqnozlaşdırıla bilən olmalıydı, lakin burada proqnoz vermək mənasız olacaqdı. Biz öz dünyamızda bütün səviyyələrdə flüktuasiyalar, bifurkasiyalar və dayanıqsızlıqlar müşahidə edirik. Müəyyənliklərə gətirən dayanıqlı sistemlər yalnız ideallaşdırılmaya, ya da yaxınlaşmalara uyğun gəlir. Maraqlıdır ki, Poincare bunu əvvəlcədən görmüşdü.

Termodinamika qanunlarını müzakirə edərkən o yazırdı:

Bu qanunların ancaq bir əhəmiyyəti ola bilər. O da bundan ibarətdir ki, bütün imkanlar üçün ümumi olan bir xassə var; lakin determinist fərziyyələrə görə yalnız yeganə bir imkan var və termodinamik qanunlar artıq heç bir əhəmiyyətə malik deyil. Qeyri-determinist fərziyyələrdə isə qanunlar mütləq mənada götürülsə də, mənaya malik ola bilər; onlar sərbəstliyin məhdudluqları kimi meydana çıxa bilər. Lakin bu sözlər yadıma saldı ki, mən geri çəkiliyəm, riyaziyyat və fizika sahəsini tərk etmək mərhələsindəyəm.⁵⁵

Bu gün biz «qeyri-determinist fərziyyələrdən» qorxmuruq. Bu, dayanıqsızlıq və xaos haqqında müasir nəzəriyyənin təbii nəticəsidir. Zaman oxuna malik olanda biz təbiətin iki başlıca xüsusiyyətini – onun vəhdətini və müxtəlifliyini dərhal anlayırıq. Vəhdətini, çünki zaman oxu Kainatın bütün hissələri üçün ümumidir (sizin gələcəyiniz mənim gələcəyimdür, Günəşin gələcəyi hər hansı başqa ulduzun gələcəyidir); mənim yazı yazdığım otaqda olduğu kimi müxtəlifliyini, çünki burada bu və ya digər dərəcədə istilik tarazlığına çatmış, molekulyar nizamsızlıq halına malik qazların qarışığı olan hava var, mənim arvadımın səliqəyə saldığı gözəl güllər var ki, müvəqqəti, dönməyən proseslərin nəticəsində yüksək dərəcədə təşkil olunmuş, tarazlıqdan çox uzaq obyektlərdir. Zamanın bu qurucu rolunu nəzərə almasa, təbiət qanunlarının hər hansı şəkli heç vaxt kafi ola bilməz.

YALNIZ İLLÜZIYA?

I

Bu kitabda verilmiş nəticələr çox asta yaranıb. Tarazlıqdan kənar termodinamika haqqında ilk məqaləmi dərc etdirməyimdən 50 ildən artıq vaxt keçir. Bu məqalədə mən, dönməyənliyin konstruktiv rolunu göstərmişdim.¹ Bildiyimə görə bu, həm də tarazlıqdan uzaqlıq dərəcəsi ilə əlaqələndirilən özünütəşkilə aid ilk məqalə idi. Bu qədər uzun illərdən sonra mən tez-tez özümdən soruşuram ki, zaman problemi məni niyə cəlb etmişdi və onun dinamika ilə əlaqələrini yaratmaq üçün niyə bu qədər uzun müddət lazım olub. Bura termodinamika və statistik mexanikanın son yarıməsrlük tarixini müzakirə etmək üçün uyğun yer olmasa da, mənə bu işə təhrik edən səbəbləri izah etmək və bu yolda rastlaşdığım əsas çətinlikləri göstərmək istəyirəm.

Mən həmişə elmə təbiətlə dialoq kimi baxmışam. Hər bir gerçək dialoqda olduğu kimi cavablar tez-tez gözlənilməz, bəzən isə son dərəcə gözəl olur.

· Yeniyyətməlikdə mən arxeologiyanın, fəlsəfənin, xüsusən

də musiqinin vurğunu idim. Anam adətən deyərdi ki, mən kitab oxumaqdan əvvəl musiqini oxumağı öyrənmişəm. Universitetə daxil olarkən mən piano arxasında mühazirə otaqlarında keçirdiyimdən daha çox vaxt keçirirdim. Mənim ləzzət aldığım bütün fənlərdə, o cümlədən bəşəriyyətin tədricən əmələ gəlməsində, insan azadlığı ilə bağlı etik problemlərdə, musiqidə səslərin bir-birini əvəz edən nizamında zaman mühüm rol oynayırdı. Sonra dünyanı müharibə qorxusu bürüdü. Karyeranı təbiət elmələrində axtarmaq daha uyğun göründüyündən, mən Brüsseldəki Free University-də fizika və kimyanı öyrənməyə başladım.

Mən tez-tez müəllimlərimə zamanın mənası haqqında suallar verirdim, lakin aldığım cavablar ziddiyyətli olurdu. Filosoflar üçün bu, etika və insanın mövcudluğunun əsl mahiyyəti ilə sıx bağlı olan bütün problemlərin ən çətini idi. Fiziklər mənim sualımı bir qədər sadələvh hesab edirdilər, onların fikrincə, cavab Newton tərəfindən artıq verilmiş, sonralar isə Einstein tərəfindən təkmilləşdirilmişdi. Nəticədə mən özümü həm təəccüblənmiş, həm də pərt hiss edirdim. Elmdə zamana sadəcə həndəsi parafmetr kimi baxırdılar. Albert Einstein və Hermann Minkowski-dən yüz il əvvəl, 1796-cı ildə, Joseph-Louis Lagrang dinamikanı «dördölçülü həndəsə» adlandırmışdı². Einstein isə bunu davam etdirib bildirdi ki, «Zaman [dönməyənliklə bağlılıq mənasında] illüziyadır». Mənim öz intuisiyama görə, bu fikri qəbul etmək mümkünsüz idi. Lakin Stephen W Hawking kimi alimlərin işlərindən görünür ki, fəzalaşdırılmış zaman ənənəsi bu gün də çox güclüdür.³ Hawking özünün *Brief History of Time* kitabında fəza və zaman arasındakı fərqi aradan qaldırmaq üçün «xəyali zaman» anlayışını daxil edir. Biz bu anlayışı VIII Fəsildə daha dərinlən tədqiq edəcəyik.

Əlbəttə, mən zamanın fəzalaşdırılmasının nə ətrafımızda müşahidə etdiyimiz təkamül edən Kainata, nə də bizim öz təcrübəmizə uyğun olmadığını hiss edən birinci adam deyiləm. Bu, «zaman qondarmadır və ya ümumiyyətlə heç nədir» deyən fransız filosofu Henri Bergson üçün çıxış nöqtəsi olmuşdur.⁴ I Fəsildə mən Bergson-un son işlərindən birini, 1930-cu ildə Nobel mükafatı alması münasibətilə yazdığı "The Possible and the Real" əsərini yada salmışdım. Bu əsərdə o, insan həyatı «öncədən xəbər verilməsi mümkün olmayan yeniliklərin daim yaradılmasından» ibarətdir- fikrini ifadə etmiş və bu nəticəyə gəlmişdi ki, zaman təbiətdə *qeyri-müəyyənliyin* mövcud olmasını sübut edir.⁵ Bizi əhatə edən Kainat mümkün ola bilən dünyalardan ancaq biridir. Əgər Bergson Henri Poincare-nin I Fəslin sonunda gətirilmiş sitatını oxusaydı, çox heyrətlənərdi.⁶ Lakin qəribədir ki, onların nəticələri eyni istiqamətə işarə edir. Mən, son məqsəd daimilik və dəyişkənliyi bərişdirməyə, mövcudluğu proses kimi qəbul etməkdən ibarətdir- qənaətinə gələn Alfred North Whitehead-in *Process and Reality* kitabından da sitat gətirmişdim. Onun fikrincə, on yeddinci əsrdə meydana gəlmiş klassik elm, yaradıcılıq qabiliyyətini təbiətin fundamental xassəsi kimi ifadə edə bilməyən yersiz konkretliyin nümunəsidir. Bu yaradıcılıq «vasitəsilə həqiqi dünya zamandan asılı olaraq yeni hala keçmək xassəsinə malikdir». Whitehead-in həqiqi dünya anlayışı təbii ki, heç bir determinist təsvirlə uzlaşmırdı.⁷

Mən Martin Heidegger və başqalarından, o cümlədən «təbiətimizin mənəvi və fiziki tərəflərinə məxsus təcrübə sahələrini bir-biri ilə əlaqələndirmək cəhdinin hər birində zaman əsas mövqedə durur» yazan Arthur Stanley Eddington-dan sitatlar gətirməklə fikirlərimi davam etdirə bilərdim.⁸ Lakin zaman, bu əlaqəni yaratmaq əvəzinə, Socratics-in sələflərindən indiyə qədər mübahisəli məsələ olaraq qalır. Artıq deyildiyi kimi, klassik elm üçün zaman problemi Newton və Einstein tərəfindən həll edilmişdi, lakin

filosofların çoxu üçün bu həll mükəmməl deyildi. Filosofların fikrinə görə biz metafizikaya dönməliydik.

Şəxsən mənim inamım tamamilə fərqlidir. Elmdən imtina edilməsi çox baha başa gələrdi. Elm, hər şeydən əlavə, insan və təbiət arasında nadir və məhsuldar dialoqa gətirmişdir. Ola bilsin ki, sadə problemlərlə məşğul olduğundan, klassik elm zamana həndəsi parametr rolunu verə bilirdi. Məsələn, sürtünməsiz rəqqasla məşğul olursansa, zaman anlayışını genişləndirməyə heç bir ehtiyac yoxdur. Lakin mürəkkəb sistemlərlə üzləşən kimi, elm zamana yanaşmanı dəyişməli olur. Tez-tez yada düşən misal memarlıqla əlaqədardır. Bizim eradan əvvəl V əsrin İran kərpicisi ilə, XIX əsrin neoqotik kərpicisi arasında eyni bir fərq yoxdur, lakin nəticələr - Persepolis sarayları və neoqotik kilsələr - heyrətamiz dərəcədə fərqlidir. Bu halda, zaman «meydana çıxmaq» xassəsi daşıyır. Lakin zamanın kökləri nələrdir? Mən belə qənaətə gəldim ki, makroskopik dönməyənlik, mikroskopik miqyasda ehtimal xassəli proseslərin təsadüfi xarakterinin təzahürüdür. Elə isə, bu təsadüfiliyin mənşəyi nədir?

Belə fikirlərlə mənim məhz termodinamikaya üz tutduğum təbii idi, xüsusən də ona görə ki, Brüsseldə Theophile De Donder (1870-1957) tərəfindən bu fənn üzrə yaradılmış məktəb var idi.

II

I Fəsilə biz termodinamikanın ikinci qanununun Clausius-a məxsus klassik tərifini yada salmışdıq. Bu qanun bir bərabərsizliyə əsaslanır: izolə edilmiş sistemin entropiyası S , termodinamik tarazlıqdakı ən böyük qiymətini alana qədər monoton artır. Ona görə də, entropiyanın zamana görə

dəyişməsi üçün biz $dS \geq 0$ alırıq. Biz bu müddəni, ətraf aləmlə enerji və maddə mübadiləsində olan sistemlər üçün, necə genişləndirə bilərik? Bu halda biz entropiyanın dS dəyişməsində iki toplananı fərqləndirməliyik: birincisi sistemin sərhədlərindən keçən entropiya - $d_e S$, ikincisi isə sistemin daxilində istehsal edilən entropiya - $d_i S$. Nəticədə $dS = d_e S + d_i S$ alırıq. İndi termodinamikanın ikinci qanununu belə ifadə edə bilərik ki, sərhəd şərtlərindən asılı olmayaraq, $d_i S$ entropiya istehsalı müsbətdir, yəni $d_i S \geq 0$. *Dönməyən proseslər entropiya yaradır*. De Donder bir qədər də uzağa getmişdir: o, vahid zamanda istehsal edilən entropiyanı $P = \frac{d_i S}{dt}$ müxtəlif dönməyən proseslərin sürətləri (kimyəvi reaksiyaların sürəti, diffuziya və s.) və termodinamik qüvvələr vasitəsi ilə ifadə etmişdir. Əslində o, yalnız kimyəvi reaksiyalara baxmışdı, lakin sonrakı ümumiləşdirmə çətin deyil.⁹

De Donder özü bu istiqamətdə çox da uzağa getməmişdi. O, başlıca olaraq tarazlıq halı və onun ətrafı ilə məşğul idi. Məhdudluğuna və müəyyən müddət ərzində sanki heç bir yerə aparmadığına baxmayaraq, onun işi tarazlıqdan kənar termodinamikanın ifadə edilməsində mühüm addım olub. De Donder-in işinin hansı düşmənçiliklə qarşılandığını indiyədək xatırlayıram. Alimlərin böyük əksəriyyətinin fikrincə, termodinamika *ciddi sürətdə* tarazlıqla məhdudlaşdırılmalı idi.

Bu, J. Willard Gibbs-in, habelə o vaxtın çox məşhur termodinamikaçısı olan Gilbert N. Lewis-in rəyi idi. Onlar üçün biristiqamətli zaman ilə bağlı olan dönməyənlik mürtədlik idi. Lewis hətta yazmışdı ki, «biz, demək olar ki, hər yerdə fizikin öz elmini ... fizikanın ideallarına yad olan biristiqamətli zamandan təmizləyəcəyini görəcəyik».¹⁰

Bu növ düşmən münasibəti mən özüm 1946-cı ildə International Union for Pure and Applied Physics-in (IUPAP) himayəsi altında ilk Statistik Mexanika və Termodinamika Konfransını təşkil edərkən hiss etdim. Bu yığıncaqlar o vaxtdan müntəzəm olaraq keçirilir və çoxlu iştirakçı cəlb edir, lakin o vaxt biz təqribən otuz-qırx üzvü olan kiçik bir qrup idik. Mən dönməyən termodinamika haqqında məruzəmi etdikdən sonra, termodinamika sahəsində ən böyük mütəxəssis aşağıdakı şərhini verdi: «Bu gənc oğlanın tarazlıqdan kənar fizika ilə bu qədər maraqlanması məni çox təəcübləndirir. Dönməyən proseslər keçicidir. Niyə bir qədər gözləyib, sonra hamı kimi tarazlığı öyrənməyək?» Mən bu replikaya o qədər heyrtləndim ki, aşağıdakı cavabı vermək ağılıma gəlmədi: «Biz hamımız keçiciyik. Bizim olduğumuz ümumi vəziyyətlə maraqlanmaq təbii deyilmi?»

Mən bütün həyatım boyu, hər yerdə biristiqamətli zaman anlayışına düşmən münasibətlə üzləşmişəm. Bu gün də üstün rəy ondan ibarətdir ki, termodinamika bir fənn kimi tarazlıq halı ilə məhdudlaşdırılmalıdır. I Fəsildə mən termodinamikanın ikinci qanununu bəsitləşdirmək cəhdlərini qeyd etdim; bu, bir çox məşhur fizikin əqidəsini ifadə edir. Mən belə münasibətə təəccüblənməkdə davam edirəm. Bizi əhatə edən hər yerdə biz Whitehead-in təbirincə desək «təbiətin yaradıcılıq qabiliyyətini» sübut edən strukturların meydana çıxmasını görürük. Mən həmişə hiss edirdim ki, bu yaradıcılıq qabiliyyəti hansısa yolla tarazlıqdan olan uzaqlıqla əlaqəli və ona görə də dönməyən proseslərin nəticəsi olmalıdır.

Misal üçün kristal və şəhəri müqayisə edək. Kristal vakuumba da mövcudluğunu saxlayan tarazlıqda olan strukturdur, lakin biz şəhəri izolə etsək o məhv olar, çünki onun strukturu fəaliyyət göstərməsindən asılıdır. Fəaliyyət və

struktur ayrılmazdır və sonuncu, şəhərin öz ətrafı ilə qarşılıqlı təsirini ifadə edir.

Erwin Schrodinger *What Is Life?* adlı gözəl kitabında, entropiya istehsalı və entropiya seli anlayışlarından istifadə etməklə, canlı orqanizmin maddələr mübadiləsinə baxır. Orqanizm dayanıqlı haldadırsa, onun entropiyası zaman keçdikcə sabit qalır, ona görə də $dS = 0$. Nəticədə, entropiya istehsalı ($d_i S$) entropiya axını ilə kompensasiya edilir: $d_i S + d_e S = 0$ və ya $d_e S = -d_i S < 0$. Schrodinger belə nəticə çıxarır ki, həyatı «mənfi entropiya axını» qidalandırır.¹¹ Lakin daha əhəmiyyətli fikir ondan ibarətdir ki, həyat entropiya istehsalı ilə, deməli dönməz proseslərlə bağlıdır.

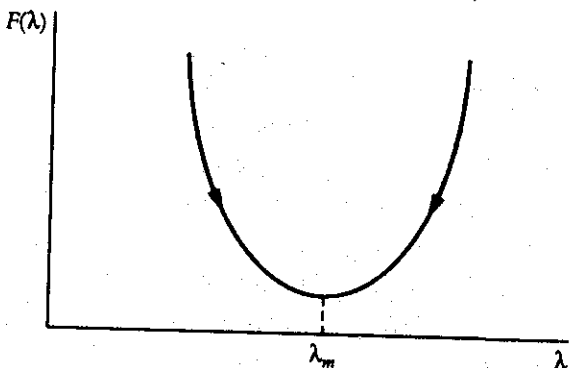
Bəs, canlı sistemlərdə və ya şəhərlərdəki kimi strukturlar tarazlıqdan kənar şəraitdə necə meydana çıxır? Burada, dinamikada olduğu kimi, *dayanıqlılıq* məsələsi yenidən mühüm rol oynayır. Sistem təcrid edilibsə, termodinamik tarazlıqda entropiya maksimum olur. Biz sabit T temperaturunda saxlanan sistem üçün də oxşar mənzərə alırıq. Bu halda biz, E enerjisi və S entropiyasının xətti kombinasiyası olan, «sərbəst enerji» daxil edirik: $F = E - TS$. Termodinamika dərsliklərinin hamısında göstərildiyi kimi, tarazlıqda F sərbəst enerjisi özünün minimumunda olur (Şəkil 2.1). Deməli, həyəcanlanmalar və ya flüktuasiyalar heç bir təsirə malik olmur, çünki onlar tarazlığa qayıtmaqla müşayiət olunur. Bu vəziyyət I Fəslin III Bölməsində baxılmış dayanıqlı rəqqas halından o qədər də fərqlənmiş.

Bəs tarazlıqdan kənar vəziyyətdə olan qərarlaşmış halda nə baş verir? Biz I Fəslin II Bölməsində belə hala misal olaraq termodiffuziyaya baxmışdıq. Tarazlıqdan kənar, qərarlaşmış hal həqiqətən dayanıqlıdır? Tarazlığa yaxın halda («xətti» qeyri-tarazlıq termodinamikası adlanan halda) cavab müsbətdir. 1945-ci ildə göstərildiyi kimi, qərarlaşmış hal vahid zamanda yaradılan entropiyanın ($P = \frac{d_i S}{dt}$ -nin) minimumuna uyğun gəlir.¹² Tarazlıqda $P = 0$ olur, entropiyanın yaranması dayanır və tarazlıq ətrafındakı xətti rejimdə P minimumdur (Şəkil 2.2).¹³

Şəkil 2.1

 F -in minimumu

Tarazlıqda sərbəst enerji minimumdur ($\lambda = \lambda_m$).



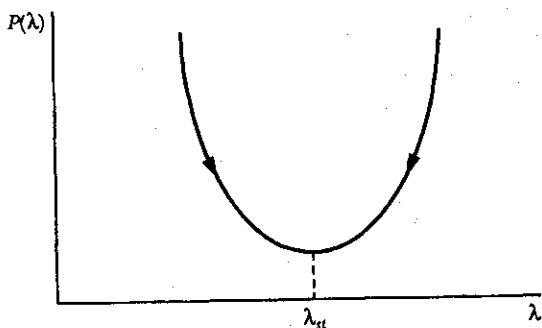
Flüktuasiyalar bu halda da sönür. Lakin burada artıq yeni mühüm xassə meydana çıxır: tarazlıqdan kənar sistem özbaşına olaraq *mürəkkəbliyin artması* halına təkamül edə bilər. Müşahidə etdiyimiz nizamlanma dönməyən proseslərin məhsuludur və tarazlıq halında baş verə bilməz. Bu, I Fəsildə təsvir edilmiş termodiffuziya misalında aydın görünür: temperatur qradienti qatışıqın tərkib hissələrinin qismən ayrılmasına gətirir. O vaxtdan bəri, mürəkkəbliyin dönməyənliklə sıx bağlı olduğu bir çox başqa hallar öyrənilib. Bu nəticələr bizim gələcək tədqiqatlarımız üçün yol göstəricisi olub.

Biz tarazlıqdan uzaq şərait üçün nəticələri tarazlıq ətrafında aldığımız nəticələrdən ekstrapolyasiya yolu ilə ala bilərikmi? Həmkarım Paul Glansdorff və mən bu problemi uzun illər tədqiq etmiş¹⁴ və gözlənilməz bir nəticəyə gəlmişik: tarazlıqda və ya onun yaxın ətrafında olan vəziyyətin əksinə olaraq, tarazlıqdan uzaq sistemlər hər hansı minimumluq prinsipinə tabe olmur, o cümlədən, sərbəst enerji və entropiya

Şəkil 2.2

P -nin minimumu

Entropiya yaranması ($P = d_i S / dt$) qərarlaşmış halda minimumdur ($\lambda = \lambda_{st}$).



yaranması funksiyaları minimumluq şərtini ödəmir. Ona görə də, fluktuasiyaların sönəcəyinə heç bir təminat yoxdur. Biz yalnız dayanıqlılıq üçün «ümumi təkamül şərti» adlandırdığımız *kafi şərtlərin* ifadəsini müəyyən edə bilərik. Bunun üçün dönməyən proseslərin mexanizmini müəyyən etmək lazımdır. * Tarazlıq ətrafında təbiət qanunları *universal*dır, lakin tarazlıqdan uzaqda onlar mexanizmdən asılı olur. Ona görə də biz ətrafımızdakı təbiətin rəngarəngliyinin mənbəyini dərk etməyə başlayırıq. Flüktuasiya və dayanıqsızlığın adi hal olduğu tarazlıqdan uzaq şəraitdə materiya yeni xassələr qazanır. Materiya daha «fəal» olur. Bu mövzudan bəhs edən çoxlu sayda ədəbiyyat olmasına baxmayaraq¹⁵, biz hələlik sadə bir misala baxacağıq. Fərz edək ki, $\{A\} = \{X\} = \{F\}$ kimyəvi reaksiyası gedir, burada $\{A\}$ başlanğıc, $\{X\}$ aralıq, $\{F\}$ isə yekun məhsullardır. Tarazlıqda biz müfəssəl balansə malik oluruq, yəni $\{A\}$ -dan $\{X\}$ -ə keçidlərin sayı $\{X\}$ -dən $\{A\}$ -ya keçidlərin sayına bərabər olur, $\{X\}$ və $\{F\}$ üçün də həmin sözləri demək olar. Sistem qapalıdırsa, başlanğıc və son

məhsulların miqdarlarının nisbəti $\{A\}/\{F\}$, entropiyanın maksimumuna uyğun gələn, dəqiq qiymətə malikdir. Gəlin indi açıq sistemə, məsələn, kimyəvi reaktora baxaq. Maddə axınını tənzim etməklə, biz həm başlanğıc $\{A\}$, həm də son $\{F\}$ məhsulların miqdarını idarə edə bilərik. $\{A\}/\{F\}$ nisbətinin qiymətini tarazlıq qiymətindən başlayaraq getdikcə artıraraq. Biz tarazlıqdan uzaqlaşdıqca aralıq $\{X\}$ məhsullarının miqdarı necə dəyişəcək?

Kimyəvi reaksiyalar, ümumi halda, qeyri-xətti tənliklərlə təsvir olunur. $\{A\}$ və $\{F\}$ -in verilmiş qiymətlərində aralıq məhsulların $\{X\}$ konsentrasiyası üçün çoxlu sayda həllər mövcuddur, lakin onlardan yalnız biri termodinamik tarazlığa və entropiyanın maksimumuna uyğun gəlir. Bizim «termodinamik budaq» adlandırdığımız bu həll tarazlıqdan kənar oblasta genişləndirilə bilər. Burada gözlənilməz nəticə ondan ibarətdir ki, tarazlıqdan müəyyən böhran uzaqlığında bu budaq, bir qayda olaraq, *dayanıqsız* olmağa başlayır (Şəkil 2.3). Bunun baş verdiyi nöqtə *bifurkasiya nöqtəsi* adlanır.

Bifurkasiya nöqtəsindən kənarında bir sıra yeni hadisələr meydana çıxır: biz rəqs edən kimyəvi reaksiyalar, tarazlıqda olmayan fəza strukturları və ya kimyəvi dalğalar ala bilərik. Belə fəza-zaman qurumlarına biz *dissipativ strukturlar* adı vermişik. Termodinamika kimyada dissipativ strukturların yaranması üçün iki şərtin ifadə edilməsinə gətirir: (1) böhran uzaqlığı ilə müəyyən edilən tarazlıqdan uzaq vəziyyət və (2) *eyni vaxtda* X tərkibindən aralıq Y tərkibinin və əksinə Y -tərkibindən X -in yaranması kimi katalitik addımlar.

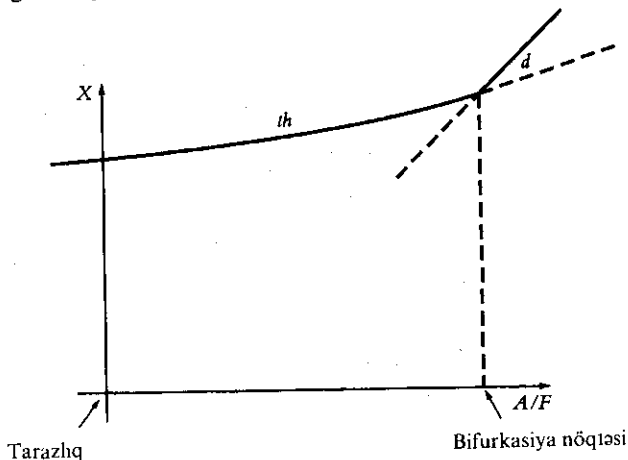
Qeyd etmək maraqlıdır ki, bu şərtlər bütün canlı sistemlərdə ödənilir: nukleotidlər zülalları, onlar isə öz növbəsində nukleotidləri kodlaşdırır.

Bəxtimiz onda gətirdi ki, bu növ müxtəlif imkanları öncədən xəbər verdikdən azca sonra, kimyəvi rəqslərin heyranedici nümunəsi olan Belousov-Zhabotinski reaksiyasının təcrübi nəticələri məşhurlaşmağa başladı¹⁶.

Şəkil 2.3

Termodinamik budaq

Qərarlaşmış halın iki th və d həlləri A/F nisbətinin funksiyasıdır. Bifurkasiya nöqtəsində th termodinamik budağı dayanıqsız, digər d budağı isə dayanıqlı olur.



Reaksiya gedən məhlulun əvvəl mavi, sonra qırmızı, sonra isə yenidən mavi rəngə boyandığını gördükdə necə heyrətləndiyimizi xatırlayıram. Bu gün çoxlu miqdarda başqa rəqsi reaksiyalar da məlumdur,¹⁷ lakin Belousov-Zhabotinski reaksiyası tarixi əhəmiyyətini saxlayır, çünki o, tarazlıqdan uzaqda maddənin yeni xassələr qazandığını sübut etmişdi. Milyardlarla molekul eyni zamanda mavi, sonra isə qırmızı olur. Bu, tarazlıq şəraitində olmayan uzaqtəsirli korrelyasiyaların tarazlıqdan uzaq şəraitdə təzahür etməsinə gətirir. Biz bir daha deyə bilərik ki, tarazlıq halında maddə «kordur», tarazlıqdan uzaqda isə «görməyə» başlayır. Biz gördük ki, tarazlığın yaxınlığında entropiya istehsalı ilə bağlı dəyişmə minimum olur. Tarazlıqdan uzaqda bu, əksinədir. Yeni proseslər meydana çıxır və entropiyanın istehsalını artırır.

Tarazlıqdan uzaq kimyada davamlı inkişaf var. Son illərdə tarazlıqdan kənar fəza strukturları müşahidə

edilmişdir.¹⁸ Onların mövcudluğu Alan Mathison Turing tərəfindən morfogenezlə əlaqədar öncədən söylənmişdi.¹⁹

Biz sistemi tarazlıqdan daha çox kənara çıxmağa məcbur etsək, xaotik davranış üçün tipik olan yeni bifurkasiyalar meydana çıxa bilər. Qonşu trayektoriyalar, I Fəslin III Bölməsində nəzərdən keçirdiyimiz dinamik sistemlərə oxşar olan determinist xaosdakı kimi, eksponensial olaraq bir-birindən uzaqlaşır.

Qısaca desək, tarazlıqdan olan uzaqlıq təbiətin təsvirində, tarazlıq termodinamikasındakı temperatur qədər mühüm parametmə çevrilir. Temperaturu aşağı salanda, biz maddənin müxtəlif halları arasında bir sıra faza keçidlərini müşahidə edirik. Lakin tarazlıqdan kənar fizikada davranışların müxtəlifliyi daha genişdir. Biz burada kimyadan misallar gətirdik, lakin tarazlıqdan kənar dissipativ strukturlarla bağlı olan oxşar proseslər, hidrodinamika, optika və maye kristallar da daxil olmaqla, çoxlu sayda digər sahələrdə də öyrənilib.

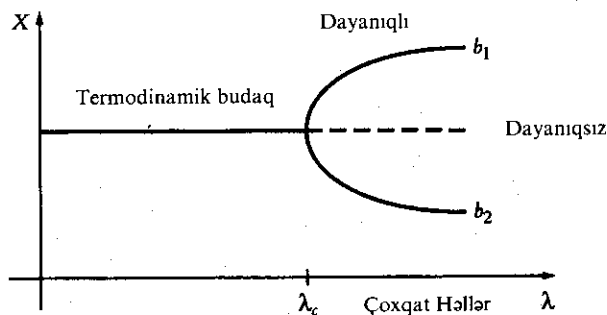
Gəlin flüktuasiyaların kritik təsirinə daha ətraflı baxaq. Artıq gördüyümüz kimi, tarazlığın yaxınlığında flüktuasiyalar təhlükəsizdir, lakin tarazlıqdan uzaqda onlar mərkəzi rol oynayır. Bizə təkcə dönməyənlilik lazım olmur, biz həm də dinamika ilə bağlı olan determinist təsviri kənara qoymalı oluruq. Sistem tarazlıqdan uzaq olduğu halda, mövcud olan mümkün budaqlardan birini «seçir». Lakin makroskopik təhlüklərdə həllərin hansınasa üstünlük qazandıran heç nə yoxdur. Bu, qaçılmaz ehtimal elementi daxil edir. Ən sadə bifurkasiyalardan biri Şəkil 2.4-də verilmiş, «çəngəl bifurkasiyası» adlandırılan bifurkasiyadır, burada, $\lambda = 0$ tarazlığa uyğun gəlir.

Termodinamik budaq $\lambda = 0$ -dan $\lambda = \lambda_c$ -yə qədər dayanıqlıdır. λ_c -dən sonra o, dayanıqsız olur və yeni dayanıqlı həllərin simmetrik cütü meydana çıxır. Hansı budağın seçiləcəyini flüktuasiyalar müəyyən edir. Əgər biz flüktuasiyaları söndürə bilsəydik sistem özünü dayanıqsız halda saxlayardı.

Şəkil 2.4

Çəngəl bifirkasiyası

X konsentrasiyası tarazlıqdan olan uzaqlığı göstərən λ parametrinin funksiyasıdır. Bifurkasiya nöqtəsində termodinamik budaq dayanıqsız olur və iki yeni həll - b_1 və b_2 meydana çıxır.



Dayanıqsız oblastı təcrübədə saxlamaq üçün flüktuasiyaları azaltmaq cəhdləri edilmişdir, lakin tez və ya gec, daxili və ya xarici mənşəli flüktuasiyalar baş verir və sistemi b_1 və ya b_2 budaqlarından birinə keçirir.

Bifurkasiyalar zamanın simmetriyasının pozulmasının mənbəyidir. Həqiqətən də, tənliyin λ_c - dən kənaradakı həlləri, ümumi halda, termodinamik budağa nisbətən daha aşağı simmetriyaya malik olur.²⁰ Bifurkasiyalar sistemin özünün hissələri və sistemlə ətraf mühit arasında xarakterik fərqlərin təzahürüdür. Dissipativ struktur yarananda, ya zamanın birincisliyi (rəqsi kimyəvi reaksiyalarda olduğu kimi), ya fəzanın birincisliyi (tarazlıqdan kənar Turing strukturlarında olduğu kimi), ya da hər ikisi pozulur.

Ümumi halda biz, Şəkil 2.5-də sxematik olaraq göstərdiyi kimi, bifurkasiyalar silsiləsi alırıq. Belə sistemin zamandan asılılığının təsviri həm determinist prosesləri (bifurkasiyalar arasında), həm də ehtimallı prosesləri

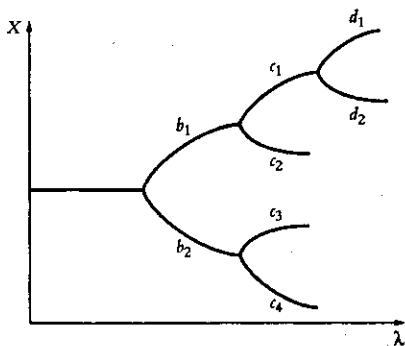
(budaqların seçilməsində) əhatə edir. Bu təsvir özündə tarixi ölçünü də saxlayır: əgər biz sistemin d_2 halında olduğunu müşahidə ediriksə, deməli o, b_1 və c_1 hallarından keçmişdir (Şəkil 2.5).

Dissipativ struktur olan halda biz özünütəşkildən danışa bilərik. Biz başlanğıc qiymətləri və sərhəd şərtlərini bilsək belə, sistemin ola biləcəyi çoxlu miqdarda hallar var ki, onlardan birini sistem flüktuasiyaların nəticəsi olaraq «seçir». Belə nəticələr fizika və kimya aləmindən kənarında da maraqlı doğurur. Doğrudan da, bifurkasiyalar rəngarəngliyin və yeniləşmənin mənbəyi hesab edilə bilər.²¹ İndi bu anlayışlar dünyanın müxtəlif fənnlərarası mərkəzlərində - biologiya, sosiologiya və iqtisadiyyat problemlərinin böyük qrupuna tətbiq edilir. Təkcə Qərbi Avropada, son on il ərzində, qeyri-xətti prosesləri öyrənən əlildən çox mərkəzin əsası qoyulub.

Freud (Freyd) yazırdı ki, elmin tarixi yadlaşmanın tarixidir. Copernicus (Kopernik) Yerin planetlər sisteminin mərkəzi olmadığını, Darwin insanın çoxlu sayda heyvan növü arasında bir növ olduğunu, Freud isə şüurlu fəaliyyətimizin təhtəşüurun yalnız bir hissəsi olduğunu göstərdi.

Şəkil 2.5

Tarazlıqdan uzaqlıqları artan ardıcıl bifurkasiyalar



İndi biz bu perspektivi çevirə bilərik: biz görürük ki, insanın yaradıcılıq qabiliyyəti və yeniləşmə artıq fizika və ya kimyada mövcud olan təbiət qanunlarının gücləndirilməsi kimi başa düşülə bilər.

III

İndiyə qədər gətirilmiş nəticələr göstərir ki, I Fəsilə qeyd etdiyimiz termodinamikanın bəsitləşdirilməsi cəhdləri mütləq uğursuzluğa düşər olacaq. Zaman oxu həm fizika ilə bağlı elmlərdə, həm də biologiyada strukturların formalaşmasında mühüm rol oynayır. Lakin biz öz axtarışlarımızın ancaq başlanğıcındayıq. Bizim tarazlıqdan kənar şəraitdə kimyada yarada bildiyimiz ən mürəkkəb strukturlarla biologiyada müşahidə etdiyimiz mürəkkəblik arasında dərin uçurum qalmaqdadır. Bu təkcə fundamental elmin problemi deyil. Avropa Birliyinə bu yaxınlardakı hesabatlarında Christof Karl Biebracher, Gregoire Nicolis və Peter Schuster yazırlar:

«Təbiətdə strukturun saxlanması mərkəzləşdirilmiş idarəçilik vasitəsilə əldə edilmir və edilə bilməz; nizam yalnız özünütəşkil vasitəsilə saxlanıla bilər. Özünütəşkilə malik sistemlər daha üstün olan ətraf mühitə uyğunlaşmağa imkan verir, yəni onlar ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklərə termodinamik reaksiya ilə cavab verirlər ki, bu da sistemləri xarici şəraitin dəyişməsinə qarşı fəvqəladə dərəcədə tez uyğunlaşan və davamlı edir. Biz özünütəşkilə malik sistemlərin, mürəkkəblikdən ehtiyatlanıb qaçan və demək olar ki, bütün texniki prosesləri iyerarxiy olaraq idarə edən adi bəşəri texnologiyadan üstün olduğunu qeyd etmək istəyirik. Məsələn, sintetik kimyada reaksiyaların müxtəlif mərhələlərini adətən ehtiyatla bir-birindən ayırır, reaksiyaya girən maddələrin diffuziyasının verdiyi payı isə reaktorları qarışdırmaqla aradan götürməyə çalışırlar. Texniki proseslərdə özünütəşkilə malik sistemlərin yüksək idarəetmə və tənzimləmə potensialını işə salmaq üçün tamamilə yeni texnologiya yaradılmalıdır. Mürəkkəb məhsulların təkrarolunmaz dəqiqlik,

səmərəlilik və sürətlə yaradıla bildiyi bioloji sistemlər misalında özünütəşkilə malik sistemlərin üstünlüyü aydın görünür!»²²

Qeyri-tarazlıq termodinamikasının gəldiyi nəticələr Bergson və Whitehead-in ifadə etdikləri baxışa yaxındır. Təbiət, həqiqətən də, öncədən deyilməsi mümkün olmayan yeniliyin yaradılması ilə əlaqəlidir, burada mümkün olan gerçək olandan daha zəngindir. Bizim Kainat bifurkasiyalar silsiləsindən ibarət olan yolla getmişdir. Bizim xəşbəxtliyimizdən başqa kainatlar başqa yollarla getdiyi halda, bizim Kainat həyata, mədəniyyətə və incəsənətə gətirmişdir.

Mənim gəncliyimin arzusu zaman tapmacasını həll etmək vasitəsilə elmin və fəlsəfənin birləşdirilməsinə öz payımı vermək idi.* Qeyri-tarazlıq fizikası göstərdi ki, bu həqiqətən mümkündür. Bu fəsildə təsvir edilmiş nəticələr zaman anlayışını mikroskopik səviyyədə tədqiq etmək üçün mənə təkan vermişdir. Mən fluktuasiyaların rolunu xüsusi qeyd etmişdim. Bəs onların mənşəyi necədir? Biz onların davranışını təbiət qanunlarının ənənəvi şəklinə əsaslanan determinist təsvirlə necə barışdırıb bilərik? Bunu edə bilsək, biz tarazlığa yaxın və tarazlıqdan uzaq proseslər arasında fərqi itirərik. Bundan əlavə, insan şüurunun nadir və heyratamiz məhsulu olan klassik və kvant mexinikalarını şübhə altına qoyarıq.

Etiraf etməliyəm ki, belə fikirlər çoxlu sayda yuxusuz gecələrimə səbəb olub. Həmkarlarımla və tələbələrimin köməyi olmasaydı, mən yəqin ki, bu işdən imtina edərdim.

* Mən bu arzumu, 1937-ci ildən əvvəl tələbə jurnalı üçün yazdığım, üç qısa məqalədə bildirmişəm.

EHTİMALDAN DÖNMƏYƏNLIYƏ

I

II Fəsildə gördüyümüz kimi, dönməyən proseslər təbiətin fundamental xassələrini ifadə edir - onlar tarazlıqdan kənar dissipativ strukturlara gətirir. Belə proseslər klassik və kvant mexanikasının zamanca dönən qanunları ilə idarə edilən dünyada mümkün ola bilməzdi. Dissipativ strukturlar zaman oxu tələb edir. Bundan əlavə, belə strukturların meydana gəlməsini deyilən qanunların yol verdiyi təqribiliklər vasitəsilə izah etməyə ümid yoxdur.

Mən həmişə inanmışam ki, dissipativ strukturların dinamik mənşəyinin, daha ümumi halda, mürəkkəbliyin başa düşülməsi müasir elmin ən cəlbədicə konseptual problemlərindən biridir. I Fəsildə artıq qeyd edildiyi kimi, biz dayanıqsız sistemlər üçün dinamika qanunlarını statistik səviyyədə ifadə etməliyik. Bu, bizim təbiəti təsvir etməyimizi

kökündən dəyişdirir. Belə formalalaşdırmada fizikanın başlıca anlayışları trayektoriya və ya dalğa funksiyaları yox, *ehtimallardır*. Ona görə də biz, fizikadan başqa sahələrdə hələ XVIII əsrdə müşahidə edilməsi mümkün olan, «ehtimal inqilabı»nın sonuna gəlmişik. Lakin belə kəskin rəyin nəticələri ilə üz-üzə qaldıqda mən bir müddət daha yumşaq həllər tapmaq üçün tərəddüd etdim. *From Being to Becoming* kitabında mən yazırdım: «Kvant mexanikasında ədədi qiymətləri eyni zamanda müəyyən edilə bilməyən kəmiyyətlər, məsələn, koordinat və impuls mövcuddur (Bu Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik münasibətinin və Bohr-un tamamlanma prinsipinin mahiyyətidir). Burada da bir tamamlanma - dinamik və termodinamik təsvirlər arasında tamamlanma var»¹. Bu, dönməynəliklə bağlı olan konseptual problemə çox yumşaq yanaşma olardı.

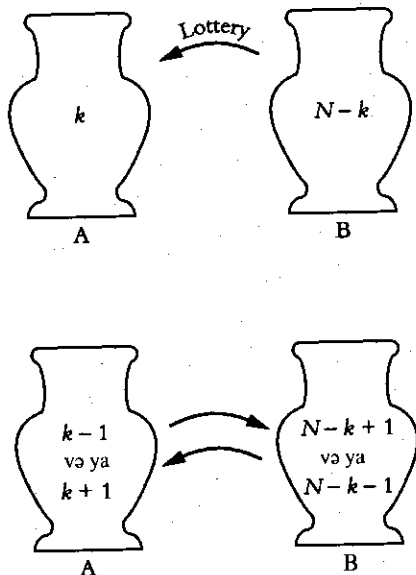
Bu gündən baxanda mən əvvəlki kitabımda getmiş bu iddiaya görə təəssüflənirəm. Əgər birdən artıq təsvir mövcüddürsə, düz olanı kim seçə bilər? Zaman oxunun olması əlverişlilik məsələsi deyil. Bu, müşahidənin vadar etdiyi faktdır. Buna baxmayaraq, yalnız son illərdə, dayanıqsız sistemlərin dinamikasını öyrənərkən aldığımız nəticələr bizi dinamikanı statistik səviyyədə yenidən formalalaşdırmağa və bu formalalaşdırma üçün klassik və kvant mexanikasını genişləndirməyin zərur olduğunu deməyə məcbur etmişdir. Bu fəsilə mən atılmış addımların bəzilərini təsvir edirəm.

Təqribən bir əsrə yaxın müddətdir ki, hətta ən sadə ehtimallı proseslərin belə zamanca istiqamətlənmiş olduğu bizə məlumdur. I Fəsilə biz «təsadüfi hərəkəti» yada salmışdıq. Başqa bir misal Paul və Tatiana Ehrenfest tərəfindən təklif edilmiş «urna modeli»dir (Şəkil 3.1).²

Şəkil 3.1

Ehrenfest urnası modeli

N sayda top A və B urnaları arasında paylanıb. n anında A -da k sayda top, B -də isə $N-k$ sayda top var. Bərabər zaman intervallarında təsadüfi qaydada seçilmiş bir top bir urnadan çıxarılıb digərinə qoyulur.



A və B urnaları arasında paylanmış N sayda əşyanı (məsələn, topları) nəzərdən keçirək. Bərabər zaman intervallarında (məsələn, hər saniyədən bir) təsadüfi seçilmiş bir top bir urnadan digərinə keçirilir. Fərz edək ki, hər hansı n anında A -da k sayda top, deməli, B -də $N-k$ sayda top var. $n+1$ anında A -da ya $k-1$, ya da $k+1$ top olar. Bunlar yaxşı müəyyənləşdirilə bilən *keçid ehtimallarıdır*. Lakin gəlin oyunda bir az da qabağa gedək. Biz güman edirik ki, topların mübadiləsi nəticəsində elə vəziyyətə gələcəyik ki, hər urnada təqribən $N/2$ top olsun. Lakin flüktuasiyalar davam edir. Biz A urnasında yenidən k sayda top olan vəziyyətə uyğun gələn anda da oyunu qurtara bilərik. Beləliklə, biz *ehtimalın paylanması səviyyəsində dönməyən tarazlığa yaxınlaşma*

müşahidə edirik. Göstərmək mümkündür ki, başlanğıc vəziyyətdən asılı olmayaraq, n hərəkətdən sonra k sayda topu bir urnada tapmaq ehtimalı $- p_n(k)$, $n \rightarrow \infty$ halında binom paylanmasına $-\frac{N!}{k!(N-k)!}$ yaxınlaşır. Bu ifadə $k = \frac{N}{2}$ olduqda

maksimum qiymətə malik olur, lakin paylanmadakı fluktuasiyaları da hesaba alır. Boltzmann modelində entropiyanın maksimumu dəqiq olaraq binom paylanmasına uyğun gəlir.

Ehrenfest modeli «Markov proseslərinin» (və ya «Markov silsiləsi»nin) bir nümunəsidir. Bu ad, ilk dəfə belə prosesləri təsvir etmiş böyük rus riyaziyyatçısı Andrey Markovun şərəfinə verilib. Biz ehtimallı təsvirə malik olanda, adətən, dönməyənliyin əmələ gəlməsini təsvir etmək mümkün olur. Lakin biz belə ehtimallı prosesləri dinamika ilə necə əlaqələndirə bilərik? Fundamental problem budur.

Biz gördük ki, bu istiqamətdə əsas addım statistik fizikanın və ya toplular fizikasının ataları tərəfindən atılıb. Maxwell, Boltzmann, Gibbs, və Einstein ρ ehtimal paylanması ilə təsvir olunan ansamblların rolunu xüsusi qeyd ediblər. Belə olanda vacib sual budur ki, tarazlıq əldə ediləndən sonra bu paylanma funksiyasının şəkli necə olur? Tutaq ki, sistemi təşkil edən hissəciklərin koordinatları q_1, \dots, q_s , impulsları isə p_1, \dots, p_s -dir. I Fəsilə faza fəzası koordinat və impulsar vasitəsilə təyin edilmişdi. Biz həmçini $\rho(q, p, t)$ ehtimal paylanmasını daxil etmişdik (I Fəslin III Bölməsinə bax). Burada biz bütün koordinatlar üçün yeganə q , impulsar üçün isə p hərfindən istifadə edəcəyik. Tarazlıq onda əldə edilir ki, ρ zamandan asılı olmasın. Bütün dərsləklərdə göstərilir ki, bu şərt ρ -nun yalnız tam enerjiden asılı olduğu halda ödənilir. I Fəsilin III Bölməsində qeyd edildiyi kimi, tam enerji kinetik enerji (hissəciklərin hərəkətinin nəticəsi) və potensial enerjinin (onların qarşılıqlı təsirinin nəticəsi) cəminə bərabərdir. q və p -nin funksiyası kimi ifadə edildikdə *Hamiltonian* $H(p, q)$ adlandırılan bu

enerji zaman keçdikcə sabit qalır. Bu, termodinamikanın birinci qanunu olan enerjinin saxlanması qanunudur. Ona görə də tarazlıqda ρ -nun H Hamiltonianın funksiyası olması təbiiidir.

Mühüm istisna halı elə ansambllardır ki, əhatə etdiyi bütün sistemlər eyni E enerjisinə malik olsun. Bu halda paylanma funksiyası faza fəzasındakı $H(p, q) = E$ səthində saxlanılır və sabit olur, faza fəzasının qalan hissəsində isə sıfıra bərabər olur. Bu, «mikrokanonik» ansambl adlandırılır. Gibbs göstərib ki, belə ansamblar, həqiqətən, tarazlıq termodinamikasının qanunlarını ödəyir. O, digər ansambları, o cümlədən, daxilindəki bütün sistemlərin T temperaturu rezervuarla qarşılıqlı təsirdə olduğu «kanonik ansamblar» da nəzərdən keçirmişdi. Kanonik ansamblar Hamiltoniandan eksponensial asılı olan paylanma funksiyasına gətirir, ρ indi $\exp\left(-\frac{H}{kT}\right)$ -yə mütənasib olur, burada, T rezervuarın temperaturu, k isə eksponenti ölçüsüz edən Boltzmann sabitidir.

Tarazlıq paylanması verildə biz təzyiqlik, xüsusi istilik tutumu və s. kimi bütün termodinamik tarazlıq kəmiyyətlərini hesablaya bilirik. Biz hətta makroskopik termodinamikadan kənara da çıxıb bilirik, çünki flüktuasiyaları da hesaba almağı bacarıyıq. Ümumiyyətlə, belə qəbul edilib ki, statistik tarazlıq termodinamikasının geniş sahəsində konseptual çətinlik qalmayıb, yalnız hesablama problemləri var ki, bunları da ədədi modelləşdirmə yolu ilə xeyli dərəcədə həll etmək olar. Ansambl nəzəriyyəsinin tarazlıq şəraitinə tətbiqi sözsüz ki, kifayət qədər uğurlu olub. Qeyd edək ki, tarazlıq termodinamikasının Gibbs tərəfindən verilmiş dinamik yozumu trayektoriyalar vasitəsilə deyil, ansamblar vasitəsilə ifadə olunub. Dönməyənliyi əhatə etmək üçün biz məhz bu yanaşmanı genişləndirdirməliyik.

Bu tamamilə təbiiidir, çünki klassik və kvant fizikasına görə gələcək və keçmiş eyni rol oynayır və trayektoriyalar (və

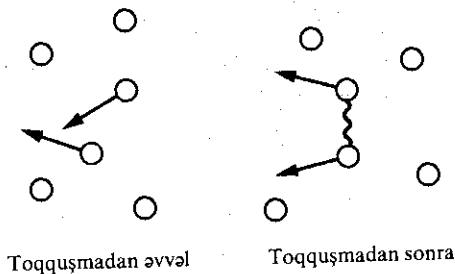
ya dalğa funksiyaları) səviyyəsində zamanca nizamlanma yoxdur. Bəs statistik təsvir səviyyəsində, paylanma funksiyası dilində nə baş verir? Gəlin su ilə dolu stəkana baxaq. Bu qabda nəhəng miqdarda, tərtibcə 10^{23} sayda molekul var. I Fəsildə müəyyən edildiyi kimi, dinamik baxımdan bu, inteqrallana bilməyən Poincare sistemidir, çünki burada, bizim kənar edə bilmədiyimiz, molekullararası qarşılıqlı təsir mövcuddur. Biz bu qarşılıqlı təsiri molekullar arasındakı toqquşmalar kimi təsəvvür edib («toqquşma» termini V Fəsildə daha dəqiq müəyyən ediləcək), molekulları öz daxilində saxlayan suyu ρ ehtimal paylanmasına malik statistik ansambl kimi təsvir elə bilərik. Su qocalırmı? Geoloji zaman müddətində dayanıqlı olan ayrıca su molekulunu nəzərdən keçiririksə, əlbəttə ki, yox. Lakin statistik təsvir baxımından bu sistemdə təbii zaman nizamı var. Tamamilə Darwin-in bioloji təkamül nəzəriyyəsində olduğu kimi, qocalma toplumlarının xassəsidir. Məhz statistik paylanma tarazlıq paylanmasına, məsələn, yuxarıda müəyyən edilmiş kanonik paylanmaya yaxınlaşır. Tarazlığa belə yaxınlaşmanı təsvir etmək üçün bizə *korrelyasiya* anlayışı lazım gəlir.

İki x_1 və x_2 dəyişənindən asılı olan $\rho(x_1, x_2)$ paylanma funksiyasına baxaq. Əgər x_1 və x_2 bir-birindən asılı deyilsə, biz paylanma funksiyasını vuruqlara ayıra bilərik: $\rho(x_1, x_2) = \rho_1(x_1)\rho_2(x_2)$. Onda $\rho(x_1, x_2)$ ehtimalı 2 müstəqil ehtimalın hasilidir. Bunun əksinə, əgər $\rho(x_1, x_2)$ vuruqlara ayrıla bilmirsə, onda deyilir ki, x_1 və x_2 korrelyasiya edir. İndi gəlin stəkanda olan su molekullarına qayıdaq. Bu molekullar arasındakı toqquşmaların iki təsiri var: onlar sürətlərin paylanmasını daha simmetrik edir və korrelyasiya yaradırlar (Şəkil 3.2). Lakin korrelyasiya etmiş iki hissəcik nəhayət üçüncü hissəciklə toqquşa bilər. İkiqat korrelyasiya üçqat korrelyasiyaya və s. çevrilir (Şəkil 3.3).

Şəkil 3.2

Toqquşmalar və korrelyasiyalar

İki hissəciyin toqquşması onların arasında korrelyasiya yaradır (dalğalı xətlə göstərib).



Beləliklə, zamana görə nizamlanmış korrelyasiyalar axını yaranır. Bu axının qiymətli və maraq doğuran analoqu insan əlaqələri ola bilər. İki insan görüşdükdə söhbət edir və nəticədə öz fikirlərini müəyyən dərəcədə yeniləşdirirlər. Bu yeniləşmə sonrakı görüşlərə və yeniləşmələrə gətirir. Bu hadisənin adı *yayılma*dır. Maddədə korrelyasiyaların axını olduğu kimi, cəmiyyətdə də rabitə axını var. Əlbəttə, biz korrelyasiyaları daşımaq yolu ilə sürətlərin paylanması daha az simmetrik edən əks prosesdəri də təsəvvür edə bilərik (Şəkil 3.4).

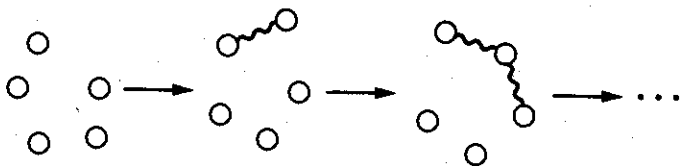
Ona görə də, bizə elə bir amil lazımdır ki, vaxt ötdükcə sürətlərin paylanması daha simmetrik edən prosesləri reallaşdırsın. Biz görəcəyik ki, bu rolu məhz Poincare rezonansları oynayır. Biz artıq dönməyənliyi daxilində saxlayan statistik təsvirin iştiratını görməyə başlayırıq. Bu təsvir tarazlıq paylanmasına gətirən *korrelyasiyalar dinamikası* olacaq.

Şəkil 3.3.-də göstərildiyi qaydada zamana görə nizamlanmış korrelyasiya axınının mövcudluğu kompüter modelləşdirilməsi vasitəsilə təsdiq edilib.³ Biz Şəkil 3.4-də

Şəkil 3.3

Korrelyasiyalar axını

Ardıcıl toqquşmalar ikiqat, üçqat, ... korrelyasiyalara gətirir.

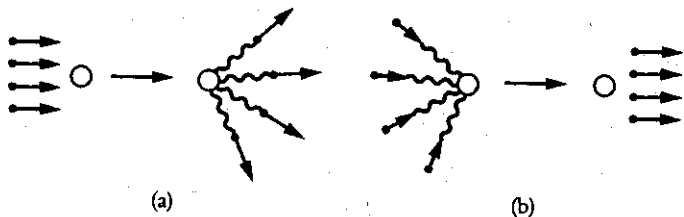


göstəridiyi kimi, zamanın inversiyası vasitəsilə (hissəciklərin sürətlərinin istiqamətini əksinə döndərməklə) alınmış prosesləri də təsvir edə bilərik. Lakin korrelyasiyaların çevrilmiş axını yalnız məhdud sayda hissəciklər və qısa zaman fasiləsi üçün əldə etmək olur, bundan sonra yenə də istiqamətlənmiş korrelyasiya axını yaranır ki, bu da getdikcə daha çox hissəciyi əhatə edərək sistemi tarazlığa gətirir.

Şəkil 3.4

Korrelyasiyaların dağılması

(a) halında hissəciklər (qara nöqtələrlə göstərib) maneə ilə (dairə ilə göstərib) qarşılıqlı təsirdə olur. Başlanğıqda bütün hissəciklər eyni sürətə malikdir. Toqquşma sürətləri dəyişir və hissəciklərlə maneə arasında korrelyasiyalar yaranır. (b) halında əks proses göstərib. Biz sürətin inversiyası hadisəsinə baxırıq; çevrilmiş toqquşma nəticəsində maneə ilə mövcud olan korrelyasiyalar dağılır və ilkin sürətlər bərpa olunur.



Dönməyənlüyə statistik məna verən bu nəticələr təqribən 30 il bundan əvvəl alınıb.⁴ Lakin bəzi əsas suallar hələ də cavabsız qalır: necə olur ki, dinamikamı statistik səviyədə təsvir edəndə dönməyənlük təzahür edir, lakin trayektoriya səviyyəsində təsvir edəndə təzahür etmir. Bəlkə bu bizim yaxınlaşmaların nəticəsidir? Bundan başqa, məsələn, kompüter təcrübələrində bizim müşahidə etdiyimiz korrelyasiyalar silsiləsi kompüter vaxtının məhdudluğunun nəticəsi ola bilərmi? Aydınır ki, korrelyasiyaların məhv olduğu çevrilmiş proseslərə gətirə bilən ansamblların hazırlanmasına nisbətən, yalnız toqquşmalar vasitəsilə korrelyasiya yaradan, qarşılıqlı təsirdə olmayan hissəciklərin hazırlanması daha qısa proqram tələb edir.

Lakin nəyə görə məhz ehtimal paylanmalarından başlamalıyıq? Belə paylanmalar trayektoriyalar dəstinin və ya ansamblların davranışını təsvir edir. Biz ansambllardan «biliksizliyimiz» ucbatından istifadə edirik, yaxud burada, I Fəsilə qeyd edilən, daha dərin səbəblər gizlənilir? Ayrıca trayektoriyalarla müqayisədə ansambllar, həqiqətən, yeni xassələr üzə çıxarır. Biz indi bunu bir neçə sadə nümunədə nümayiş etdirəcəyik.

II

Bu bölmədə biz determinist xaosla, habelə xaosun xüsusilə sadə bir növü ilə məşğul olacağıq. Bunlar hər ikisi *xaos diaqramlarına* uyğun gəlir. Adi dinamikada baş verənlərin əksinə olaraq, diaqramlarda zaman, I Bölmədə öyrəndiyimiz Ehrenfest urnası modelində olduğu kimi, yalnız diskret intrevallarda təsir göstərir. Ona görə də diaqramlar dinamikamın sadələşdirilmiş formasını əks etdirir və fərdi təsvir səviyyəsinin (trayektoriyaların) statistik səviyyə ilə müqayisə edilməsini asanlaşdırır. Biz iki diaqrama baxacağıq:

birincisi, sadə periodik davranışı, ikincisi isə determinist xaosu təsvir edir.

Əvvəl, biz $x_{n+1} = x_n + \frac{1}{2}$ «hərəkət tənliyini» modulu 1 olan

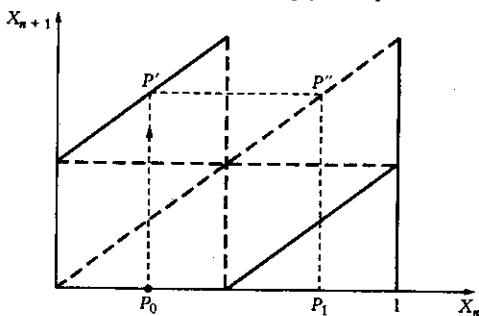
halda nəzərdən keçirəcəyik, yəni ancaq 0 ilə 1 arasında olan ədədlərlə məşğul olacağıq. İki sürüşmədən sonra biz başlanğıç nöqtəyə qayıdırıq (məsələn, $x_0 = \frac{1}{4}, x_1 = \frac{3}{4}, x_2 = \frac{3}{4} + \frac{2}{4} = \frac{5}{4} = \frac{1}{4}$). Bu vəziyyət Şəkil 3.5-də göstərilib.

Trayektoriyalar boyu yerləşmiş ayrı-ayrı nöqtələrin əvəzinə $\rho(x)$ paylanma funksiyası ilə təsvir olunmuş ansambları nəzərdən keçirməyə dəyər. Trayektoriya x koordinatının dəqiq x_n qiyməti aldığı, və bu zaman ρ paylanma funksiyasının ayrıca nöqtəyə qədər kiçildiyi xüsusi ansamblar dəstinə uyğun gəlir. I Fəslin III Bölməsində qeyd edildiyi kimi, bu, $\rho_n(x) = \delta(x - x_n)$ şəklində yazıla bilər. (δ -delta, x -in $x = x_n$ qiymətindən başqa bütün qiymətləri üçün sıfıra bərabər olan funksiyanın işarəsidir).

Şəkil 3.5

Periodik Diaqram

Bu, $x_{n+1} \rightarrow x_n + 1/2$ düsturuna uyğun olaraq başlanğıç P_0 nöqtəsini növbəti P_1 nöqtəsinə keçirən sadə həndəsi qurmadır. Biz P_0 -dan P' -ə, sonra tənibölən üzərində olan P'' -ə buradan isə P_1 -ə hərəkət edirik. Aydındır ki, biz P_1 -dən başlasaq P_0 -a qayıdırıq.



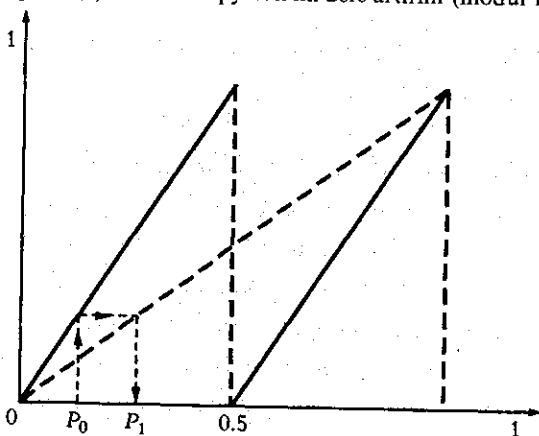
paylanma funksiyasından istifadə etməklə bu diaqram $\rho_{n+1}(x)$ və $\rho_n(x)$ arasındakı münasibət kimi ifadə edilər bilər. Onda biz $\rho_{n+1}(x) = U\rho_n(x)$ yazı bilərik. ρ_{n+1} formal olaraq $\rho_n(x)$ -ə təsir edən U operatoru vasitəsilə alınır. Bu, Perron-Frobenius operatoru adlanır.⁵ Bu mərhələdə U -nun aşkar forması bizim üçün mühüm olmasa da, qeyd etmək maraqlıdır ki, onun tərkibinə (hərəkət tənliyindən başqa) yeni element daxil olmur. Aydındır ki, ansambl təsviri xüsusi hal kimi trayektoriya təsvirini özündə saxlamalıdır. Ona görə də biz $\delta(x - x_{n+1}) = U\delta(x - x_n)$ alırıq. Bu, sadəcə olaraq, hərəkət tənliyini başqa şəkildə yazmaq formasıdır: bir sürüşmədən sonra x_n nöqtəsi x_{n+1} -ə keçir. Lakin əsas sual budur: *bu yeganə həlldir, yoxsa trayektoriya anlayışında ifadə edilə bilməyən, amma Perron-Frobenius operatoru ilə təsvir edilən yeni həllər (ansambların təkamülü) də mövcuddur?* Bizim periodik diaqram misalında cavab mənfidir. Dayanıqlı sistemlər üçün ayrıca trayektoriyalarla ansambların davranışları arasında heç bir fərq yoxdur. Məhz (trayektoriya və ya dalğa funksiyalarına uyğun gələn) fərdi baxışla, (ansamblara uyğun gələn) statistik baxış arasındakı bu ekvivalentlik dayanıqsız dinamik sistemlər üçün pozulur.

Xaos diaqramına ən sadə misal *Bernoulli diaqramıdır*. Burada biz 0 və 1 arasındakı ədədlərin qiymətini hər saniyə iki dəfə artırırıq. Hərəkət tənliyi indi $x_{n+1} = 2x_n$ şəklindədir (modul 1). Bu diaqram Şəkil 3.6-da göstərilib. Hərəkət tənliyi yenə də deterministdir, yəni x_n -i biləndə x_{n+1} təyin olunur. Burada biz determinist xaos nümunəsi alırıq. Bu, ona görə belə adlanır ki, trayektoriyaları ədədi modelləşdirmə yolu ilə izləsək, görürük ki, o nizamsız forma alır. x koordinatı hər addımda iki dəfə artdığından, iki trayektoriya arasındakı məsafə (2^n) = $\exp(n \log 2)$ (yenə də modul 1-dir) olacaq.

Şəkil 3.6

Bernoulli diaqramı

Bu determinist kaos nümunəsində biz P_0 nöqtəsindən çıxıb, P_1 nöqtəsinə gəlirik, çünki x -in qiyməti iki dəfə artırılır (modul 1-dir).

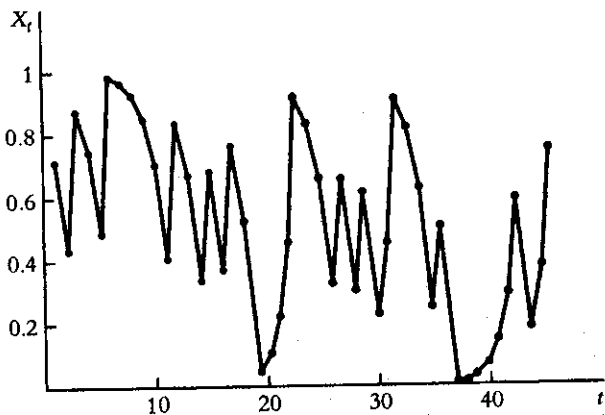
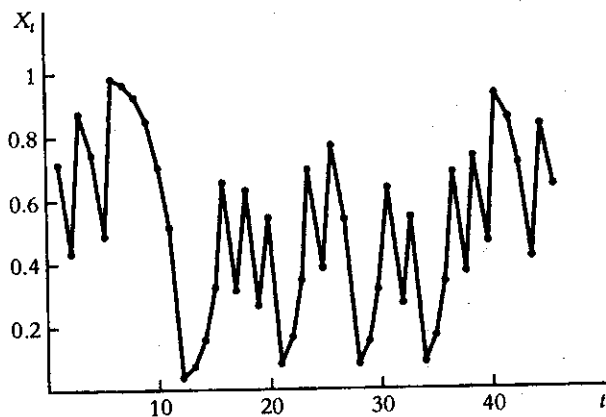


Kəsilməz zamanla ifadə edildikdə bu, $\exp(rt\lambda)$ kimi yazıla bilər, burada $\lambda = \log 2$ Lyapunov qüvvəti adlanır. Bu göstərir ki, trayektoriyalar eksponensial olaraq dağılır və məhz belə dağılma determinist kaosun göstəricisidir. Biz kifayət qədər uzun müddət gözləsək, 0 və 1 arasında ixtiyari qaydada seçilmiş istənilən nöqtə nəhayət trayektoriyaya yaxınlaşacaq (Şəkil 3.7). Biz burada nizamsızlığa gətirən dinamik proses alırıq. Determinist Kainatdakı bu aşkar axın keçmişdə Leopold Kronecker (1884) və Hermann Weyl (1916) kimi böyük riyaziyyatçılar tərəfindən dəfələrlə tədqiq edilib. Jan von Plato-ya görə oxşar nəticə hələ orta əsrlərin ilk dövrlərində alınmışdı, belə ki, bu heç də yeni problem deyil.⁶ Yeni olan, Bernoulli diaqramının statistik təsviridir ki, nizamsızlığı operator nəzəriyyəsi ilə əlaqələndirir.

Şəkil 3.7

Bernoulli diaqramı üçün trayektoriyaların ədədi modelləşdirilməsi

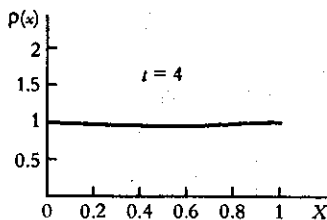
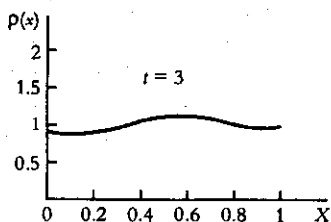
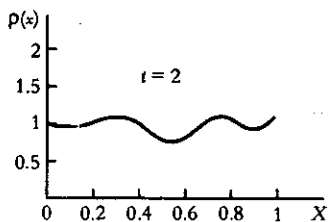
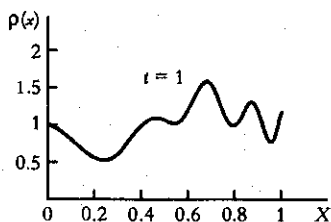
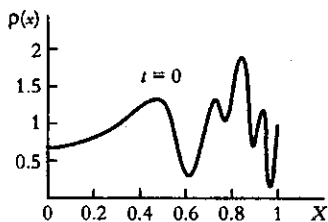
Müxtəlif modellər üçün başlanğıc şərtlər yüngülcə fərqlənir. Bu fərq zaman keçdikcə güclənir (Dean Driebe-nin ədədi modelləşdirmələri).



Şəkil 3.8

Bernoulli diaqramı üçün $\rho_n(x)$ -in modelləşdirilməsi

Ehtimal paylanmasının təkamülünün ədədi modelləşdirilməsi. Trayektoriya təsvirindən fərqli olaraq ehtimallar çox sürətlə asimptotik bircins paylanmaya yaxınlaşır (Dean Driebe-nin ədədi modelləşdirmələri).



Biz indi Perron-Frobenius operatoru ilə ifadə olunmuş statistik təsvirə qayıdaq. Şəkil 3.8-də biz U operatorunun paylanma funksiyasına təsirini görürük. Trayektoriya təsvirindən olan fərq heyratamizdir, çünki $\rho_n(x)$ paylanma funksiyası sürətlə sabitə yaxınlaşır. Ona görə də, biz belə bir nəticə çıxara bilərik ki, trayektoriya təsviri ilə ansambl təsviri arasında hansısa bir əsaslı fərq olmalıdır. Qısaca desək, trayektoriyalar səviyyəsində dayanıqsızlıq, statistik təsvir səviyyəsində dayanıqlığa gətirir.

Bu necə ola bilər? Perron-Frobenius operatoru hələ də $\delta(x - x_{n+1}) = U\delta(x - x_n)$ trayektoriya təsvirinə yol verir, lakin gözlənilməz xüsusiyyət ondan ibarətdir ki, o, fərdi trayektoriyalara deyil, *ancaq* statistik ansamblara tətbiq edilə bilən yeni həllərə də yol verir. Fərdi baxışla statistik təsvir arasındakı ekvivalentlik pozulur.

Bu diqqətəlayiq nəticə riyaziyyat və nəzəri fizikada yeni bölmənin başlanmasına gətirir.⁷ Xaos problemi fərdi trayektoriyalar səviyyəsində həll edilə bilməsə də, ansamblar səviyyəsində artıq həll edilə bilər. Biz indi *xaosun qanunları* haqqında danışa bilərik.⁸ IV Fəsildə görəcəyimiz kimi, biz hətta ρ paylanmasının tarazlığa yaxınlaşma sürətini (bu, Bernoulli diaqramı üçün sabitdir) əvvəlcədən deyə bilərik və bu sürətlə Lyapunov qüvvəti arasında münasibəti qura bilərik.

Fərdi və statistik təsvirlər arasındakı fərqi biz necə başa düşək? Bu məsələni biz IV Fəsildə daha müfəssəl təhlil edəcəyik. Orada görəcəyik ki, bu yeni həllər paylanma funksiyasının hamarlığını tələb edir. Belə həllərin fərdi trayektoriyalara tətbiq edilə bilməməsinin səbəbi də elə budur. $\delta(x - x_n)$ funksiyası ilə təsvir edilən trayektoriya hamar funksiya deyil, o yalnız $x=x_n$ olduqda sıfırdan fərqlidir, x -in digər qiymətlərində isə sıfır olur.

Beləliklə, paylanma funksiyaları səviyyəsində təsvir ayrı-ayrı trayektoriyalardan alınan təsvirdən daha zəngindir. Bu, I Fəsilin III Bölməsində gəldiyimiz nəticələrlə uzlaşır. Trayektoriyalar, sadəcə olaraq, Perron-Frobenius tənliyinin dayanıqsız diaqramlar üçün xüsusi həlləridir. Bu, Poincare rezonansına malik sistemlərə də aiddir (V və VI Fəsillərə bax). Fərdi trayektoriyalar səviyyəsində zamanca istiqamətlənmiş hər hansı proses mövcud deyil; lakin, zamanca istiqamətlənmiş korrelyasiyalar axını ehtimal paylanması üçün alınan yeni həllərin ayrılmaz elementidir.

Fərdi və statistik təsvirlər arasında ekvivalentliyin belə pozulması bizim yanaşma üsulumuz üçün əsas stimuldur. Növbəti fəsildə biz statistik səviyyədə kaos diaqramlarından çıxan yeni həlləri ətraflı müzakirə edəcəyik.

Bizim indi düşdüyümüz vəziyyət termodinamikada qarşılaşdığımız vəziyyəti yada salır (II Fəsil). Tarazlıq termodinamikasının böyük uğurları tarazlıqdan kənar şəraitdə materiyanın yeni xassələrinin kəşf edilməsini xeyli ləngitmişdir (Dissipativ strukturlar və özünütəşkil bu şəraitdə təzahür edir). Parallel olaraq, klassik trayektoriya nəzəriyyəsinin və kvant mexanikasının uğurları dinamikanın statistik səviyyəyə genişləndirilməsinə mane olmuşdur (Dönməyənlik təbiətin əsas təsvirləri içərisinə bu halda daxil edilə bilər).

XAOSUN QANUNLARI

I

Bundan əvvəlki fəsildə biz klassik və kvant mexanikasını dayanıqsız dinamik sistemlər üçün genişləndirməyə imkan verən başlıca amili ifadə etdik: fərdi təsvirlə (trayektoriya dilində) statistik təsvir (ansambl dilində) arasında ekvivalentliyin pozulması. Biz indi sadə xaotik diaqramlar üçün bu qeyri-ekvivalentliyi daha ətraflı təhlil etmək və bu tədqiqatların riyaziyyatdakı son nailiyyətlərlə necə bağlı olduğunu göstərmək istəyirik. Gəlin əvvəlcə determinist xaosun bir nümunəsi kimi artıq tanış olduğumuz Bernoulli diaqramına qayıdaq.

$x_{n+1} = 2x_n \pmod{1}$ hərəkət tənliyindən görürük ki, başlanğıc x_0 şərtini biləndə biz istənilən n üçün x_n -i hesablaya bilirik. Buna baxmayaraq, təsadüfiliyin mühüm bir elementi deyəsən hələ qalır. 0 və 1 arasında istənilən x ədədi ikili say sistemində təsvir edilə bilər: $x = \frac{u_0}{2} + \frac{u_{-1}}{4} + \frac{u_{-2}}{8} \dots$, burada $u_i =$

0 və ya 1-dir (biz, III Bölmədə öyrənəcəyimiz Baker çevrilməsini daxil etməyə hazırlıq məqsədi ilə, u_1, u_2, \dots üçün mənfi indekslərdən istifadə edirik). Beləliklə, hər bir x_n ədədi ikilik rəqəmlər silsiləsi ilə ifadə edilir. Biz asanlıqla yoxlaya bilərik ki, Bernoulli diaqramı $u'_n = u_{n-1}$ sürüşməsinə (məsələn, $u'_{-2} = u_{-3}$) gətirir, yəni u_i ədədlərini sola hərəkət etdirir. u_{-1}, u_{-2}, \dots silsiləsindəki hər bir rəqəmin qiyməti digərlərindən asılı olmadığı üçün, hər bir növbəti sürüşmənin nəticəsi sikkənin hansı üzünün düşəcəyi qədər təsadüfidir. Bu sistem ehtimal oyunları sahəsində ilk işi yazan XVIII əsrin böyük riyaziyyatçısı Jakob Bernoulli-nin (Yakob Bernulli) xatirəsinə "Bernoulli sürüşməsi» adlanır. Biz burada ilkin şərtlərə həssaslığı da müşahidə edə bilərik: bir-birindən yüngülcə (məsələn, u_{40} həddi ilə, yəni 2^{-39} -dan daha az) fərqlənən iki ədəd 40 addımdan sonra $\frac{1}{2}$ qədər fərqlənəcək.

Artıq göstərdiyimiz kimi, bu həssaslıq, hər addımda ikiqat artırılan x üçün qiyməti $\log 2$ olan müsbət Lyapunov qüvvətindən irəli gəlir (III Fəslin II Bölməsinə bax).

Lap başlandıqdan Bernoulli diaqramı yalnız bir istiqaməti göstərə bilən zaman oxu daxil edir. Əgər $x_{n+1} = 2x_n$

(modul 1) əvəzinə biz $x_{n+1} = \frac{1}{2}x_n$ diaqramını nəzərdən

keçirsək, $x=0$ -da bir nöqtəli attraktor [cazibə nöqtəsi] alarıq. Zaman simmetriyası hərəkət tənliyi səviyyəsində pozulur, yəni, bu tənlik dönmə bilən deyil. Bu, Newton-un təsvir etdiyi, hərəkət tənlikləri zamanın dönməsinə görə invariant olan dinamik sistemlərlə təzad təşkil edir.

Bu məsələdə yadda saxlamalı ən vacib cəhət odur ki, trayektoriyalar adekvat deyil. Xaotik sistemlər determinist hərəkət tənlikləri ilə tənzimlənsə belə, trayektoriyalar həmin sistemlərin zamanca təkamülünü təsvir etməyə qabil deyil. Pierre-Maurice Duhem-in hələ 1906-cı ildə göstərdiyi kimi,

trayektoriya anlayışı yalnız o vaxt təsvirin adekvat üsuludur ki, biz başlanğıç şərtləri yüngülcə dəyişdikdə o, öz şəklini az və ya çox dərəcədə saxlasın.² Xaotik sistemlərin trayektoriya vasitəsi ilə təsvirində məhz bu xassə çatışmır. Bu, başlanğıc şərtlərə həssaslığın mahiyyətidir: istənilən qədər yaxın yerləşən nöqtələrdən çıxan iki trayektoriya zaman keçdikcə eksponensial olaraq dağılır.

Bunun əksinə olaraq, xaotik sistemləri statistik səviyyədə təsvir etmək üçün heç bir çətinlik yoxdur. Ona görə də xaosun qanunlarını biz bu səviyyədə ifadə etməliyik. III Fəsildə biz $\rho_n(x)$ ehtimal paylanmasını $\rho_{n+1}(x)$ -ə çevirən U Perron-Frobenius operatorunu daxil etdik. Bu bizi belə bir nəticəyə gətirdi ki, burada fərdi trayektoriyalara tətbiq edilə bilməyən yeni həllər mövcuddur. Məhz bu yeni həlləri biz bu fəsildə müəyyən etmək istəyirik. Sürətlə inkişaf edən sahə olan Perron-Frobenius operatorunun öyrənilməsi sahəsi burada xüsusi maraq doğurur, çünki xaotik diaqramlar, dönməyən prosesləri nümayiş etdirən, ən sadə sistemlərdir.

Boltzmann öz ideyalarını nəhəng sayda (10^{23} tərtibində) hissəciklərdən ibarət qazlara tətbiq edirdi. Biz isə burada yalnız bir neçə asılı olmayan dəyişən kəmiyyətlə (biri Bernoulli diaqramı, ikisi isə qısaca nəzərdən keçirəcəyimiz Baker diaqramı üçün) məşğul olacağıq. Biz «dönməyənlik yalnız ona görə mövcuddur ki, bizim ölçmələrimiz yaxınlaşmalarla məhdudlaşdırılır» fikrini bir daha rədd etməli olacağıq. Lakin gəlin əvvəlcə statistik təsvirlə bağlı olan yeni həllər sinfini müəyyən edək.

II

Biz dinamik problemi statistik səviyyədə necə həll edirik? Əvvəlcə biz $\rho(x)$ paylanma funksiyasını müəyyən etməliyik ki, $\rho_{n+i}(x) = U\rho_n(x)$ rekurrent münasibətini nəzərdən keçirə

bilək. $(n+1)$ iterasiyadan sonrakı $\rho_{n+1}(x)$ paylanma funksiyası, n iterasiyadan sonrakı $p_n(x)$ paylanma funksiyasına U operatorunun təsirindən alınır. Bu cür məsələyə biz klassik və kvant mexanikasında da rast gələcəyik. VI Fəsildə göstərəcəyimiz səbəblərdən, operator formalizmi əvvəlcə kvant nəzəriyyəsində istifadə edilmiş, sonra isə fizikanın digər sahələrində, xüsusən statistik mexanikada tətbiq edilmişdir.

Operator sadəcə olaraq verilmiş funksiyaya necə təsir edilməsini göstərən qaydadır; o, məsələn, hasili, differensiallanmanı və ya digər riyazi əməliyyatı ifadə edə bilər. Operatoru müəyyən etmək üçün biz həmçinin onun təsir oblastını göstərməliyik. Operator hansı növ funksiyalara təsir edir? O kəsilməzdir, yoxsa sıçrayışlıdır? Onun bunlardan başqa xüsusiyyətləri də varmı? Bütün bu xassələr funksiya fəzasını müəyyən edir.

Ümumi halda hər hansı $f(x)$ funksiyasına təsir edən U operatoru onu başqa funksiyaya çevirir (məsələn, U əgər $\frac{d}{dx}$ differensiallama operatorudursa, onda $Ux^2=2x$). Lakin elə xüsusi funksiyalar var ki, biz U ilə onlara təsir etdikdə invariant qalırlar; bu funksiyalara operatorun *məxsusi funksiyaları* deyilir. Operatorun bu funksiyalara təsiri, onların yalnız bir ədədə vurulmasına gətirir; bu ədədə operatorun *məxsusi qiyməti* deyilir. Yuxarıdakı misalda e^{kx} k -məxsusi qiymətinə uyğun gələn məxsusi funksiyadır. Operatorlar analizində olan fundamental bir teoremə görə biz operatoru, onun məxsusi funksiyaları və məxsusi qiymətləri vasitəsilə ifadə edə bilərik; bunlar hər ikisi funksiya fəzasından asılı olacaq. Kvant mexanikasında işləyən nəzəriyyəçi-fiziklər tərəfindən diqqətlə öyrənilmiş «Hilbert fəzası» adlandırılan fəza xüsusi əhəmiyyətə malikdir. O, statistik təsvirə dönməyənliyi daxil etmək üçün bizə lazım olan sinqulyar, ümumiləşmiş funksiyaları deyil, x və ya $\sin x$ kimi «yaxşı funksiyaları» əhatə edir. Fizikada hər

bir yeni nəzəriyyə yeni riyazi üsullar tələb edir. Burada əsas yenilik dayanıqsız dinamik sistemlər üçün bizim Hilbert fəzasından kənara çıxmağımızdır.

Bu ilkin mülahizələrdən sonra gəlin yenə də Bernoulli diaqramına qayıdaq. Bu halda biz U təkamül operatorunun aşkar formasını asanlıqla çıxara bilərik:

$$\rho_{n+1}(x) = U\rho_n(x) = \frac{1}{2} \left[\rho_n\left(\frac{x}{2}\right) + \rho_n\left(\frac{x+1}{2}\right) \right].$$

Bu tənlik göstərir ki, $(n+1)$ sayda iterasiyadan sonra x nöqtəsindəki $\rho_{n+1}(x)$ ehtimalı,

$$\rho_n(x)\text{-in } \frac{x}{2} \text{ və } \frac{1+x}{2} \text{ nöqtələrindəki qiymətləri ilə təyin}$$

olunur. U -nün bu şəklinə görə, ρ_n əgər α -ya bərabər olan sabitdirsə ρ_{n+1} də α -ya bərabərdir, çünki $U\alpha = \alpha$. Tarazlığa uyğun gələn bircins $\rho = \alpha$ paylanması, sürüşmənin $n \rightarrow \infty$ təkrarlanması vasitəsilə alınan paylanma funksiyasıdır.

Əksinə, $\rho_n(x) = x$ olsa, biz $\rho_{n+1}(x) = \frac{1}{4} + \frac{x}{2}$ alırıq. Başqa

sözlə $Ux = \frac{1}{4} + \frac{x}{2}$, yəni, U operatoru x funksiyasını başqa bir

$\frac{1}{4} + \frac{x}{2}$ funksiyasına çevirir. Lakin biz, yuxarıdakı qaydada

təyin edilmiş məxsusi funksiyaları (operatorun bu funksiyalara təsiri həmin funksiyaların sabitə vurulması ilə nəticələnir) asanlıqla tapa bilərik. $U\left(x - \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}\left(x - \frac{1}{2}\right)$ misalında

məxsusi funksiya $x - \frac{1}{2}$, məxsusi qiymət isə $\frac{1}{2}$ -dir. Əgər

Bernoulli sürüşməsinə n dəfə təkrar etsək $U^n\left(x - \frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^n\left(x - \frac{1}{2}\right)$

alırıq; bu ifadə $n \rightarrow \infty$ üçün 0-a yaxınlaşır. Ona görə də

$\left(x - \frac{1}{2}\right)$ -in $\rho(x)$ -ə verdiyi pay Lyapunov qüvvəti ilə bağlı olan

sürətlə sönmür. $x - \frac{1}{2}$ funksiyası Bernoulli polinomu

adlandırılan və $B_n(x)$ kimi işarə edilən polinomlar ailəsinə

aiddir. Bu polinomlar U operatorunun, $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ məxsusi

qiymətlərinə uyğun gələn məxsusi funksiyalarıdır, n isə

polinomun dərəcəsidir.³ Əgər ρ -nu Bernoulli polinomlarının superpozisiyası kimi yazsaq, yüksək dərəcəli polinomlar daha tez yox olurlar, çünki onların sönmə əmsalı daha böyükdür. Paylanma funksiyasının sürətlə sabitə yaxınlaşmasının səbəbi budur. Son nəticədə yalnız $B_0(x) = 1$ qalır.

İndi biz ρ paylanma funksiyasını və U Perron-Frobenius operatorunu Bernoulli polinomları vasitəsilə ifadə etməliyik. Nəticəni yazmamışdan əvvəl, «yaxşı» funksiyalarla «sinqulyar» funksiyalar (bunlar ümumiləşmiş funksiyalar və ya paylanmalar da adlandırılır, lakin bunları ehtimal paylanmaları ilə qarışdırmayın) arasındakı fərqi bir daha vurğulayaq, çünki bu, həlledici rol oynayır. Ən sadə sinqulyar funksiya delta-funksiyadır: $\delta(x)$. I Fəslin III Bölməsində, gördüyümüz kimi, $\delta(x - x_0)$ funksiyası $x \neq x_0$ olan bütün nöqtələrdə sıfırdır, $x = x_0$ nöqtəsində isə sonsuzdur. Biz artıq qeyd etmişik ki, sinqulyar funksiyalar yaxşı funksiyalarla birgə işlədilməlidir. Məsələn, $f(x)$ yaxşı kəsilməz funksiyadırsa, $\int dx f(x)\delta(x - x_0) = f(x_0)$ inteqralı dəqiq qiymətə malikdir. Əksinə, sinqulyar funksiyaların hasilini özündə saxlayan $\int dx \delta(x - x_0)\delta(x - x_0) = \delta(0) = \infty$ kimi inteqral dağılır və ona görə də mənasızdır.

Bizim əsas riyazi problemimiz U operatorunu öz məxsusi funksiyaları və məxsusi qiymətləri vasitəsilə təyin etməkdir. Bu, U operatorunun spektral təsviri adlanır. Bizim əlimizdə bu təsvir varsa, Perron-Frobenius operatorunun ρ ehtimal paylanmasına təsiri olan $U\rho$ nəticəsini ifadə etmək üçün ondan istifadə edə bilərik. Burada biz, determinist xaos üçün xarakterik olan, qeyri-adi hal görürük. Biz artıq yaxşı funksiyalar olan $B_n(x)$ Bernoulli polinomlarından ibarət məxsusi funksiyalar sistemini tapdıq, lakin δ -funksiyanın törəməsi ilə bağlı olan sinqulyar funksiyalardan formalaşan, ikinci bir $\tilde{B}_n(x)$ sistemi də var.⁴ U -nün spektral təsvirini və deməli, $U\rho$ -nu tapmaq üçün bizə məxsusi funksiyalar

siteminin hər ikisi lazımdır. Nəticədə, Bernoulli sürüşməsinin statistik ifadəsi yalnız yaxşı ρ ehtimal funksiyalarına tətbiq edilə bilər, lakin δ funksiya ilə təsvir edilmiş sinqulyar paylanma funksiyalarına uyğun gələn ayrıca trayektoriyalara tətbiq oluna bilmir. δ -funksiyaya tətbiq edilən halda U -nun spektrə ayrılışı sinqulyar funksiyaların hasilərini özündə saxlayır; bunlar dağılır və mənasızdır. Fərdi təsvirlə (δ -funksiya ilə təsvir edilən trayektoriya səviyyəsində) statistik təsvir arasındakı ekvivalentlik pozulur. Lakin kəsilməz ρ paylanması üçün biz trayektoriya nəzəriyyəsindən kənara çıxan məntiqli nəticələr alırıq. Biz tarazlığa yaxınlaşma sürətini hesablaya və deməli, Bernoulli diaqramında baş verən dönməyən proseslərin aşkar dinamik ifadəsini verə bilərik. Bu nəticə I Fəslin III Bölməsində keyfiyyətə aparılmış müzakirəni təsdiq edir. Ehtimal paylanması fəza fəzasının mürəkkəb mikrostrukturunu nəzərə alır. Determinist xaosun trayektoriya dilində təsviri ifrat ideallaşdırmaya uyğun gəlir və tarazlığa yaxınlaşmanı ifadə etməyə qabil deyil.

Burada biz artıq müasir riyaziyyatın bəzi ən mübahisəli məsələləri ilə üzləşirik. Əslində, məxsusi funksiya və qiymətlərin tapılması, V və VI Fəsillərdə görəcəyimiz kimi, statistik və kvant mexanikasının əsas məsələsidir. Xaos halında olduğu kimi, orada da məqsəd U kimi hər hansı operatoru öz məxsusi funksiyaları və qiymətləri vasitəsilə ifadə etməkdir. Biz bunu edə biləndə operatorun spektral təsvirini əldə edirik. Kvant mexanikasında belə təsvir sadə hallarda, yaxşı funksiyalar vasitəsilə əldə edilib. Onda biz Hilbert fəzasından istifadə edə bilərik. Kvant mexanikası ilə Hilbert fəzasında operator hesabı arasında əlaqə o qədər yaxındır ki, kvant mexanikasına çox vaxt Hilbert fəzasında operator hesabı kimi baxırlar. VI Fəsildə görəcəyik ki, ümumi halda bu belə deyil.

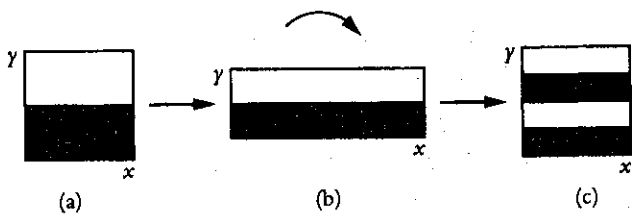
Biz gerçək dünyanı qavramaq üçün, son nəticədə, Hilbert fəzasını tərk etməliyik. Xaotik diaqramlar halında Hilbert fəzasından ona görə kənara çıxmalıyıq ki, bizə yaxşı funksiyalar olan $B_n(x)$ və sinqulyar funksiyalar olan $\tilde{B}_n(x)$ sistemlərinin hər ikisi lazımdır. Onda biz uyğunlaşdırılmış Hilbert fəzasından və ya Gelfand fəzasından danışa bilərik. Daha texniki dildə desək, biz Perron-Frobenius operatorunun fərdi trayektoriyalara deyil, müstəsna olaraq yaxşı ehtimal paylanmalarına tətbiq olunan, gətirilə bilməyən spektral təsvirini alırıq. Dayanıqsız dinamik sistemlər üçün ümumi olduğundan, bu xassələr prinsipial əhəmiyyətə malikdir. V Fəsildə klassik dinamikəni, VI Fəsildə isə kvant mexanikasını ümumiləşdirən zaman biz onlarla təzədən rastlaşacağıq. Hilbert fəzasını tərk etməyimizin fiziki səbəbi yuxarıda qeyd edilmiş daimi qarşılıqlı təsirlər problemi ilə bağlıdır. Bu bütöv, qeyri-lokal təsvir tələb edir. Yalnız Hilbert fəzasından kənarda fərdi və statistik təsvirlər arasındakı ekvivalentlik qəti olaraq pozulur və dönməyənlik təbiətin qanunları sırasına daxil olur.

III

Bernoulli diaqramı dönə bilən sistem deyil. Biz əvvəllər qeyd etmişdik ki, artıq hərəkət tənlikləri səviyyəsində zaman oxu mövcuddur. Bizim əsas problemimiz dönən dinamik sistemlərdə dönməyənliyin meydana çıxmasını təsvir etmək olduğu üçün, biz indi Bernoulli diaqramının ümumiləşdirilməsi olan Baker diaqramına və ya Baker çevrilməsinə baxacağıq. Tərəflərinin uzunluğu 1 olan kvadrat götürək. Əvvəlcə kvadratı uzunluğu 2 olan düzbucaqlıya yastılaraq; sonra onu yarıya bölüb yeni kvadrat düzəldək. Əgər biz kvadratın aşağı hissəsini nəzərdən keçirsək görürük ki, bu prosesin (və ya iterasiyanın) bir təkrarından sonra o, iki zolağa bölünür (Şəkil 4.1).

Şəkil 4.1

Baker çevrilməsi



Bundan əlavə, çevirmə dönəndir: kvadratı əvvəlcə uzunluğu $\frac{1}{2}$ və hündürlüyü 2 olan düzbucaqlı formasına salan tərs çevirmə hər nöqtəni əvvəlki vəziyyətinə qaytarır.

Bernoulli diaqramı üçün hərəkət tənlikləri çox sadədir: hər addımda (x, y) koordinatları $0 \leq x < \frac{1}{2}$ üçün $\left(2x, \frac{y}{2}\right)$ və $\frac{1}{2} < x \leq 1$ üçün $\left(2x-1, \frac{y+1}{2}\right)$ olur. Tərs baker çevrilməsini almaq üçün biz yalnız x -lə y -in yerini dəyişməliyik.

Baker diaqramında iki koordinat müxtəlif rollar oynayır. x üfüqi koordinatı genişləndirilən koordinatdır. Bu koordinat Bernoulli diaqramında x koordinatına uyğun gəlir, çünki hər addımda 2 dəfə (modul 1) artırılır. Kvadratın sahəsi saxlanılır, çünki bizim həm də sıxılan y koordinatımız var; kvadrat düzbucaqlıya çevrilərkən şaquli koordinat istiqamətində nöqtələr bir-birinə daha yaxın yerləşir. Üfüqi koordinat (x) boyunca iki nöqtə arasındakı məsafə, hər çevirmə nəticəsində ikiqat artdığından, n çevrilmədən sonra o, 2^n -ə vurulmalıdır. Çevrilmələrin sayı olan n zamanı ifadə etdiyi üçün, 2^n -i $e^{n \log 2}$ şəklində yazdıqda, görürük ki, Lyapunov qüvvəti, II Bölmədə baxılmış Bernoulli diaqramında olduğu kimi, $\log 2$ olur. Burada həmçinin mənfə

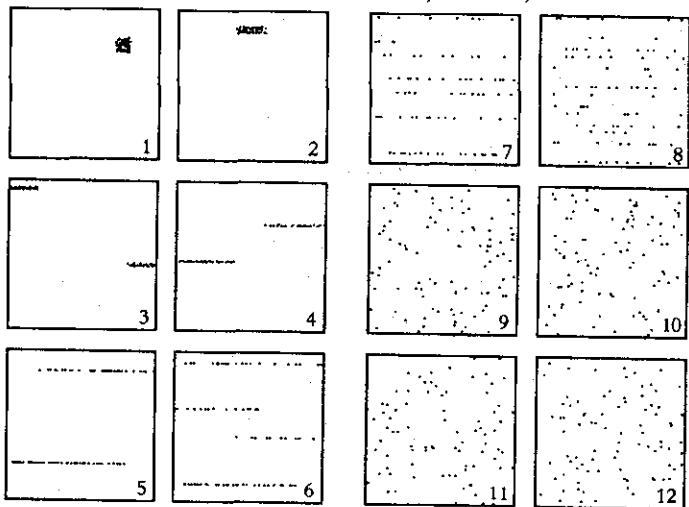
qiymətə malik ikinci Lyapunov qüvvəti, $-\log 2$ də mövcuddur ki, o da sıxılan y istiqamətinə uyğun gəlir.

Baker çevrilməsində ardıcıl təkrarlanmanın nəticəsi Bernoulli diaqramlarının müzakirəsi zamanı onlara verdiyimiz qədər diqqətə layiqdir (Şəkil 3.7). Biz kvadratın kiçik bir hissəsində yerləşmiş nöqtələrdən başlayacağıq (Şəkil 4.2); burada biz müsbət Lyapunov qüvvətinin yayıcı təsirini aydın görə bilərik. x və y koordinatları $[0,1]$ intervalı ilə məhdud edildiyindən, nöqtələr vahid kvadrata qaytarılır ki, bu da onların kvadrat boyu bircins paylanmasına gətirir. Biz ədədi modelləşdirmə vasitəsilə yoxlaya bilərik ki, əgər biz $\rho_n(x,y)$ ehtimalından başlasaq, Bernoulli sürüşməsində olduğu kimi (Şəkil 3.8), paylanma sürətlə bircinsliyə doğru gedir.

Şəkil 4.2

Baker çevrilməsinin ədədi modelləşdirilməsi

Diaqramlar, iterasiyaların sıra sayına, yəni zamana görə düzülüb (Dean Driebe-nin ədədi modelləşdirmələri).



Baker çevrilməsini (I bölmədə etdiyimiz qaydada) Bernoulli sürüşməsi kimi təsvir etməklə onun mexanizmini anlamaq məsələsində böyük fayda əldə edə bilərik. Bunun üçün biz vahid kvadratın hər bir (x,y) nöqtəsinə, x və y ədədlərini ikili say sistemində ifadə edən, yəni

$$x = \sum_{n=-\infty}^0 \frac{1}{2^{n+1}} u_n, y = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} u_n,$$

təsvirləri ilə müəyyən edilən $\{u_n\}$ sonsuz ardıcılığını uyğun qoyuruq, burada hər bir u_n ya 0, ya da 1 qiyməti ala bilər. Hər bir (x,y) nöqtəsi, ... $u_{-2}, u_{-1}, u_0, u_1, u_2, \dots$ sırası ilə təsvir edilir; ... u_{-2}, u_{-1}, u_0 sırası genişləndirilən x koordinatına, u_1, u_2, \dots sırası isə sıxılan y koordinatına uyğun gəlir. Məsələn, $x = \frac{1}{4}, y = \frac{1}{4}$ nöqtəsi $u_{-1} = 1, u_2 = 1$, olan, digər u_n -lərin isə sıfır olduğu sıra ilə təsvir edilir. Bu ifadələri hərəkət tənliklərinə daxil etsək, biz yenidən Bernoulli sürüşməsi olan $u'_n = u_{n-1}$ sürüşməsini alırıq. Biz görürük ki, başlanğıc şərtlərdə olan məlumat, sistemin bütün keçmiş və gələcək tarixini özündə saxlayır (Şəkil 4.3).

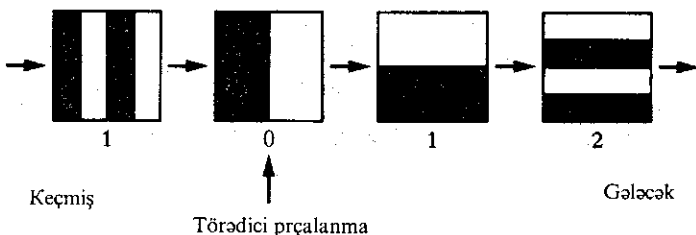
Baker çevrilməsinin ardıcıl təkrarlanmaları qaraldılmış və qaraldılmamış sahələrin parçalanmasına gətirir və gətirdikcə daha çox sayda bir-biri ilə əlaqəsi olmayan oblastlar yaradır. Qeyd edək ki, u_0 ədədi faza fəzasının verilən nöqtəsinin vahid kvadratın sol yarısında ($u_0 = 0$) və ya sağ yarısında ($u_0 = 1$) olduğunu müəyyən edir. u_n, \dots rəqəmləri sikkəni atmaqla müəyyən edilə bildiyi kimi, u -nün zamana görə təkrarlanmaları olan $u_n, u'_n = u_{n-1}, u''_n = u_{n-2}$ oxşar təsadüfilik xassələrinə malikdir. Bu göstərir ki, nöqtənin kvadratın sol və ya sağ yarısında təzahür etməsinə gətirən prosesə Bernoulli sürüşməsi kimi baxmaq olar.

Baker çevrilməsi, həmçinin, bütün dinamik sistemlərə məxsus olan və rekurrentlik adlanan mühüm xassəyə malikdir.

Şəkil 4.3

Baker çevrilməsinin iterasiyaları

(Törədici parçalanma adlandırılan) 0 parçalanmasından başlayaraq biz təkrar-təkrar Baker çevrilməsini tətbiq edirik. Gələcək istiqamətində hərəkət zamanı biz üfüqi zolaqları yaradıırıq. Buna bənzər olaraq, keçmişə hərəkət etdikdə şaquli zolaqları yaradıırıq.



İkili say təsvirində elə (x, y) nöqtəsinə baxaq ki, onun üçün $\{u_n\}$ ardıcılığı sonlu və ya sonsuz, lakin periodik olsun və deməli, x və y rasional ədədlər olsun. Bütün u_n -lər eyni qayda ilə sürüşdüyündən, bu növ bütün hallar, müəyyən zaman periodu ilə, dövrü olaraq təkrar olunur. Digər halların əksəriyyəti üçün də eyni vəziyyət alınır. Rekurrentlik anlayışını nümayiş etdirmək üçün, öz daxilində trivial olmayan və təkrar olunmayan ədədlərin sonsuz ardıcılığını saxlayan, irrasional (x, y) nöqtəsinin ikili say təsvirinə baxaq. Göstərmək olar ki, irrasional ədədlərin demək olar hamısı öz daxilində rəqəmlərin sonlu sırasını saxlayır, lakin bu sıra sonsuz sayda təkrar olunur. Məsələn, sistemin halını 2^m dəqiqliyi ilə müəyyən edən, 0 mövqeyi ətrafında $2m$ rəqəmin verilmiş sırası sürüşmənin təsiri altında sonsuz dəfə təzahür edəcək. m istənilən qədər böyük (lakin sonlu) götürülə bildiyindən, demək olar ki, hər bir hal, ixtiyari nöqtəyə, o cümlədən, başlanğıc nöqtəyə istənilən qədər yaxın vəziyyətə sonsuz dəfə çata bilər. Başqa sözlə, trayektoriyaların əksəriyyəti bütün faza fəzasından keçəcək. Bu, Poincare-nin

məşhur təkrarlanma teoremidir. Bu teorem, hərəkət tənliklərinin zamanca dönənlik xassəsi ilə birlikdə, uzun müddət ərzində, həqiqi dissipativ proseslərin mövcud olmasının inkarı üçün istifadə olunub. Lakin bu təsəvvürlər artıq müdafiə edilə bilməz.

Yekunlaşdırıb deyə bilərik ki, Baker çevrilməsi *döndərilə bilən, zamanca dönən, determinist, rekurrent və xaotikdir*. Baker çevrilməsi əsasında saydığımız xassələri nümayiş etdirmək çox faydalıdır, çünki eyni xassələr gerçək dünyanın bir çox dinamik sistemləri üçün xarakterikdir. Gələcəkdə görəcəyimiz kimi, bu xassələrə baxmayaraq, kaos statistik səviyyədə təsvir vasitəsi ilə əsl dönməyənliyi qurmağa imkan verəcək.

Konservativ sistemlərin dinamikası hərəkət qanunlarını və başlanğıc şərtləri əhatə edir. Burada hərəkət qanunları sadədir, lakin başlanğıc verilənlər anlayışı ətraflı təhlil tələb edir. Ayrıca trayektoriyanın başlanğıc şərtləri sonsuz $\{u_n\}$ (n ədədi $-\infty$ -dan $+\infty$ -a qədər dəyişir) dəstinə uyğun gəlir. Lakin gerçək aləmə biz ancaq məhdud pəncərədən baxa bilərik. Bu, o deməkdir ki, biz ixtiyari, lakin sonlu sayda u_n rəqəmlərinə nəzarət edə bilərik. Fərz edək ki, bu pəncərə $u_{-3}, u_{-2}, u_{-1}, u_0 \cdot u_1, u_2, u_3$ sırasına uyğun gəlir (burada nöqtə x və y koordinatlarının rəqəmlərini bir-birindən ayırır), qalan rəqəmlər isə məlum deyil. $u'_n = u_{n-1}$ Bernoulli sürüşməsi növbəti addımda ilkin sıranın $u_{-4}, u_{-3}, u_{-2}, u_{-1} \cdot u_0, u_1, u_2$ sırası ilə əvəz edilməsinə gətirir, bu sırada isə naməlum u_{-4} rəqəmi var. Daha dəqiq desək, müsbət Lyapunov eksponentinin mövcud olması nəticəsində, biz n iterasiyadan sonra nöqtənin mövqeyini N rəqəm dəqiqliyi ilə göstərmək üçün, onun ilkin mövqeyini $N+n$ rəqəm dəqiqliyi ilə bilməliyik.

I Fəsilə gördük ki, bu problemin həllinin ənənəvi üsulu ilk dəfə Paul və Tatiana Ehrenfest tərəfindən təklif olunan üsuldur, yəni ayrı-ayrı nöqtələr üçün deyil, oblastlar üçün müəyyən edilən, kobud paylaşılmış ehtimal paylanmasının

daxil edilməsidir.⁵ Lakin genişlənən çoxluqdakı iki nöqtə, verilmiş sonlu dəqiqliklə aparılan ölçmə vasitəsilə başlanğıc anda bir-birindən seçilə bilməsə belə, vaxt ötdükcə uzaqlaşacaq və müşahidə edilən olacaq. Ona görə də, ənənəvi kobud paylaşdırma dinamik təkamülə tətbiq edilə bilməz. Bizə daha incə üsul lazım olduğunu göstərən səbəblərdən biri məhz budur.

Lakin, əvvəlcə, biz Baker çevrilmələri halında tarazlığa yaxınlaşmanın nə demək olduğunu daha ətraflı təhlil etməliyik.⁶ Bütün dinamik sistemlər kimi, bu çevrilmənin də dönən olmasına baxmayaraq, $t \rightarrow +\infty$ və $t \rightarrow -\infty$ üçün təkamül müxtəlifdir. $t \rightarrow +\infty$ halında biz getdikcə daralan *üfüqi* zolaqlar istiqamətində hərəkət edirik (Şəkil 4.3). $t \rightarrow -\infty$ halında isə əksinə, biz getdikcə daralan *şaquli* zolaqlar istiqamətində hərəkət edirik.

Biz görürük ki, xaotik diaqramlar üçün dinamika iki növ təkamülə gətirir. Beləliklə, biz biri gələcəkdə ($t \rightarrow +\infty$), digəri isə keçmişdə ($t \rightarrow -\infty$) tarazlığa yaxınlaşmanı xarakterizə edən iki müstəqil təsvir alırıq. Sonradan görəcəyimiz kimi, belə dinamik ayrılma həm xaotik diaqramlar, həm də interqrallana bilməyən klassik və kvant sistemləri üçün mümkündür. Harmonik rəqqas və ya iki cisim sistemi kimi sadə dinamik sistemlər üçün belə ayrılma mövcud deyil; gələcək və keçmiş fərqləndirilə bilmir. Xaotik diaqram üçün biz bu iki təsvirdən hansını saxlamalıyıq? Biz dəfələrlə bu suala qayıdacağıq. İndi isə, ümumi halda hər bir dönməyən prosesə xas olan universal xassəni nəzərə alaq. Təbiətdə bütün zaman oxları eyni istiqamətə malikdir: onların hamısı zamanın eyni bir istiqamətində entropiya yaradır; məhz bu istiqamət gələcək adlandırılır. Deməli, biz, *bizim gələcəyimizdə*, yəni $t \rightarrow +\infty$ halında tarazlığa yaxınlaşmanı verən təsviri saxlamalıyıq.

I Fəsildə biz Baker diaqramı ilə bağlı zaman paradoksunu yada salmışdıq: bu diaqramla təsvir olunan dinamikanın zamanca dönən olmasına baxmayaraq, statistik səviyyədə dönməyən proseslər meydana çıxır. Bernoulli diaqramında olduğu kimi, biz $\rho_{m+1}(x, y) = U\rho_n(x, y)$ ilə təyin edilən Perron-Frobenius operatoru U daxil edə bilərik. Lakin burada fundamental bir fərq var. Ümumi teorem bəyan edir ki, dönən dinamik sistemlər üçün Hilbert fəzasında (bu fəza yalnız yaxşı funksiyaları əhatə edir) spektral təsvir mövcuddur.⁷ Bundan əlavə, bu təsvirdə sönmə yoxdur, belə ki, məxsusi qiymətlərin modulu 1-dir. Belə təsvir Baker çevrilmələri üçün də mövcuddur, lakin bu təsvir bizim üçün maraq kəsb etmir, çünki trayektoriyalarla bağlı heç bir yeni məlumat vermir. Biz, sadəcə olaraq, $\delta(x - x_{n+1})\delta(y - y_{n+1}) = U\delta(x - x_n)\delta(y - y_n)$ tənliyinə qayıdırıq ki, bunun da həlli trayektoriya təsvirinə ekvivalentdir.⁸

Eynilə Bernoulli diaqramında olduğu kimi, biz əlavə məlumat almaq üçün Hilbert fəzasından çıxmalıyıq. Ümumiləşmiş fəzada spektral təsvirlər üçün bu yaxınlarda alınmış məxsusi qiymətlər Bernoulli diaqramında olduğunun eynidir, yəni $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ -dir.⁹ Bundan başqa, məxsusi funksiyalar,

Bernoulli diaqramında olan $\tilde{B}_n(x)$ məxsusi funksiyaları kimi, sinqulyar funksiyalardır. Bu təsvirlər yenə də gətirilə bilməyəndir, belə ki, onlar yalnız uyğun sınaq funksiyalarına tətbiq edilə bilər və bizi kəsilməz paylanma funksiyaları ilə məhdudlaşmağa vadar edir. Sinqulyar δ -funksiyaları vasitəsilə təsvir edilən ayrıca trayektoriyalar istisna edilir. Bernoulli diaqramı halında olduğu kimi, fərdi və statistik təsvirlər arasında ekvivalentlik pozulur. Yalnız statistik təsvir öz daxilində tarazlığa yaxınlaşmanı, ona görə də dönməyənliyi saxlayır.

Baker diaqramı üçün, Bernoulli diaqramı ilə müqayisədə, yeni bir mühüm element daxil olur: Perron-Frobenius tənliyi

həm gələcəyə, həm də keçmişə tətbiq edilə bilər: ($\rho_{n+1} = U\rho_n$ və $\rho_{n-1} = U^{-1}\rho_n$; burada U^{-1} operatoru U -nin tərsi olan operatorudur). Hilbert fəzasının spektral təsvirləri çərçivəsində bu, gələcək və keçmiş arasında fərq yaratmır, çünki, n_1 və n_2 -nin işarəsindən (yada salaq ki, müsbət işarə gələcəyə, mənfi isə keçmişə uyğundur) asılı olmayaraq, $U^{n_1+n_2} = U^{n_1}U^{n_2}$ olur. Hilbert fəzası *dinamik qrup* kimi təsvir edilə bilər. Gətirilə bilməyən spektral təsvirlər üçün əksinə, gələcək və keçmiş arasında mühüm fərq var. U_n -in məxsusi qiymətləri $\left(\frac{1}{2^n}\right)^n = e^{-n(m \log 2)}$ kimi ifadə edilir. Bu düstur

gələcəkdə ($n > 0$) sönməyə, keçmişdə isə ($n < 0$) dağılmaya uyğun gəlir. Burada iki müxtəlif spektral təsvir mövcuddur - biri gələcək üçün, digəri isə keçmiş üçün. Trayektoriya təsvirində (və ya Hilbert fəzasında) mövcud olan zamanın bu iki istiqaməti artıq aydınlaşdırılıb. Beləliklə, dinamik qrup iki *yarımqrupa* parçalanır. Əvvəl qeyd edildiyi kimi, bizim qəbul etdiyimiz baxışa görə bütün dönməz proseslər zamanca eyni istiqamətə yönəlib. Buna uyğun olaraq, biz, tarazlığın bizim gələcəyimizdə alındığı yarımqrupu seçməliyik. Təbiət özü də keçmiş və gələcək arasında fərq qoyan yarımqrupla təsvir edilir. Zaman oxu mövcuddur. Nəticədə, dinamika və termodinamika arasındakı ənənəvi ziddiyyət aradan götürülür.

Qısaca desək, nə qədər ki, trayektoriyalara baxırıq, xaosun qanunları haqqında danışmaq paradoksal görünür, çünki bu halda biz xaosun mənfi cəhətləri ilə, məsələn, hesablanabilməzliyə və zahiri özbaşınalığa gətirən trayektoriyaların eksponensial dağılması ilə məşğul oluruq. Biz həmişə doğru və hesablanabilən olan ehtimal təsviri daxil etdikdən sonra, vəziyyət kəskin olaraq dəyişir. Məhz buna görə xaotik sistemlər üçün dinamikanın qanunları ehtimal səviyyəsində ifadə edilməlidir. Yuxarıda öyrənilmiş sadə

misallarda dönməyənlik yalnız Lyapunov zamanı ilə bağlıdır, lakin son vaxtlar bizim tədqiqatlarımız, diffuziya və digər köçürmə hadisələri kimi dönməyən prosesləri özündə saxlayan, daha ümumi diaqramlara genişləndirilib.¹⁰

IV

I Fəsilə qeyd edildiyi kimi, determinist xaosa tətbiq olunan statistik təsvir ona göqə uğur qazanıb ki, o, faza fəzasının mürəkkəb mikrostrukturunu nəzərə alır. Faza fəzasının hər bir sonlu oblastında eksponensial olaraq uzaqlaşan trayektoriyalar var. Lyapunov qüvvətinin təyininin özünə qonşu trayektoriyaların müqayisəsi daxildir. Diqqətəlayiqdir ki, dönməyənlik cəmi bir neçə sərbəstlik dərəcəsini əhatə edən sadə vəziyyətlərdə də meydana çıxır. Əlbəttə, bu, dönməyənliyin antropomorfik izahına, yəni dönməyənliyi, guya bizim özümüzün daxil etdiyimiz təqribiliklərin nəticəsi ilə izah edən fərziyyəyə zərbədir. Təəssüf ki, Boltzmann-ın məğlubiyyətindən sonra formalaşmış bu izahdan bu gün də istifadə olunur.

Bu bir həqiqətdir ki, başlanğıc şərtlər sonsuz dəqiqliklə məlum olduqda trayektoriya təsviri doğrudur. Lakin bu, heç bir gerçək şəraitə uyğun gəlmir. Bizim təcrübə apardığımız hər bir halda, istər kompüterlə, istərsə də başqa vasitələrlə olsun, biz başlanğıc şərtlərin sonlu dəqiqliklə verildiyi şəraitlə məşğul oluruq, bu isə xaotik sistemlər üçün zamanca simmetriyanın pozulmasına gətirir. Buna bənzər olaraq, biz sonsuz sürətlər təsəvvür edə bilərdik və ona görə də təbiətdə ən böyük sürətin – işığın vakuumdakı c sürətinin mövcudluğuna əsaslanan nisbilik nəzəriyyəsinə ehtiyacımız olmazdı, lakin c -dən böyük sürət haqqında fərziyyə heç bir müşahidə edilən reallığa uyğun gəlmir.

Diaqramlar zamanın əsl kəsilməzliyini əhatə edə bilməyən ideallaşdırılmış modellərdir. Biz indi diqqətimizi daha real vəziyyətə yönəltmək istədiyimizdən, intreqrallana bilməyən Poincare sistemləri bizim üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu halda fərdi təsvirlə (trayektoriyalar və ya dalğa funksiyaları) statistik təsvir arasında uçurum daha dərin olur. Laplace iblisinin indiki vəziyyət barədə məlumatının sonlu və ya sonsuz olmasından asılı olmayaraq, bu sistemlər üçün o, gücsüzdür. Gələcək artıq əvvəlcədən müəyyən edilməyib, fransız şairi Paul Valery-nin təbirincə desək, o «tikintiyə» bənzəyir.

NEWTON QANUNLARINDAN KƏNARDA

I

IV Fəsildə sadələşdirilmiş modelləri əks etdirən diaqramları təhlil edərək, biz axtarırlarımızın mərkəzində yerləşən suala gəlib çıxmışıq: klassik və kvant mexanikası çərçivəsində dayanıqsızlığın və davamlı qarşılıqlı təsirin rolu nədən ibarətdir? Təbiətin determinist, zamanca dönən təsvirinə inamımızın əsaslandığı elm klassik mexanikadır. Verilən suala cavab vermək üçün biz ilk növbədə, son üç əsr ərzində tənlikləri nəzəri fizikada hakim mövqe tutan Newton qanunlarından başlayırıq.

Atom və elementar hissəciklərə tətbiq məsələsində kvant mexanikası klassik mexanikanın hüdudlarını məhdudlaşdırır. Nisbilik nəzəriyyəsi göstərir ki, yüksək enerjilərdən və ya kosmologiyadan bəhs ediləndə də klassik mexanikanın şəkli dəyişdirilməlidir. Şəraitdən asılı olaraq, biz ya fərdi (trayektoriya, dalğa funksiyası və ya sahə anlayışlarında), ya da statistik təsvirdən istifadə edə bilərik. Maraqlıdır ki,

dayanıqsızlıq və inteqrallana bilməyənlik bütün səviyyələrdə bu iki təsvirin ekvivalentliyini pozur. Ona görə də biz fizika qanunlarının ifadə tərzini bəşəriyyətin yaşadığı açıq, təkamül edən Kainata uyğun olaraq təftiş etməliyik.

Əvvəl deyildiyi kimi, bizim mövqeyimiz ondan ibarətdir ki, klassik mexanika entropiyanın artması ilə əlaqədar dönməyən prosesləri əhatə etmədiyindən bitkin deyil. Kvant mexanikasının bu prosesləri əhatə etməsi üçün biz dayanıqsızlıq və inteqrallana bilməyənliyi onun ifadəsinə daxil etməliyik. İnteqrallanan sistemlər istisna hallardır. Üç cisim məsələsindən başlayaraq dinamik sistemlərin əksəriyyəti inteqrallana bilməyəndir. İnteqrallanan sistemlər üçün təsvirin iki üsulu - Newton qanunlarına əsaslanan trayektoriya təsviri və ansamblara əsaslanan statistik təsvir ekvivalentdir. İnteqrallana bilməyən sistemlər üçün bu belə deyil. Ona görə də, hətta klassik dinamika belə biz Gibbs-in statistik yanaşmasından (I Fəslin III Bölməsinə bax) istifadə etməliyik. III Fəsilin I Bölməsində gördüyümüz kimi, bu yanaşma, tarazlıq termodinamikasının dinamik yozumuna gətirir. Ona görə də tamamilə təbii olar ki, sistemləri tarazlığa gətirən dönməyən prosesləri daxil etmək üçün statistik təsvirdən istifadə edək. Bu yolla biz dönməyənliyi dinamikaya daxil edə bilərik. Nəticədə statistik təsvir səviyyəsində dinamika ilə uyğunlaşa bilən qeyri-Newton əlavələri meydana çıxacaq. Bundan əlavə, bu yeni əlavələr zaman simmetriyasını pozacaq. Beləliklə biz dinamikanın elə bir ehtimallı ifadəsini alırıq ki, onun vasitəsilə zamanca dönməyən dinamika ilə zamana görə istiqamətlənmiş termodinamik baxış arasındakı ziddiyyəti həll edə biləcəyik.

Biz yaxşı başa düşürük ki, bu addım keçmişdən qəti surətdə ayrılmaq deməkdir. Trayektoriyalara həmişə işimizin sadə, fundamental alətləri kimi baxılmışdır. Artıq bu belə

deyil. Biz, kvant mexanikasından götürülmüş termin ilə desək, trayektoriyaların «kollaps» edəcəyi vəziyyətlərlə rastlaşacağıq (VII Bölməyə bax).

Keçmişə nəzər saldıqda məlum olur ki, bizim trayektoriya təsvirindən imtina etməyimiz gözlənilməz deyil. I Fəsilə gördüyümüz kimi, inteqrallana bilməyənlik rezonanslar nəticəsində baş verir, bu rezonanslar tezliklərin ödəməli olduğu şərtlərlə ifadə olunur. Onlar fəzanın verilmiş nöqtəsində və verilmiş zaman anında baş verən lokal hadisələr deyil. Buna görə də rezonanslar nəzəriyyəyə lokal trayektoriya təsvirinə tam yad olan elementlər daxil edirlər. Dönməyən proseslərin və deməli, entropiyanın artmasının gözlənilmədiyi hallarda bizə dinamik formalaşdırmaq üçün fərdi təsvir əvəzində statistik təsvir lazımdır. Bu, hər şeydən əlavə, ətrafımızda olan dünyada gördüyümüz şəraitdir.

Whitehead, Bergson, və Popper-in anladığı mənada indeterminizm fizikada yenidən meydana çıxır. Bu, artıq hansısa aprior metafizik seçimin yox, dayanıqsız dinamik sistemləri statistik qaydada təsvir etməyin zəruriliyinin nəticəsidir. Son onilliklər ərzində bir çox alim kvant nəzəriyyəsinin yenidən formalaşdırılması və ya genişləndirilməsini təklif edib. Klassik mexanikanı da genişləndirməyə ehtiyacın olması faktı isə tamamilə gözlənilməzdir. Ən gözlənilməzi isə ondan ibarətdir ki, klassik mexanikanın belə təftiş edilməsi kvant nəzəriyyəsinin genişləndirilməsində bizə yol göstərə bilər.

II

Newton qanunlarını təftiş etməyə başlamazdan əvvəl klassik mexanikanın fundamental anlayışlarına qısa nəzər salaıq. Kütləsi m olan maddi nöqtənin hərəkətinə baxaq. Zaman keçdikcə bu nöqtənin trayektoriyası onun $r(t)$ vəziyyəti, $v = dr/dt$ sürəti və $a = d^2r/dt^2$ təcili ilə müəyyən edilir. Newton-un əsas tənliyi a təcilini F qüvvəsi ilə $F=ma$ şəklində əlaqələndirir. Bu düstur özündə klassik ətalət

prinsipini saxlayır, yəni qüvvə yoxdursa, təcil də yoxdur, sürət isə sabit qalır. Bir müşahidəçidən ona nəzərən sabit sürətlə hərəkət edən digər müşahidəçiyə keçdikdə Newton tənliyi invariant qalır. Bu Qaliley invariantlığı kimi tanınır; VIII Fəsilə görə biz qeyri-relyativistik Newton fizikası ilə məşğul olacağıq.

Biz görürük ki, Newton tənliyində zaman yalnız ikinci tərtib törəmə kimi iştirak edir. Belə demək olar ki, Newton zamanı dönəndir, yəni gələcək və keçmişin eyni rol oynadığı fərz edilir. Bundan əlavə, Newton qanunu deterministdir.

Gəlin indi sistemin N hissəcikdən təşkil olunduğu daha ümumi hala baxaq. Üç ölçülü fəzada biz $3N$ sayda q_1, \dots, q_{3N} koordinatına və uyğun v_1, \dots, v_{3N} sürətlərinə malik oluruq. Dinamikanın müasir təsvirində biz adətən həm koordinatları, həm də sürətləri (daha doğrusu p_1, \dots, p_{3N} impulslarını: sadə hallarda $p = mv$ -dir) müstəqil dəyişənlər kimi təyin edirik. I Fəsilə deyildiyi kimi dinamik sistemin halı fəza fəzasındakı nöqtə ilə, onun hərəkəti isə həmin fəzada trayektoriya ilə təsvir edilir. Klassik dinamikada ən mühüm kəmiyyət H Hamiltonianıdır; bu, sistemin q və p dəyişənləri vasitəsilə ifadə edilmiş enerjisi kimi müəyyən edilir. Ümumi halda Hamiltonian $E_{kin}(p)$ kinetik enerjinin və $V(q)$ potensial enerjinin cəmidir, burada, p və q müstəqil dəyişənlərin tam dəstini göstərir.

$H(p, q)$ Hamiltonianı məlum olduqda, koordinat və impulsun zamana görə təkamülünü təsvir edən hərəkət tənliklərini yazmaq mümkündür. Bu üsul mexanikanı öyrənən bütün tələbələrə tanışdır. Hamiltoniandan alınmış belə tənliklər *kanonik* hərəkət tənlikləri adlanır. İkinci tərtib (yəni zamana görə ikinci tərtib törəməni saxlayan) Newton tənliklərindən fərqli olaraq Hamilton tənlikləri birinci tərtib tənliklərdir.

Ayrıca götürülmüş sərbəst hissəcik üçün $H = \frac{p^2}{2m}$, p impulsu

zamana görə sabitdir, koordinat isə zamandan xətti asılı olaraq dəyişir: $q = q_0 + \frac{p}{m}t$. İntegrallana bilən sistemlər üçün,

tərifinə görə, Hamiltonian təkcə impulsar vasitəsilə (lazım gəldikdə dəyişənlərin uyğun əvəzlənməsindən sonra) ifadə edilə bilər. Poincare, integrallana bilən hissə («sərbəst Hamiltonian» H_0) və qarşılıqlı təsir nəticəsində yaranan potensial enerjinin cəmindən ibarət olan, $H = H_0(p) + \lambda V(q)$ şəklində Hamiltonian-ları tədqiq etmişdir (λ – əmsaldır, sonralar bundan istifadə ediləcək). O göstərmişdir ki, bu sinif Hamiltonianlar bir qayda olaraq, integrallana bilməyəndir; bu o deməkdir ki, biz qarşılıqlı təsiri aradan qaldıraraq asılı olmayan dəyişənlərə keçə bilmirik. Biz artıq I Fəsilə demişdik ki, integrallana bilməyənlik, Poincare rezonansları ilə bağlı olan, dağılan məxrəclər nəticəsində baş verir və bu səbəbdən biz hərəkət tənliklərini (heç olmasa λ əlaqə sabitinin dərəcələrinə görə sıra şəklində) həll edə bilmirik.

Növbəti səhifələrdə biz, əsasən, integrallana bilməyən böyük Poincare sistemləri (BPS) ilə məşğul olacağıq. Gördüyümüz kimi, Poincare rezonansları hərəkətin müxtəlif növlərinə uyğun gələn tezliklərlə bağlıdır. ω_k tezliyi k dalğa uzunluğundan asılıdır (misal kimi işıq götürsək, ultrabənövşəyi işıq infraqırmızı işıqdan daha böyük ω tezliyinə və daha kiçik k dalğa uzunluğuna malikdir). Biz tezliyin dalğa uzunluğundan asılı olaraq kəsilməz dəyişdiyi integrallana bilməyən sistemlərə baxdıqda BPS-nin tərifinə gəlib çıxırıq. Bu şərt o halda ödənilir ki, sistemin yerləşdiyi həcm səth effektlərini nəzərə almamağı mümkün edən dərəcədə böyük olsun. Biz məhz buna görə belə sistemləri böyük Poincare sistemləri adlandırırıq.

BPS-nin sadə nümunəsi ω_1 tezlikli osilyatorla, verilmiş sahə arasında qarşılıqlı təsir ola bilər. Radio və televiziya əsri olan bu əsrdə biz hamımız elektromaqnit dalğaları ifadəsini eşitmişik. Bu dalğaların amplitudu koordinat və zamanın $\varphi(x,t)$ funksiyası vasitəsilə təsvir olunan sahə ilə müəyyən edilir. XX əsrin əvvəllərində göstərilirdi ki, sahə, k dalğa uzunluğu sistemin öz ölçülərindən tutmuş elementar hissəciklərin ölçülərinə qədər dəyişən ω_k tezlikli rəqslərin superpozisiyası kimi təsəvvür edilə bilər. Bizim baxdığımız ossilyator-sahə qarşılıqlı təsiri zamanı sahənin ω_k tezliyinin ossilyatorun ω_1 tezliyinə bərabər olduğu bütün hallarda rezonanslar meydana çıxır. Sahə ilə qarşılıqlı təsirdə olan ossilyator üçün hərəkət tənliklərini həll etməyə çalışdıqda, biz
$$\frac{1}{(\omega_1 - \omega_k)}$$
 Poincare rezonansları ilə qarşılaşırıq ki, bu da

$\omega_1 = \omega_k$ olan hər bir halda dağılmaya uyğun gəlir. Başqa sözlə, bu hədlər sonsuzluğa gedir və ona görə də mənasız olur. Biz göstərəcəyik ki, bizim statistik təsvirdə bu dağılmaları aradan götürə bilərik.

Poincare rezonansları xaosun bir formasına gətirir. Doğrudan da saysız-hesabsız kompüter modelləşdirmələri göstərir ki, bu rezonanslar determinist xaos halında olduğu kimi, təsadüfi trayektoriyaların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu mənada determinist xaosla Poincare inteqrallana bilməyənliyi arasında sıx analogiya var.

III

Əvvəlki fəsillərdə olduğu kimi, elə $\rho(q,p,t)$ ehtimal paylanmasına baxaq ki, onun zamana görə dəyişməsi kanonik hərəkət tənliklərindən asanca çıxarıla bilsin. Biz indi xaoitik daıqramlara baxarkən, hərəkət tənliklərini Perron-Frobenius operatoru ilə bağlı statistik təsvirlə əvəz etdiyimiz

zaman düşdüyümüz vəziyyətdəyik. Klassik mexanikada biz $i \frac{\partial \rho}{\partial t} = L\rho$ tənliyi vasitəsilə ρ -nun təkamülünü təsvir edən və

Liouville operatoru kimi tanınan L təkamül operatoruna da rast gəlirik. ρ -nun zamana görə dəyişməsi ρ -ya L operatorunun təsiri ilə müəyyən edilir. Əgər paylanma funksiyası zamandan asılı deyilsə $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, onda $L\rho = 0$. Bu,

termodinamik tarazlıq halına uyğun gəlir. III Fəslin I Bölməsində gördüyümüz kimi, bu halda ρ yalnız hərəkət invariantı olan enerjiden (və ya Hamiltoniandan) asılı olur.

Dinamika məsələlərinin statistik səviyyədə həlli, IV Fəsildə xaosik sistemlər üçün izah edildiyi qaydada, L -in spektral təsvirinin tapılmasını tələb edir. Ona görə də biz bunun məxsusi funksiyalarını və məxsusi qiymətlərini təyin etməliyik. Biz gördük ki, spektral təsvir, əvvəllər istifadə edildiyi qaydada (və inteqrallanan sistemlər üçün indi də məqbul olan) Hilbert fəzasındakı, yəni «yaxşı» funksiyalar fəzasındakı funksiyalardan asılıdır. Dərsliklərdə verilən fundamental teoremə uyğun olaraq L operatoru Hilbert fəzasında həqiqi məxsusi qiymətlərə (l_n) malikdir. Bu halda zamana görə təkamül ossilyator həddlərinin superpozisiyası olur. Əslində Liouville tənliyinin formal həlli $\rho(t) = \exp(-itL)\rho(0)$ şəklindədir. $\exp(-itl_n) = \cos t l_n - i \sin t l_n$ ossilyator həddi l_n məxsusi qiymətlərindən asılıdır; gələcək və keçmiş eyni rol oynayır. Dönməyənliyi daxil etmək üçün bizə zaman keçdikcə $e^{-\gamma_n t}$ şəklində eksponensial sönməyə gətirən $l_n = \omega_n - i\gamma_n$ kimi kompleks məxsusi qiymətlər lazımdır. Bu əlavə, gələcək üçün ($t > 0$) sürətlə azalır, keçmiş üçün isə ($t < 0$) artır və, beləliklə, zaman simmetriyası pozulur.

Lakin kompleks məxsusi qiymətləri yalnız o zaman almaq mümkündür ki, biz Hilbert fəzasından çıxaraq. İndi bizim əsas məqsədimiz odur ki, hansı fiziki səbəblərdən bunu etməli olduğumuzu başa düşək. Bu belə bir gerçəklikdən çıxır ki, real dünyada *davamlı* qarşılıqlı təsirlər mövcuddur.¹ Biz oturduğumuz otağı götürək. Atmosferdəki molekullar daim

toqquşurlar. Bu, *keçici* qarşılıqlı təsirlərdən, məsələn, vakuumdakı sonlu sayda molekulların qarşılıqlı təsirindən tamamilə fərqlidir. Bu halda molekullar qısa müddət ərzində qarşılıqlı təsirdə olurlar və nəhayət sonsuzluğa uzaqlaşa bilirlər. Daimi və keçici qarşılıqlı təsirlər arasındakı fərq klassik dinamikadan termodinamikaya keçiddə həlledici rol oynayır. Klassik dinamika verilmiş miqdarda hissəcikləri ayırır və təcrid olunmuş halda onların hərəkətinə baxır; dönməyənlik isə qarşılıqlı təsirin kəsilmədiyi halda baş verir. Qısa, dinamika reduksionist baxışa uyğun gəlir, bu mənada ki, biz təcrid olunmuş şəraitdə sonlu sayda molekullara baxırıq. Dönməyənlik isə çoxlu sayda hissəciklərin əmələ gətirdiyi sistemləri vəhdətdə götürdüyümüz daha tam yanaşmadan doğur. Bu fərqi daha dəqiq anlamaq üçün biz *sinqulyar* paylanma funksiyalarına nəyə görə ehtiyacımız olduğunu və deməli Hilbert fəzasını tərk etməyə məcbur olduğumuzu göstərəcəyik.

IV

Keçici qarşılıqlı təsirlər *lokallaşmış* paylanma funksiyaları vasitəsilə təsvir edilə bilər. Atmosfer kimi böyük fəzalarda davamlı qarşılıqlı təsiri təsvir etmək üçün *lokallaşmamış* paylanma funksiyaları tələb olunur. Lokallaşmış və lokallaşmamış ρ paylanma funksiyaları arasında fərqi dəqiq müəyyən etmək üçün gəlin sadə bir misaldan başlayaq. Bir ölçülü sistemdə x koordinatı $-\infty$ -dan $+\infty$ -ğa qədər dəyişir. Lokallaşmış paylanma funksiyaları düz xəttin məhdud bir parçasında cəmləşib. Xüsusi hal verilmiş nöqtədə lokallaşmış və zaman keçdikcə xətt boyu hərəkət edən ayrıca trayektoriyadır. Bunun əksinə, lokallaşmamış paylanma funksiyaları bütün xətt boyu yayılıb. Bu iki funksiyalar sinfi müxtəlif şəraitləri təsvir edir. Misal kimi *səpilməni* nəzərdən keçirək. Adi səpilmə təcrübələrində biz hissəciklər dəstəsi yaradır və onu maneənin (səpilmə «mərkəzinin») üzərinə

göndəririk. Onda biz Şəkil 5.1-də göstərilmiş 3 mərhələ alırıq.

Bu təcrübədə hissəciklər dəstəsi əvvəlcə səpilmə mərkəzinə yaxınlaşır, sonra onunla qarşılıqlı təsirə girir və nəhayət, yenidən sərbəst hərəkətdə olur. Burada mühüm cəhət ondan ibarətdir ki, qarşılıqlı təsir prosesi keçicidir. Lokallaşmamış paylanmalarda isə dəstə bütün ox boyu yayılır və səpilmə başlanmır və qurtarmır. Onda biz daimi səpilmə adlanan hal alırıq.

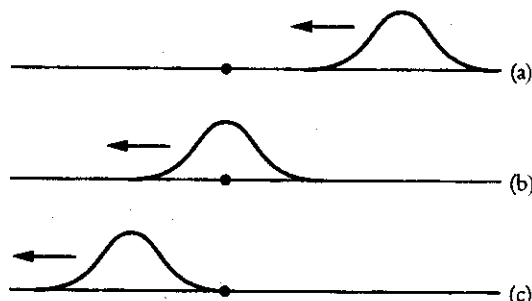
Keçici səpilmə təcrübələri, proton və elektron kimi elementar hissəciklər arasında qarşılıqlı təsiri öyrənmək imkanı yaratmaqla, fizikanın tarixində mühüm rol oynayıb. Lakin bir çox hallarda, xüsusən də qaz və maye kimi makroskopik sistemlərdə davamlı qarşılıqlı təsirlər mövcuddur, çünki toqquşmalar heç vaxt kəsilmir. Qısaca desək, keçici qarşılıqlı təsirlər trayektoriyalar kimi lokallaşmış paylanma funksiyaları ilə, davamlı qarşılıqlı təsirlər isə bütün sistem boyu yayılan lokallaşmamış paylanmalarla bağlıdır.

Termodinamik sistemlər davamlı qarşılıqlı təsirlərlə

Şəkil 5.1

Səpilmənin üç mərhələsi

(a) Hissəciklər dəstəsi səpilmə mərkəzinə yaxınlaşır, (b) Hissəciklər dəstəsi səpilmə mərkəzi ilə qarşılaşır, (c) Hissəciklər dəstəsi yenidən sərbəst hərəkətdədir.



xarakterizə edilir, ona görə də lokallaşmamış paylanma funksiyaları ilə təsvir edilməlidir. Belə sistemləri öyrənərkən biz *termodinamik limitə* baxmalıyıq: hissəciklərin N sayı və V həcmi artır, lakin onların nisbəti, yəni N/V konsentrasiyası sabit qalır. Formal olaraq biz $N \rightarrow \infty$, $V \rightarrow \infty$ limitinə baxsaq da, əlbəttə, elə bir dinamik sistem (hətta Kainat belə) yoxdur ki, hissəciklərin sayı sonsuz olsun. Bu limit, sadəcə olaraq, o mənə daşıyır ki, $\frac{1}{N}$ və ya $\frac{1}{V}$ həddləri ilə təsvir edilən səth

effektləri nəzərə alınmaya bilər. Termodinamik limit bütün makroskopik fizikada mərkəzi rol oynayır. Bu anlayış olmadan biz maddənin qaz, maye və ya bərk hallarını müəyyən edə bilməzdik və ya maddənin halları arasında faza keçidlərini təsvir etməyi bacarmazdıq. Biz, həmçinin, II Fəsildə baxdığımız tarazlığa yaxın və tarazlıqdan uzaq şəraitləri də bir-birindən ayıra bilməzdik.

İndi göstərək ki, niyə lokallaşmamış paylanma funksiyalarının daxil edilməsi bizi «yaxşı» funksiyalar sinfini və deməli, Hilbert fəzasını tərk etməyə məcbur edir. Bunun üçün biz bir neçə elementar riyazi anlayışlara baxmalıyıq. Birincisi, hər bir riyaziyyatçı tələbə $\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ kimi periodik funksiyalarla tanışdır. Biz x koordinatına λ dalğa uzunluğunu əlavə etdikdə bu funksiya invariant qalır:

$$\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = \sin \frac{2\pi(x + \lambda)}{\lambda}.$$

Digər periodik funksiyalar da var, məsələn, $\cos \frac{2\pi x}{\lambda}$ və ya daha mürəkkəb kombinasiya olan

$$e^{i \frac{2\pi x}{\lambda}} = \cos \frac{2\pi x}{\lambda} + i \sin \frac{2\pi x}{\lambda}.$$

λ dalğa uzunluğu əvəzinə biz çox vaxt $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dalğa vektorundan istifadə edirik. e^{ikx} eksponensial funksiyası müstəvi dalğa adlandırılır.

İkincisi, klassik Fourier sırası (və ya Fourier inteqralları) nəzəriyyəsi göstərir ki, x koordinatından asılı olan istənilən funksiya (bunu $f(x)$ kimi işarə edəcəyik) k dalğa vektorlarına uyğun gələn periodik funksiyaların superpoziyası kimi, xüsusi halda isə e^{ikx} müstəvi dalğalarının superpoziyası kimi göstərilə bilər. Bu superpozisiyada hər müstəvi dalğa k -nın funksiyası olan $\varphi(k)$ amplituduna vurulur. $\varphi(k)$ funksiyası $f(x)$ -in Fourier əmsalı adlanır.

Qısaca desək, biz x koordinatının $f(x)$ funksiyasından k dalğa vektorlarında olan $\varphi(k)$ təsvirinə keçirik. Əlbəttə, tərsinə keçid də mümkündür. Qeyd etmək vacibdir ki, $f(x)$ və $\varphi(k)$ arasında müəyyən ikilik mövcuddur. Əgər $f(x)$ funksiyası Δx fəza intervalındadırsa (və ondan kənarında sıfır olursa), $\varphi(k)$ funksiyası $\Delta k \sim \frac{1}{\Delta x}$ «spektral» intervalında olur. Δx fəza intervalı artdıqda Δk spektral intervalı azalır və əksinə².

I Fəslin III Bölməsində və III Fəslin II Bölməsində biz $\delta(x)$ sinqulyar funksiyasını təyin etmişdik. Bilirik ki, $\delta(x)$ yalnız $x = 0$ nöqtəsində sıfırdan fərqlidir. Ona görə də Δx fəza intervalı sıfırdır, onda $\Delta k \sim \frac{1}{\Delta x}$ spektral intervalı sonsuzdur. Tərsinə, lokallaşmamış funksiyalar (bunlar üçün $\Delta x \rightarrow \infty$) $\delta(k)$ kimi sinqulyar funksiyalara gətirir. Beləliklə, k -ya görə lokallaşmamış paylanma funksiyaları davamlı qarşılıqlı təsirin təsvirində mühüm elementdir. Tarazlıqda p paylanma funksiyası H Hamiltonianın (III Fəslin I Bölməsinə bax) funksiyasıdır. Hamiltoniana p impulsundan asılı olan, lakin koordinatdan asılı olmayan kinetik enerji daxildir. Buna görə də o, sinqulyar Fourier əmsalına malik lokallaşmamış hissəni öz daxilində saxlayır. Təəccüblü deyil ki, bizim dinamik təsvirimizdə sinqulyar funksiyalar həlledici rol oynayırlar. Doğrudan da, məhz bu funksiyalara olan tələbatımız bizi Hilbert fəzasını tərk etməyə məcbur edir. Hamiltonianın fuunksiyaları olan tarazlıq paylanmaları artıq Hilbert fəzasından kənardadır.

İndi gəlin Liouville operatorunun (III Bölməyə bax) köməyi ilə trayektoriya təsvirini statistik təsvirlə müqayisə edək. Burada bizi sürprizlər gözləyir, çünki statistik təsvir tamamilə fərqli anlayışlar daxil edir. Biz sərbəst hissəciyin düz xətt boyunca hərəkətinə baxdığımız ən sadə halda belə, bu, aşkar görünür. II Bölmədə dediyimiz kimi bu halda hissəciyin q koordinatı zamana görə xətti olaraq dəyişir, p impulsu isə sabit qalır. Əksinə, statistik təsvir q –nün Fourier əmsalı ilə bağlı olan k dalğa vektorları və p impulsu vasitəsilə ifadə olunur. Biz akustik və ya optik məsələləri öyrənərkən dalğa vektorlarının istifadəsinə baxmışıq, lakin burada dalğa vektorları dinamika məsələsində təzahür edir. Səbəb budur ki, sərbəst hissəcik üçün L Liouville operatoru, sadəcə olaraq, differensial operatorudur: $L = \frac{ip}{m} \frac{\partial}{\partial x}$. IV Fəsilin I Bölməsində

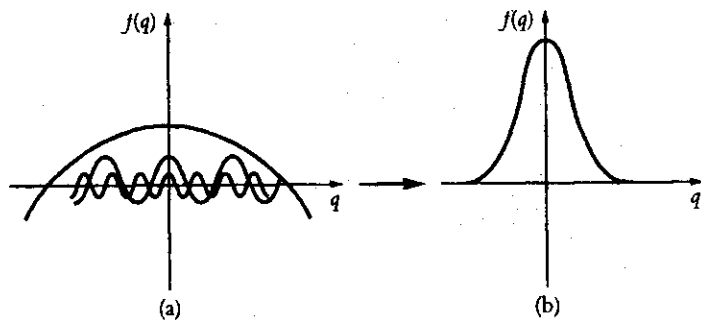
qeyd etdiyimiz kimi, bu halda məxsusi funksiyalar $\exp(ikx)$, məxsusi qiymətlər isə pk/m şəklindədir. $\exp(ikx)$ məxsusi funksiyası periodik funksiya və ya müstəvi dalğadır, çünki $\exp(ikx) = \cos kx + i \sin kx$. O, bir nöqtədə lokallaşmış trayektoriyadan kəskin fərqlənir, yəni bütün fəzada yayılır. Statistik təsvirdə sərbəst hissəcik üçün hərəkət tənliyinin həlli müstəvi dalğaların superpozisiyası vasitəsilə alınır. Əlbəttə, bu sadə misalda hər iki təsvirin ekvivalent olması gözlənilir. Fourier çevrilməsi nəzəriyyəsiindən və müstəvi dalğalardan istifadə etməklə biz trayektoriyayı qura bilərik (Bax: Şəkil 5.2). Trayektoriya bir nöqtədə yığıldığından biz spektral intervalın ($\Delta k \rightarrow \infty$) bütün uzunluğu boyu yayılan müstəvi dalğaların superpozisiyasını qurmalıyıq.

Nəticədə $q=q_0$ üçün müstəvi dalğaların amplitudları *konstruktiv* interferensiya nəticəsində artır, $q \neq q_0$ üçün isə onlar *destruktiv* interferensiya nəticəsində yox olurlar.

Şəkil 5.2

Müstəvi Dalğaların Superpozisiyası

Müstəvi dalğaların superpozisiyası ilə alınan trayektoriyalar konstruktiv interferensiya nəticəsində $q = 0$ nöqtəsi ətrafında kəskin zirvəyə malik olan funksiya gətirir.



İntegrallana bilən sistemlərdə k dalğa vektoru zamandan asılı deyil. Müstəvi dalğaların superpozisiyası ilə biz istənilən anda trayektoriyaları bərpa edə bilərik. Burada diqqət yetirilməli əsas məsələ ondan ibarətdir ki, trayektoriyalar artıq əsas anlayış deyil, yəni müstəvi dalğalardan qurulmuş törəmə anlayışdır. Bu səbəbdən güman etmək olar ki, rezonanslar trayektoriyaya gətirən konstruktiv interferensiyalara təhlükə yarada bilər. Trayektoriyaya bəsit, daha elementar anlayışa gətirilə bilməyən anlayış kimi yanaşdıqda, belə şübhəyə əsas olmazdı. Trayektoriyanın faza fəzasında nöqtə ilə təsvir edildiyini nəzərə aldıqda görərik ki, trayektoriyaların kollapsı nöqtənin zaman keçdikcə nöqtələr çoxluğuna parçalanmasına uyğun gəlir (Bu, I Fəsilə təhlil etdiyimiz diffuziya prosesindəki vəziyyətə oxşayır). Diffuziya prosesində olduğu kimi, baxılan halda eyni başlanğıc şərtlər çoxlu sayda müxtəlif trayektoriyalara gətirə bilər.

Liouville operatorunun $\frac{kp}{m}$ məxsusi qiymətləri Poincare

rezonanslarında meydana çıxan tezliklərə uyğun gəlir. Onlar k və p -nin hər ikisindən asılıdır, lakin koordinatdan asılı deyil. Deməli, k dalğa vektorundan istifadə edilməsi bu rezonansların rolunu araşdırmaq üçün məntiqi çıxış nöqtəsidir. Müstəvi dalğalardan istifadə etməklə biz təkcə (keçici qarşılıqlı təsirlərə uyğun gələn) trayektoriyaları deyil, həmçinin lokallaşmamış vəziyyətləri də təsvir edə bilərik. Biz gördük ki, bu, k dalğa vektorunun sinqulyar funksiyalarına gətirir. İndi gəlin dalğa vektorları dilindən istifadə etməklə qarşılıqlı təsirin statistik təsvirə təsirini nəzərdən keçirək.

VI

Fərz edək ki, Hamiltoniandakı V potensial enerjisi cüt-cüt qarşılıqlı təsirlərin cəmidir. Onda dəqiq teoremlərdən çıxır ki, j və n hissəcikləri arasındakı qarşılıqlı təsir k_j və k_n dalğa vektorlarını dəyişdirir, lakin onların cəmi sabit qalır və bizə $k_j + k_n = k'_j + k'_n$ saxlanma qanununu verir, harada ki, k'_j və k'_n qarşılıqlı təsirdən sonrakı dalğa vektorlarıdır³.

Biz dinamik təkamülə sərbəst hərəkət mərhələləri ilə bir-birindən ayrılan hadisələr ardıcılığı kimi baxmaqla bu təkamülü statistik formalizm çərçivəsində qrafik olaraq təsvir edə bilərik. Hər bir hadisə nəticəsində k dalğa vektoru və p impulsu dəyişir; lakin hadisələr arasında onlar sabit qalır. Gəlin bu hadisələrin təbiətini daha müfəssəl nəzərdən keçirək.

III Fəsilin I Bölməsində biz korrelyasiya anlayışı daxil etmişdik. İndi bu anlayışı daha böyük dəqiqliklə təyin edək. $\rho(q,p,t)$ paylanma funksiyası həm koordinat, həm də impulslardan asılıdır. Əgər bu funksiyanı koordinatlar üzrə inteqrallasaq, onda biz hissəciklərin fəzadakı vəziyyəti barədə və deməli, korrelyasiyalar barədə bütün məlumatı itiririk. Biz yalnız impulslar haqqında məlumat verən $\rho(p,t)$

funksiyasını alır. Elə bu səbəbdən ρ korrelyasiyalar vakuumu adlandırılır. Digər tərəfdən, i və j hissəciklərinin q_i , q_j koordinatlarından başqa bütün digər koordinatlar üzrə inteqllama aparsaq, i və j hissəcikləri arasında mümkün olan korrelyasiyalar haqqında məlumatı saxlayırıq. Bu ρ funksiyası ikiqat korrelyasiya adlanır. Biz eyni qayda ilə üçqat və daha yüksək korrelyasiyaları müəyyən edə bilərik. Statistik təsvirdə paylanma funksiyalarından (onların Fourier əmsalları vasitəsilə) asılı olan koordinatları Liouville operatorunun spektral ayrılışında dalğa vektorları ilə əvəz etmək vacibdir.

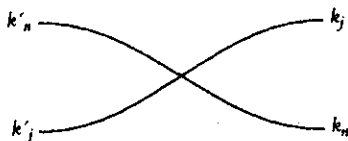
Biz indi dalğa vektorlarının saxlanma qanununu nəzərə alacağıq: hər bir hadisə iki k_j , k_n giriş xətti və iki k'_j , k'_n çıxış xətti olan nöqtə ilə təsvir edilir ki, burada $k_j + k_n = k'_j + k'_n$. Bundan əlavə, hər bir nöqtədə, qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklərin p impulsu dəyişir və $\frac{\partial}{\partial p}$ differensial operatoru meydana çıxır. Bu növ ən sadə hadisə 5.3 Şəkilində göstərilmişdir.

Biz 5.3 Şəkilindəki diaqramı yayılma hadisəsi və ya yayılma diaqramı adlandırırıq. Bu j və n hissəcikləri arasında ρ ikiqat korrelyasiyanın dəyişməsinə uyğun gəlir. Lakin biz $k_j = k_n = 0$ şərtini ödəyən ρ korrelyasiyalar vakuumundan başlayıb, ρ_{k_j, k_n} ikiqat korrelyasiyasını da qura bilərik, bu halda dalğa vektorlarının cəminin saxlanması üçün $k_j + k_n = 0$ ödənilməlidir. (Şəkil 5.4).

Şəkil 5.3

Yayılma Diaqramı

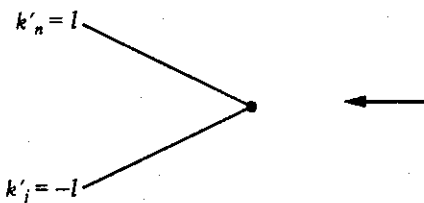
İki hissəciyin qarşılıqlı təsirinə uyğun gələn dinamik hadisə k_j , k_n dalğa vektorlarından k'_j , k'_n dalğa vektorlarına gətirir.



Şəkil 5.4

Yaranma Fraqmenti

Dinamik hadisə korrelyasiyalar vakuumunu ikiqat l , $-l$ korrelyasiyasına çevirir.



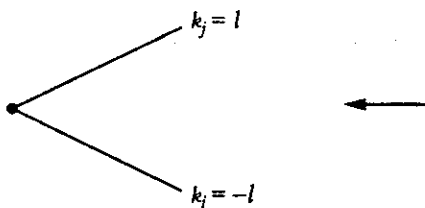
Onda biz korrelyasiya diaqramının yaranması və ya yaranma fraqmenti adlanan diaqramı alırıq. İkiqat korrelyasiyaları korrelyasiyalar vakuumuna çevirən məhv olma fraqmentləri də var (Şəkil 5.5)⁴.

Biz indi dinamikə *korrelyasiyaların tarixi* kimi görməyə başlayırıq. Məsələn, Şəkil 5.6 korrelyasiyalar vakuumundan beş hissəcikli korrelyasiyanın yaranmasını təsvir edir. Qarşılıqlı təsirlərlə bağlı olan hadisələr korrelyasiyalar yaradır.

Biz indi Poincare rezonanslarını dinamikanın statistik təsvirinə daxil edə bilərik. Bu rezonanslar, musiqidə harmoniyaları əlaqələndirdiyi kimi, dinamik prosesləri əlaqələndirir.

Şəkil 5.5 Məhv olma Fraqmenti

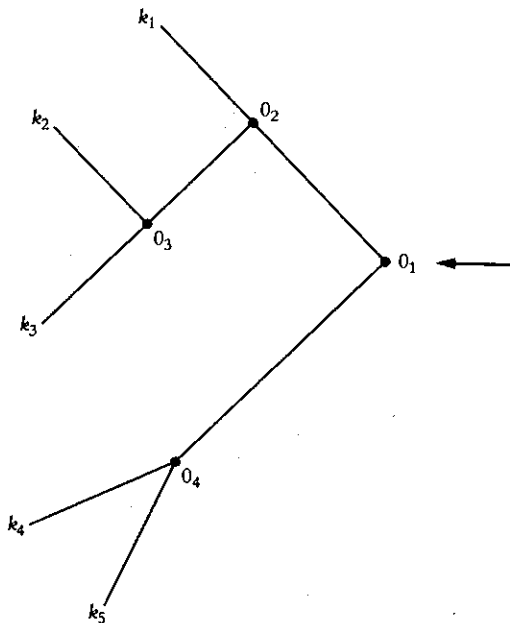
Dinamik hadisə l , $-l$ ikiqat korrelyasiyasını korrelyasiyalar vakuumuna çevirir.



Şəkil 5.6

Korrelyasiyaların təkamülü

0_1 , 0_2 , 0_3 , 0_4 , nöqtələrindəki dörd hadisə korrelyasiyalar vakuumu beşhissəcikli korrelyasiyaya çevirir.



Bizim təsvirimizdə onlar yaranma və məhv olma fraqmentlərini əlaqələndirir (Şəkil 5.7), bu isə, korrelyasiyaların verilmiş halından (korrelyasiyalar vakuumu bu halların yalnız biridir) başlayan və son nəticədə məhz həmin hala qaytaran yeni dinamik proseslərə gətirir. Şəkil 5.7-də bu dinamik proseslər qovuş kimi təsvir edilmişdir. Korrelyasiyaların halı saxlanılsa da, impulsların paylaşması dəyişir (yada salaq ki, hər burulğan $\frac{\partial}{\partial p}$

operatoru daxil edir).

Bu qovuşlar *bir vahid halında* baxılmalı olan hadisələrə uyğun gəlir. Onlar *qeyri-Newton* elementləri daxil edir,

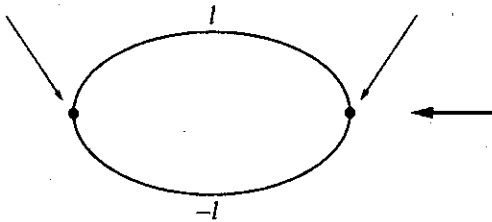
Şəkil 5.7

Poincare Rezonansları Nəticəsində Alınan Qovuc

Poincare rezonansları korrelyasiyaların yaranması və məhv olmasını əlaqələndirir və diffuziyaya gətirir.

Korrelyasiyaların məhv olması

Korrelyasiyaların Yaranması



belə ki, trayektoriya nəzəriyyəsində belə növ proseslərin analoqu yoxdur. Belə yeni proseslər dinamikaya dramatik təsirə malikdir, çünki onlar zaman simmetriyasını pozur. Doğrudan da, onlar elə növ diffuziyaya gətirirlər ki, bu, Boltzmann-ın kinetik tənliyi də daxil olmaqla, dönməyən proseslərin fenomenoloji nəzəriyyələrində həmişə postulat kimi qəbul edilir. Fenomenoloji təsvirlə oxşarlığı qeyd etmək üçün biz yeni elementləri *toqquşma operatorları* adlandırırıq. Onlar paylanma funksiyalarına təsir göstərir.*

* I Fəsilin III Bölməsində gördük ki, tezliklər arasında Poincare rezonansı kiçik məxrəclərlə bağlı dağılmalara gətirir. Burada p impulsuna malik hissəciyin tezliyi kp/m -dir, harada ki, k – dalğa vektorudur (IV bölməyə bax). k -nın kəsilməz dəyişən olduğu BPS üçün biz dağılmaları aradan qaldıra və rezonansları δ -funksiya vasitəsilə ifadə edə bilərik. Bu, riyaziyyatın analitik davamla bağlı olan sahəsindən istifadəni tələb edir (Bu fəslə aid qeydlərdəki ədəbiyyata bax). İki cisimli proses üçün δ -funksiyanın arqumenti $k/m(p_1 - p_2)$ olur və bu kp_1/m və kp_2/m tezlikləri bərabər olduğu hallarda müəyyən əlavələrə gətirir, digər hallarda isə sıfıra çevrilir. Buna görə də δ -funksiyanın arqumentini sıfıra çevirən $k=0$ dalğa vektoru xüsusilə mühüm rol oynayır (yada salaq ki, $x=0$ üçün $\delta(x)=\infty$ və $x\neq 0$ üçün $\delta(x)=0$). Sıfıra çevrilmiş k dalğa vektoru sonsuz dalğa uzunluğuna və deməli, *fəzada lokallaşmamış* prosesə uyğun gəlir. Beləliklə, Poincare rezonansları trayektoriya təsvirinə daxil edilə bilər.

Bizim yanaşma üsulumuz adi kinetik nəzəriyyəni də xüsusi hal kimi özündə saxlayır. Maxwell-in daxil etdiyi şəkildə bu nəzəriyyə, ənənəvi olaraq, diqqət mərkəzində sürətlərin paylanması təkamülünü qoymuşdu. Burada belə təsəvvür oyanırdı ki, yalnız bir neçə toqquşma başlanğıc anda pozulmuş tarazlığı bərpa etməyə kifayətdir. Bizim yanaşmamız isə əksinə, getdikcə daha çox hissəciyi əhatə edən daha yüksək korrelyasiyaların artan quruculuğunu nəzərə alır. Bir çox il bundan əvvəl aparılmış riyazi modelləşdirmələrin nəticələrinə görə, bu proses uzun zaman müddəti tələb edir.⁵ Nəticədə dönməyənlik uzun yaddaş effektlərinə gətirir ki, bu da makroskopik fizikanı kökündən dəyişir.⁶

Ənənəvi kinetik nəzəriyyədən kənara çıxan çoxlu sayda yeni nəticələr alınmışdır, lakin onları təsvir etmək bu kitabın çərçivəsindən kənara çıxır. Onlar ayrıca monoqrafiyada təfsilatı ilə veriləcək.⁷

Qeyd etmək kifayətdir ki, biz dönməyənliyin real olaraq hansı mənə daşdığını anlamağa başlamışıq. Gəlin qocalma prosesinin sadə nümunəsini nəzərdən keçirək. Bizim zaman miqyasımızda bədənimizi təşkil edən atomlar ölməzdir. Dəyişən isə atom və molekullar arasındakı nisbətdir. Bu mənada yaşlanma fərdlərin deyil, toplumların xassəsidir. Bu, cansız dünya üçün də belədir.

VII

İndi də ilkin məqsədimizə - ρ paylanma funksiyasının köməyi ilə dinamik problemlərin statistik səviyyədə həllinə qayıdaq. Determinist xaos halında olduğu kimi, bu həll təkamül operatorunun (klassik dinamikada bu, Liouville operatorudur) spektral təsvirini daxilinə alır. Əvvəlcə davamlı qarşılıqlı təsirlərlə bağlı olub sinqulyar funksiyalara gətirən, lokallaşmamış paylanma funksiyalarına baxaq (III və IV

Bölməyə bax). Nəticədə biz lokallaşmış yaxşı funksiyalarla məhdudlaşan Hilbert fəzasını tərk etməli oluruq. Sonra, VI Bölmədə etdiyimiz qaydada diffuziya ilə əlaqəli yeni dinamik proseslərə gətirən Poincare rezonanslarını daxil edirik.

Bu iki xüsusiyyəti daxil edəndə biz dönməyən kompleks spektral təsvir alırıq. Bir də təkrar edək ki, *kompleks* o deməkdir ki, zaman simmetriyası pozulub, *dönməyənlik* isə o deməkdir ki, biz trayektoriya təsvirinə qayıda bilmərik. Dinamikanın qanunları indi yeni məna kəsb edir. Dönməyənliyin daxil edilməsi ilə onlar yəqinlikləri yox, ehtimalları ifadə edir. Yalnız o halda Newton-un trayektoriya təsvirini bərpa edə bilərik ki, biz şərtlərimizi zəiflədib sonlu sayda hissəciklə bağlı lokallaşmış paylanma funksiyalarına baxaq. Lakin ümumi halda diffuziya prosesləri üstünlük təşkil edir.

Ona görə də bir çox hal mümkündür ki, biz orada Newton fizikasından fərqlənməni gözləyə bilək və orada bizim proqnozlarımız çoxlu sayda kompüter modelləşdirilməsi vasitəsilə yoxlanılır. IV Bölmədə biz hissəciklərin sayı $N \rightarrow \infty$ və həcmi $V \rightarrow \infty$ olduğu, lakin $\frac{N}{V}$ konsentrasiyasının sabit qaldığı termodinamik limit daxil etdik. Bu limitdə qarşılıqlı təsir həmişə mövcuddur və yalnız statistik təsvir tətbiq edilə bilər. Çoxlu sayda ədədi modelləşdirmə ilə göstərilib ki, biz sayı getdikcə artan hissəcikləri əhatə edən trayektoriyadan başlasaq belə, diffuziya prosesləri getdikcə üstünlük təşkil edir və trayektoriya «kollapsa» uğrayır, çünki zaman keçdikcə lokallaşmamış sinqulyar paylanma funksiyasına çevrilir.⁸

Bizim yeni kinetik nəzəriyyəmiz bütün miqyaslarda, həm laborotiyada, həm də ətraf aləmdə müşahidə edilən dissipativ prosesləri təsvir etmək üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Lakin bu onun çoxsaylı yeni xüsusiyyətlərindən yalnız biridir. Poincare rezonansları nəticəsində bu bölmədə təsvir edilmiş

namik proseslər (hissəciklər arasında qarşılıqlı təsir yaxına təsirli olsa belə) uzağa təsirli korrelyasiyalara gətirir. Yeganə istisna, korrelyasiya məsafəsinin hissəciklər arasında təsirlənən qüvvələrin təsir məsafəsi ilə müəyyən edildiyi tarazlıqdır. Bu, II Fəsilə göstərilmiş belə bir faktı izah edir ki, qeyri-tarazlıq halı yeni koherentliyə imkan verir; kimyəvi reaksiyalar və hidrodinamik axınlar bunu açıq-aşkar göstərir. Biz indi başa düşürük ki, tarazlıq fizikası bizə materiyanın düzgün olmayan təsvirini verir. Biz bir daha belə bir faktla qarşılaşırıq ki, materiya tarazlıqda «kordur», tarazlıqdan kənarında isə «görməyə» başlayır.

Qısaca desək, biz indi Newton mexanikəsindən kənar çıxmaq qabiliyyətindəyik. Klassik mexanikada istifadə olunan trayektoriya təsvirinin düzgünlüyü ciddi surətdə məhdudlanıb. Termodinamika trayektoriya təsviri ilə bir araya sığmır, çünki həm tarazlıq, həm də tarazlıqdan kənar şəraitdə statistik yanaşma tələb edir. Bizi əhatə edən hadisələrə uyğun gələn dinamik sistemlərin böyük kompleksliyinin BPS olması faktı termodinamikanın universal düzgünlüyünü izah edir. *Səpilmə* kimi keçici dinamik qarşılıqlı təsirlər qarşılıqlı təsirlərin davamlı olduğu real dünyədə bizi əhatə edən şərait üçün xarakterik deyil. Bizim statistik təsvirimizdə Poincare rezonanslarının nəticəsi kimi meydana çıxan toqquşma prosesləri ona görə mühümdür ki, onlar zaman simmetriyasını pozur və termodinamik təsvirə uyğun olaraq təkamül modellərinə gətirir.

Təbiətin termodinamika ilə bağlı mikroskopik təsviri elmlərin ənənəvi olaraq Newton prinsiplərindən əldə etdiyi təvəkkülə, zamanca dönmə təsvirlərlə çox az ümumiliyə malikdir. Bizim aləm yunan atomistinin təsəvvür etdiyinə çox oxşayan fluktuasiya edən, səs-küylü, xaotik dünyadır. I Fəsilə biz Epicurus dilemmasını təsvir etmişdik. Onun öncədən gördüyü klinamen artıq fizikaya yad olan fəlsəfi uydurma deyil. Bu dinamik dayanıqsızlığın təsviridir.

Əlbəttə, dinamik dayanıqsızlıq yalnız təbiətin təkamül modellərini yaratmaq üçün zəruri olan şəraiti təmin edir. Öz statistik təsvirimizi başa çatdırdıqdan sonra biz mürəkkəbliyin (makroskopik səviyyədə dissipativ strukturların) meydana gəlməsini müşahidə etmək üçün hansı əlavə amillərin lazım olduğunu da deyə bilərik. Biz indi təşkilin dinamik köklərini, həyatın meydana çıxmasını şərtləndirən özünütəşkilin və mürəkkəbliyin əsasında duran dinamikanı anlamağa başlayırıq.

KVANT NƏZƏRİYYƏSİNİN ÜMUMİLƏŞMİŞ İFADƏSİ

I

Klassik Newton dinamikası ilə kvant nəzəriyyəsi arasında fundamental fərqlər var, lakin hər iki halda trayektoriyalar və ya dalğa funksiyaları dilində fərdi təsvir (I Fəslin IV Bölməsinə bax) və ehtimal paylanmaları dilində statistik təsvir mövcuddur. Artıq gördüyümüz kimi, Poincare rezonansları həm klassik, həm də kvant nəzəriyyəsində meydana çıxır. Ona görə də gözləmək olar ki, klassik mexinikada alınmış nəticələr kvant nəzəriyyəsinə də tətbiq edilə biləcək. Doğrudan da, hər iki halda biz Hilbert fəzasından kənarda BPS-lərə tətbiq edilə bilən yeni statistik ifadə tərzini almışıq. Bu təsvir öz daxilində zaman simmetriyasının pozulmasını saxlayır və kvant dalğa funksiyaları ifadələrində fərdi təsvirə gətirilməyəndir.

Kvant nəzəriyyəsinin görkəmli nailiyyətlərinə baxmayaraq onun konseptual əsasları haqqında müzakirələr kəsilmişdir. 70 il sonra da bu müzakirələr əvvəlki qızgınlıqla davam edir.

Məsələn, Roger Penrose *Shadows of the Mind* adlı yeni kitabında kvant davranışındakı «Z sirrlər» (kvant *tapmacaları* üçün) və «X sirrlər» (kvant *paradoksu* üçün) arasında fərq qoyur.¹ Bundan əlavə, qeyri-lokallığın rolu çox problematik görünür. Lokallıq Newton-un nöqtəvi trayektoriya təsviri ilə əlaqəli xassə olduğundan təəcüblü deyil ki, materiyanın dalğa xüsusiyyətlərini nəzərə alan kvant nəzəriyyəsi qeyri-lokallığın müəyyən formasına gətirir.²

Sanki kvant nəzəriyyəsinin dualist ifadə tərzini tələb edən dalğa funksiyasının «kollapsı» növbəti çətinliyi ifadə edir. Bir tərəfdən, dalğa funksiyası üçün Schrodinger tənliyi var və bu tənlik Newton tənliyi kimi zamanca dönən və deterministdir. Digər tərəfdən dönməyənliklə bağlı olan ölçü prosesi və dalğa funksiyasının kollapsı mövcuddur. Bu ikili struktur John von Neumann-ın öz məşhur *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*.³ kitabında əsaslandırıldığı arqumentin kökündə durur. Bu vəziyyət həqiqətən də, əcaibdir, çünki zamanca dönən və determinist olan əsas Schrodinger tənliyinə əlavə olaraq dalğa funksiyasının kollapsı (və ya reduksiyası) ilə əlaqədar olan ikinci dinamik qanun da mövcud olmalıdır. Lakin indiyə qədər heç kim kvant nəzəriyyəsinin bu iki qanunu arasında əlaqəni tapmaq qabiliyyətində olmayıb, eləcə də, kimsə dalğa funksiyasının reduksiyasının realist izahını verməyə müvəffəq olmayıb. Bu *kvant paradoksudur*.

Kvant nəzəriyyəsinin ikili strukturundan çıxan kvant paradoksu digər bir problemə sıx bağlıdır. Bizim gəldiyimiz nəticə bundan ibarətdir ki, kvant nəzəriyyəsi bitkin deyil. Klassik trayektoriya nəzəriyyəsi kimi, o da zamanca simmetrikdir və buna görə də termodinamik tarazlığa çatmaq kimi dönməyən prosesləri təsvir edə bilmir. Bu xüsusi ilə qəribədir, çünki kvant nəzəriyyəsi 1900-cü ildə, mütləq qara

cismin maddə ilə tarazlıqda olan şüalanmasını Max Planck-ın uğurla təsvir etməsindən başlanıb. Hətta bu gün, Albert Einstein və Paul A. M. Dirac-ın (Pol Dirak) görkəmli nailiyyətlərinə baxmayaraq, şüalanmanın maddə ilə qarşılıqlı təsiri zamanı tarazlığa gəlməni təsvir edən dəqiq kvant nəzəriyyəsi yoxdur. (Gələcəkdə görəcəyik: bu belə bir faktla bağlıdır ki, kvant nəzəriyyəsi inteqrallana bilən sistemləri təsvir edir. Biz IV Fəsildə bu məsələyə qayıdacağıq). Bizi əhatə edən dünyanı təsvir etmək üçün bizə həm tarazlıq, həm də qeyri-tarazlıq fizikası lazımdır. Tarazlıq halına misal mənşəyini Böyük Partlayışa yaxın zamanlardan götürən 3°K temperaturlu qara cismin məşhur relikt şüalanmasıdır. Makroskopik fizikanın geniş bir hissəsi də bərk, maye və ya qaz halında olmasından asılı olmayaraq tarazlıqda olan sistemlərdən bəhs edir. Beləliklə, kvant nəzəriyyəsi ilə termodinamika arasındakı uçurum klassik nəzəriyyə ilə termodinamika arasındakı uçurum qədər dərinidir. Diqqətə layiqdir ki, V Fəsildə klassik mexikanın genişləndirilməsində istifadə edilən üsul bizə kvant nəzəriyyəsi və termodinamikanı birləşdirməyə də imkan verir. Doğrudan da, bizim yanaşma üsulumuz kvant mexanikasının ikili strukturunu və beləliklə də, kvant paradoksunu aradan qaldırır. Biz kvant nəzəriyyəsinin realist yozumuna gəlirik, çünki indi dalğa funksiyalarından ansamblara keçid Poincare rezonanslarının nəticəsi kimi başa düşülə bilər və «müşahidəçinin» sirlə müdaxiləsinə və ya digər yoxlanıla bilməyən fərziyyələrə ehtiyac qalmaz. I Fəsildə qeyd edildiyi kimi, kvant mexanikasının genişləndirilməsinə aid digər cəhdlərin əksinə olaraq bizim yanaşma üsulumuz yoxlanılması mümkün olan dəqiq öngörülmlər verir. İndiyə qədər onlar bütün riyazi modelləşmələrdə təsdiq olunmuşdur.⁴

Bizim düşüncələrimiz determinizmə deyil, realizmə qayıdışa xidmət edir. Biz klassik fizikanın determinist baxışından daha da uzaqlaşırıq. «Mənim şəxsi baxışım ondan ibarətdir ki, indeterminizm realizmlə bir araya sığandır və bu faktın dərk edilməsi bütün kvant nəzəriyyəsinin ardıcıl və obyektiv epistemologiyasını və ehtimalın obyektiv yozumunu qəbul etməyə imkan verir» yazan Popper-lə biz razıyıq. Ona görə də biz Popper-in öz metafizik xülyası adlandırdığı «Güman ki, dünya həтта onun üzərində təcrübə qoyan və ona təsir göstərən müşahidəçi subyektlər olmadığı halda da indiki kimi qeyri-determinist olardı» fikrini fizika aləminə gətirməyə çalışacağıq.⁵ Beləliklə, biz göstərəcəyik ki, daimi qarşılıqlı təsirə malik dayanıqsız dinamik sistemlərin kvant nəzəriyyəsi, klassik sistemlərdə olduğu kimi, həm statistik, həm də realist olan təsvirə gətirir. Bu yeni ifadə tərzində əsas kəmiyyət artıq ehtimalın *amplituduna* uyğun gələn dalğa funksiyası deyil, *ehtimalın özüdür*. Klassik fizikada olduğu kimi, ehtimal kvant mexanikasından fundamental anlayış kimi çıxır. Bu mənada biz əsrlər boyu davam edən «ehtimal inqilabının» qələbəsi ərəfəsindəyik. Ehtimal artıq bizim zəkamızın biliksizlik nəticəsində yaranmış bir halı deyil, təbiətin qanunlarının nəticəsidir.

II

Atom və işıq arasında qarşılıqlı təsirin qəti müəyyən edilmiş udma və buraxma tezliklərinə gətirməsinin müşahidəsi kvant mexinikasının yaranmasının başlanğıc nöqtəsi olmuşdu. Atom Niels H. D. Bohr tərəfindən diskret enerji səviyyələri dilində təsvir edilmişdi. Təcrübənin göstərdiyinə görə (Ritz-Rydberg prinsipi) spektral xətlərin tezliyi *iki enerji səviyyəsi arasındakı fərqə* bərabərdir. Bu

səviyələr məlumdursa, biz spektral xəttlərin tezliyini deyə bilərik. Spektroskopiyanın problemləri enerji səviyələrinin hesablanmasına gətirilə bilər. Lakin kvant nəzəriyyəsinin tarixinə həlledici təsir göstərmiş müəyyən, diskret enerji səviyələrinin mövcudluğunu klassik nəzəriyyədə çox mühüm olan Hamiltonian anlayışı ilə necə bərabər bilirik? Klassik Hamiltonian dinamik sistemin enerjisini q koordinatı və p impulsu ilə ifadə edir, ona görə də kəsilməz qiymətlər alır. O, diskret enerji səviyələrinə gətirə bilmir, buna görə də H Hamiltonianı kvant nəzəriyyəsində H_{op} Hamilton operatoru ilə əvəz edilir.

Biz operator formalizmindən dəfələrlə istifadə etmişik (Perron-Frobenius operatoru IV Fəsildə, Liouville operatoru isə V Fəsildə daxil edildi), lakin birinci dəfə operator hesabı məhz kvant nəzəriyyəsində fizikaya daxil edilmişdir. IV və V Fəsillərdə öyrənilmiş hallarda operatorlar bizə statistik təsvir almaq üçün lazım idi. Burada isə hətta dalğa funksiyasına uyğun gələn fərdi təsvir səviyyəsi də operator formalizmi tələb edir.

Kvant mexanikasında əsas problem H Hamilton operatorunun u_α məxsusi funksiyalarını və E_α məxsusi qiymətlərini müəyyən etməkdir (biz anlaşılmazlıq yaranmayan yerlərdə «*op*» indeksini yazmayacağıq). Enerji səviyələrinin *müşahidə edilən qiymətləri* ilə eyniləşdirilən E_α məxsusi qiymətləri H -in spektrini təşkil edir. Ardıcıl məxsusi qiymətlər bir-birindən sonlu məsafə ilə ayrılıbsa, biz *diskret spektr* haqqında danışırıq. Əgər səviyələr arasındakı məsafə sıfıra gedirsə, biz *kəsilməz spektr* haqqında danışırıq. L uzunluqlu birölçülü qutudakı sərbəst hissəcik üçün enerji səviyələri arasındakı məsafə L^2 ilə tərs mütənəsbdir. Bu səbəbdən $L \rightarrow \infty$ halında bu məsafə sıfıra gedir və biz kəsilməz spektr alır. Tərifinə görə böyük Poincaré

sistemlərindəki (BPS) «böyük» sözü məhz kəsilməz spektra malik sistemləri nəzərdə tutur. Klassik nəzəriyyədə olduğu kimi, burada da Hamiltonian koordinatların və impulsların funksiyasıdır. Lakin kvant nəzəriyyəsində Hamiltonian operator olduğundan bu kəmiyyətlərə və deməli, bütün dinamik dəyişənlərə indi operator kimi baxılmalıdır.

Müasir fiziklər üçün kvant nəzəriyyəsində funksiyalardan operatorlara keçid tamamilə təbii görünür. Onlar indi operatorlarla bizim çoxumuzun natural ədədlərlə istədiyimiz kimi, asanlıqla işləyirlər. Halbuki böyük Danimarka alimi Hendrik Antoon Lorentz (Hendrik Anton Lorens) kimi klassik fiziklər üçün operatorların daxil edilməsi çətin qəbul edilən, hətta qəbul edilməz idi. Lakin istənilən halda operator formalizmini cəsarətlə fizikaya daxil edən Werner Heisenberg, Max Born, Pascual Jordan, Erwin Schrodinger, və Paul Dirac kimi şəxsiyyətlər hörmətə layiqdir. Onlar(operatorla təsvir olunan) fiziki kəmiyyət və bu fiziki kəmiyyətin ala biləcəyi ədədi qiymətlər (uyğun operatorun məxsusi qiymətləri) arasındakı konseptual fərqi müəyyən edilməsi məsələsində bizim təbiəti təsvir tərzimizi kəskin sürətdə dəyişdirdilər. Baxışlarda bu köklü dəyişiklik gerçəklik haqqında bizim anlayışlarımızda uzağa gedən və dərin nəticələr vermişdir.

Operator formalizminin tətbiqinə misal olaraq iki operator arasında kommutasiya münasibətlərini nəzərdən keçirək. Əgər operatorların funksiyaya təsir ardıcılığının əhəmiyyəti yoxdursa, bu operatorlar kommutasiya edir. Əgər onların təsir ardıcılığının dəyişməsi nəticəni dəyişirsə belə operatorlar kommutasiya etmir. Məsələn, hər hansı $f(x)$ funksiyasının x -ə vurulduqdan sonra x -ə görə differensiallanması nəticəsi $f(x)$ -in əvvəl differensiallanıb sonra x -ə vurulmasının nəticəsi ilə eyni deyil. Bu asanlıqla yoxlanıla bilər. Kommutasiya etməyən operatorlar müxtəlif

məxsusi funksiyalara, kommutasiya edənlər isə eyni məxsusi funksiyalara malikdir.

Heisenberg-in məşhur *qeyri-müəyyənlik prinsipi*, kvant nəzəriyyəsinə görə, koordinat və impuls operatorlarının kommutasiya etməməsi faktından alınır. Kvant mexikasına aid bütün dərsliklərdə göstərilir ki, «koordinat təsviri»ndə koordinata uyğun gələn q_{op} operatorunun məxsusi qiymətləri kvant obyektinin koordinatlarıdır. Ona görə də q_{op} operatoru klassik q koordinatı ilə eyniləşdirilə bilər. Əksinə p_{op} impuls operatoru q -yə görə törəmə olan $\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial q}$ diferensial

operatoru ilə təyin edilir. Beləliklə də, bu iki operator (q_{op} və p_{op}) kommutasiya etmir və ümumi məxsusi funksiyalara malik deyil.⁶ Kvant mexikasında biz müxtəlif təsvirlərdən istifadə edə bilərik. Koordinat təsvirindən əlavə impuls təsviri də var; bu təsvirdə impuls operatoru, sadəcə olaraq, p -dir, koordinatlar isə $\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial p}$ diferensial operatoru kimi təqdim

edilir. Hansı təsvirdən istifadə olunmasından asılı olmayaraq bu iki operator kommutasiya etmir.

q_{op} və p_{op} operatorlarının kommutasiya etməməsi o deməkdir ki, biz kvant obyektinin halını hər ikisi dəqiq qiymətə malik olan koordinat və impuls vasitəsilə müəyyən edə bilmərik. Bizi klassik fizikanın «sadələvh realizmi»indən imtina etməyə məcbur edən Heisenberg qeyri-müəyyənliyinin səbəbi budur. Biz verilmiş hissəciyin impulsunu və ya koordinatını ölçə bilərik, lakin bu hissəciyin həm impulsunun, həm də koordinatının dəqiq qiymətə malik olduğunu deyə bilmərik. Bu nəticə 60 il bundan əvvəl Heisenberg, Born və başqaları tərəfindən alınmışdır. Buna baxmayaraq qeyri-müəyyənlik prinsipinin mahiyyəti haqqında müzakirələr hələ də davam edir və alimlərin bəzisi

indi də klassik mexinikanın ənənəvi determinist realizmini bərpa etmək ümidini itirməyib.⁷ Kvant nəzəriyyəsinin Einstein-i qane etməməsinin səbəblərindən biri bu olub. Qeyd etmək lazımdır ki, Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik prinsipi təbiətin determinist xarakterli, zamanca simmetrik təsviri (Schrodinger tənliyi) ilə uzlaşır.

Elə isə biz, kvant sistemi müəyyən «hal»dadır dedikdə nəyi nəzərdə tuturuq? Klassik mexinikada hal faza fəzasında bir nöqtədir. Kvant mexanikasında hal dalğa funksiyası ilə təsvir edilir ki, onun da zamanca tükamülü Schrodinger tənliyi ilə müəyyən olunur: $(ih/2\pi)\partial\Psi(t)/\partial t = H_{op}\Psi(t)$.

Bu tənlik Ψ dalğa funksiyasının zamana görə törəməsini Hamilton operatorunun Ψ -yə təsiri ilə bərabərləşdirir. Schrodinger tənliyi isbat edilmir, əvvəlcədən postulat kimi qəbul edilir, ona görə də yalnız təcrübə vasitəsilə təsdiq edilə bilər. Bu, kvant nəzəriyyəsində əks olunan fundamental təbiət qanunudur.* V Fəsilin III Bölməsində verilmiş Liouville tənliyi ilə formal analogiyanı qeyd edək. Əsas fərq ondan ibarətdir ki, L (Liouville operatoru) ρ paylanma funksiyalarına təsir edirdisə, H_{op} dalğa funksiyalarına təsir edir.

Biz artıq qeyd etdik ki, dalğa funksiyası ehtimalın amplituduna uyğun gəlir. Erwin Schrodinger öz tənliyini quranda onun rəhbər tutduğu analogiya klassik optikadakı analogiya olub. Klassik mexinikanın trayektoriya tənliklərindən fərqli olaraq Schrodinger tənliyi dalğa tənliyidir. O, *xüsusi törəməli* diferensial tənlikdir, çünki ona zamana görə törəmədən başqa H_{op} operatorunda meydana

* «Schrodinger tənliyinin və relyativistik Dirac tənliyinin müxtəlif ümumiləşdirilmiş formaları mövcuddur, lakin buradakı müzakirələr üçün onlar vacib deyil.

çıxan koordinatlara görə törəmələr də daxildir (yada salmaq ki, koordinat təsvirində impuls operatoru koordinatlara görə törəmədir). Lakin klassik və kvant tənlikləri mühüm bir ümumi elementə malikdir: onların hər ikisi determinist klassik təsvirə uyğun gəlir.

Əgər Ψ uyğun sərhəd şərtləri ilə (məsələn, sonsuz böyük məsafədə $\Psi \rightarrow 0$) birlikdə müəyyən t_0 anında məlumdursa, biz Ψ -ni gələcək və keçmişdəki istənilən an üçün hesablaya bilərik. Bu mənada biz klassik mexanikanın determinist baxışını bərpa edirik, lakin indi trayektoriyalara deyil, dalğa funksiyalarına tətbiq edirik.

Klassik hərəkət tənliyi kimi Schrodinger tənliyi də zamanca dönəndir. Biz t -ni $-t$ ilə əvəz etdikdə də, tənlik düzgünlüyünü saxlayır, ancaq Ψ -ni onun kompleks qoşması olan Ψ^* ilə əvəz etməliyik. Nəticədə alınır ki, əgər biz Ψ -nin t_1 anındakı Ψ_1 qiymətindən t_2 anındakı Ψ_2 qiymətinə ($t_2 > t_1$) keçidini müşahidə ediriksə, Ψ_2^* -dən Ψ_1^* -ə keçidini də müşahidə edə bilərik. Kvant mexanikasının başlanğıc mərhələsində Arthur Stanley Eddington-un, kvant ehtimalları «zamanın bir-birinə əks olan istiqamətlərində hərəkət edən iki simmetrik dalğa sisteminin daxil edilməsi ilə alınır» fikrini yada salmaq yerinə düşərdi.⁸ Doğrudan da, artıq gördüyümüz kimi, Schrodinger tənliyi ehtimal amplitudlarının təkamülünü təsvir edən dalğa tənliyidir. Əgər biz Schrodinger tənliyinin kompleks qoşmasını götürsək, yəni i -ni $-i$, Ψ -ni Ψ^* (hesab edilir ki, H_{op} həqiqidir), t -ni isə $-t$ ilə əvəzləsək yenə də Schrodinger tənliyini alırıq. Beləliklə, Eddington-un dediyi kimi, Ψ^* -a keçmişə doğru yayılan dalğa funksiyası kimi baxıla bilər. Bundan əlavə, I Fəsildə deyildiyi kimi, uyğun ehtimal Ψ -nin Ψ^* kompleks qoşmasına hasili (yəni $|\Psi|^2$) vasitəsilə alınır. Ψ^* zamana görə geriyə doğru dəyişən Ψ kimi yozula bildiyindən ehtimalın müəyyən edilməsi biri keçmişdən gələn,

digəri isə gələcəyə gedən iki zamanın görüşməsinə əhatə edir. Buna görə də kvant nəzəriyyəsində ehtimallar zamanca simmetrikdir.

Biz indi görürük ki, fundamental fərqlərinə baxmayaraq, həm klassik, həm də kvant mexanikası determinist və zamanca dönən təbiət qanunlarına uyğun gəlir. Onların ifadələrində keçmiş və gələcək arasında heç bir fərq meydana çıxmır. I və II Fəsillərdə göstərdiyimiz kimi, bu zaman paradoksuna gətirir. Kvant mexanikasında bu, həm də kvant paradoksuna - kvant nəzəriyyəsinin dualist ifadə tərzini daxil etmək zərurətindən doğan paradoksa gətirir. Həm klassik, həm də kvant nəzəriyyəsində Hamiltonian mərkəzi rol oynayır. Kvant nəzəriyyəsində onun məxsusi qiymətləri enerji səviyyələrini müəyyən edir, eyni zamanda, Schrodinger tənliyinə uyğun olaraq, Hamiltonian həm də dalğa funksiyasının zamana görə təkamülünü müəyyən edir.

Əvvəlki fəsildə olduğu kimi, biz diqqətimizi elə sistemlər üzərində cəmləşdirəcəyik ki, H Hamiltonianı H_0 sərbəst Hamiltonianı ilə qarşılıqlı təsirlərin nəticəsində yaranan λV həddinin cəmindən ibarət olsun, yəni $H = H_0 + \lambda V$. Belə sistemlərin zamanca təkamülü H_0 -in məxsusi halları arasında, qarşılıqlı təsir nəticəsində yaranan, keçidlər kimi təsvir edilə bilər.

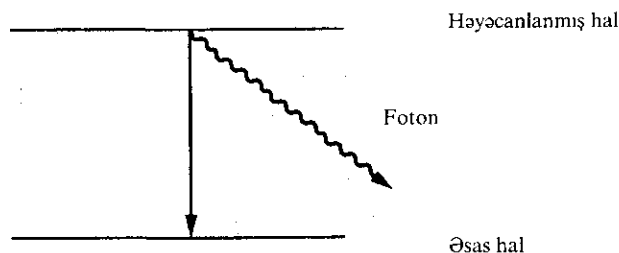
Nə qədər ki, biz Hilbert fəzasındaydıq, H -in E_α məxsusi qiymətləri həqiqidir (Liouville operatoru kimi H da «ermittir» və ermit operatorlar Hilbert fəzasında həqiqi məxsusi qiymətlərə malikdir). Dalğa funksiyasının zamanca dəyişməsi $\exp(-iE_\alpha t)$ kimi rəqsi hədlərin superpozisiyasıdır. Lakin kvant mexanikasında dönməyən proseslər də mövcuddur. Buna misal olaraq Bohr nəzəriyyəsindəki kvant sıçrayışlarını (həyəcanlanmış atomlar fotonlar və ya dayanıqsız hissəciklər buraxmaqla parçalanır: Şəkil 6.1-ə bax) və ya dayanıqsız hissəciklərin parçalanmasını göstərmək olar. Bu proseslər ənənvi kvant nəzəriyyəsi çərçivəsində Hilbert fəzasına daxil edilə bilərmi? Parçalanma prosesi böyük sistemlərdə baş verir. Əgər həyəcanlanmış atom potensial çuxurda olsa, onda atom tərəfindən buraxılan elektron geri sıçrayacaq və heç bir dönməyən proses baş verməyəcək. Əvvəl gördüyümüz kimi, dalğa funksiyasının zamana görə

Şəkil 6.1

Həyəcanlanmış atomun parçalanması

Atom həyəcanlanmış haldan əsas hala foton

buraxmaqla «düşür».



təkamülü rəqsi hədlərin superpozisiyası və ya cəmi ilə təsvir edilir. Limit halında, yəni böyük sistemlərdə bu cəmlər inteqralla çevrilir və yeni xassələr qazanır. Həyəcanlanmış atomların 6.1 şəklində göstərilədiyi qaydada parçalanması zamanı $|\Psi|^2$ ehtimalları zamana görə *təxminən* eksponensial qaydada parçalanır. Burada *təxminən* sözü vacibdir: nə qədər ki biz Hilbert fəzasında qalıyıq, həm çox kiçik zamanlar (elektronun nüvə ətrafında fırlanma müddəti $\sim 10^{-16}$ saniyə tərtibində), həm də çox böyük zamanlar (məsələn, həyəcanlanmış halın yaşama müddətinin, yəni $\sim 10^{-9}$ saniyənin 10-100 misli qədər) üçün eksponensial gedişətdən kənara çıxmalar olur. Lakin çoxlu sayda eksperimental tədqiqatların aparılmasına baxmayaraq, eksponensial gedişətdən heç bir kənara çıxma müşahidə edilməyib. Bu doğrudan da xoşbəxtlikdir, çünki belə kənara çıxmalar olsaydı, bu, elementar zərrəciklər fizikasının bütün nəzəri sistemi üçün ciddi suallar doğura bilərdi.

Fərz edək ki, biz dayanıqsız hissəciklər dəstəsi yaradıb ona parçalanmaq imkanı vermişik və sonra ikinci dəstəni yaratmışıq. Müxtəlif zamanlarda yaradılmış və müxtəlif

parçalanma qanunlarına malik iki dəstəyə aid qeyri-adi halı təsəvvür edək: bu halda biz, yaşlı və gənc insanları fərqləndirə bildiyimiz kimi, bu dəstələri də fərqləndirə bilərik! Bu fantaziya, kvant nəzəriyyəsinin bəzi böyük uğurlarına gətirmiş prinsipin - elementar zərrəciklərin fərqləndirilə bilməməsi prinsipinin pozulması olardı.* İndiyə qədər müşahidə edilən dəqiq eksponensial davranış Hilbert fəzası əsasında təsvirin uyğun olmadığını göstərir. Biz parçalanma proseslərinə növbəti bölmədə qayıdacağıq, lakin bu yerdə biz qeyd etməliyik ki, belə prosesləri, sistemi tarazlığa gətirən proseslərlə qarışdırmaq olmaz. Şəkil 6.1-də göstərilmiş parçalanma prosesi yalnız atomun enerjisini fotonlara ötürür.

III

Biz gördük ki, kvant mexinikasının əsas məsələsi Hamiltonianın məxsusi qiymətlərinin tapılmasıdır. Yalnız bir neçə kvant sistemi üçün bu məsələ dəqiq həll edilə bilər, qalan hallarda bunu etmək üçün biz, adətən həyəcanlanma metodundan istifadə etməli oluruq. Qeyd edildiyi kimi, biz $H=H_0+\lambda V$, H_0 Hamiltonianından başlayırıq; burada H_0 -məxsusi qiymətləri məlum olan Hamilton operatorudur («sərbəst» Hamiltonian), V isə H_0 ilə əlaqə sabiti adlandırılan λ vasitəsilə bağlı olan həyəcanlanmadır. Biz fərz edirik ki, $H_0 u_n^{(0)} = E_n^{(0)} u_n^{(0)}$ tənliyinin məxsusi qiymətlərinə aid həlləri bilirik və $H u_n = E_n u_n$ tənliyini həll etmək istəyirik. Schrodinger-in həyəcanlanma metodu olan standart üsul

* İfrat axıcılığın izahı və bərk cismin kvant nəzəriyyəsi bu uğurlardandır

ondan ibarətdir ki, məxsusi qiymətlər və məxsusi funksiyaları λ əlaqə sabitinin dərəcələrinə görə sıraya ayıraq.

Həyəcanlanma üsulu λ -nin hər bir dərəcəsi üçün tənlikləri əhatə edən təkrarlanan prosesə gətirir. Bu tənliklərin həlli $1/(E_n^{(0)} - E_m^{(0)})$ kimi hədlərə gətirir ki, bunların məxrəcləri sıfıra gedən halda pis təyin olunmuş kəmiyyətlərdir. Bu hal yenə də rezonanslara* uyğun gəlir və biz bir daha inteqrallana bilməyən sistemlərin Poincare tərifinin lap özəyində duran dağılma problemi ilə üzləşirik.

Lakin burada mühüm bir fərq var. Biz artıq diskret və kəsilməz spektrlər arasındakı fərqi müzakirə etmişik. Kvant mexinikasında bu fərq həlledici olur. Doğrudan da spektr diskret olanda uyğun həyəcanlanmamış Hamiltonianın* seçilməsi vasitəsilə adətən dağılma problemini aradan qaldırmaq olur. Bütün sonlu kvant sistemləri diskret spektrə malik olduğundan, biz belə nəticəyə gələ bilərik ki, onlar hamısı inteqrallana biləndir.

Biz çoxlu sayda atomları, səpilmə sistemlərini və s. əhatə edən böyük kvant sistemlərinə keçdikdə vəziyyət kəskin olaraq dəyişir. Bu halda spektr kəsilməzdir və bizi geriye, BPS-yə gətirir. V Fəsilin V Bölməsində verilmiş misal - sahə ilə bağlı hissəcik misalı kvant sistemlərinə də tətbiq edilir. Hissəciklə bağlı ω_1 tezliyinin sahə ilə bağlı ω_k tezliyinə bərabər olduğu bütün hallarda rezonans alırıq.

* Kvant mexanikasında hər bir E enerjisinə $E=(\hbar/2\pi)\omega$ kimi ifadə olunan ω tezliyi uyğun gəlir.

♦ Daha texniki ifadələrdə desək, biz əvvəlcə uyğun çevrilmə vasitəsilə cırılma aradan qaldırırıq.

Kvant nəzəriyyəsində yeganə fərq ondan ibarətdir ki, tezliklər enerjilərlə əlaqəlidir. E_α məxsusi qiyməti $\frac{h}{2\pi}\omega_\alpha$ tezliyinə uyğun gəlir, burada h Planck sabitidir.

Şəkil 6.1-də BPS-yə uyğun gələn nümunə göstərir ki, iki səviyyə arasındakı enerji fərqi buraxılan fotonun enerjisinə bərabər olan hər bir halda biz rezonans alırıq.

IV Fəsilə də öyrənilmiş determinist xaos halında olduğu kimi, sinqulyar funksiyalar üçün məxsusi qiymətlər məsələsini biz Hilbert fəzasından kənarında ümumiləşdirə bilərik. Schrodinger tənliyinin formal həlli $\Psi(t)=U(t)\Psi(0)$ şəklindədir, burada $U(t)=e^{-iHt}$; $U(t)$ - dalğa funksiyasının t anındakı qiymətini başlanğıc $t=0$ anındakı qiyməti ilə əlaqələndirən təkamül operatorudur. Gələcək və keçmiş eyni rol oynayır, çünki t_1 və t_2 -in işarəsindən asılı olmayaraq $U(t_1)U(t_2)=U(t_1+t_2)$. Bu xassə dinamik qrup adlandırılan qrupu təyin edir. Hilbert fəzasından kənarında dinamik qrup iki alt qrupa bölünür. Ona görə də həyəcanlanmış atoma uyğun gələn iki funksiya vardır: bunlardan birincisi, φ_1 , eksponensial olaraq gələcəkdə sönür ($\varphi_1 \sim e^{-t^\tau}$), ikincisi - $\tilde{\varphi}_1$ isə keçmişdə sönür ($\tilde{\varphi}_1 \sim e'^{\tau}$). Təbiətdə bu iki alt qrupdan yalnız biri gerçəkləşir. Hər iki halda (əvvəlki bölmədə təsvir edilmiş təqribi eksponensial sönmənin əksinə olaraq) *dəqiq* eksponensial sönmə mövcuddur. Bu, *dəqiq* eksponensial qanunları çıxarmaq və ikinci bölmədə qeyd edilmiş çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün Hilbert fəzasının tərki edilməsinin zəruri olduğunu göstərən, əsasən Arno Bohm və George Sudarshan tərəfindən öyrənilmiş, ilk nümunədir.⁹ Lakin onların yanaşmasında ehtimal amplitudu mərkəzi kəmiyyət olaraq qalır və kvant mexanikasının əsas paradoksu (dalğa funksiyasının kollapsı) həll olunmur. Artıq qeyd

edildiyi kimi həyəcanlanmış atomun və ya dayanıqsız hissəciyin parçalanması yalnız enerjinin bir sistemdən (həyəcanlanmış atomdan) digərinə (fotona) ötürülməsinə uyğun gəlir. Tarazlıq vəziyyətinə yaxınlaşma kvant nəzəriyyəsinin köklü sürətdə yeniləşdirilməsini tələb edir. Klassik mexinikada olduğu kimi, biz dalğa funksiyaları ilə bağlı fərdi təsvirdən ansambllarla bağlı statistik təsvirə keçməliyik.

IV

Fərdi təsvirdən statistik təsvirə keçid zamanı klassik mexinika ilə müqayisədə kvant nəzəriyyəsi bəzi spesifik əlamətlər göstərir. V Fəsilə gördüyümüz kimi, kvant mexanikasında statistik paylanma funksiyası həm koordinatın, həm də impulsun funksiyasıdır. Trayektoriya delta funksiyaya uyğun gəlir (I Fəslin III Bölməsinə bax). Kvant mexanikasında dalğa funksiyası ilə bağlı olan kvant halı müstəqil dəyişənlərin kəsilməz funksiyaları ilə təsvir edilir. Biz ya koordinatları müstəqil dəyişənlər kimi götürüb, $\Psi(q)$ -yə, ya da impulsları götürüb $\Psi(p)$ -yə baxa bilərik. Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik prinsipi eyni zamanda hər ikisini müstəqil dəyişənlər kimi götürməyə yol vermir. Deməli, kvant halının təyini zamanı klassik halın təyində istifadə edilən dəyişənlərin yalnız yarısı əhatə edilir.

Ψ kvant halı ehtimal *amplitudunu* təsvir edir ki, buna uyğun olan ρ ehtimalı $\Psi(q)$ və $\Psi^*(q')$ amplitudlarının hasilidir və ona görə də q və q' və ya p və p' kimi iki dəst dəyişənlərin funksiyasıdır. Beləliklə, biz $\rho(q, q')$ və ya $\rho(p, p')$ yazı bilərik: birinci ifadə koordinat təsvirinə, ikinci isə, bizə xüsusilə faydalı olan, impuls təsvirinə uyğun gəlir. Kvant mexinikasında ρ ehtimalı çox vaxt «sıxlıq matrisi» adlandırılır (cəbrdən məlum olduğu kimi matrislər də iki

indeksə malikdir). Ψ üçün tənlik (Schrodinger tənliyi) artıq məlum olduğundan biz ρ -nün təkamül tənliyini asanca yazı bilərik. ρ üçün təkamül tənliyi açıq forması $i\hbar\left(\frac{\partial\rho}{\partial t}\right) = H\rho - \rho H$ olan, Liouville-in kvant tənliyidir; burada

sağ tərəf ρ -nün H -la «kommutator»udur. Bu göstərir ki, ρ ehtimalı H -in funksiyası olduqda, biz tarazlıq halını alırıq: H özünün istənilən funksiyası ilə kommutasiya etdiyindən bu halda $\partial\rho/\partial t = 0$ olur.

Ayrıca dalğa funksiyasına uyğun gələn ρ paylanma funksiyasına baxdıqdan sonra, biz ρ -nün müxtəlif dalğa funksiyalarının «qarışığı»na uyğun gəlidiyi hala da baxa bilərik. Hər iki halda Liouville tənliyi eyni şəkildə qalır. İnteqrallana bilən sistemlər üçün statistik ifadə tərzini yeni xüsusiyyətlər yaratmır. Fərz edək ki, biz H -in $\varphi_\alpha(p)$ məxsusi funksiyalarını və E_α məxsusi qiymətlərini bilirik. Onda L Liouville operatorunun məxsusi funksiyaları $\varphi_\alpha(p)\varphi_\beta(p')$ hasilini, məxsusi qiymətləri isə $E_\alpha - E_\beta$ fərqidir. Ona görə də H və L -in spektral təsvirlərini almaq yolunda duran problemlər ekvivalentdir.

L -in $E_\alpha - E_\beta$ məxsusi qiymətləri birbaşa spektroskopiyada ölçülən tezliklərə uyğun gəlir; ρ paylanma funksiyasının zamana görə təkamülü $e^{-i(E_\alpha - E_\beta)t}$ kimi rəqsi hədlərin superpozisiyasıdır. Bu halda tarazlığa yaxınlaşma baş vermir. Bundan əlavə, Hamiltonianın məxsusi qiymətlərini təyin edə bildiyimiz hallar üçün, L -in $\varphi_\alpha(p)\varphi_\alpha(p)$ kimi məxsusi funksiyaları, Liouville operatorunun sıfır məxsusi qiymətlərinə uyğun gəlir ($E_\alpha - E_\beta = 0$) və ona görə də hərəkət invariantlarıdır. Nəticədə, sistem (qarşılıqlı təsirdə olmayan hissəciklər sistemi olduğu üçün) inteqrallana biləndir və tarazlığa çata bilmir. Bu kvant paradoksunun bir formasıdır. Biz indi dalğa funksiyalarını Hilbert fəzasından kənara genişləndirməyin niyə kifayət etmədiyini aydınca görə bilərik.

Doğrudan da III Bölmədə göstərildiyi kimi, bu, $E_\alpha = \omega_\alpha - i\lambda_\alpha$ şəklində kompleks enerjilərə gətirir (ω_α real keçmiş, λ_α isə həyəcanlanmış atomların və ya dayanıqsız hissəciklərin parçalanmasını xarakterizə edən yaşama müddətidir), lakin bu dəyişmə hələ tarazlığa yaxınlaşma ilə bağlı olan dönməyən prosesləri izah edə bilmir. E_α -nın kompleks olduğuna baxmayaraq ρ -nun $\varphi_\alpha(p)\varphi_\alpha(p')$ şəklində hasillərdən ibarət olan bütün diaqonal elementləri, $E_\alpha - E_\beta$ məxsusi qiymətləri yenidən sifra çevirdiyindən, invariant olacaq, beləliklə, sistem inteqrallanan qalacaq və tarazlığa yaxınlaşa bilməyəcək.*

Atomun Bohr nəzəriyyəsinin və nəticədə kvant nəzəriyyəsinin meydana gəlməsinin təcrübi əsası Ritz-Rydberg prinsipinə əsaslanır. Bu prinsipə görə, spektroskopiyada ölçülən hər bir ν tezliyi iki kvant səviyyəsinə uyğun gələn E_α və E_β ədədlərinin fərqinə bərabərdir. Lakin bu fikir sistemi tarazlığa gətirən dönməyən proseslərin mövcud olduğu sistemlər üçün doğru deyil. Ona görə də kvant nəzəriyyəsi əsaslı surətdə təftiş edilməlidir.

Tarixi olaraq mexinikanın kökləri fizikanın iki sahəsinə gedib çıxır: 1900-cü ildə Planck-ı öz məşhur h sabitini daxil etməyə gətirən maddə və şüalanma arasında istilik tarazlığı və Ritz-Rydberg prinsipindən Bohr atomuna, sonra isə Heisenberg-in (1926) kvant nəzəriyyəsinə gətirən spektroskopiya. Lakin bu iki sahə arasındakı münasibət heç vaxt aydınlaşdırılmayıb. Biz görürük ki, Ritz-Rydberg prinsipi Planck-ın işində təsvir edilmiş tarazlığa istilik yaxınlaşması ilə bir araya sığmır. Beləliklə, istilik fizikası ilə

* $E_\alpha - E_\beta$ ifadəsini $E_\alpha - E_\beta^*$ ilə əvəz etdikdə (E_β^* kəmiyyəti E_β -nin kompleks qoşmasıdır) çətinliklər artır. Bu halda $E - E_\alpha^* = -2i\lambda_\alpha \neq 0$ və tarazlıq həlqə yaranmır.

spektroskopiyayı uyğunlaşdırmağa imkan verən yeni ifadə tərzinə ehtiyac var. Bu, ehtimal paylanmaları səviyyəsində əldə edilə bilər, bunlardan biz müşahidə edilən tezlikləri (onların kompleks hissələri də daxil olmaqla) ala bilərik, lakin tarazlığa yaxınlaşmasını gözlədiyimiz sistemlər üçün artıq bu tezliklər enerji səviyyələri arasındakı fərq deyil. Biz BPS üçün Liouville operatorunun məxsusi qiymətlərinə aid kvant məsələsini daha ümumi funksiya fəzaları kontekstində həll etməliyik. Klassik mexanikada olduğu kimi, bu, iki əsas tərkib hissəsini - sinqulyarlığa gətirən lokallaşmamış paylanma funksiyalarını və yeni dinamik proseslərə gətirən Poincare rezonanslarını əhatə etməlidir. Klassik dinamikada olduğu kimi, burada da statistik səviyyədə yeni həllər meydana çıxır ki, bu həllər kvant mexanikasının ənənəvi dalğa funksiyası formalizminə gətirilə bilmir və Ritz-Rydberg prinsipini ödəmir. Bu mənada biz, həqiqətən də, kvant mexanikasının yeni ifadə tərzini haqqında danışa bilərik.

V

Müəyyən dəyişikliklərlə biz klassik sistemlər üçün V Fəsilə verilmiş ehtimal ifadə tərzini davam etdirə bilərik. $i(\partial\rho/\partial t)=L\rho$ Liouville tənliyinin (kvant nəzəriyyəsində $L\rho$ Hamiltonianın ρ ilə kommutatorudur, biz gördük ki, $L\rho = H\rho - \rho H$) formal həlli ya $\rho(t)=e^{-iHt}\rho(0)e^{+iHt}$ ya da $\rho(t)=e^{-iLt}\rho(0)$ kimi yazıla bilər. Bu bərabərliklər arasında fərq nədən ibarətdir? Birinci ifadədən belə görünür ki, guya iki *müstəqil* dinamik təkamül var: biri e^{-iHt} , digəri isə e^{+iHt} ilə əlaqəlidir, biri «gələcək» istiqamətində, digəri isə «keçmiş» istiqamətində (t zamanı $-t$ ilə əvəz edilib) hərəkət edir. Əgər bu belə olsaydı, onda gözləyə bilərdik ki, zaman simmetriyasının pozulması baş vermir və nəticədə statistik

təsvir Schrodinger tənliyinin zaman simmetriyasını qoruyub saxlayardı. Lakin biz iki zaman təkamülünü (e^{-iHt} və e^{+iHt}) əlaqələndirən Poincare rezonanslarını daxil etdikdən sonra bu daha belə olmur. Onda zamana görə yalnız bir müstəqil təkamül olur (*zaman* «bir ölçüyə» malikdir). Zaman simmetriyasının pozulmasını öyrənmək üçün Liouville fəzasında vahid xronoloji ardıcılığı təsvir edən $\rho(t) = e^{-iHt} \rho(0)$ ifadəsindən başlayaq. Başqa sözlə, biz dinamik hadisələri vahid xronoloji ardıcılığa uyğun düzməliyik.* Onda biz qarşılıqlı təsiri, klassik mexanikada etdiyimiz kimi, birbirindən sərbəst hərəkətlə ayrılan hadisələrin ardıcılığı kimi təsvir edə bilərik. Klassik mexanikada bu hadisələr k dalğa vektorunun və p impulsunun qiymətlərini dəyişir. V Fəsilədə biz korrelyasiyaların yaranmasına və məhvinə gətirən müxtəlif hadisələrə baxmışdıq və görmüşdük ki, həlledici amil BPS-lər üçün yaranmanı və məhvi birləşdirən yeni hadisələrin (Şəkil 5.7-dəki qovuşqlar) meydana çıxmasıdır. Özlüyündə bu hadisələr klassik dinamikani köklü sürətdə dəyişdirir, çünki onlar diffuziyaya gətirir, determinizmi dağıdır və zaman simmetriyasını pozur. Biz eyni hadisələri kvant mexikasında da görə bilərik. Bunun üçün biz klassik nəzəriyyəyə aid Fourier təsvirində k dalğa vektorunun oynadığı rolu oynayan dəyişənlər daxil etməliyik. Klassik mexanikada biz statistik ifadə etmədən başlayırıq; burada $\rho(q, p)$ paylanma funksiyası q koordinatları və p impulsarının funksiyası kimi təqdim edilir. Sonra biz k dalğa vektoru və impulslardan asılı olan $\rho_k(p)$ Fourier çevrilməsinə keçirik.

* Bu edilməyibse, biz çox ehtiyatlı olmalıyıq. Feynmanın məşhur - elektron gələcək istiqamətində yayılır, pozitron isə keçmiş istiqamətində hərəkət edir - fikri dinamik hadisələrin vahid xronoloji ardıcılıqla nizamlanmasından əvvəl Schrodinger tənliyində təzahür edən zamanlara aiddir.

Kvant mexinikasında biz anoloji üsulu tətbiq edə bilərik.¹⁰ Biz impuls təsvirində p və p' kimi iki dəst dəyişənlərin funksiyası olan $\rho(p, p')$ sıxlıq matrisindən başlayırıq. Sonra biz $k = p - p'$ və $P = (p + p')/2$ kimi yeni dəyişənlər daxil edib klassik mexinikada olduğu kimi $\rho_k(P)$ yazı bilərik. Bundan sonra göstərmək mümkündür ki, klassik mexinikada dalğa vektorunun oynadığı rol kvant mexinikasında k oynayır (məsələn, qarşılıqlı təsirlər zamanı dalğa vektorlarının cəmi saxlanır, yəni $k_j + k_n = k'_j + k'_n$). Klassik mexinikada olduğu kimi, Poincare rezonansları yenidən korrelyasiyaların yaranması və məhvini əlaqələndirən yeni dinamik hadisələrə gətirir və ona görə də kvant diffuziya proseslərini təsvir edir.

BPS-lər üçün klassik və kvant nəzəriyyələrinin ifadə təzi az-çox oxşardır. Azacıq fərq P impulsunun rolunda meydana çıxır. V Fəsilə göstərilədiyi kimi, qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklərin impulsları hər hadisədə dəyişir. Kvant mexinikasında biz k və P kimi iki dəyişəndən istifadə edirik, burada P dəyişəni klassik impulsu əvəz edir. Bu dəyişənlər qarşılıqlı təsirdə olduğundan P -nin dəyişməsi h Planck sabitini də əhatə edir. $H \rightarrow 0$ halı üçün biz yenidən klassik p impulsuna qayıdırıq. Lakin bu fərq nəzəriyyənin qurulmasında mühüm təsirə malik deyil, ona görə də biz bunu daha ətraflı təsvir etməyə çalışmayacağıq.

Əvvəlki fəsilə biz keçici və davamlı qarşılıqlı təsirlər arasında fundamental fərqi göstərdik. Daimi qarşılıqlı təsirlər xüsusilə mühümdür, çünki onlar termodinamikanın tətbiq edilə biləcəyi bütün hallarda meydana çıxır. Klassik mexinikada olduğu kimi, davamlı qarşılıqlı təsirlərə uyğun gələn ρ paylanma funksiyası k dəyişəninə sinqulyar funksiyaları ilə təsvir edilir. Klassik dinamikada, habelə klassik və kvant mexinikasında davamlı səpilmələr statistik mexinika və kosmologiyada öyrənilən vəziyyətlər üçün

səciyyəvidir. Məsələn, atmosferdə hissəciklər arasıkəsilmədən toqquşur, səpilir və yenidən toqquşurlar. Davamlı toqquşmalar dalğa vektoru fəzasında sinqulyar funksiyalar olan lokallaşmamış paylanma funksiyaları ilə təsvir edilir. V Fəsildə gördüyümüz kimi, bu sinqulyarlıq bizi Hilbert fəzasından kənara çıxmağa vadar edir.

Lokallaşmamış sinqulyar paylanma funksiyalarını və Poincare rezonanslarını nəzərə aldıqda biz klassik mexinikada olduğu kimi, L Liouville operatoru üçün kompleks, gətirilməyən spektral təsvir alırıq. Klassik dinamikada olduğu kimi, dönməyənlik yenə də getdikcə yüksələn tərtibli korrelyasiyaların meydana çıxması ilə bağlıdır. Klassik mexanikada olduğu kimi, bu, kinetik nəzəriyyə və makroskopik fizikada yeni xassələrə gətirir. Kvant mexinikasının, bizim tərəfimizdən verilən yeni ifadəsinin əsas nəticələri aşağıdakılardır:

- Liouville operatorunun məxsusi qiymətləri, artıq, Hamiltoniannın Schrodinger tənliyindən alınan məxsusi qiymətləri arasındakı fərqlər deyil. Ona görə də Ritz-Rydberg prinsipi pozulur və sistemlər daha inteqrallanan olmur və tarazlığa yaxınlaşma mümkün olur.
- Schrodinger tənliyinin xəttiliyi ilə bağlı olan kvant superpozisiyası prinsipi pozulur.
- Liouville operatorunun məxsusi funksiyaları ehtimalın amplitudları və ya dalğa funksiyaları vasitəsilə deyil, ehtimalın özü vasitəsilə ifadə edilir.

Bizim nəticələrimiz Hilbert fəzasından kənarda dalğa funksiyasının kollapsını izləyə bildiyimiz sadə vəziyyətlərdə artıq yoxlanılmışdır.¹¹ Bundan əlavə, onlar spektral xətlərin forması haqqında maraqlı nəticələrə gətirir və tarazlığa

yaxınlaşmanı dəqiq təsvir etməyə imkan verir. Təəssüf ki, bizim nəticələrin xüsusi tətbiqləri barədə təfsilata vara bilmirik, lakin bu kitabda bizim məqsədimiz, sadəcə olaraq, nəzəri əsaslara qısa səyahətdən ibarətdir.

VI

1927-ci ildə Brüsseldə keçirilmiş Beşinci Solvey Konfransında Einstein və Bohr arasında tarixi diskussiya olub. Bohr-un sözləri ilə:

Belə məsələlər üzrə müzakirələr keçirmək üçün məndən xahiş edilmişdi ki, kvant fizikasında üzləşdiyimiz problemlər haqqında konfransda məruzə edim. Mən diqqəti uyğun terminologiya problemi üzərində cəmləmək və tamamlanma nöqteyi-nəzərini vurğulamaq üçün əlverişli imkandan istifadə etdim. Başlıca arqument bundan ibarət idi: fiziki məlumatların birqiymətli təqdim edilməsi üçün tələb olunur ki, məsələnin təcrübi qoyuluşu və müşahidələrin yazılışı klassik fizikanın lügəti vasitəsilə yararlı şəkildə təkmilləşdirilmiş ümumi dildə ifadə edilsin.¹²

Lakin biz kvant qanunlarının üstünlük təşkil etdiyi dünyada cihazı klassik terminlərdə necə təsvir edə bilərik? Bu, Kopenhagen yozumu adlandırılan yozumun zəif məqamıdır. Buna baxmayaraq, onun daxilində həqiqətin mühüm elementi var. Ölçmə rabitə vasitəsidir. Məhz buna görə, Bohr-un sözləri ilə desək, biz «həm aktyor, həm də tamaşaçıyıq» və təbiət haqqında nə isə öyrənə bilirik. Lakin əlaqə ümumi zaman tələb edir. Bu ümumi zamanın mövcudluğu bizim yanaşma üsulumuzun əsas nəticələrindən biridir.

Bizim ölçmələrimizi təmin edən cihaz, istər fiziki qurğu, istərsə də bizim hissiyyat orqanlarımız olsun, zamana görə simmetriyanın pozulması da daxil olmaqla dinamikanın

ümumiləşdirilmiş qanunlarına riayət etməlidir. Zamanca dönən, inteqrallana bilən sistemlər də mövcuddur, lakin biz onları izolə edilmiş halda müşahidə edə bilmərik. Bohr-un qeyd etdiyi kimi, bizim cihaza ehtiyacımız var və bu, zaman simmetriyasını pozur. BPS zaman simmetriyasını artıq pozduğu üçün bu fərqləndirici xüsusiyyəti kölgədə qoyur və ona görə də müəyyən mənada özlərini ölçürlər. Biz cihazı klassik terminlərdə təsvir etməməliyik. Ümumi zaman kvant səviyyəsində termodinamik sistemlərlə bağlı olan BPS-lər üçün meydana çıxır.

Kvant nəzəriyyəsinin müşahidəçiyə ağılaşmaz rol verən subyektiv cəhəti Einstein-i dərindən narahat edirdi. Bizim fikrimizcə, müşahidəçi öz ölçmələri vasitəsilə təbiətin təkamülündə artıq hər hansı fəvqəladə rol oynamır, hər halda klassik fizikada olduğunlan artıq rol oynamır. Biz hamımız ətraf dünyadan gələn məlumatı bəşər miqyasında fəaliyyətə çeviririk, lakin kvant fizikasının postulat kimi qəbul etdiyinə əksinə olaraq, biz təbiətin imkanlarının gerçəkliyə çevrilməsi üçün məsul olan demirəq olmaqdan çox uzağıq.

Bu mənada bizim yanaşma üsulumuz sağlam düşüncəni bərpa edir. Bu, kvant nəzəriyyəsinin ənənəvi formasında qeyri-aşkar şəkildə nəzərdə tutulan antroposentik xüsusiyyətləri aradan qaldırır. Bəlkə də bu, kvant mexinikasını Einstein üçün daha məqbul edərdi.

TƏBİƏTLƏ DİALOQUMUZ

I

Elm bəşəriyyət və təbiət arasında nəticələri əvvəlcədən xəbər verilə bilməyən dialoqdur. 20-ci əsrin əvvəllərində qeyri-stabil hissəciklər, genişlənən kainat, özünütəşkil və dissipativ strukturlar haqqında kim fikirləşə bilərdi? Bəs bu dialoqu nə mümkün edir? Zamanca dönən dünya dərk edilməz olardı. İdrak fərz edir ki, dünya bizə və bizim cihazlarımıza təsir göstərir, belə ki, öyrənilən və öyrənilən arasında qarşılıqlı təsir vardır və bu təsir keçmiş və gələcək arasında fərq yaradır. Təşəkkül elmin və deməli, idrakın özünün də atributudur.

Təbiəti dərk etmək cəhdi Qərb təfəkkürünün əsas hədəflərindən biri olaraq qalmaqdadır. Lakin bunu təbiəti

idarə etmək ideyası ilə eyniləşdirmək olmaz. Onun əmrlərinə tabe olduqlarına görə qullarını başa düşdüyünü hesab edən quldar kobud səhv etmiş olardı. Fizikaya gəldikdə, bizim ümidlərimiz yəqin ki, çox müxtəlifdir, lakin burada da Vladimir Nabokov-un hökmü doğru səslənir: «idarə oluna bilən şey heç vaxt tam gerçək deyil; gerçək olan şey heç vaxt tam idarə edilə bilməz.»¹ Elmin klassik idealı – zamansız, yaddaşsız və tarixsiz dünya Aldous Huxley, Milan Kundera, və George Orwell tərəfindən təsvir edilən totalitar qarabasmaı xatırladır.

Bizim *Entre le Temps et l'Eternite* adlı kitabımızda Isabelle Stengers və mən yazmışdıq:

Ola bilsin ki, biz dinamik dönənliyin demək olar ki, dərkedilməz olan xarakterini vurğulamaqdan başlamalıyıq. Zaman məsələsi – onun axınının qoruyub-saxlaması, yaratması və dağıtması – həmişə insanın diqqətinin mərkəzində olmuşdur. Bir çox düşüncələr yenilik ideyasını şübhə altına salıb və səbəblə nəticə arasında sarsılmaz əlaqəni təsdiq edib. Mistik təlimlərin bir çox formaları bu dəyişən və qeyri-müəyyən dünyanın gerçəkliyini inkar edib və həyatın qəm-qüssəsindən qaçmağa imkan verən ideal yaşayışı təbliğ edib. Biz bilirik ki, antik dövrdə tsiklik zaman ideyası necə mühüm olub. Amma mövsümlərin ritminə və insan nəsillərinin dəyişməsinə oxşar olaraq başlanğıc nöqtəyə bu daimi qayıdış özü də zaman oxu vasitəsilə qeyd edilib. Heç bir düşüncə və ya təlim heç vaxt edilən şeylər və edilməyən şeylər arasında ekvivalentliyi təsdiq etməyib: böyüyən, çiçəklənən və ölən bitki ilə dirilən, cavanlaşan və əmələ gəldiyi toxuma çevrilən bitki arasında; getdikcə qocalan və öyrənən adamla uşağa dönən sonra rüşeymə və nəhayət, hüceyrəyə çevrilən adam arasında.²

I Fəsildə biz Epicurus dilemmasını və qədim filosofların atomist baxışlarını yada salmışdıq. Bu gün vəziyyət müəyyən mənada xeyli dəyişmişdir: Kainatımız haqqında nə qədər çox biliriksə, determinizmə inanmaq o qədər çətinləşir. Biz təkamül edən Kainatda yaşayırıq, onun fizikanın fundamental qanunlarına gedən köklərini determinist xaos və integrallana bilməyənliklə bağlı olan dayanıqsızlıq anlayışı vasitəsilə müəyyən edə bilirik. Təsadüfilik və ya ehtimal, artıq biliksizliyimizin etiraf edilməsinin əlverişli üsulu deyil, yeni, genişləndirilmiş rasionallığın bir hissəsidir. Biz gördük ki, bu sistemlər üçün fərdi təsvirlə (trayektoriyalar və dalğa funksiyaları) statistik təsvir (ansambllar) arasındakı ekvivalentlik pozulur. Statistik səviyyədə biz dayanıqsızlığı daxil edə bilirik. Artıq müəyyənliklərlə deyil, ehtimallarla məşğul olan təbiət qanunları varlıq və törənən arasındakı köhnədən qalma uçurum üzərindən körpü salır. Onlar sabit Newton orbitləri dünyasından daha çox qədim atomistlərin təsəvvürlərinə bənzəyən qeyri-müntəzəm, xotik hərəkətlər dünyasını təsvir edir. Bu nizamsızlıq makroskopik sistemlərin lap təməlini təşkil edir ki, burada biz termodinamikanın ikinci qanunu - entropiyanın artması qanunu ilə bağlı olan təkamül təsvirini tətbiq edirik.

Biz determinist xaosu nəzərdən keçirdik və Poincare rezonanslarının həm klassik, həm də kvant mexanikasında rolunu müqayisə etdik. Biz gördük ki, bizim statistik ifadə tərzimizi əldə etmək üçün klassik və kvant mexanikasının adi şərtlərindən kənara çıxan iki şərt lazımdır: statistik təsvirə daxil edilməsi mümkün olan diffuziya tipli yeni proseslərə gətirən Poincare rezonanslarının mövcudluğu və lokallaşmamış paylanma funksiyaları vasitəsilə təsvir edilən ümumiləşdirilmiş davamlı qarşılıqlı təsirlər. Bu şərtlər xaosun daha ümumi

təyininə gətirir. Determinist xaos halında olduğu kimi, bu halda biz statistik tənlilər üçün trayektoriya və ya dalğa funksiyası terminlərində ifadə edilə bilməyən yeni həllər alırıq. Bu şərtlər ödənmədikdə biz adi ifadə tərzinə qayıdırıq. Bu hala aid çoxlu sayda sadə misallar göstərmək olar: iki cisim (məsələn, Günəş və Yer) məsələsi, toqquşmadan əvvəl və sonra hissəciklərin sərbəst olduğu ənənəvi toqquşma təcrübələri və s. Lakin bu misallar ideallaşdırmaya uyğun gəlir. Günəş və Yer çox cisimli planet sisteminin bir hissəsidir; səpilən hissəciklər tez-gec digər hissəciklərlə rastlaşacaq və deməli, heç də sərbəst deyil.

Biz yalnız o halda ənənəvi ifadə tərzini alırıq ki, müəyyən sayda hissəciyi izolə edib onların dinamikasını öyrənməklə məşğul olaq. Əksinə, zaman simmetriyasının pozulması Hamilton dinamik sistemlərinin hamısına aid olan qlobal xassədir. III və IV Fəsillərdə öyrənilən xaoitik diaqramlarda dönməyənlik, hərəkət tənlilərinin təsvirində istifadə edilən sadələşdirmələr nəticəsində, hətta bir neçə sərbəstlik dərəcəsinə malik sistemlərdə də meydana çıxırdı.

Bizim yanaşma üsulumuzun diqqətəlayiq xüsusiyyəti onun həm klassik, həm də kvant sistemlərinə tətbiq edilə bilməsidir. Kvant paradoksunu aradan qaldırmaq cəhdlərinə aid bizə məlum olan bütün digər nəzəri təkliflər müstəsna olaraq kvant mexanizmləridir. Əksinə, bizim nəzərimizcə kvant paradoksu zaman paradoksunun yalnız bir cəhətidir. Kopenhagen yozumunda zamana görə təkamülün iki müxtəlif növünün daxil edilməsi ehtiyacı ölçmə prosesindən yaranır. Bohr-un öz sözlərinə görə «Hər bir atom hadisəsi bu mənada qapalıdır ki, onun müşahidəsi dönməyən funksiyalarla bağlı olan, uyğun gücləndirici cihazların vasitəsilə əldə edilən yazılışa, məsələn

hissəciyin fotolövvhə üzərində izinin alınmasına əsaslanır».³ Məhz bu ölçmə problemi dalğa funksiyasının kollapsına ehtiyac yaradır və bizi məcbur edir ki, kvant mexanikasına ikinci növ dinamik təkamül daxil edək. Ona görə də zaman paradoksu ilə kvant paradoksunun bu dərəcədə bağlı olması gözlənilməz deyil. Birincini həll etməklə biz ikincini də həll edirik. BPS-lərin timsalında gördüyümüz kimi, kvant dinamikası yalnız statistik səviyyədə təsvir edilə bilər. Bundan başqa, kvant prosesləri haqqında nəsə öyrənmək üçün bizim, cihaz kimi fəaliyyət göstərən, BPS-lərə ehtiyacımız var. Beləliklə, zamanın kvant təkamülünün (dönməyənliyi daxil edən) ikinci qanunu ümumiləşmiş qanuna çevrilir.

Alastair Rae-in dediyi kimi «(Schrodinger tənliyi ilə təsvir edilən) təmiz kvant prosesi yalnız Kainatın qalan hissəsindən və ola bilsin ki, hətta fəza-zamanının özündən belə izolə edilmiş və, ölçmə nəticəsində qarşılıqlı təsir baş verməyincə, Kainatın qalan hissəsində öz davranışının izini qoymayan bir və ya daha çox parametrdə baş verir»⁴. Prosesin növündən asılı olmayaraq, müəyyən məqamda, dönməyənlik meydana çıxır. Təxminən eyni hökmü klassik mexinika ilə əlaqədar da demək olar!

Tez-tez deyilirdi ki, bu mürrəkəb sahələrdə inkişaf əldə etmək üçün, həqiqətən də, dəli bir ideyaya ehtiyac var. Heisenberg abstraksionist rəssamla yaxşı nəzəriyyəçi-fizik arasında fərqin nədən ibarət olduğunu soruşmağı xoşlayırdı. Onun rəyinə görə, abstraksionist rəssamın orijinal, yaxşı nəzəriyyəçi-fizikin isə mühafizəkar olması lazımdır.⁵ Biz Heisenberg-in məsləhətinə əməl etməyə çalışdıq. Bizim bu kitabda əsaslandığımız düşüncə tərz, zaman və ya kvant paradoksunu həll etmək üçün keçmişdə göstərilmiş digər cəhdlərin çoxundan, əlbəttə ki, daha az radikaldir. Bəlkə də bizim ən dəli ideyamız budur ki,

trayektoriyalar ilkin obyektlər yox, müstəvi dalğaların superpozisiyasının nəticəsidir. Poincare rezonansları bu superpozisiyaların koherentliyini pozur və labüd olaraq statistik təsvirə gətirir. Əgər bu başa düşülsə, kvant mexinikasının ümumiləşdirilməsi asanlaşır.

II

Bu kitabda termodinamik limitdən dəfələrlə danışılıb. Bu limit - N (hissəciklərin sayı) $\rightarrow \infty$, həcm $V \rightarrow \infty$, lakin konsentrasiya N/V sonlu qalır - şərtləri ilə təyin edilir. Termodinamik limit, sadəcə olaraq, o mənəni daşıyır ki, hissəciklərin N sayı kifayət qədər böyük olduqda $1/N$ kimi hədlər nəzərə alınmaya bilər. Bu N -in, çox vaxt, 10^{23} tərtibində olduğu adi termodinamik sistemlər üçün doğrudur. Lakin sonsuz sayda hissəciklərdən ibarət olan sistemlər mövcud deyil.

Kainat özü yüksək dərəcədə qeyri-bircinsdir və tarazlıqdan çox uzaqdır. Bu, sistemlərin tarazlıq halına çatmasına mane olur. Məsələn, Günəşin daxilində gedən dönməyən nüvə reaksiyalarından yaranan enerji axını bizim ekosistemimizi tarazlıqdan uzaq halda saxlayır və nəticədə, Yerdə həyatın yaranmasını mümkün edir. II Fəsildə gördüyümüz kimi, tarazlıqdan uzaqlıq yeni kollektiv hadisələrə və yeni koherentliyə gətirir. Maraqlıdır ki, bu yeniliklər məhz V və VI Fəsillərdə təqdim edilmiş dinamik nəzəriyyənin nəticələridir.

Qeyri-tarazlığın yaratdığı iki növ hadisə mövcuddur. Əgər, Benard dayanıqsızlığında olduğu kimi, biz mayeni aşağıdan qızdırsaq molekulların kollektiv axınını yaradırıq. Qızdırma prosesini dayandırsaq, axın dayanar və adi istilik hərəkəti bərpa olunur. Kimyada vəziyyət fərqlidir; dönməyənlik tarazlığa yaxın şəraitdə alınması mümkün olmayan molekulların yaranmasına

ətirir. Bu mənada dönməyənlik maddədə həkk olunub. Ehtimal ki, biomolekulların özünəbənzər molekullar yaratmasının mənbəyi budur. Biz bu məsələ ilə burada məşğul olmayacağıq, yalnız qeyd edək ki, müqayisə edilə biləcək mürəkkəbliyə malik molekullar tarazlıqdan uzaq şəraitdə, ən azı kompüter modelləşdirilməsində yaradıla bilər.⁶ Kosmologiyadan bəhs etdiyimiz növbəti fəsildə biz maddənin özünün dönməyən proseslərin nəticəsi olduğunu əsaslandırırıq.

Klassik və ya kvant təbiətindən asılı olmayaraq zaman universalıdır, lakin dönməyən proseslərə uyğun gələn zaman axını universal deyil. Biz indi bu fərqin qeyri-adi nəticələrinə keçirik.

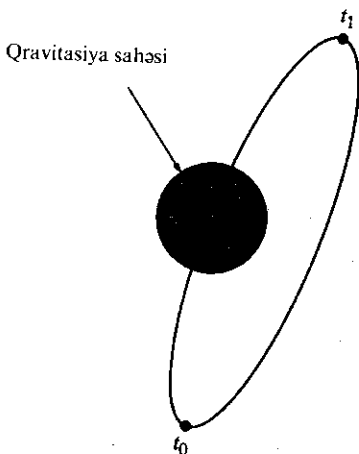
III

Əvvəlcə kimyəvi bir modelə baxaq. Əgər t_0 anında karbon monooksid (CO) və oksigen (O_2) kimi iki qazın qarışığından ibarət tamamilə eyni iki nümunə varsa, karbon dioksidinin (CO_2) yaranmasına gətirən kimyəvi reaksiya metal səthlərlə kataliz edilə bilər. Qaz qarışıqlarından birinə biz belə katalizator daxil edirik, digərinə isə daxil etmirik. Əgər biz hər hansı sonrakı t zamanında bu iki nümunəni müqayisə etsək, görürük ki, onların tərkibi tamamilə fərqlidir. Katalitik səth salınmış nümunədə yaranan entropiya, kimyəvi reaksiya nəticəsində, daha böyük olacaq. Əgər biz entropiya istehsalını zamanın axını ilə bağlasaq, onda bu iki nümunədə zamanın özü də bir-birindən fərqli görünəcək. Bu müşahidə bizim dinamik təsvirimizə tamamilə uyğundur. Zamanın axını Hamiltoniandan və deməli, dinamikadan asılı olan Poincare rezonanslarından qaynaqlanır. Katalizatorun daxil edilməsi dinamikanı dəyişir və ona görə də mikroskopik təsviri dəyişdirir. Digər misalda qravitasiya yenə də Hamiltonianı və deməli, rezonansları dəyişir. Bu halda biz

nisbilik nəzəriyyəsinə aid əkilər paradoksunun bir növ qeyri-relyativist analoqunu alırıq (bu məsələyə VIII Fəsilə qaydacağıq). Bir anlığa fərz edək ki, t_0 anında Yeri tərk etmiş və t_1 anında yenidən Yerə qayıtmış iki əkil (sadəcə olaraq, iki BPS) kosmosa göndərilib (Şəkil 7.1-ə bax). Qayıtmazdan əvvəl bir əkil güclü qravitasiya sahəsindən keçib, digəri isə bu sahədən keçməyib. (Poincare rezonansları nəticəsində) yaranmış entropiya müxtəlif olacaq və bizim əkilər müxtəlif «yaşlar»da geri dönəcək. Bu bizi belə bir fundamental nəticəyə gətirir ki, hətta Newton kainatında zamanın axını, baxılan prosesə uyğun olaraq, müxtəlif təsirlərə malik ola bilər. Bizim gəldiyimiz nəticə zamanın universal axınına əsaslanan Newton-çu baxışlarla tam ziddəyyətdədir. Lakin keçmiş və gələcəyin eyni rol oynadığı təbiətin təsvirində zaman axınının mənası nə ola bilər? Zaman axınına məhz dönməyənlik gətirir. Zamana görə təkamül artıq keçmiş və gələcəyin eyni rol oynadığı *qruplarla* deyil, zamanın

Şəkil 7.1

Qravitasiya sahəsinin zamanın axınına təsiri



istiqlamətini daxilinə alan *yarımqruplar* vasitəsilə təsvir edilir. Biz entropiyanın yaranması ilə bağlı olan zaman daxil etsək (II Fəslə bax), entropiya istehsalının işarəsi müsbət olduğundan, «entropiya zamanı» həmişə eyni bir istiqaməti göstərəcək. Entropiya zamanı saat zamanı ilə eyni tempə malik olmasa belə, yuxarıda qeyd etdiyimiz iki misal halında məsələ məhz belədir.

Biz bütövlükdə Kainat üçün «orta» entropiya zamanı daxil edə bilərik, lakin təbiətin qeyri-bircinsliyinə görə, bu böyük bir əhəmiyyətə malik olmayacaq. Dönməyən geoloji proseslərə məxsus zaman miqyası bioloji proseslərə məxsus zaman miqyasından fərqlidir. Daha vacibi odur ki, çoxsaylı təkamüllər mövcuddur. Bu, biologiya sahəsində xüsusilə aydın görünür. Stephen J. Gould-un qeyd etdiyi kimi, bakteriyalar əslində Proterozoy dövründə olduğu kimi qalıb, halbuki, digər növlər (bəziləri daha qısa zaman miqyasında) kəskin təkamül etmişlər.⁷ Ona görə də sadə, bir ölçülü təkamülə baxmaq səhv olardı. Təqribən iki yüz milyon il bundan əvvəl bəzi sürünənlər uçmağa başlayıb, digərləri isə torpaqda qalıb. Sonrakı mərhələdə bəzi məməlilər dənizə qayıdıb, digərləri isə quruda qalıb. Oxşar olaraq, bəzi meymunlar humanoidlərə təkamül edib, digərləri isə təkamül etməyib.

Bu fəslin yekunu kimi, Gould-un həyatın tarixi xarakterinə aid fikirlərini vermək yerinə düşər:

Hadisələri və həyat yolunun ümumi cəhətlərini başa düşmək üçün biz təkamül nəzəriyyəsinin prinsiplərindən kənara çıxmalı və bizim planetdə – milyonlarla mümkün, lakin reallaşmamış alternativlər arasında yeganə reallaşmış variant olan Yerdə – həyat tarixinin təsadüfi nümunəsinin paleontoloji tədqiqinə keçməliyik. Həyatın tarixinə belə baxış həm Qərb elminin qəbul etdiyi determinist modellərlə, həm Qərb mədəniyyətinin köklü ictimai ənənələri ilə,

həm də həyatın ən yüksək təzahürü olan, planeti idarə etmək niyyətində olan insanda kulminasiyaya çatan bir tarixə psixoloji ümidlərlə kəskin ziddiyyət təşkil edir.⁸

Biz bəziləri təkamül edən, digərləri isə sönən çoxsaylı flüktuasiyalar dünyasındaşıq. Bu, II Fəsildə təsvir edilmiş tarazlıqdan uzaq termodinamikanın nəticələrinə tam uyğundur. Lakin indi biz daha irəli gedə bilərik. Bu flüktuasiyalar, dayanıqsız dinamik sistemlərdə mikroskopik səviyyədə meydana gələn flüktuasiyaların fundamental xassələrinin makroskopik təzahürləridir. Gould-un göstərdiyi çətinliklər təbiət qanunlarına bizim verdiyimiz statistik ifadədə artıq mövcud deyil. Dönməyənlik və deməli, zaman axını dinamik səviyyədən başlayır. O, makroskopik səviyyədə, sonra həyat səviyyəsində və nəhayət, insan fəaliyyəti səviyyəsində güclənir. Bir səviyyədən digərinə bu keçidlərin nəyin hesabına əmələ gəldiyi əsasən naməlum qalır, lakin biz, heç olmazsa, təbiətin dinamik dayanıqsızlığa əsaslanan ziddiyyətsiz təsvirini ala bilmişik. Biologiya və fizikanın təqdim etdiyi təbiət təsvirləri indi bir-birinə qovuşmağa başlayır.

Axı niyə ümumi gələcək mövcuddur? Niyə zaman oxu həmişə eyni istiqaməti göstərir? Bu, yalnız bizim Kainatın vəhdətinin nəticəsi ola bilər. Kainat zaman simmetriyasının pozulmasına gətirən ümumi mənşəyə malikdir. Burada biz kosmoloji problemlərlə üzləşirik. Onlarla məşğul olarkən, biz qravitasianı daxil edib, Einstein-in nisbilik nəzəriyyəsi dünyasına girməliyik.

ZAMAN MÖVCUDLUQDAN ƏVVƏLDİRMI?

I

Bir neçə il bundan əvvəl Moskvadakı Lomonosov Universitetində fizika seminarında məruzə etmişdim. Sonra Rusiyanın ən hörmətli fiziklərindən biri olan professor Ivanenko məndən xüsusi divar üzərində qısa bir yazı yazmağı xahiş etdi. Həmin divarda artıq Dirac və Bohr kimi məşhur alimlərin fikirləri əks olunmuşdu. Mən Dirac-ın seçdiyi «Nəzəri fizikada gözəllik və həqiqət yanaşı gedir» kimi səslənən cümləni dumanlı surətdə xatırlayıram. Müəyyən tərəddüldən sonra yazdım: «Zaman mövcudluqdan əvvəldir».

Bizim Kainatın başlanğıcı kimi Böyük Partlayış nəzəriyyəsinin qəbul edilməsi fiziklərin çoxu üçün belə mənə daşıyır ki, zamanın başlanğıcı və güman ki, sonu da olmalıdır. Mənə isə daha ehtimallı görünür ki, bizim Kainatın əmələ gəlməsi bütöv Kosmosun tarixində yalnız bir hadisədir və ona görə də biz «Meta-kainat» adlandırılan həmin Kosmosa öz zamanımızın yaranmasından əvvəlki zamanı aid etməliyik.

Biz genişlənən Kainatda yaşadığımızı bilirik. Bu gün kosmologiya sahəsində hökmranlıq edən *standart model* təsdiq edir ki, biz zamanca geriye hərəkət etsək, sinqulyarlığa – Kainatın bütün enerji və materiyasını özündə saxlayan nöqtəyə gəlib çıxarıq. Lakin model belə sinqulyarlığı təsvir etməyə bizə imkan vermir, çünki fizikanın qanunları maddə və enerji sıxlığının sonsuzluq olduğu nöqtəyə tətbiq oluna bilməz. John Archibald Wheeler-in Böyük Partlayış bizi «fizikada ən böyük böhranla» üz-üzə qoyur fikri təcüblü deyil.¹ Böyük Partlayışı biz real bir hadisə kimi qəbul edə bilərikmi, və bu hadisəni zamana görə dönən və determinist təbiət qanunları ilə necə bərişdirməyə olar? Biz ölçmə və dönməyənlik probleminə qayıdırıq, lakin indi kosmologiya səviyyəsində.

Böyük Partlayış kəşf ediləndən sonra elmi ictimaiyyət bu sinqulyarlığın qaribə təbiətinə müxtəlif şəkildə reaksiya vermişdi: Böyük Partlayışı bütövlükdə kənara atmağa cəhd göstərmiş (I və III Bölmələrdəki dayanıqlı hal nəzəriyyəsinə bax), bunu zaman anlayışından düzgün olmayan istifadə nəticəsində yaranmış bir «illüziya» növü (II Bölmədə Hawking-in xəyali zaman anlayışına bax) hesab etmiş və hətta buna Genesis kitabında verilmiş Bibliya təsvirinə bənzər möcüzənin bir növü kimi baxılmışdı.

Artıq qeyd etdik ki, bu gün kosmologiyayı, Lev Davidovich Landau və Evgeny Mikhailovich Lifschitz-in məşhur dərslərində deyildiyi kimi, «fizikanın ən gözəl nəzəriyyəsi» olan nisbilik nəzəriyyəsinə müraciət etmədən müzakirə etmək qeyri-mümkündür.² Newton fizikasında, hətta kvant nəzəriyyəsi vasitəsilə ümumiləşdiriləndən sonra da, fəza və zaman birdəfəlik və həmişəlik verilmişdir. Bundan əlavə, bütün müşahidəçilər üçün ümumi olan universal zaman mövcuddur. Nisbilik nəzəriyyəsində bu belə deyil; fəza və zaman mənzərənin bir hissəsini təşkil edir. Bizim öz yozumumuz üçün bu hansı

nəticələrə gətirir? Bu yaxınlarda yazdığı *About Time* kitabında Paul C. W. Davies nisbiliyin təsirini belə şərh edir: «Zamanın keçmiş, indi və gələcəyə bölünməsinin özü belə fiziki cəhətdən mənasız görünür.»³ O, Hermann Minkowski-nin məşhur deyimini təkrar edir: «Bundan sonra ayrıca götürülmüş fəza və ayrıca götürülmüş zaman yavaş-yavaş kölgəyə çevrilməyə məhkumdur»⁴.

Einstein-in məşhur deyimini bir daha xatırladaq: «bizim kimi əqidəli fiziklər üçün keçmiş, indi və gələcək arasındakı fərq bir illüziyadır; bu, davamlı olsa da illüziyadır»⁵. Lakin həyatının sonunda Einstein, deyəsən, öz fikrini dəyişmişdir. 1949-cü ildə ona bir məqalələr toplusu təqdim olunmuşdu. Dönməyənlik kimi başa düşülən zamanın yalnız xəyal olduğu haqqında Einstein-in fikrinə çox ciddi yanaşan böyük riyaziyyatçı Kurt Godel-in də məqaləsi bu topluya daxil edilmişdi. O, adamın öz keçmişinə qayıtmasının mümkün olduğu kosmoloji modeli Einstein-ə göstərəndə, Einstein heç də məmnun olmamışdı. Godel-ə cavabında o yazırdı ki, «özünün keçmişinə teleqraf göndərə biləcəyiniz» inana bilməz. O, hətta, əlavə etmişdi ki, bu qeyri-mümkünlük fiziklərin dönməyənlik probleminə yenidən baxmasına gətirməlidir.⁶ Bizim cəhd etdiyimiz məsələ məhz budur.

İstənilən halda biz qeyd etmək istəyirik ki, nisbilik nəzəriyyəsi tərəfindən gətirilən inqilab bizim əvvəlki nəticələrimizə heç bir təsir göstərmir. Dönməyənlik və ya zamanın axını qeyri-relyativist fizikada olduğu qədər «real» qalır. Ola bilsin ki, biz daha yüksək enerjilərə keçdikcə dönməyənliyin hətta daha böyük rol oynadığını deyə bilərik. Başlıca olaraq Hawking tərəfindən irəli sürülən fərziyyəyə görə erkən Kainatda fəza və zaman arasındakı fərq itir və zaman tam «məkanlaşır». Lakin, bizim bildiyimizə görə, heç kim zamanın belə məkanlaşması mexanizmini və ya çox vaxt «köpüklənən nizamsızlıq» kimi

100 *Kainatın sonu*

təsvir edilən şeydən zaman və məkanın əmələ gəlməsi vasitəsini işləyib hazırlamamışdır.

Bizim mövqeyimiz yuxarıda qeyd ediləndən onunla tam fərqlənir ki, Böyük Partlayışa *sözün həqiqi mənasında* dönməyən proses kimi baxırıq. Biz fərz edirik ki, bizim *kvant vakuumu* adlandırdığımız Pre-kainatdan dönməyən faza keçidi baş vermişdir. Bu dönməyənlik Pre-kainatda qravitasiya və maddə arasında qarşılıqlı təsirin yaratdığı dayanıqsızlığın nəticəsi ola bilər. Aydınadır ki, biz elmi fantastikaya təhlükəli dərəcədə yaxın olan pozitiv biliklərin lap kənarındayırıq.

Buna baxmayaraq biz deyirik ki, dinamik proseslərlə bağlı olan dönməyən proseslər, güman ki, bizim Kainatın doğulmasında həlledici rol oynayır. Bizim baxışımıza görə zaman əbədidir. Bizim yaşımız var, bizim sivilizasiya yaşa malikdir, bizim Kainatın yaşı var, lakin zamanın özünün nə başlanğıcı, nə də sonu var. Bu, iki ənənəvi kosmoloji baxış: Hermann Bondi, Thomas Gold və Fred Hoyle tərəfindən daxil edilmiş və bizim Kainatı yaratmış dayanıqsız mühitə (Meta- və ya Pre-kainata) daha dəqiq tətbiq edilə bilən dayanıqlı hal nəzəriyyəsini və standart Böyük Partlayış yanaşmasını bir-birinə lap yaxınlaşdırır.⁷

Təcrübəyə əsaslanmayan elementlərdən yenə də qaçmaq olmur, lakin maraqlısı odur ki, son həqiqət bizim üçün əlçatmaz qalsa belə zamanın və dönməyənliyin rolunu vurğulayan baxışlar əvvəlkindən daha dəqiq ifadə edilə bilər. Biz, «Əsas kosmoloji problemin az və ya çox dərəcədə həll edilmiş olduğunu fikirləşən müasir astrofiziklər bu əsr qurtarmamış bir sıra sürprizlərlə üzləşə bilirlər» yazan hind kosmoloqu Jayant Vishnu Narlikar ilə tam razıyıq.⁸

II

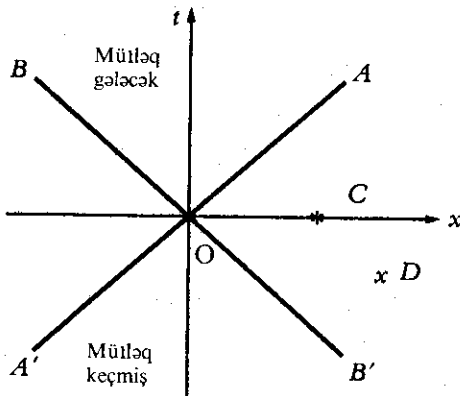
Tədqiqatlarımızın davamı kimi gəlin Einstein-ın *xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinə* baxaq. Bu nəzəriyyə, özünün çıxış nöqtəsi kimi, bir-birinə nisbətən sabit sürətlə hərəkət edən iki inersial müşahidəçi götürür. Relyativistikadan əvvəlki, Galiley fizikasında belə qəbul edilmişdir ki, iki müşahidəçi arasındakı məsafə $l_{12}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$, iki an arasındakı fərq $-(t_2 - t_1)^2$ kimi qalacaq. Fəza məsafəsi Euclide (Evklid) həndəsəsi ilə təyin edilirdi. Lakin bu, işığın vakuumdakı c sürətinin iki müşahidəçi tərəfindən ölçülmüş qiymətlərinin fərqlənməsinə gətirir. Təcrübi nəticələrə uyğun olaraq fərz etsək ki, hər iki müşahidəçi işığın sürəti üçün eyni qiymət almalıdır, biz (Lorentz, Poincare və Einstein-in etdiyi kimi) $s_{12}^2 = c^2(t_1 - t_2)^2 - l_{12}^2$ fəza-zaman intervalını daxil etməliyik. Bir inersial müşahidəçidən digərinə keçdikdə saxlanılan məhz bu intervaldır. Euclide həndəsəsindən fərqli olaraq indi biz Minkowski fəza-zaman intervalına malik oluruq. Bir x, y, z, t koordinat sistemindən digər x', y', z', t' sistemə keçid fəza və zamanı əlaqələndirən məşhur Lorentz çevrilməsi vasitəsilə edilir. Lakin heç bir nöqtədə fəza ilə zaman arasındakı fərq itmir; fəza-zaman intervalında mənfə işarə fəza ölçülərini, müsbət işarə isə zaman ölçüsünü göstərir.

Bu vəziyyət çox vaxt Şəkil 8.1-də əks etdirilmiş fəza-zaman diaqramı vasitəsilə təsvir edilir. Oxların birində t zamanı, digərində isə həndəsi koordinatlardan biri – x götürülmüşdür. Nisbilik nəzəriyyəsində işığın vakuumdakı c sürəti siqnalın ötürülə biləcəyi ən böyük sürətdir. Ona görə də biz diaqramın müxtəlif hissələri arasında fərq qoya bilərik.

Bu diaqramda müşahidəçi O nöqtəsində yerləşir. Onun gələcəyi BOA , keçmişi isə $A'O'B'$ «konus»unun daxilindədir. Bu konuslar işığın c sürəti ilə müəyyən olunur: konusların daxilindəki sürətlər c -dən kiçikdir; konusların xaricinə uyğun gələn sürətlər isə c -dən böyükdür və deməli, gerçəkləşməsi mümkün deyil. Bu diaqramda C hadisəsi O ilə eynizamanlıdır, lakin D hadisəsi O -dan əvvəldir. Lakin bu nəticə tamamilə şərtidir, çünki Lorentz çevrilməsi t və x oxlarını elə döndərə bilər ki, D hadisəsi O ilə eynizamanlı olsun, C isə O -dan sonra təzahür etsin. Eynizamanlılıq Lorentz çevrilməsi ilə dəyişdirilir, işıq konusu isə yox . Ona görə də zamanın istiqaməti invariantdır. Təbiət qanunlarının zamanca simmetrik olub-olmamasının müəyyən edilməsi problemi nisbilik nəzəriyyəsində əsasən qeyri-relyativist fizikada olduğu kimi qalır, lakin indi bu sual daha çox yerinə düşür. Ən yaxşı halda O müşahidəçisi öz keçmişində, yəni $A'O'B'$ konusunda baş vermiş bütün hadisələri bilir. Şəkil 8.2-də göstərildiyi kimi, C və ya D -dən başlayan hadisələr, hətta işıq sürəti ilə hərəkət edən siqnallarla ötürülsə belə, O -ya ancaq sonrakı t_1 və t_2 zamanlarında çatacaq.

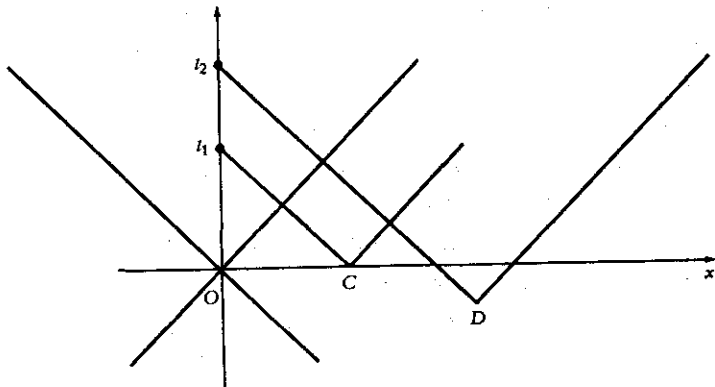
Şəkil 8.1

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsində gələcək ilə keçmiş arasında fərq



Şəkil 8.2

C və D -dən başlayan hadisələr O müşahidəçisinə, gələcək t_1 və t_2 zamanlarında çatacaq.



Beləliklə, O müşahidəçisi yalnız məhdud miqdarda məlumat toplaya bilər. Baidyanath Misra və Ioannis Antoniou tərəfindən determinist xaosla aparılmış maraqlı analogiyada deyilir ki, müşahidəçi onu əhatə edən dünyaya baxmaq üçün yalnız məhdud pəncərəyə malikdir və burada determinist təsvir ifrat ideallaşdırmaya uyğun gəlir.⁹ Bu, statistik təsvirə keçmək üçün bizə başqa bir əsas verir.

Təbii ki, nisbilik nəzəriyyəsinin meydana çıxartdığı çox maraqlı yeni hadisələr mövcuddur. Məsələn, məşhur əkizlər paradoksu. Əkizlərdən biri $x=0$ nöqtəsində Yerdə qalır, digəri isə t_0 anında (O müşahidəçisinin sükunətdə qaldığı koordinat sistemində) istiqamətini dəyişən kosmik gəmidə yaşayır və $2t_0$ anında Yərə qayıdır. Hərəkət edən əkiz tərəfindən ölçülən zaman intervalı $2t_0$ -dan artıqdır. Bu, Einstein-in öncədən xəbər verdiyi, məşhur zamanın «genişlənməsi» (yavaşması) hadisəsidir. Bu hadisə dayanıqsız hissəciklər üzərində təcrübələrlə yoxlanılıb..

Ona görə də, nisbilik nəzəriyyəsinin diqtə etdiyi kimi, bu ekizlərin yaşama müddətləri trayektoriyalardan asılıdır. VII Fəsilə biz qeyd etmişdik ki, zamanın axını hadisələrin tarixindən asılıdır, lakin Newton zamanı universaldır və tarixdən asılı deyil. İndi isə zamanın özü də tarixdən asılı olmağa başlayır. Vladimir A. Fok (Fok) özünün orijinal *The Theory of Space, Time and Gravitation* kitabında xüsusi qeyd edir ki, biz əkizlər paradoksunu müzakirə edərkən son dərəcə ehtiyatlı olmalıyıq, çünki hərəkət edən kosmik gəmidəki saata təcilin təsiri nəzərdən qaçırılır.¹⁰ O, göstərir ki, təcilin ümumi nisbilik nəzəriyyəsi vasitəsilə təsvir edilən qravitasiya sahəsi nəticəsində əmələ gələn daha ümumi modelə baxarkən alınan nəticələr fərqli olur. Hətta zamanın yavaşmasının işarəsi dəyişə bilər. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin bu proqnozları, onun doğruluğunu yoxlamaq üçün lazım olan, yeni cəzbedici təcrübələrə gətirməlidir.

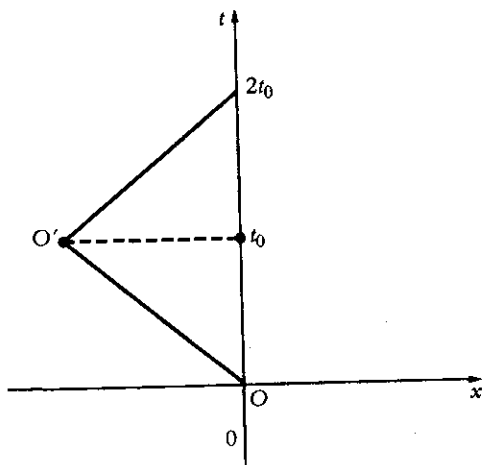
Özünün *Brief History of Time* kitabında Hawking $\tau = it$ kimi xəyali zaman daxil edir, nəticədə, bütün dörd ölçü Minkowski-nin fəza-zaman intervalında «fəzalaşdırılmış» olur.¹¹ Hawking-ə görə real zaman, Lorentz intervalı üçün riyazi düsturu simmetrik edən bu xəyali zaman ola bilər. Hawking-in təklifi, əslində, nisbilik nəzəriyyəsindən kənara çıxır, lakin bu, müşahidənin bütün səviyyələrində zaman axımının oynadığı rolun əksinə olaraq, Kainatın statik, həndəsi struktur kimi təsvirində zamanın reallığını inkar etmək üçün daha bir cəhddir.

Gəlin bizim müzakirəmizin çətin məqamına qayıdaq və klassik Hamiltonian dinamikası və ya kvant mexanikası ilə təsvir edilən sistemlərə nisbilik nəzəriyyəsinin təsirini nəzərdən keçirək. Dirac və ondan sonra gələnlər Hamiltonian təsviri ilə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin tələblərini necə uyğunlaşdırmaq lazım olduğunu göstərdilər.¹² Nisbilik nəzəriyyəsi fizikanın

Şəkil 8.3

Əkizlər paradoksu

O' müşahidəçisi O müşahidəçisinə nisbətən hərəkətdədir.



qanunlarının bütün inersial sistemlərdə eyni şəkildə qalmasını diqqət edir. V və VI Fəsilərdə biz üstüörtülü şəkildə fərz edirik ki, sistemlər bütövlükdə sükunətdədir. Lakin nisbilik nəzəriyyəsinə görə, bütövlükdə sistemin hər hansı müşahidəçiyə nisbətən sabit sürətlə hərəkət etməsindən və ya dayanmasından asılı olmayaraq analogi təsvir doğrudur. Biz gördük ki, Poincare rezonansları keçmiş və gələcəyin eyni rol oynadığı dinamik qrupları dağıdır və nəticədə biz zaman simmetriyasını pozan yarımqruplar alır. Nisbilik nəzəriyyəsinə əvvəlki fizikada qruplar və yarımqruplar I_{12}^2 məsafəsini invariant saxlayır. Relyativist nəzəriyyədə isə biz Minkowski intervalını invariant saxlayan həm qrup, həm də alt qruplar daxil edə bilərik. Təəssüf ki, bunun sübutu burada vermək üçün çox mürəkkəbdir. Hər halda, bu nəticə göstərir ki, Minkowski fəza-zaman intervalı qətiyyən dönməyən proseslərin ziddinə deyil. Belə bir fikir doğru deyil ki,

guya nisbilik zamanın fəzalaşmasına gətirir. Minkowski tərəfindən göstərilədiyi kimi, fəza və zaman artıq bir-birindən asılı olmayan reallıqlar deyil, lakin bu zaman oxunun olmasına mane olmur.

Bu nəticəni gözləmək olardı. Əgər bir inersial sistemdə zaman simmetriyası pozulursa, nisbiliyin özünün təyininə görə, bu, istinad edilən bütün inersial sistemlərdə də baş verməlidir. Ona görə də, qeyri-relyativist və relyativist sistemlərdə dönməyən proseslərin nəzəriyyəsi (müəyyən formal dəyişikliklər istisna edilməklə) tamamilə oxşardır. Lakin bir əsaslı fərq mövcuddur: qarşılıqlı təsirlər artıq ani deyil, işıq sürəti ilə yayılır. Məsələn, kvant nəzəriyyəsi çərçivəsində, yüklü hissəciklərin qarşılıqlı təsiri fotonlar vasitəsilə ötürülür. Bu, hissəciklərin foton şüalandırması nəticəsində yaranan şüalanmanın sönməsi kimi əlavə dönməyən proseslərə gətirir. Daha ümumi ifadə etsək, relyativistik fizikada biz hissəciklərə sahə ilə bağlı obyekt kimi baxırıq (məsələn, fotonlar elektromaqnit sahəsinə uyğun hissəciklərdir) və dönməyənlik bu sahələrin qarşılıqlı təsirindən yaranır.

İndiyə qədər biz Minkowski fəza-zaman intervalını xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinə uyğun gələn şəkildə nəzərdən keçirirdik. Kosmologiya barədə müzakirəni başa çatdırmaq üçün biz qravitasiyanı daxil etməliyik ki, bu da fəza-zaman intervalının ümumiləşdirilməsini tələb edir.

III

Əvvəlcə gəlin Böyük Partlayış məsələsinə qayıdaq. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, genişlənən Kainatımızda zamana görə geri getsək sıxlıq, temperatur və fəzanın əyriliyinin sonsuz olduğu sinqulyarlığa gələrik. Qalaktikaların bu gün müşahidə edilən

uzaqlaşma sürətindən hesablaya bilərik ki, Kainatın yaranması təqribən 15 milyard il bundan əvvəl baş verib. Bizi Böyük Partlayışdan ayıran bu zaman müddəti təəccüblü dərəcədə qısaadır. Onu illərlə ifadə etmək üçün biz Yerın fırlanmasından saat kimi istifadə edirik. Hidrogen atomunda elektronun hər saniyədə 10000 milyard dəfə dövr etdiyini yadımaza salsaq, 15 milyard dövr, həqiqətən də, kiçik rəqəmdir!

Zaman miqyasından asılı olmayaraq, bizim Kainatın doğulmasında ilkin bir hadisənin durması, şübhəsiz ki, elmin nə vaxtsa etdiyi ən qeyri-adi hipotezlərdən biridir. Fizika yalnız hadisələrin sinifləri ilə məşğul olur, Böyük Partlayış isə onların heç birinə aid deyil. İlk baxışda elə görünür ki, o, fizikanın heç bir sahəsində analoqa malik deyil.

Bir çox alim bu sinqulyarlığı «Allahın əli» və ya dünyanın yaranmasına aid Bibliya rəvayətlərinin təntənəsi mənasında izah etmək istəyirdi ki, bunun köməyi ilə fizika sərhədlərini aşan bir hadisəni elm bərpa edə bilsin. Digərləri narahatçılığa səbəb olan vəziyyətdən qaçmağa cəhd etdi. Bu mənada diqqətəlayiq cəhdlərdən biri Bondi, Gold və Hoyle-un təklif etdiyi stasionar Kainatdır.¹³ Bu model ideal kosmoloji prinsipə əsaslanır: Kainatda tək-cə imtiyazlı məkan deyil, imtiyazlı zaman da yoxdur. Bu prinsipə görə keçmişdə və ya gələcəkdə olan istənilən müşahidəçi Kainata temperatur və maddənin sıxlığı kimi parametrlərin dəyişməz qiymətlərini aid edə bilər. Stasionar Kainat materiyanın kəsilməz yaranması ilə kompensasiya edilən eksponensial genişlənmə ilə xarakterizə olunur. Genişlənmə və yaranma arasındakı sinxronluq materiya-enerjinin sabit sıxlığını təmin edir və beləliklə, kəsilməz materiya yaranması halında olan əbədi Kainat təsəvvürünə gətirir. Cəlbedici olmasına baxmayaraq stasionar model bir sıra fundamental çətinliklərə gətirir. O cümlədən, stasionarlığı təmin etmək üçün kosmoloji

təkamül (Kainatın genişlənməsi) və mikroskopik hadisələr (materianın yaranması) arasında incə tənzimləmə olmalıdır. Bunun üçün heç bir mexanizm təklif olunmadığından genişlənmə və yaranma arasındakı müvazinət fərziyyəsi yüksək dərəcədə şübhəlidir.

Kosmoloqların çoxunu, indi standart model kimi baxılan Böyük Partlayış modelinin xeyrinə, dayanıqlı modeldən imtina etməyə gətirən bir təcrübi nəticə oldu. Bu, Arno Penzias və Robert Wilson tərəfindən 1965-ci ildə tapılmış 2,7K temperaturu, indi məşhur olan, relikt şüalanmadır.¹⁴ Belə şüalanmanın mövcud olmasını hələ 1948-ci ildə Ralph A. Alpher və Robert Herman xəbər vermişdi. Onlar belə fərziyyəyə əsaslanıb ki, əgər Kainat keçmişdə indikindən çox qaynar və sıx olubsa, onda maddə ilə güclü qarşılıqlı təsirə girə bilmək üçün kafi enerjiyə malik fotonların hesabına Kainat «qeyri-şəffaf» olmuşdur. Göstərmək mümkündür ki, təqribən 3000K-də maddə və işıq arasındakı tarazlıq pozulur və şüalanma maddədən «ayrıldığından» Kainat şəffaflaşır. İstilik şüalanmasını formalaşdıran fotonların xassələrində bundan sonrakı yeganə dəyişiklik Kainatın ölçülərinin artması ilə onların dalğa uzunluğunun artması olur. Beləliklə, Alpher və Herman öncədən xəbər verə bilməmişdilər ki, əgər maddə ilə tarazlığın pozulduğu zaman («yaranışdan» təqribən 300000 il sonra) fotonlar, həqiqətən də, 3000K temperaturu qara cisim şüalanması təşkil etmişdirsə, bu şüalanmanın indiki temperaturu təqribən 3K-nə uyğun gəlməlidir. Bu, bizim əsrin ən böyük eksperimental kəşflərindən birini qabaqlayan istiqamətverici öngörüm idi.¹⁵

Standart model müasir kosmologianın lap nüvəsini təşkil edir və alimlərin əksəriyyəti qəbul edir ki, bu model Böyük Partlayış sinqulyarlığından sonra, ikinci saniyədən başlayaraq

Kainatın düzgün təsvirini verir. Lakin həyatının ilk saniyəsi ərzində Kainatın halı haqqında sual hələ də açıq qalır.

Niyə heç nə olmayan yerdə nəşə bir şey olub? Bu, sanki, müsbət bilik dairəsindən kənara çıxan fundamental sualdır. Buna baxmayaraq, bu sual fiziki terminlərlə formalaşdırıla və nəticədə, dayanıqsızlıq və zaman problemi ilə əlaqələndirilə bilər. Bu gün xeyli məşhurlaşan belə fərziyyələrdən biri Kainatın doğulmasını *müftə səhər yeməyi* (*free lunch*) kimi müəyyən edir. Edward Tryon bu ideyanı 1973-cü ildə təqdim edib, lakin o, deyəsən, daha əvvəl – Pascual Jordan tərəfindən verilib. Tryon-a görə bizim Kainat iki enerji formasına malik obyekt kimi təsvir edilməlidir: biri cəzətməyə gətirən qravitasiya qüvvələri ilə bağlıdır və mənfidir; digəri isə Einstein-in məşhur $E = mc^2$ düsturundakı kütlə ilə əlaqəlidir və müsbətdir.¹⁶

Bu belə bir fikir irəli sürməyə şirnikləndirir ki, Kainatın tam enerjisi boş Kainatın enerjisi kimi sıfır ola bilər. Bu halda Böyük Partlayış enerjini saxlayan vakuumba fluktuasiyalarla əlaqələndirilə bilərdi. Bu, həqiqətən də, cəlbədicə ideyadır. Enerjinin saxlandığı tarazlıqdan kənar strukturların (məsələn, Benard burulğanları və ya kimyəvi rəqslər) əmələ gəlməsi də müftə səhər yeməyinə uyğun gəlir, tarazlıqdan kənar strukturların dəyəri enerji ilə deyil, entropiya ilə ölçülür. Bu mənada biz mənfi qravitasiya enerjisinin və onun müsbət materiya-enerjiyə çevrilməsinin mənşəyini müəyyən edə bilərikmi? İndi biz məhz bu məsələyə baxacağıq.

IV

Ola bilsin ki, Einstein-in elmə ən böyük töhfəsi cazibəni fəza-zamanın ayrılığı ilə əlaqələndirməsi olmuşdur. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsində gördüyümüz kimi, Minkowski fəza-zaman

intervalı $ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2$ - dir. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsində fəza-zaman intervalı $ds^2 = \Sigma g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$, olur, burada μ və ν dörd qiymət alır: 0 (zaman) və 1, 2, 3 (fəza). Alınan on fərqli funksiya (qəbul edilir ki, $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$) fəza-zamanı və ya Riemann (Riman) həndəsəsini xarakterizə edir. Riemann həndəsəsinə ən sadə misal iki-ölçülü əyilmiş fəza kimi baxılan sferik səthdir.

Newton-çu təsəvvürlərə görə fəza-zaman, öz daxilində olan materiyadan asılı olmayaraq, birdəfəlik və həmişəlik verilib. Einstein-çi inqilab nəticəsində indi biz başa düşürük ki, fəza-zaman və materiya arasındakı əlaqə Einstein-in fundamental sahə tənlikləri vasitəsilə ifadə edilir. Bu tənliklər iki obyektə nöqtə iki obyektə əlaqələndirir: bir tərəfdə fəza-zamanın ayrılığını, $g_{\mu\nu}$ və $g_{\nu\mu}$ -nün fəza və zamana görə törəmələri ilə bağlayan ifadə durur, digər tərəf isə materiya-enerji və təzyiq vasitəsilə müəyyən edilən maddə miqdarını ifadə edir. Bu maddə miqdarı fəza-zamanın ayrılığının mənbəyidir. Einstein öz tənliklərini bütövlükdə Kainata hələ 1917-ci ildə tətbiq etmiş və bununla da müasir kosmologiyanın istiqamətini müəyyən etmişdir. . Bunu həyata keçirtmək üçün o, özünün fəlsəfi baxışlarına uyğun olaraq zamandan asılı olmayan statik model yaratmışdır. Baruch Spinoza Einstein-in sevimli filosofu idi və bu modelin seçilməsində biz onun təsirini hiss edə bilərik.

Sonra sürprizlər silsiləsi başlandı. Alexander Friedmann (Aleksandr Fridman) və Georges-Henri Lemaître (Jorj-Henri Lemetr) sübut etdilər ki, Einstein-in Kainatı o qədər dayanıqsızdır ki, ən kiçik flüktuasiya belə onu dağıdardı.¹⁷ Təcrübə sahəsinə gəldikdə, Edwin Powell Hubble (Habbl) və həmkarları bizim Kainatın genişləndiyini kəşf etdilər.¹⁸ Ondan sonra, 1965-ci ildə, relikt qara cisim şüalanması müşahidə edildi və bu indiki standart kosmoloji modelə gətirdi.

Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas tənliklərindən kosmologiya sahəsinə keçmək üçün biz sadələşdirici fərziyyələr daxil etməliyik. Alexander Friedmann, Georges-Henri Lemaitre, Howard Robertson və Arthur Walker-in adları ilə bağlı olan standart model belə bir kosmoloji prinsipə əsaslanır ki, böyük miqyaslarda Kainata bircins və izotrop kimi baxmaq olar. Onda metrika daha sadə (Friedmann intervalı adlandırılan) forma alır: $ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t) dl^2$. Bu ifadə iki cəhətdən Minkowski fəza-zamanından fərqlənir: dl^2 fəzanın həm sıfır ayrılıyına (Minkowski fəzasındakı kimi) həm də müsbət (sferik səthdəki kimi) və mənfi ayrılıya (hiperboloiddəki kimi) uyğun gələn fəza elementidir. Adətən Kainatın radiusu adlandırılan $R(t)$, t zamanında astronomik müşahidələrin hüduduna uyğun gəlir. Einstein tənliyi $R(t)$ -ni və fəzanın ayrılıyını enerji-materiyanın orta sıxlığı və təzyiqi ilə əlaqələndirir. Einstein-in kosmoloji təkamülü də elə ifadə edilmişdir ki, entropiya saxlansın və ona görə də onun tənlikləri zamanca dənəndir.

Əksəriyyət tərəfindən qəbul edilib ki, standart model Kainatın doğrulmasından saniyənin hissələri qədər keçəndən sonra nə baş verdiyini, ən azı keyfiyyətcə, başa düşməyə imkan verir. Bu, fəvqəladə bir nailiyyətdir, lakin biz hələ də, «bundan əvvəl nə olub?» sualı ilə üz-üzə qalırıq. Biz keçmişə ekstrapolyasiya edəndə sonsuz sıxlıqlı nöqtəyə gəlib çıxırıq. Biz bu nöqtədən o tərəfə ekstrapolyasiya edə bilərikmi? Burada işlədilən kəmiyyətlərin tərtibi haqqında təsəvvür yaratmaq üçün üç universal sabit – h Planck sabiti, G gravitasiya sabiti və c işıq sürəti vasitəsi ilə əldə olunan uzunluq, zaman və enerji ölçülərini – Planck miqyaslarını müəyyən etmək faydalı olar. Onda biz $l = (Gh/c^3) \sim 10^{-33}$ cm tərtibli Planck uzunluğunu, 10^{-44} saniyə tərtibində Planck zamanını və 10^{32} dərəcə tərtibində yüksək

temperatura uyğun gələn Planck enerjisini alarıq. Ehtimal ki, bu miqyaslar fəvqəladə dərəcədə qısa zamanla, çox kiçik həndəsi ölçü ilə və nəhəng enerji ilə xarakterizə edilən çox erkən Kainatla əlaqəlidir. Bu «Planck erasında» çox güman ki, kvant effektləri mühüm rol oynayıb.¹⁹ İndi biz müasir fizikanın lap ön sərhəddinə gəlib çıxır və burada qravitasiyanın kvantlanması və ya ona ekvivalent olan fəza-zamanın kvantlanması kimi fundamental problemlə üzleşirik. Biz hələ bu məsələnin ümumi həllindən çox uzağıq, lakin ən azı Poincare rezonanslarının və dönməyənliyin bizim Kainatın lap başlanğıcında rolunu nəzərə alan model qura bilərik. İndi bizi bu modelə gətirən addımların bəzisini təsvir edək.

Biz qeyd etmişdik ki, Friedmann fəza-zaman intervalını (üçölçülü Euclide həndəsəsi halına baxdıqda) $ds^2 = \Omega^2(t)(dt_c^2 - dl^2)$ kimi yazı bilərik, harada ki, t_c *konform zamandır*. Bu, konform faktor adlandırılan Ω^2 funksiyasına vurulmuş Minkowski fəza-zaman intervalıdır. Belə konform fəza-zaman intervalları diqqətəlayiq xüsusiyyətlərə malikdir, o cümlədən, $ds^2 = 0$ şərtini ödəyən işıq konuslarını saxlayırlar. Nəqlikar və başqalarının göstərdiyi kimi, Friedmann kainatını öz daxilində xüsusi hal kimi saxladığılarına görə konform fəza-zaman intervalları kvant kosmologiyası üçün təbii başlanğıc nöqtəsidir.²⁰

Fəza-zamanın funksiyası olan konform faktor digər sahələr, məsələn, elektromaqnit sahəsi kimi sahə kateqoriyasına aiddir. (Yada salaq ki, sahə müəyyən enerji və deməli, Hamiltonian ilə xarakterizə olunan dinamik sistemdir). Robert Brout və onun əməkdaşlarının göstərdiyi kimi, istənilən başqa maddi sahənin enerjisi müsbət olduğu halda, bu faktor, mənfi enerjiyə uyğun gəlmək kimi nadir keyfiyyətə malikdir (yəni, onun enerjisi aşağıdan məhdud deyil). Nəticədə, konform faktorla təsvir

dilən qravitasiya sahəsi maddənin yaradılması üçün enerjinin ötürüldüyü mənfi enerji rezervuarı rolunu oynaya bilər.²¹

Bu, ümumi enerjinin (qravitasiya sahəsi üstəgəl maddə) axlandığı və eyni zamanda qravitasiya enerjisinin maddəyə çevrildiyi «müftə səhər yeməyi» modelinin nəzəri əsasıdır. Brout və həmkarları müsbət enerjinin çıxarılması üçün mexanizm təklif etdilər. Konform sahəyə əlavə olaraq, onlar maddə sahəsi də daxil etmiş və göstərmişlər ki, Einstein tənlikləri kooperativ (birgə) proseslərə gətirir. Bu kooperativ proseslərdə maddə və (sıfıra bərabər qravitasiya və kütlə enerjisinə malik) Minkowski fəza-zamanından başlayan əyilmiş fəza-zaman eyni zamanda əmələ gəlir. Onların modeli göstərir ki, belə kooperativ proseslər Kainatın radiusunun zaman keçdikcə eksponensial olaraq artmasına səbəb olur (Bu, de Sitter kainatı adı ilə məlumdur).

Bu nəticələr böyük maraq oyadır, çünki qravitasiyanın maddəyə çevrilməsi kimi *dönməyən* proseslərin mümkünlüyünü göstərir. Onlar həm də bizim diqqətimizi Pre-kainat mərhələsinə, dönməyən çevrilmələr üçün başlanğıc nöqtəsi olan Minkowski vakuumuna yönəldir. Qeyd etmək vacibdir ki, bu model *ex nihilo* (heç nədən) yaranışı təsvir etmir. Kvant vakuumu artıq universal sabitlərlə ifadə edilib və hesab edilir ki, biz onların bugün malik olduqları qiymətləri qəbul edə bilərik.

Kainatın yaranması artıq sinqulyarlıqla deyil, fəza keçidinə və ya bifurkasiyaya oxşayan dayanıqsızlıqla əlaqələndirilir. Lakin bu nəzəriyyənin hələ bir sıra çox çətin problemləri var. Brout və başqaları yarımklassik yanaşmadan istifadə etmişdilər: maddə sahəsi kvantlanır, lakin konform sahə klassik qaydada nəzərdən keçirilir. Kvant effektlərinin mühüm rol oynadığı Planck erasında belə şərait çox az ehtimallıdır.

108 «Kainatın sonu»

Edgar Gunzig və Pasquale Nardone belə bir sual vermişdilər ki, əgər müstəvi həndəsi fonla bağlı olan kvant vakuumu, həqiqətən də, qravitasiya qarşılıqlı təsiri nəticəsində dayanıqsız olursa, bu proseslər niyə kəsilməz əsasda meydana çıxmır. Onlar göstərmişdilər ki, bu yarımklassik yanaşmada prosesin başlanması üçün kütləsi 50 Planck kütləsi ($\sim 50 \cdot 10^{-5}q$) tərtibində olan ağır hissəciklər buludunun başlanğıc fluktuasiyası yaranmalıdır.²²

Kainata açıq sistem kimi baxıldıqda bu nəticələr makroskopik termodinamik yanaşmaya daxil edilə bilər. Beləliklə, biz qravitasiya enerjisinin hesabına yaranan maddə və enerjini müşahidə edə bilərik (Şəkil 8.4-ə bax). Bu bizi termodinamikanın birinci qanununa bir sıra təshihlər etməyə məcbur edir, çünki indi bu tənləkdə, təzyiq kimi kəmiyyətlərin tərifində dəyişikliklər etməyə gətirən, maddə-enerji mənbəyi var.* Entropiya maddə ilə müəyyən qaydada bağlı olduğundan, fəza-zamanın maddəyə çevrilməsi entropiya yaradan dissipativ, dönməyən prosesə uyğun gəlir. Maddəni fəza-zamana çevirən əks proses mümkün deyil. Beləliklə, bizim Kainatımızın yaranması entropiya partlayışının nəticəsi ola bilər.

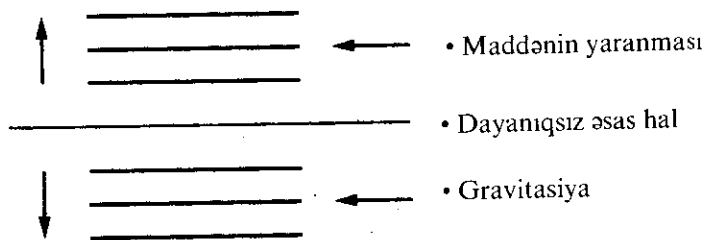
Qravitasiya və maddə sahələrinin qarşılıqlı təsiri kiçik zaman və qısa məsafələrin (bunlar kvant nəzəriyyəsində enerji və impulsun yüksək qiymətlərinə uyğun gəlir) nəticəsində meydana çıxan dağılmalara gətirir. «Ultrabənövşəyi» adlandırılan bu dağılmalar bir sıra maraqlı tədqiqatların mövzusunə çevrilib.

* «Yaranma» təzyiqi mənfidir. Ona görə də Kainatın müsbət təzyiqli sinqulyarlıqdan doğulması barədə tez-tez istinad edilən Hawking və Penrose teoremi burada tətbiq edilə bilməz.

Şəkil 8.4

Maddə qravitasiya sahəsinin hesabına yaranır

Bu sadə modeldə Kainatın dayanıqlı əsas halı olmazdı.



Bu tədqiqatlar renorm-proqram (yenidən normallama proqramı) kimi məlum olan, kifayət qədər uğurlu prosedurun yaranmasına gətirib. Lakin bəzi çətinliklər qalmaqdadır. Sahə nəzəriyyəsi ilə əvvəlki fəsillərdə baxılmış termodinamik şərait arasında heyrətamiz oxşarlıq var. Burada biz yenə də başlanmayan və qurtarmayan davamlı qarşılıqlı təsirlərlə qarşılaşırıq və ona görə də Hilbert fəzasından kənara çıxmalıyıq.

Bu yeni sahə nəzəriyyəsi hələ yaranmaqda olsa da, onun əsas nəticəsi ağılabatandır: ola bilsin ki, kosmoloji səviyyədə dayanıqlı əsas hal yoxdur, çünki maddə yaratdıqca konform faktor aşağı enerjilərə yaxınlaşır. Tədqiqatların bu istiqaməti irəliləməkdə davam edir. Lakin indidən aydındır ki, bu kitabda vurğulanan iki anlayış – dönməyənlik və ehtimal bu yanaşmanın mühüm hissəsini təşkil edir. Kainatlar qravitasiya və maddə sahələrinin amplitudlarının yüksək qiymətlərə malik olduğu yerlərdə meydana çıxır. Bu hadisələrin baş verdiyi məkan və zamanlar yalnız statistik mənaya malikdir, çünki onlar sahələrin kvant fluktuasiyaları ilə bağlıdır. Bu təsvir təkcə bizim Kainata deyil, içərisində ayrı-ayrı kainatların doğulduğu mühitə – Metakainata da tətbiq edilir. Bizim nəzərimizcə, burada biz yenə

də, həyəcanlanmış atomun parçalanmasında olduğuna bənzər, Poincare rezonansları nümunəsi alırıq. Lakin bu halda parçalanma prosesi fotonlar deyil, kainatlar yaradır! *Bizim* Kainat yaranmamışdan əvvəl də zaman oxu mövcud olub və bu ox əbədi mövcud olacaq.

Əlbəttə, bu gün bizim yalnız sadələşdirilmiş modelimiz var. Bütün qarşılıqlı təsirləri əhatə edən ümumiləşdirilmiş nəzəriyyə barədə Einstein-in arzuları bu gün də yaşayır.²³ Bununla yanaşı, belə nəzəriyyə Kainatın doğulması və sonrakı təkamülü ilə bağlı olan zamanca istiqamətlənmiş xarakterini hesaba almalıdır. Bu, yalnız, müəyyən sahələrin (qravitasiya kimi) digərlərindən (maddə kimi) fərqli rol oynadığı halda mümkün ola bilər. Başqa sözlə ümumiləşdirmə kifayət deyil, təbiətə daha dialektik baxmaq lazımdır.

Zamanın mənşəyi ilə bağlı suallar yəqin ki, həmişə bizimlə qalacaq. Lakin zamanın başlanğıcının olmaması – zamanın, həqiqətən də, bizim Kainatımızın mövcudluğundan əvvəl olması ideyası getdikcə daha ehtimallı görünməyə başlayır.

DAR CIĞIR

Tez-tez belə bir fərziyyə irəli sürülür ki, dönməyənlik bizim Kainatın yaranması ilə bağlı olan kosmoloji mənşəyə malikdir. Bu doğrudur ki, kosmologiya zaman oxunun niyə universal olmasını izah etməlidir, lakin bizim Kainatın yaranmasıyla dönməyən proseslər dayanmır; onlar, geoloji və bioloji təkmül də daxil olmaqla, bütün səviyyələrdə bu gün də davam etməkdədir. II Fəsildə daxil edilmiş dissipativ strukturlar müəyyən qaydada laboratoriyalarda, habelə biosferdə baş verən böyük miqyaslı proseslərdə müşahidə olunsa da, dönməyənlik tam mənada yalnız mikroskopik təsvir vasitəsilə başa düşülə bilər. Bu mikroskopik təsvir adətən klassik və kvant mexanikası ilə eyniləşdirilir. Bu, təbiət qanunlarının yəqinliklərdən daha çox potensial imkanlara əsaslanan yeni ifadə tərzini tələb edir. Gələcəyin əvvəlcədən təyin edilmədiyini qəbul etməklə biz müəyyənliyin sonuna gəlib çıxırıq. Bu, insan zəkası üçün məğlubiyyətin etirafıdır mı? Yox, biz hesab edirik ki, bunun əksi doğrudur.

İtaliyalı müəllif Italo Calvino *Cosmocomics* adlı gözəl hekayələr toplusu yaradıb. Burada bizim Kainatın lap başlanğıc mərhələsində yaşamış fərdlər bir yerə toplaşıb o dəhşətli zamanları yada salırlar ki, Kainat lap kiçik olub; belə ki, onların bədənləri Kainatı tam doldurub.¹ Newton bu icmanın üzvü olsaydı, fizikanın tarixi necə olardı? O, hissəciklərin yaranması və parçalanmasını, materiya və antimateriyanın qarşılıqlı annihilasiyasını müşahidə edə bilərdi. Kainat lap başlanğıcından özünü, dayanıqsızlıq və bifurkasiyalarla zəngin olan, tarazlıqdan uzaq termodinamik sistem kimi göstərərdi.

Bu bir həqiqətdir ki, bu gün biz, sadə dinamik sistemləri izolə edərək, klassik və kvant mexanikasının qanunlarını yoxlaya bilirik. Lakin onlar, Kainatda olan dayanıqlı dinamik sistemlərə tətbiq edilə bilən, ideallaşdırmaya uyğun gəlir. Kainat isə flüktuasiyaların, dayanıqsızlığın və bütün səviyyələrdə təkamül hadisələrinin mövcud olduğu, tarazlıqdan uzaq nəhəng termodinamik sistemdir. Digər tərəfdən, müəyyənlik uzun müddət zamanın və yaradıcılıq qabiliyyətinin inkarı ilə əlaqələndirilib. Bu tapmacanı onun tarixi kontekstində nəzərdən keçirmək maraqlı olar.

II

Biz müəyyənliyə necə çata bilərik? Bu, Rene Descartes-in işlərinin lap mərkəzində duran sualdır. Özünün düşündürücü *Cosmopolis* kitabında Stephen Toulmin Descartes-i bu axtarışa gətirən şəraiti aydınlaşdırmağa çalışıb.² O, siyasi dayanıqsızlıq və dini ehkamlar uğrunda katolik və protestantlar arasında gedən müharibələr dövrü olan XVII əsrdəki faciəvi şəraiti təsvir edir. Məhz bu mübarizə dövründə Descartes, dini mənsubiyyətindən asılı olmayaraq bütün adamların qəbul edə biləcəyi, başqa növ müəyyənliyin axtarışına başladı.

Bu axtarışlar Descartes-i, onun fəlsəfəsinin əsası olan məşhur *cogito* (mən düşünürəm) mühakiməsinə gətirdi, habelə onda belə bir inam yaratdı ki, belə müəyyənliyi əldə etmək üçün yeganə yol riyaziyyata əsaslanan elmdir. Descartes-in fəvqəladə dərəcədə uğurlu olan baxışları təbiət qanunlarının, I Fəsilə nəzərdən keçirilmiş Leibniz konsepsiyasına güclü təsir göstərdi (Leibniz də dinlər arasındakı fikir ayrılığını aradan qaldıran və dini müharibələrə son qoyan bir dil yaratmağı arzulayırdı). Descartes-in müəyyənlik axtarışları özünün konkret tətbiqini Newton-un əsərlərində – fizika üçün üç əsr ərzində model olmuş işlərdə tapdı.

Toulmin-in təhlili Descartes-in müəyyənlik axtarışında olduğu tarixi şəraitlə Einstein-i əhatə edən mühit arasında maraqlı analogiya olduğunu aşkar edir. Einstein üçün də elm gündəlik həyatın çaxnaşmasından uzaqlaşmaq vəsiti idi. O, elmi fəaliyyəti «şəhər sakinini səs-küylü, dərəcəli məhəllələrdən uzağa, yüksək dağların sakitliyinə çəkən qarşısızalmaz istəklə» müqayisə edirdi.³

Bəşəriyyətin düşdüüyü şəraitə Einstein-in baxışı çox bədbin idi. O, bəşər tarixinin xüsusilə faciəvi bir dövründə – iki dünya müharibəsini əhatə edən, faşizmin və anti-semitizmin gücləndiyi dövrdə yaşamışdı. Onun fizikaya baxışı obyektiv bilikləri qeyri-müəyyənlik və subyektivlik sahəsindən ayıran insan zəkasının zorakı dünya üzərində yekun təntənəsi kimi müəyyən edilə bilər.

Lakin insan yaşayışının məşəqqətlərindən qurtuluş vəsiti kimi Einstein-in düşündüyü elm bu günün elmidirmi? Biz çirkli qəsəbə və şəhərlərdən yüksək dağlara qaça bilmərik. Biz sabahkı cəmiyyətin qurulmasında iştirak etməliyik. Peter Scott-un sözləri ilə ifadə etsək, «Bu dünya – bizim dünyamız, dərk edilə bilən və dəyərləndirilənin hüdudlarını dayanmadan genişləndirməyə, şeylərin faydalılığını artırmağa, özünü yeni və daha yaxşı dünya kimi təsəvvür etməyə çalışır».⁴

Elm, zəkanın gücünü Promethey-in təsdiq etməsi ilə başlanıb, lakin sanki laqeydliklə – insan həyatına mənə verən hər şeyin inkarı ilə qurtarır. Biz inanırıq ki, bizim əsr, dünyaya baxışda yeni növ vəhdət axtarışı əsri kimi nəzərdən keçirilə bilər və elm bu yeni vəhdətin müəyyən edilməsində mühüm rol oynamalıdır.

VIII Fəsildə qeyd etdiyimiz kimi, ömrünün axırında Einstein-ə böyük riyaziyyatçı Kurt Godel-in də işi daxil edilən məqalələr toplusu təqdim edilmişdi. Godel-ə cavabında o, keçmiş və gələcək arasında ekvivalentliyin mümkünlüyü ideyasını rədd etmişdi. Əbədilik ideyasının cazbedici olmasına baxmayaraq, zamanca keçmiş səyahət Einstein üçün gerçək dünyanı inkar etmək anlamına gəlirdi. O, özünə məxsus baxışların Godel tərəfindən belə radikal şəkildə yozulmasını bəyənmə bilməzdi.⁵

Carl Rubino-nun yazdığı kimi, Achilles nəsə sarsılmaz və dəyişməz bir şey axtarışında olduğu üçün Homer-in *Iliad*-ı zaman problemi ətrafında dolanır:

Iliad-ın müdrikliyi, onun qəhrəmanı Achilles-in çox gec öyrəndiyi ağır dərstdə – ancaq insan təbiətini itirmək bahasına belə kamilliyə çatmağın mümkün olmasını öyrənməsindədir: şöhrətin bu yeni dərəcəsinə çatmaq üçün o, öz həyatını itirməlidir. Kişi və qadın olmasından asılı olmayaraq bəşər övladları üçün sarsılmazlıq, dəyişmələrdən azad olmaq, tam təhlükəsizlik, həyatdakı yüksəlmə və etmə qıcıqlarına qarşı immunitet – bütün bunlar yalnız biz bu həyatı tərک etdikdən sonra: ya öldükdən, ya da allahlara – Horace-nin dediyi kimi, həyəcan və dəyişmələrdən azad, təhlükəsiz həyat sürən yeganə canlı varlıqlara çevrildikdən sonra mümkün ola bilər.⁶

Homer-in *Odysey*-i *Iliad*-ın dialektik analoqu kimi görünür. Odysseus-un bəxti daha uğurlu olur. O seçim etmək imkanı əldə edir: ya əbədi olaraq Calypso-nun sevgilisi qalmaq

ərti ilə ölməzlik qazanmaq, ya da bəşər cəmiyyətinə qayıdıb abüd qocalıq və ölümlə üzləşmək.

Sonda o zamanı əbədiyyətdən, insan taleyini allahların əleyindən üstün tutur.

Homer dövründən başlayaraq zaman ədəbiyyatın mərkəzi mövzusu olmuşdur. Biz Einstein-in reaksiyasına kifayət qədər çoxşarə reaksiyanı dahi yazıçı Jorge Luis Borges-in "A New Refutation of Time" məqaləsində də görə bilərik. Zamanı illüziyaya çevirən nəzəriyyələri təsvir etdikdən sonra o, belə nəticəyə gəlir: «Amma hər halda, hər halda... zamanın ardıcılığının inkarı, özünün inkarı, astronomik Kainatın inkarı – bütün bunlar açıq-aşkar ümitsizlik və gizli təsəlli əlamətidir... Zaman məni təşkil edən mahiyyətdir. Zaman məni aparır, lakin mən özüm çayam; o, məni parçalayan pələngdir, lakin mən özüm pələngəm; o, məni yandıran oddur, lakin mən özüm odam. Heyf ki, Dünya gerçəkdir; heyf ki, mən Borges-əm».⁷ Zaman və gerçəklik qırılmaz əlaqədədir. Zamanın inkarı insan aqlının təsəllisi də, təntənəsi də ola bilər. Bu, həmişə gerçəkliyin inkarıdır.

Zamanın inkarı həm alim Einstein, həm də şair Borges üçün yolunu azmaq deməkdir. Einstein dəfələrlə bildirmişdi ki, o, Fyodor Dostoyevsky-dən hər hansı fizikdən öyrəndiyindən daha çox öyrənib. Max Born-a 1924-cü ildəki məktubunda o, yazırdı ki, əgər ciddi səbəbiyyət prinsipindən imtina etməyə məcbur olsaydı, «fizik olmaqdan, pinəci, hətta kazinoda xidmətçi olmağı daha üstün tutardım».⁸ Hər hansı bir dəyər qazanmaq üçün fizika, yaşadığı şəraitin faciəsindən insanın qurtulmasına yaranan ehtiyacı ödəməlidir. «Hər halda, hər halda», öz axtarıqlarının Godel tərəfindən irəli sürülmüş ifrat nəticəsi – fiziklərin təsvir etməyə çalışdıqları gerçəklikdən imtina edilməsi ilə üzləşdikdə Einstein geri çəkildi.

Biz, əlbəttə, təsadüfün bizim suallarımızın yeganə cavabı olduğunu Einstein-in rədd etməsini başa düşə bilərik. Bizim

100 Müşahidənin sonu

indiyə qədər getməyə çalışdığımız yol, əslində, hər ikisi iqtidarsızlığa gətirən iki konsepsiya arasında dar cığırdır: determinist qanunlarla idarə edilən, yeniliyə yer qoymayan dünya və zər atmaq oyunu oynayan Allah tərəfindən idarə olunan, hər şeyin cəfəng, səbəbsiz və dərkedilməz olduğu dünya arasında yerləşən dar cığır.

Biz bu kitabı dar cığır boyu səyahətə çevirməyə və beləliklə, insanın yaradıcılığının elmdə rolunu nümayiş etdirməyə çalışdıq. Qəribədir ki, bu yaradıcılıq qabiliyyəti çox vaxt lazımınca qiymətləndirilmir. Biz hamımız başa düşürük ki, Shakespeare (Şekspir), Beethoven və ya van Gogh (van Qoq) anadan olandan az sonra ölsəydilər, onların etdiklərini başqa heç kim edə bilməzdi. Bu fikir alimlər üçün də doğrudurmu? Newton olmasaydı, bir başqası hərəkətin klassik qanunlarını kəşf edə bilməzdimi? Termodinamikanın ikinci qanununun ifadə tərzini yalnız Clausius-danmı asılı idi? Bədii və elmi yaradıcılıq arasında müəyyən fərqi olmasa həqiqətdir. Elm kollektiv məşğuliyyətdir. Məqbul olması üçün elmi problemin həlli dəqiq meyar və tələblərə cavab verməlidir. Lakin bu məhdudiyyətlər yaradıcılığı istisna etmir. Məhdudiyyətlər yaradıcılığı məcbur edir.

Zaman paradoksunun formalaşdırılmasının özü insan yaradıcılığının və təxəyyülünün parlaq təzahürüdür. Elm təcrübi faktlarla məhdudlaşsaydı, nə vaxtsa zaman oxunu inkar etmək haqqında fikirləşə bilərdimi? Zamanca simmetrik qanunların işlənilib hazırlanması, ilk ağıla gələn sadələşdirmələrin daxil edilməsi ilə əldə olunmayıb. O, təcrübi müşahidələri nəzəri strukturların yaradılması ilə əlaqələndirib. Məhz buna görə zaman paradoksunun həlli, sadəcə olaraq, sağlam şüura müraciət etməklə və ya dinamika qanunlarının formasının *ad hoc* (uyğun) dəyişdirilməsi ilə əldə edilə bilməzdi. Bu, sadəcə olaraq, klassik tikilidə zəif yerlərin müəyyənləşdirilməsi məsələsi

də deyildi. Əsaslı inkişafa nail olmaq üçün, biz determinist xaos və Poincare rezonansları kimi yeni fiziki anlayışlar daxil etməli və bu zəif yerləri möhkəmləndirən yeni riyazi üsullar tətbiq etməli idik.

Bizim təbiətlə dialoqumuzda biz ilk baxışda maneə kimi görünən şeyləri, öyrənən və öyrənilən arasındakı münasibətlərə yeni anlam verən orijinal konseptual strukturlara çeviririk.

İndi meydana gələn təsvir, determinist dünya və tam təsadüfün hökm sürdüyü nizamsız dünya kimi iki yad mənzərənin arasında olan «aralıq» təsvirdir. Fizikanın qanunları dərk olunmanın, trayektoriya təsvirinə gətirilə bilməyən, ehtimal təsvirləri ilə ifadə edilən yeni formasına gətirir. Həm mikroskopik, həm də makroskopik səviyyədə dayanıqsızlıqla əlaqələndirilən yeni təbiət qanunları hadisələrin ehtimalından bəhs edir, lakin bu hadisələri oxunula bilən, öncədən xəbər verilə bilən nəticələrə çevirmir. Öncədən xəbər verilə və idarə edilə bilinən və bilinməyənlərin bu qaydada sərhədlənməsi Einstein-in dərk edilənlik axtarışlarını yəqin ki, təmin edərdi.

Bir tərəfdən kor qanunların, və digər tərəfdən, özbaşına hadisələrin dramatik variantlarından yan keçməyə çalışan dar cığırla gedirik və görürük ki, bizi əhatə edən konkret dünyanın böyük hissəsi, indiyə qədər də, Alfred North Whitehead-in sözləri ilə desək, «elm torunun gözlərindən sürüşüb keçir».⁹ Elm tarixinin bu seçilmiş dövründə qarşımızda yeni üfüqlər açılır və biz ümid edirik ki, bu yeni fikirləri oxucularımıza çatdırı bildik.

QEYDLƏR

Təşəkkürlər

1. I. Prigogine and I. Stengers, *Entre le Temps et l'Eternite* (Paris: Librairie Artheme Fayard, 1988 (2nd ed., Paris, Flammarion, 1992).
2. I. Prigogine and I. Stengers, *Das Paradox der Zeit* (Munich: R. Piper & Co. Verlag, 1993); I. Prigogine and I. Stengers, *Time, Chaos and Quantum Theory* (Moscow: Ed. Progress, 1994).
3. I. Prigogine, *La Fin des Certitudes* (Paris: Odile Jacob, 1996).
4. I. Prigogine and I. Stengers, *Order Out of Chaos* (New York: Bantam Books, 1984); I. Prigogine, *From Being to Becoming* (San Francisco: W. H. Freeman, 1980).

Giriş

1. K. R. Popper, *The Open Universe: An Argument for Indeterminism* (Cambridge: Routledge, 1982), p. xix.
2. W. James, "The Dilemma of Determinism," in *The Will to Believe* (New York: Dover, 1956).
3. G. Gigerenzer, Z. Swijtink, T. Porter, J. Daston, J. Beatty, and L. Kriiger, *The Empire of Chance* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), p. xiii.
4. See L. Kriiger, J. Daston, and M. Heidelberger, eds., *The Probabilistic Revolution* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1990), 1:80.
5. Gigerenzer et al., *Empire of Chance*.
6. Popper, *Open Universe*.
7. R. Tarnas, *The Passion of the Western Mind* (New York: Harmony, 1991), p. 443.

8. I. Leclerc, *The Nature of Physical Existence* (London: Alien and Unwin; New York: Humanities Press, 1972).
9. J. Bronowski, *A Sense of the Future* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1978), p. ix.
10. S. Hawking, *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes* (New York: Bantam Books, 1988).

I Fasil. Epicurus Dilemmasi

1. For Epicurus, see J. Barnes, *The Presocratic Philosophers* (London: Routledge, 1989). He probably had in mind the Stoics, who believed in a kind of determinism.
2. For Lucretius, see Titus Lucretius Carus, *De Natura Rerum*, ed. C. Bailey (Oxford: Oxford University Press, 1947).
3. K. R. Popper, *The Open Society and Its Enemies* (Princeton, NJ.: Princeton University Press, 1963).
4. For Parmenides, see Barnes, *Presocratic Philosophers*.
5. Plato, *The Sophist* (New York: Garland, 1979).
6. J. Wahl, *Traite de Metaphysique* (Paris: Payot, 1968).
7. P. S. Laplace, *Oeuvres Completes de Laplace* (Paris: Gauthier-Vilars, 1967).
8. G. von Leibniz, *Discourse on Metaphysics and Other Essays*, ed. D. Garber and R. Ariew (Indianapolis: Hackett, 1991).
9. J. Needham, *Science and Society in East and West: The Grand Titration* (London: Alien and View, 1969).
10. For the Einstein-Tagore correspondence, translated by A. Robinson, see K. Dutta and A. Robinson, *Rabindranath Tagore* (London: Bloomsbury, 1995).
11. Popper, *Open Universe*, loc. cit.
12. H. Bergson, *Oeuvres* (Paris: Presses Universitaires de France, 1959), p. 1331.
13. James, *Dilemma of Determinism*, loc. cit.
14. J. Searle, "Is There a Crisis in American Higher Education?" *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences* 46, no. 4 (January 1993): 24.
15. *Scientific American* 271, no. 4 (October 1994).
16. S. Weinberg, in *ibid.*, p. 44.
17. Hawking, *Brief History of Time*, loc. cit.
18. R. Descartes, *Meditations metaphysiques* (Paris: J. Vrin, 1976).
19. R. Penrose, *The Emperor's New Mind* (Oxford: Oxford University Press, 1990), pp. 4-5.

20. A. N. Whitehead, *Process and Reality*, ed. D. Griffin and D. Sherborne, corrected ed. (New York: Macmillan, 1978).
21. C. P. Snow, *The Two Cultures and the Scientific Revolution. The Two Cultures and a Second Look*. (Cambridge: Cambridge University Press, 1964).
22. R. J. Clausius, *Ann. Phys.* 125 (1865): 353; Prigogine and Stengers, *Order Out of Chaos*, loc. cit.
23. A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1958).
24. See Prigogine, *From Being to Becoming*.
25. H. Poincare, "La Mecanique et l'experience," in *Revue de Metaphysique et Morale* 1 (1893): 534—537, and *Lecons de Thermodynamique*, ed. J. Blondin (Paris: Herman, 1923).
26. For Zermelo, see S. Brush, *Kinetic Theory* (New York: Pergamon Press, 1962), vol. 2.
27. R. Smoluchowski, "Vortrage liber die kinetische Theorie der Materie und Elektrizitat," 1914, quoted in H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1949).
28. M. Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar* (London: Little, Brown, 1994), pp. 218-220.
29. M. Planck, *Treatise on Thermodynamics* (New York: Dover, 1945).
30. M. Born, *The Classical Mechanics of Atoms* (New York: Ungar, 1960); quoted in M. Tabor, *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics* (New York: Wiley, 1969).
31. Prigogine, *From Being to Becoming*, p. 213.
32. See H. Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time* (Oxford: Oxford University Press, 1996).
33. J. L. Lagrange, *Theorie desfonctions analytiques* (Paris: Imprimerie de la Republique, 1796).
34. Gell-Mann, *Quark and the Jaguar*.
35. L. Rosenfeld, "Unphilosophical Considerations on Causality in Physics," in *Selected Papers of Lean Rosenfeld*, ed. R. S. Cohen and J. J. Stachel, *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. 21 (Dordrecht: Reidel, 1979), pp. 666-690.
36. Borel, quoted in L. Kniger, J. Daston, and M. Heidelberger, *Probabilistic Revolution*.
37. J. W. Gibbs, *Elementary Principles in Statistical Mechanics* (New York: Scribner's, 1902).
38. H. Poincare, *The Value of Science* (New York: Dover, 1958).

39. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature* (San Francisco: W.H. Freeman, 1983).
40. H. Poincare, *New Methods of Celestial Mechanics*, ed. D. Goroff (American Institute of Physics, 1993).
41. M. Born, quoted in M. Tabor, *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics*, p.105.
42. Tabor, *Chaos and Integrability*.
43. M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (New York: Wiley-Interscience, 1974); A. I. M. Rae, *Quantum Physics: Illusion or Reality?* (Cambridge: Cambridge University Press, 1986).
44. P. Davies, *The New Physics: A Synthesis* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), p. 6.
45. Quoted by K.V. Laurikainen, *Beyond the Atom: The Philosophical Thought of Wolfgang Pauli* (Berlin: Springer Verlag, 1988), p. 193.
46. Cl. George, I. Prigogine, and L. Rosenfeld, "The Macroscopic Level of Quantum Mechanics," *Kong. Danske Vidensk. Selskab Matematisk-fysiske Medd.* 38 (1972): 1-44.
47. See, e.g., W. G. Unruh and W. H. Zurek, "Reduction of a Wavepacket in Quantum Brownian Motion," *Phys. Rev.* 40 (1989): 1070.
48. J. S. Bell, *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989).
49. Gell-Mann, *Quark and the Jaguar*.
50. G. C. Ghirardi, A. Rimini, and T. Weber, *Phys. Rev.* D34 (1986): 470.
51. B. d'Espagnat, *Conceptual Foundations of Quantum Theory*, Benjamin, California, 1976.
52. See I. Farquhar, *Ergodic Theory* (London: Interscience Publishers, 1964.)
53. J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (Princeton, NJ.: Princeton University Press, 1955).
54. Cohen, *Probabilistic Revolution*.
55. H. Poincare, *Science and Hypothesis* (New York: Science Press, 1921).

II Fəsil. Yalnız illüziya?

1. I. Prigogine, *Bull. Acad. Roy. Belgique* 31 (1945): 600. See also *Etude thermodynamique des phenomenes irreversibles* (Liege: De-soer, 1947).

2. Lagrange, *Theorie des fonctions analytiques*.
3. Hawking, *Brief History of Time*.
4. Bergson, *L'Evolution creatrice*, in *Oeuvres*, p. 784.
5. *Ibid.*, p. 1344.
6. Poincare, *Science and Hypothesis*. I. Whitehead, *Process and Reality*.
8. Eddington, *Nature of the Physical World*.
9. T. De Donder and P. Van Rysselberghe, *Affinity* (Menio Park, Calif.: Stanford University Press, 1967); I. Prigogine, *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*, 3rd ed. (New York: Wiley, 1967).
10. G. N. Lewis, *Science* 71 (1930): 570.
11. E. Schrodinger, *What Is Life?* (Cambridge: Cambridge University Press, 1945).
12. I. Prigogine, *Bull. Acad. Roy. Belgique* 3, (1945): 600.
13. L. Onsager, *Phys. Rev.* 37 (1931): 405; 38 (1931): 2265. The proof of this theorem involves the celebrated Onsager reciprocity relations.
14. P. Glandsdorff and I. Prigogine, *Thermodynamik Theory of Structure, Stability and Fluctuations* (New York: Wiley-Interscience, 1971).
15. G. Nicolis and I. Prigogine, *Exploring Complexity* (San Francisco: Freeman, 1989).
16. *Ibid.*
17. For a review of oscillatory reactions, see *Chemical Waves and Patterns*, ed. R. Kapral and K. Showalter (Newton, Mass: Kluwer, 1995).
18. For a review of nonequilibrium spatial structures, see Special Issue of *PhysicaA* 213, nos. 1-2, "Inhomogeneous Phases and Pattern Formation," ed. J. Chanau and R. Lefever (North-Holland, 1995).
19. A. M. Turing, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, Ser. B, 237 (1952): 37.
20. Nicolis and Prigogine, *Self-Organization and Exploring Complexity*.
21. Nicolis and Prigogine, *Exploring Complexity*; Prigogine, *From Being to Becoming*.
22. C. K. Biebracher, G. Nicolis, and P. Schuster, *Self-Organization in the Physico-Chemical and Life Sciences*, Report EUR 16546 (European Commission, 1995).

III Fəsil. Ehtimaldan dönməyənliyə

1. Prigogine, *From Being to Becoming*.
2. P. and T. Ehrenfest, *Conceptual Foundations of Statistical Mechanics* (Ithaca, N.Y: Cornell University Press, 1959).
3. A. Bellemans and J. Orban, *Phys. Letters* 24A (1967): 620.
4. I. Prigogine, *Nonequilibrium Statistical Mechanics* (New York: Wiley, 1962); R. Balescu, *Equilibrium and Non Equilibrium Statistical Mechanics* (New York: Wiley, 1975); P. Resibois and M. De Leener, *Classical Kinetics of Fluids* (New York: Wiley, 1977).
5. A. Lasota and M. Mackey, *Probabilistic Properties of Deterministic Systems* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985).
6. Jan von Plato, *Creating Modern Probability: Its Mathematics, Physics, and Philosophy in Historical Perspective* (Cambridge, Mass: Cambridge University Press, 1994).
7. D. Ruelle, *Phys. Rev. Letters* 56 (1986): 405; *Commun. Math Phys.* 125 (1989): 239; H. Hasegawa and W. C. Saphir, *Phys. Rev. A* 46 (1992): 7401; H. Hasegawa and D. Driebe, *Phys. Rev. E* 50 (1994): 1781; P. Gaspard, *J. of Physics A* 25 (1992): L483; I. Antoniou and S. Tasaki, *J. of Physics A: Math. Gen.* 26 (1993): 73; *Physica A* 190 (1992): 303.
8. I. Prigogine, *Les Lois du Chaos* (Paris: Flammarion, 1994), and *Le leggi del caos* (Rome: Laterza, 1993).

IV Fəsil: Xaosun qanunları

1. Hasegawa and Saphir, *Phys. Rev. A* 46 (1992): 7401; Hasegawa and Driebe, *Phys. Rev. E* 50 (1994): 1781; P. Collet and J. Eckman, *Iterated Maps on the Interval as Dynamical Systems* (Boston: Birkhauser, 1980); P. Shields, *The Theory of Bernoulli Shifts* (Chicago: University of Chicago Press, 1973).
2. P. Duhem, *La theorie physique. Son objet. Sa structure* (reprint, Paris: Vrin, 1981), vol. 2.
3. Hasegawa and Saphir, *Phys. Rev. A* 46 (1992): 7401; Hasegawa and Driebe, *Phys. Rev. E* 50 (1994): 1781; Gaspard, *Journal of Physics* 25 (1992): L483; Antoniou and TsiSSiki, *Journal of Physics A: Math. Gen.* 26 (1993): 73.
4. Ibid.
5. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*; P. and T. Ehrenfest, *Conceptual Foundations of Statistical Mechanics*.

6. Nicolis and Prigogine, *Exploring Complexity*; Prigogine, *From Being to Becoming*.
7. See, e.g., F. Riesz and B. Sz-Nagy, *Functional Analysis* (New York: Dover, 1991).
8. Prigogine, *From Being to Becoming*; V Arnold and A. Avez, *Ergodic Problems of Classical Mechanics* (New York: Benjamin, 1968).
9. Hasegawa and Saphir, *Phys. Rev. A* 46 (1992): 7401; Hasegawa and Driebe, *Phys. Rev. E* 50 (1994): 1781; Gaspard, *Journal of Physics* 25 (1992): L483; Antoniou and Tasaki, *Journal of Physics A: Math. Gen.* 26 (1993): 73.
10. P. Gaspard, *Physics Letters A* 168 (1992): 13, and *Chaos* 3 (1993): 427; H. Hasegawa and D. Driebe, *Physics Letters A* 168 (1992): 18, and *Phys. Rev. E* 50 (1994): 1781; H. Hasegawa and E. Luscheri, "Exact Power Spectrum for a System of Intermittent Chaos," *Physics Letters A* 186 (1994): 193.

V Fəsil: Newton qanunlarından kənar

1. T. Petrosky and I. Prigogine, "Alternative Formulation of Classical and Quantum Dynamics for Non-Integrable Systems," *Physica A* 175 (1991); T. Petrosky and I. Prigogine, "Poincare Resonances and the Limits of Trajectory Dynamics," *PNAS* 90 (1993): 9393; T. Petrosky and I. Prigogine, "Poincare Resonances and the Extension of Classical Dynamics," *Chaos, Solitons and Fractals* 5 (1995).
2. See any text on Fourier series.
3. Prigogine, *Nonequilibrium Statistical Mechanics*.
4. See Petrosky and Prigogine, "Poincare Resonances."
5. See S. G. Brush, *Kinetic Theory* (Oxford: Pergamon Press, 1972), vol. 3.
6. See Y. Pomeau and P. Resibois, *Physics Reports* 19, 2 (1975): 63.
7. T. Petrosky and I. Prigogine, "New Methods in Dynamics and Statistical Physics" (forthcoming).
8. Prigogine, *Nonequilibrium Statistical Mechanics*; see also the citations in note 1 of this chapter.

VI Fəsil: Kvant nəzəriyyəsinin birləşdirilmiş ifadəsi

1. R. Penrose, *Shadows of the Mind* (Oxford: Oxford University Press, 1994), chap. 5.
2. P. Davies, *The New Physics*; Rae, *Quantum Physics*.
3. J. C. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Theory*.
4. T. Petrosky and I. Prigogine, "Quantum Chaos, Complex Spectral Representations and Time-Symmetry Breaking," *Chaos, Solitons and Fractals* 4 (1994): 311; T. Petrosky and I. Prigogine, *Physics Letters A* 182 (1993): 5; T. Petrosky, I. Prigogine, and Z. Zhang (forthcoming).
5. K. R. Popper, *Quantum Theory and the Schism in Physics* (To-towa, NJ.: Rowman and Littlefield, 1982).
6. The standard text is by P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford: Oxford University Press, 1958).
7. M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (New York: JohnWiley, 1974).
8. A. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1958).
9. A. Bohm, *Quantum Mechanics* (Berlin: Springer, 1986); A. Bohm and M. Gadella, *Dirac Sets, Gamov Vectors and Celfand Triplets* (Berlin: Springer, 1989); G. Sudarshan, *Symmetry Principles at High Energies*, ed. A. Perlmutter et al. (San Francisco: Freeman, 1966); G. Sudarshan, C. B. Chiu, and V. Gorini, *Physical Review D* 18 (1978): 2914.
10. Petrosky and Prigogine, "Quantum Chaos;" T. Petrosky and Z. Zhang (forthcoming).
11. Petrosky and Prigogine, "Quantum Chaos" and *Physics Letters*; Petrosky, Prigogine, and Zhang (forthcoming).
12. N. Bohr, "The Solvay Meeting and the Development of Quantum Physics," in *La Theorie quantique des champs* (New York: Interscience, 1962).

VII Fəsil: Təbiətlə dialoqumuz

1. V Nabokov, *Look at the Harlequins* (New York: McGraw-Hill, 1974).
2. Prigogine and Stengers, *Entre le Temps et l'Eternite*.
3. N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (New York: Wiley, 1958).

4. A. I. M. Rae, *Quantum Physics*.
5. W. Heisenberg, *The Physical Principles of the Quantum Theory* (Chicago: University of Chicago Press, 1930).
6. See Nicolis and Prigogine, *Exploring Complexity*.
7. S.J. Gould, *Scientific American* 271, no. 4 (October 1994): 84.
8. *Ibid.*

III Fəsil: Zaman mövcudluqdan əvvəldirmi?

1. J. Wheeler, quoted in H. Pagels, *Perfect Symmetry* (New York: Bantam Books, 1986), p. 165.
2. L. D. Landau and E. M. Lifschitz, *The Classical Theory of Fields* (London: Pergamon Press, 1959).
3. P. Davies, *About Time* (London: Viking, 1995).
4. H. Minkowski, *The Principle of Relativity: Original Papers* (Calcutta: University of Calcutta, 1920).
5. A. Einstein, *Correspondence Einstein-Michele Besso 1903–1955* (Paris: Hermann, 1972).
6. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schlipp (Evanston, 111.: Library of Living Philosophers, 1949).
7. H. Bondi, *Cosmology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1960).
8. See J. V. Narlikar and T. Padmanabhan, *Gravity, Gauge Theory and Quantum Cosmology* (Dordrecht: Reidel, 1986).
9. I. Antoniou and B. Misra, *Journal of Theoretical Physics* 31 (1992): 119.
10. V. Fock, *The Theory of Space, Time and Gravitation* (New York: Pergamon Press, 1959).
11. Hawking, *Brief History of Time*.
12. P. A. M. Dirac, *Rev. Mod. Phys.*, 21 (1949): 392; D.J. Currie, T. F. Jordan, and E. C. G. Sudarshan, *Rev. Mod. Phys.*, 35 (1962): 350; R. Balescu and T. Kotera, *Physica* 33 (1967): 558; U. Ben Ya'acov, *Physica*.
13. Bondi, *Cosmology*.
14. See the excellent account by S. Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe* (New York: Basic Books, 1977).
15. See Alpher and Herman, in *Nature* 162 (1948): 774, and *Physical Review* 75, no. 7 (1949): 1089.
16. See E. P. Tryon, in *Nature* 266 (1973): 396.

17. See, for a general account, S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* (New York; Wiley, 1972).
18. Ibid.
19. See J. V. Narlikar and T. Padmanabham, *Gravity*.
20. Narlikar and Padmanabham, *Gravity*.
21. R. Brout, F. Englert, and E. Gunzig, *Ann. Phys.* 115 (1978): 78; *General Relativity and Gravitation* 10 (1979): 1; R. Brout et al., *Nuclear Physics B* 170 (1980): 228; E. Gunzig and P. Nardone, *Physics Letters B* 188 (1981): 412, and also in *Fundamentals of Cosmic Physics* 11 (1987): 311.
22. E. Gunzig, J. Geheniau, and I. Prigogine, *Nature* 330 (1987): 621; I. Prigogine, J. Geheniau, E. Gunzig, and P. Nardone, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 85 (1988): 1428.
23. S. Weinberg, *Dreams of a Final Theory* (New York: Pantheon Books, 1992).

XI Fāsil: Dar cıǵır

1. I. Calvino, *Cosmicomics*, trans. W. Weaver (New York: Harcourt, Brace & World, 1969).
2. S. Toulmin, *Cosmopolis* (Chicago: Chicago University Press, 1990).
3. A. Einstein, *Ideas and Opinions* (New York: Crown, 1954), p.225.
4. P. Scott, *Knowledge, Culture and the Modern University*, 75th Jubilee of the Rijksuniversiteit (Groningen, Holland, 1984).
5. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*.
6. Carlo Rubino, unpublished.
7. J. L. Borges, "A New Refutation of Time," *Labyrinths*, Penguin Modern Classics (Harmondsworth: Penguin Books, 1970), p.269.
8. A. Einstein and M. Born, *The Born-Einstein Letters* (New York: Walker, 1971), p. 82.
9. A. N. Whitehead, *Process and Reality*.

TERMINLƏRİN İZAHLI LÜĞƏTİ

Antropik prinsip – Kainatdakı şəraiti bizim burada olub onu müşahidə etməyimiz faktı ilə izah edən ideya.

Ansambl – müxtəlif başlanğıc şərtlərə malik eyni sistemlərin fərz edilən dəsti.

Bifurkasiya – sistemin parametri dəyişdikdə həllin bir neçə budağa ayrılması.

Böyük Partlayış – Kainatı təşkil edən maddə və enerjinin partlayış vasitəsilə nöqtədən yaranması kimi təsvir edilən başlanğıc hadisə.

Böyük Poincare sistemləri (BPS) – Poincare rezonansları nəticəsində inteqrallana bilməyən və termodinamik limitdə baxıldığından enerji spektri kəsilməz olan sistemlər.

Dalğa funksiyasının kollapsı – ənənəvi kvant nəzəriyyəsində potensial imkanları təsvir edən dalğa funksiyasından real halı almaq üçün lazım olan dinamikadankənar element.

Dayanıqlı Kainat – Kainatın genişlənməsini maddənin kəsilmədən yaranması ilə tarazlaşdıran kosmoloji model.

Determinist xaos – tam determinist təkamül qanunundan alınan xaotik davranış.

Determinizm – təkamülün, hər bir konkret başlanğıc haldan gələcək halların yalnız bir ardıcılığının yaranmasına imkan verən, qaydalar dəsti ilə idarə olunması barədə nöqtəyi-nəzər.

Diaqram – diskret zamanlı dinamik proses.

Dirac-ın delta-funksiyası – Dirac tərəfindən daxil edilmiş, bir nöqtədə sonsuzluğa, bütün digər nöqtələrdə isə sıfıra bərabər qiymətə malik funksiya kimi baxıla bilən riyazi termin.

Dissipativ-struktur – rəqsi kimyəvi reaksiyalar və ya müntəzəm fəza strukturları kimi tarazlıqdan uzaq şəraitdə meydana çıxan fəza-zaman strukturları.

Ehtimalın paylanması funksiyası – sistemlərin və ya ansamblada paylanmış başlanğıc şərtlərin nisbi çəkirlərini təsvir edən funksiya.

Entropiya – sistemin halının, qapalı sistem üçün monoton artan və termodinamik tarazlıqda ən böyük qiymətinə çatan, funksiyası.

Fəza fəzası – koordinatları, təkamül edən sistemdəki hissəciklərin mövqeləri və sürətləri olan abstrakt nöqtələr fəzası.

Fraktal – Benoit Mandelbrot-un, ölçüsü tam ədəd olmayan riyazi obyektlər üçün, yaratdığı termin. Məsələn, ölkənin qeyri-müntəzəm sahil xəttinin uzunluğu, onu ölçmək üçün istifadə edilən miqyas azaldıqca artır, beləliklə, sahil xətti birlə iki arasında ölçüyə malik olur.

Friedmann Kainatı – genişlənən Kainatın, böyük miqyaslarda bircins və izotrop olması fərziyyəsinə əsaslanan, kosmoloji modeli.

Gelfand fəzası – ümumiləşmiş funksiyaları və onların təsir «ctdiyi» yaxşı funksiyaları əhatə edən funksiya fəzası.

Hamiltonian – dinamik sistemin, koordinatlar və impulsar vasitəsilə ifadə olunmuş, enerjisi.

Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik prinsipi – kvant hissəciyinin koordinat və impulsunun eyni zamanda təyin olunma dəqiqlikləri hasilinin Planck sabiti ilə məhdudlanması. Koordinat və ya impulsun birinin tam dəqiqləşdirilməsi digərinin tam qeyri-müəyyənliyinə gətirir.

Hilbert fəzası – kvadratlarının inteqralı müəyyən və sonlu olan funksiyalar fəzası. Bu, ənənəvi kvant mexanikası üçün çərçivə kimi istifadə edilmiş funksiya fəzasıdır. Sonradan klassik mexanika və statistik mexanikaya da tətbiq edilmişdir.

H-teorem – qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklərdən ibarət seyrək qazların təkamülündə birhissəcikli paylanma funksiyasını dx ində saxlayan müəyyən bir funksiyanın (H-funksiya) zamana görə monoton dəyişməsi barədə Boltzmann müddəəsi.

Xaos – yaxın traektoriyaları zaman keçdikcə eksponensial qaydada bir-birindən uzaqlaşan sistemlərin davranışı.

İnteqrallanmayan sistem – qarşılıqlı təsirdə olmayan hissələr sisteminə gətirilə bilməyən, qarşılıqlı təsirdə olan sistem. Belə çevrilmə mümkün olan halda sistem inteqrallanan olur və hərəkət tənlikləri asanca həll edilir.

KAM nəzəriyyəsi – İnteqrallanmayan sistemlər sinfinin dinamik davranışını təsvir edir. Sistemin enerjisi artdıqca xaotik davranış daha üstün olur.

Kinetik nəzəriyyə – maye və ya qaz halında olan sistemlərin termodinamik və köçürmə xassələrinin hissəciklərarası qarşılıqlı təsir baxımından öyrənilməsi.

Klinamen – maddi hərəkətin əvvəlcədən ciddi müəyyən edilmiş təkamüldən sapmasını izah etmək üçün təsadüf elementinə ehtiyacın olması haqqında Epicurus-un irəli sürdüyü ideya.

Kobud paylaşdırma – dinamikanın faza fəzasının sonlu oblastları üzrə ortalanması.

Laplace iblisi – Laplace tərəfindən düşünülmüş və dəqiq başlanğıc şərtləri bildikdə Kainatın dəqiq gələcək təkamülünü hesablamaq qabiliyyətinə malik olan varlıq.

Loschmidt-in sürətləri döndərmə paradoksu – Boltzmann müddəasına qarşı qoyulan arqument: qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklər sistemində hərəkət tənlikləri dönən olduğu üçün, sistemdəki bütün sürətlərin istiqamətini əksinə döndərsək sistemin halının zamana görə istiqamətlənmiş bütün funksiyaları özünü əks tərzdə aparmalı idi.

Lyapunov qüvvəti – xaotik sistemdə qonşu trayektoriyaların bir-birindən eksponensial uzaqlaşma sürəti.

Markov prosesi – halın gələcək təkamülünün yalnız mövcud haldan asılı olduğu proses. Kəsilməz zamanlı sistemlər üçün bu, prosesin zamanca lokal olması, yəni heç bir yaddaş effektinin olmaması deməkdir.

Məxsusi hal – verilmiş operatorun təsiri ilə müəyyən ədədə vurulmaqla özünə keçən hal.

Məxsusi qiymət – məxsusi hala uyğun operatorun təsirindən sonra məxsusi halın vurulduğu ədəd.

Newton dinamikası – klassik fizikanın nüvəsini təşkil edən təkamül qaydaları. Kvant erasına qədərki determinizm dövründə inanırdılar ki, bu qaydalar bütün fiziki gerçəkliyin əsasında durur.

Özünütəşkil – bifurkasiya nöqtəsində meydana çıxan həllər arasında ehtimal qanunları ilə müəyyən edilən seçim. Tarazlıqdan uzaq şəraitdə özünütəşkil mürəkkəbliyin artmasına gətirir.

Perron-Frobenius operatoru – diskret zamanlı sistemlərdə (diaqramlarda) ehtimal paylanması üçün zamanca təkamül operatoru.

Planck erası – Kainatın Böyük Partlayışdan dərhal sonrakı dövrü; təbiətin h , c və G kimi üç fundamental sabiti ilə müəyyənləşdirilən Planck miqyasları ilə xarakterizə olunur.

Poincare-nin təkrarlanma teoremi – zamana görə təkamül prosesində qapalı sistemin, bütün hissəciklərin koordinat və sürətlərinin qiymətləri ilə təyin edilən hər bir halının istənilən qədər dəqiqliklə təkrarlanması barədə müddəa.

Poincare rezonansları – sərbəstlik dərəcələri arasında rezonans nəticəsində, sifra gedən məxrəclər hesabına dağılan ifadələrə gətirən, əlaqə. Rezonanslar hərəkət tənliklərinin həllini qeyri-mümkün edə bilər.

Rezonans – sistemdəki iki tezliyin nisbəti rasional ədəd olduğu halda meydana çıxan gücləndirici interferensiya.

Ritz-Rydberg prinsipi – spektral xətlərin tezliyinin iki enerji səviyyəsi arasındakı fərq kimi göstərilə bilməsi.

Sərbəstlik dərəcəsi – sistemin fəzadakı vəziyyətini müəyyən etmək üçün tələb olunan müstəqil dəyişənlərin sayı. Üçölçülü fəzada olan sərbəst hissəcik üç sərbəstlik dərəcəsinə malikdir.

Spektrə ayrılma – verilmiş funksiya fəzasında operatorun öz məxsusi funksiya və qiymətləri vasitəsi ilə ifadə edilməsi.

Termodinamik limit – sistemin hissəciklərinin sayı (N) və həcmi (V) istənilən qədər böyük, $C = N/V$ konsentrasiyası isə sonlu və sabit qalmaqla alınan limit.

Termodinamika – sistemin makroskopik xassələrini və onların bir-biri ilə əlaqələrini, bunun əsasında duran dinamikaya baxmadan öyrənən elm sahəsi.

Termodinamikanın ikinci qanunu – izolə edilmiş sistemin entropiyasının zaman keçdikcə yalnız azala və ya sabit qala bilməsi prinsipi.

Turing strukturları – kimyəvi sistemlərdə reaksiya və diffuziya proseslərinin qarşılıqlı təsirindən yaranan strukturlar; onlar dissipativ strukturlara misaldır.

Ümumiləşmiş funksiya – Dirac-ın delta-funksiyasının daxil olduğu riyazi obyektlər sinfi. Ümumiləşmiş funksiya kəsilməz riyazi funksiya deyil; o, kəsilməz funksiyalara necə təsir etməsi ilə təyin olunur.

MÖVZU GÖSTƏRİCİSİ

- Allah: və Böyük Partlayış, 173;
determinizm üçün tələb olunan
ilahi nəzər nöqtəsi, 38;
determinist yolla Kainatı idarə
edən kimi, 11, 12; -in iradəsini
oxuyan kimi elm, 7
- Alper, Ralph A., 174
- Ansambllar: kanonik ansambl, 77;
səviyyəsində həll edilən xaos
problemi, 87; təyin edilməsi, 31-
32; tarazlıqda paylanma
funksiyası, 76-77; faza fəzasında
təsviri, 33, 34; ilə müqayisə edilən
trayektoriyalar, 82, 83, 87; -a
dalğa funksiyalarından keçid,
131; dayanıqsız sistemlər üçün, 81
- Antoniou, Ioannis, 169
- Antropie prinsip, 15-16
- Arnold, Vladimir Igorevich, 41
- Atomizim, 9-10, 127
- Atomlar, -in Bohr nəzəriyyəsi, 132-
33, 145
- Azadlıq: -a əsaslanan kimi
demokratiya, 17; və Qərb
ənənəsində determinizm, 6; -in
Einstein tərəfindən inkarı, 13;
haqqında Epicurus, 10; ilə
əlaqədar zaman, 58
- Baker çevrilməsi (diaqramı), 96-105,
97; vasitəsilə tarazlığa yanaşma,
102; və Bernoulli diaqramı, 90, 91;
ilə müqayisə edilən Bernoulli
diaqramı, 97-98, 103-4; -ni təsvir
etmək üçün Bernoulli sürüşməsi,
99; xaosik və determinist kimi, 101;
üçün məxsusi funksiya və
qiymətlər, 103; üçün fərdi və
statistik təsvirin ekvivalentliyinin
pozulması, 103; dönən kimi, 101,
102; üçün ədədi modelləşdirilmə,
98; üçün Perron-Frobenius
operatoru, 103; -ndə rekurrentlik,
99-101; -ndə spektral təsvir, 103;
-nin ardıcıl təkrarlanması, 98-99,
100; ilə əlaqədar zaman
paradoksu, 103; zamanca dönən
kimi, 101, 103
- Bakteriya, 161
- Başlangıç şərtlərə həssaslıq, 30, 37, 90
- Bell, John, 51
- Belousov-Zhabotinski reaksiyası,
66-67
- Benard dayanıqsızlığı, 158, 175
- Bergson, Henri, 13, 14, 59, 72
- Bernoulli diaqramı, 83-88, 84; -
ında zaman oxu, 90, 96; -nin
ümumiləşdirilməsi kimi Baker
çevrilməsi, 96; ilə müqayisə edilən
Baker çevrilməsi, 97-98, 103-4;
xaotik sistemin təsviri kimi, 89-90;
təkamül operatoru, 93; dönməyən
kimi, 96; üçün paylanma
funksiyasının modelləşdirilməsi,
86; üçün trayektoriyaların
modelləşdirilməsi, 85

- Bernoulli polinomları, 93-94
 Bernoulli sürüşməsi, 90, 99, 101
 Beşinci Solvey Fizika Konfransı, 150
 Bərpa, 4
 Biebracher, C. K., 71
 Bifurkasiya nöqtəsi, 66, 67, 69
 Bifurkasiyalar: xaosik davranışda, 68; silsiləsi ilə gedən bizim Kainat, 72; çəngəl bifurkasiyası, 68, 69; müxtəliflik və yeniliyin mənbəyi kimi, 70; simmetriyanın pozulmasının mənbəyi kimi, 69; ardıcıl, 69-70, 70
 Biologiya: -da struktur formalaşmasında zaman oxu, 71; Darwin təkamülü, 19, 20, 183; -da təkamüllərin müxtəlifliyi, 161-62; özünə bənzər molekullar yaradan biomolekullar, 159. *habelə bax*: həyat
 Bircins paylanma, 93
 Biristiqamətli zaman. *Bax*: zaman oxu
 Bohm, Arno, 142
 Bohr, Niels: enerji səviyyələri vasitəsilə təsvir edilən atom, 132, 145; tamamlama prinsipi, 74, 150; kvant mexanikasının Kopenhagen yozumu, 50, 150, 156-57; kvant sıçrayışları haqqında, 138; kvant fizikası üçün terminologiya haqqında, 150
 Boltzmann, Ludwig: ansambllar barəsində, 76; fizikada təkamül yanaşması, 2, 19-21; H-funksiya və H-teorem, 20; dönməyənlik və dinamik sistemlər haqqında, 27; dönməyənliyin illüziya olması haqqında, 2, 19, 21; termodinamikanın ikinci qanununun ehtimalı xarakteri barədə, 20, 22; ikikameralı model, 22-23, 76, 91
 Boltzmann-ın H-funksiyası, 20
 Boltzmann-ın H-teoremi, 20
 Bondi, Hermann, 166, 173
 Borel, Emile, 29
 Borges, Jorge Luis, 187
 Born, Max, 26, 40, 134, 135, 187
 Böyük Partlayış, 172-75; Kainatın başlanğıcı kimi, 6, 163-64; Kainatın «müftə səhər yeməyi» kimi doğulması, 175, 179; -dan sonrakı ilk saniyə, 175; -la bağlı dayanıqsızlıq, 6; dönməyən kimi, 166; onbeş milyard il əvvəl baş vermiş, 173; relikt qara cisim şüalanması, 131, 174, 176 ikili korrelyasiyalar, 121, 122, 122
 Böyük Poincare sistemləri. *Bax*: inteqrallana bilməyən böyük Poincare sistemləri
 BPS. *Bax*: inteqrallana bilməyən Böyük Poincare Sistemləri
Brief History a/Time (Hawking), 7, 15, 170
 Bronowski, Jacob, 7
 Brout, Robert, 178, 179
 Brown hərəkəti, 42, 43, 43
 Calvino, Italo, 184
 Clausius, Rudolf Julius, 18-19
 Cohen, I. Bernard, 55
 Çəngəl bifurkasiyası, 68, 69
 Dağılma, 14
 Dağılma fraqmenti, 122, 122, 124
 Dalğa funksiyaları: determinist və ehtimalı kimi, 15; -nın ödədiyi determinist, zamanca dönən tənlilik, 5; təkamül rəqsi hədlərin superpozisiyası kimi, 138—39; Hilbert fəzasından kənara genişlənmə, 144-45; -nin qarışığı, 47, 48, 144; -ni təsvir etmək üçün tələb olunan operator formalizmi, 133; -nin fiziki yozumu, 47; və ehtimal amplitudları, 136; terminlərində daxil edilən rezonanslar, 53-54; ilə təsvir edilən kvant sisteminin hali, 136, 143; ilə müqayisədə trayektoriya, 47; ansambllara keçid, 131. *Habelə bax*: dalğa funksiyasının reduksiyası (kollapsı); Schrodinger tənliyi; superpozisiya
 Dalğa funksiyalarının qarışığı, 47, 48, 144

- Dalğa funksiyasının reduksiyası (kollapsı): kvant mexanikasının klinamen variantı ilə, 52; müəyyən edilməsi, 48; -na gətirən ölçmə problemi, 157; və kvant paradoksu, 130; kvant mexanikasının realist yozumunda, 54
- Dalğa vektorları: müəyyən edilmiş, 116; və Fourier çevrilməsi, 117; və statistik təsvirdə qarşılıqlı təsir effektləri, 120-25; -nın saxlanması qanunu, 121; üçün kvant-mexanika tamamlama, 147, 148; ilə koordinatların əvəz edilməsi, 121; sərbəst hissəciyin hərəkətinin statistik təsvirində, 118; sifra yaxınlaşan dalğa vektoru, 124
- Dalğa vektorlarının saxlanması qanunu, 121
- Darwin, Charles, 2, 19-21
- Davamlı qarşılıqlı təsirlər, 113-14; -i təsvir etmək üçün lokallaşmamış paylanma funksiyaları, 114, 115, 117, 125, 148, 155-56; -də diffuz hədlər, 44-45, 54; nəticəsində Hilbert fəzasının tərk edilməsi, 96, 114; makroskopik sistemlərdə, 115; davamlı səpilmə, 148-49; termodinamik sistemlərdə, 115-16, 148
- Davies, Paul C. W., 48-49, 165
- Dayanıqlı hal nəzəriyyəsi, 173-74; ilə əlaqədar çətinliklər, 174; və Böyük Partlayış, 166
- Dayanıqlıq: statistik səviyyədə dayanıqlığa gətirən trayektoriya səviyyəsində dayanıqsızlıq, 87; dayanıqlı dinamik sistemlər, 30—31, 36, 55; və struktur tarazlıqdan kənar şəraitdə, 63
- Dayanıqsız sistemlər: -də dönən və dönməyən proseslər arasında aradan qalxan ziddiyyətlər, 28; üçün statistik səviyyədə ifadə edilmiş dinamika, 73-74; üçün yeni xassə üzə çıxaran ansambllar, 81; üçün klassik və kvant mexanikasının genişləndirilməsi, 89; üçün Hilbert fəzasından kənar çıxan, 93, 95-96, 114; ehtimallı kimi, 35, 37; -in kvant nəzəriyyəsi, 132; -də başlanğıc şərtlərə həssaslıq, 37; -in statistik təsviri, 109; və biristiqəməllili zaman, 2—3; dayanıqsız tarazlıq, 30, 30. *Habelə bax*: dayanıqsızlıq
- Dayanıqsızlıq: -la bağlı Böyük Partlayış, 6; -la bağlı Kainatın doğulması, 179; və klassik dinamikanın dirçəlişi, 31; klassik fizikada, 4, 54, 107; üçün genişləndirilməsi tələb olunan klassik fizika, 46; və tarazlıqdan olan uzaqlıq, 66; dinamik sistemlərdə, 55, 127-28; nəticəsində pozulan fərdi və statistik təsvirlərin ekvivalentliyi, 35; indeterminizm, 56; təbiət qanunlarında, 4, 155, 189; və fiziki anlayışların sərhədləri, 29; kvant fizikasında, 4, 53-54, 107; təsvirin statistik səviyyəsində, 155; -la bağlı zaman, 175; -in pozduğu zaman simmetriyası, 5, 37-38; statistik səviyyədə dayanıqlığa gətirən trayektoriya səviyyəsində, 87. *Habelə bax*: dayanıqsız sistemlər
- De Donder, Theophile, 60, 61
- De Moivre, Abraham, 5
- De Sitter kainatı, 179
- Delta-funksiyalar, 33, 94-95, 117, 124, 143
- Democritus, 9
- Demokratiya, ilə münaqişədə olan elm, 17
- Descartes, Rene, 16, 184-85
- Destruktiv interferensiya, 119
- Determinist trayektoriyalar, 41
- Determinist xaos: üçün Bernoulli diaqramı, 83—88; hərəkət tənliklərində, 31; -un göstəricisi kimi eksponensial dağılıma, 84; kvant mexanikasında tətbiq oluna bilməyən kimi, 53; -də fərdi və statistik təsvirlərin ekvivalent olmaması, 94-95; üçün gətirilməz ehtimal təsvirləri, 45; dünyasında

Laplace iblisi, 38; və Poincare
inteqrallana bilməyənliyi, 112; -un
statistik təsviri, 105
Determinizm; determinist baker
çevrilməsi, 101; ideallaşdırmaya
əsaslanan, 29; klassik və kvant
fizikasında, 136-37; yaradıcılıq,
etika və, 6; dilemması, 1, 6, 14;
üçün tələb olunan ilahi nəzər
nöqtəsi, 38; riyaziləşdirilən, 14; -
dən uzuqlaşan, 131 -32; təcil və
qüvvə arasında determinist
xarakterli Newton münasibəti,
110; Socratic-ə qədərki fəlsəfədə,
9-10; Qərb fəlsəfəsində, 11
Determinizmin dilemması, 1, 6, 14
Diffuziya: davamlı qarşılıqlı təsirdə
diffuz hədd, 44—45, 54; kvant
mexanikasında diffuz hədd, 53--
54; ilə bağlı entropiya, 41;
dönməyən kimi, 3, 105; -ya gətirən
rezonanslar, 42-44, 43, 126, 155;
termodiffuziya, 26, 27, 35, 64; -ya
xaos şəraitində gətirən
trayektoriyalar, 41
"Dilemma of Determinism"
(James), 14
Dinamik ayrılma, 102
Dinamik qruplar, 104, 142, 171
Dinamik sistemin hali, 31, 32
Dinamik sistemlər: dinamika
korrelyasiyaların tarixçəsi kimi,
122; dinamikanın ümumi
problemi, 40; -də dayanıqsızlıq,
55, 127-28; inteqrallana bilən
sistemlər, 39, 44, 54, 108, 131,
144; və dönməyənlik, 27-28,
126; əsasən inteqrallana
bilməyən kimi, 39; əksərən
inteqrallana bilməyən böyük
Poincare sistemləri kimi, 127;
də keçmiş və gələcək, 102; fəza
fəzasında təsvir, 31, 32, 110;
Poincare-yə görə, 38-41; -də
rekurrentlik, 99-101; çox böyük
zamandan sonra başlanğıc hala
qayıtma, 23; problemlərin
statistik səviyyədə həlli, 91-
96, 113, 125-28; dayanıqlı, 30-

31, 36, 55; termodinamik sistem
daxilində, 184. *Habelə bax:*
inteqrallana bilməyən sistemlər;
dayanıqsız sistemlər
Dinamikanın ümumi problemi,
40
Dirac, Paul, 134, 163
Dirac-ın delta funksiyaları, 33, 94-
95, 117, 124, 143
Diskret spektr, 133, 141
Dissipativ strukturlar: üçün tələb
olunan zaman oxu, 73; müəyyən
edilməsi, 66; -in meydana
çıxması, 128; və tarazlıq, 67; -in
pozduğu fəza və zamanın
bircinsliyi, 69; və dönməyənlik,
73, 183; -ı təsvir etmək üçün yeni
kinetik nəzəriyyə, 126;
tarazlıqdankənar fizikada, 3, 27;
və Poincare-nin rekurrentlik
teoremi, 101; -də özümləşkil, 70
Dönən proseslər. *Bax:* zamanca
dönən proseslər
Dönməyənlik: bütün proseslərin
cəmi istiqamətdə yönəlməsi, 102,
104-5; yalnız ölçülməz dərəcədə
uzun zamanda meydana çıxan kimi,
23; üçün guya cavabdeh olan
yaxınlaşma, 23, 24, 81, 91, 105;
Böyük Partlayış dönməyən kimi,
166; və Kainatın doğulması, 181,
183; kimyəvi reaksiyalarda, 158-59,
183; -yin qurucu rolu, 3, 26, 27, 57;
və dissipativ strukturlar, 73, 183; və
dinamik sistemlər, 27—28, 126; -yin
meydana çıxması, 96, 105; və
entropiya, 17, 18-19; --yin yaratdığı
entropiya, 61; cazibə enerjisinin
çevrilməsi dönməyən kimi, 179;
illüziya kimi, 2, 19, 21, 165; təbiət
qanunlarında, 38, 96; uzun yaddaş
effektlərinə gətirən, 125; ilə əlaqəli
həyat, 63; və Lyapunov zamanı, 105;
makroskopik fizikada, 45; -yin
nəticəsi kimi materiya, 159; ölçmədə,
49, 53; təbiətdə, 18;
tarazlıqdankənar fizikada, 3; -dən
qaynaqlanan yeni hadisələr, 3; və
müşahidəçi, 5; -də nizam və
nizamsızlıq, 26; -də keçmiş və

- gələcək qeyri-simmetrik kimi, 28; davamlı qarşılıqlı təsirlərdə, 114; -yi təsvir etmək üçün ehtimallar, 35; təşkilin səviyyəsinin inkişafı, 162; kvant fizikasında, 53, 138; -yin gerçəkliyi, 3, 25, 27, 165; və termodinamikanın ikinci qanunu, 21; üçün statistik təsvir, 81, 108, 109; haqqında elm kimi termodinamika, 17; keçici kimi, 62
- Dualizm: Descartes-in, 16; kvant mexanikasnda, 50, 53, 130, 131; Weinberg-ə görə, 15
- Duhem, Pierre-Maurice, 90
- Eddington, Arthur Stanley, 19, 59, 137
- Ehrenfest, Paul və Tatiana, 74, 81, 101
- Ehtimal amplitudları: terminlərində həll edilmiş dinamika problemləri, 47; ehtimallara imkan verən, 54, 132, 149; dalğa funksiyasının fiziki yozumunda, 47; -ni təsvir edən kvant halı, 143; -ni təsvir edən Schrodinger tənliyi, 137; -na uyğun gələn dalğa funksiyası, 136
- Ehtimal paylanması. *Bax:* paylanma funksiyaları
- Ehtimallar: fizikanın təməl obyektləri kimi, 74; təbiətin təməl xassəsi kimi, 44; və Kainatın doğulması, 181; diffuz hərəkətlər üçün, 42, 43; vasitəsilə təsvir edilən təkamül xüsusiyyətləri, 55; məlumatsızlığın ifadəsi kimi, 34; rasionallığın genişləndirilmiş forması kimi, 155; fizikanın fundamental qanunlarında, 16-17; təbiət qanunlarında, 5, 29, 35, 38, 44, 132, 189; makroskopik fizikada, 45; ölçmədə, 15; tarazlıqdankənar sistemlərdə, 68; -in müəyyən edilməsində keçmiş və gələcəyin görüşü, 137; -a imkan verən ehtimal amplitudları, 54, 132, 149; ehtimal inqilabı, 55, 74, 132; kvant fizikasında, 5, 51-52, 54, 132, 149; termodinamikanın ikinci qanunu ehtimallığının nəticəsi kimi, 20, 22; -in subyektiv yozumu, 4, 16; zamanca simmetrik kimi, 137; trayektoriyalar və, 34; keçid ehtimalları, 75; dayanıqsız sistemlər üçün, 35. *Habelə bax:* statistik səviyyədə təsvir
- Einstein, Albert: kosmologiyası, 176, 177; ansambllar haqqında, 32, 34, 76; azadlıq barəsində, 13; fundamental sahə tənlikləri, 176; ümumi nisbilik, 46; Godel-in kosmoloji modeli barədə, 165, 186, 187; qravitasiya haqqında fəza-zamanın əyriliyi kimi, 175—76; kütlə-energi tənliyi, 175; kvant mexanikası barədə, 5, 135, 151; elm haqqında, 185; elmi determinizm haqqında, 11; xüsusi nisbilik, 167; və Spinoza, 176; zaman haqqında illüziya kimi, 1, 58, 165, 187; zamanın yavaşması haqqında, 169; və vahid sahə nəzəriyyəsi, 182; təbiətin vəhdəti barədə, 16
- Ekizlər paradoksu, 169-70, 171; -nün qeyri-relyativist analoqu, 160
- Ekspensial parçalanma, 139, 142
- Elektromaqnit dalğaları, 112
- Elementar zərrəciklər, 115, 140
- Elementar zərrəciklərin fərqləndirilə bilməməsi prinsipi, 140
- Elm: -in klassik ideali, 154; -də yaradıcılıq, 188; -lə demokratiya münasibətində olan kimi, 17; Descartes elm barədə, 185; təbiətlə dialoq kimi, 57, 60, 153; Einstein elm haqqında, 185; Freud elmin tarixi barədə, 70; Hawking elmin gələcəyi barədə, 7; monolit olmayan kimi, 17; -dən ayrılmış kimi fəlsəfə, 7, 14, 72. *Habelə bax:* biologiya; təbiət qanunları; fizika
- Elmi qanunlar. *Bax:* təbiət qanunları

- Empire of Chance, The* (Gigerenzer və başqaları), 4
- Enerji: -nin böhran qiymətində meydana çıxan xaos, 41; -nin saxlanması, 76-77; Einstein-in kütlə-enerjisi tənliyi, 175; tarazlıq halında sərbəst enerji, 63, 64; maddəyə çevrilən cazibə enerjisi, 174, 179; tam enerji, 76, 175
- Enerji səviyyələri: atomun Bohr təsvirində, 132-33, 145;
- Enerjinin saxlanması prinsipi, 76-77
- Entre le Temps et l'Eternite* (Priogine və Stengers), 154
- Entropiya: zaman oxu kimi, 19; -nin partlayışı noticəsində Kainatın doğulması, 180; Boltzmann modelində, 76; ilə bağlı diffuziya, 41; entropiya zamanı, 161; ilə bağlı zaman axını, 159; və informasiya, 24; və dönməyənlik, 17, 18—19; dönməyən proseslər yaranma kimi, 61; həyat mənfə entropiya axını ilə qidalanan kimi, 63; ilə əlaqəli materiya, 180; qeyri-relyativist əkizlər paradoksunda, 160; müşahidənin artırdığı, 50; -dan yaranan nizamlanma, 26; termodinamikanın ikinci qanununda, 18-19, 60
- Entropiya zamanı, 161
- Epicurus: -un atomizmi, 9-10; klinamen anlayışı, 10-11, 52, 55, 127; insan azadlığı haqqında, 10
- Ermitt operatorlar, 138
- Espagnat, Bernard, 53
- Etika: və determinizm, 6; ilə əlaqəli zaman, 58
- Everett, Hugh, 49
- Eynizamanlılıq, 168
- Ədəbiyyat, mövzusu kimi zaman, 187
- Əlaqə: korrelyasiyalar və insan, 79; -nin vasitəsi kimi ölçmə, 150
- Əlaqə sabiti, 140
- Ətalət, 110
- Faza fəzası: müəyyən edilməsi, 31; -nin mikrostrukturunu nəzərə alan paylanma funksiyası, 95; -nda təsvir edilən dinamik hal, 31, 32, 110; -nda təsvir edilən ansambllar, 33, 34, 76; -na rezonansların təsiri, 41; -nda klassik sistemin hali, 136; -nın mikrostrukturunu nəzərə alan statistik təsvir, 105
- Faza keçidləri, 45, 116
- Fenomenologiya sahəsinə qoşulmuş zaman oxu, 2, 3
- Feynman, Richard, 47, 147
- Fəlsəfə: -dən ayrılmış kimi elm, 7, 14, 72; zamana diqqət verilən kimi, 13; üçün zaman, 58; Qərb fəlsəfəsinin uğursuz tarixi, 11
- Fəza-zaman: -la uyuşan zaman oxu, 172; -da konform intervallar, 178; Friedmann fəza-zaman intervalı, 177, 178; -ın ayrılığı ilə bağlı qravitasiya, 175-76; və maddə Einstein baxımında, 176; Minkowski fəza-zaman intervalı, 167, 171, 172, 176, 177, 178; -ın kvantlanması, 178; -ı xarakterizə edən Riemann həndəsəsi, 176; xüsusi nisbilik nəzəriyyəsində, 167; materiyaya çevrilən, 180
- Fəzalaşmış zaman, 58-59, 165-66, 171-72
- Fierz, Markus, 50, 53
- Fizika: -ya Boltzmann-ın təkamülçü yanaşması, 2, 19-21; yararlılıq oblağı, 29; Galiley fizikası, 1, 167; ilə təsvir edilən ideallaşdırılmış dünya, 26; -da operator formalizmi, 92; -nin fundamental obyekt kimi ehtimallar, 74; -nin fundamental qanunlarının yenidən formalaşdırılması, 16—17, 108; -da fundamental rol oynayan rezonans, 42; statistik mexanika, 46, 92, 95; üçün zaman, 58. *Habelə bax*: klassik fizika; kosmologiya; Newton fizikası; kvant fizikası; nisbilik nəzəriyyəsi; termodinamika
- Fluktuasiyalar: Böyük Partlayışda, 175, 180; tarazlıq şəraitində, 63; çoxsaylı kimi, 162;

- tarazlıqdankənar sistemlərdə, 64,
68—70; -in mənsəyi, 72; urna
modelində, 75, 76
- Fock, Vladimir A., 170
- Fokker-Planck tənlikləri, 43
- Fotonlar, 172, 174
- Fourier çevrilməsi, 117, 118, 147
- Fourier sırası, 116-17
- Fractallar, 38
- Freud, Sigmund, 70
- Friedmann, Alexander, 176, 177
- Friedmann-ın fəza-zaman intervalı,
177, 178
- From Being to Becoming* (Prigogine),
27,74
- Funksional analiz, 38
- Funksional fəzalar, 38, 46, 92
- Funksiya və struktur, 62
- Galiley fizikası, 1, 167
- Galiley invariantlığı, 110
- Gelfand fəzası, 96
- Gell-Mann, Murray, 24, 28-29,
51,52
- Genişlənən koordinat, 97, 99
- Geoloji proseslər, -in zaman
miqyası, 161
- Gələcək: xaotik və sadə dinamik
sistemlərdə, 102, 104; ümumi
gələcək, 162; tikinti kimi, 106;
Schrodinger tənliyinin formal
həllində, 142; -i yaradan, öyrənən
və öyrənilən arasında qarşılıqlı
təsir, 153; təcil və qüvvə
arasındakı Newton
münasibətində, 110; müəyyən
edilməmiş kimi, 183; təbiətdə
zaman oxlarının istiqaməti kimi,
102; və keçmiş dönməyən
proseslərdə qeyri-simmetrik kimi,
28; və keçmişin görüşü
ehtimalların müəyyən
edilməsində, 137; fizikada
fərqləndirilməyən gələcək və
keçmiş, 2, 138; klassik cəldə
əvvəlcədən xəbər verilən, 4; xüsusi
nisbilik nəzəriyyəsində, 168
- Ghirardi, Giancarlo, 52
- Gibbs, Josiah Willard, 32-34, 61, 76
- Gigerenzer, Gerd, 4
- Glansdorff, Paul, 64
- Godel, Kurt, 165, 186, 187
- Gold, Thomas, 166, 173
- Gould, Stephen J., 161
- Gunzig, Edgar, 180
- Günəş şüalanması, 18
- Hadisələr, 5
- Hamarlıq, tələb edən statistik
təsvirlər, 87—88
- Hamilton operatoru (H): -nun
məxsusi qiymətləri, 133, 138, 140-
42; kvant nəzəriyyəsində, 133; və
Schrodinger tənliyi, 136; kvant
fizikasının statistik ifadəsində, 144
- Hamiltonian (H): klassik fizikada,
133; müəyyən edilməsi, 110; -in
funksiyası kimi paylanmış
funksiyası, 76-77, 117; -dan
alınmış hərəkət tənlikləri, 110-11; -
dan asılı olan zaman axını, 159;
ermit kimi, 138; -dakı potensial
enerji cüt-cüt qarşılıqlı təsirlərin
cəmi kimi, 120; kvant fizikasında,
138; xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi və
H vasitəsilə təsvir, 170-72
- Harmonik ossilyatorlar, 39, 102
- Harmoniyalar, 40, 123
- Hartle, James B., 51
- Hawking, Stephen W.: antropik
prinsip barədə, 15-16; elmin
gələcəyi barədə, 7; xəyali zaman
haqqında, 58, 164, 170; zamanın
fəzalaşması, 165; sinquyarlıqla
başlayan kainat barədə, 180
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, 13
- Heidegger, Martin, 10, 13, 14
- Heisenberg, Werner, 134, 157
- Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik
prinsipi, 74, 135-36, 143
- Heraclitus, 10
- Herman, Robert, 174
- Hərəkət tənlikləri: üçün Bernoulli
diaqramları, 83-90; hərəkətin
kanonik tənlikləri, 110-11, 112;
determinist kimi, 31; sərbəst
hissəcik üçün, 118; qüvvə və təcili
əlaqələndirən Newton qanunu, 11,
109-10; sahə ilə qarşılıqlı təsirdə

- olan ossilyator üçün, 112; üçün periodik diaqramlar, 82—83; ilə təsvir edilən zamanca dönən proseslər, 18
- Həyat:** və dissipativ strukturlar, 66; -in izahında ikilik, 15; üçün lazım olan dinamik dayanıqsızlıq, 128; mənfə entropiya axımından qidalanan kimi, 63; -in tarixi xarakteri, 161-62; -la bağlı dönməyənlik, 3, 63; üçün lazım olan tarazlıqdan kənar proseslər, 3, 26-27; üçün lazım olan inteqrallana bilməyən sistemlər, 39
- Həyəcanlanmış atomlar,** -in parçalanması, 138-39, 139, 142-43
- Hilbert fəzası:** dinamik qrup kimi, 104; -ndan kənar dinamik qruplar, 142; -nda Hamiltonianın məxsusi qiymətləri, 138; -nda Liouville operatorunun məxsusi qiymətləri, 113; -ndan kənar fərdi və statistik təsvirlərin ekvivalentliyinin pozulması, 96; -ndan kənara dalğa funksiyasının genişləndirilməsi, 144-45; funksional analizdə, 46; -na daxil olmayan ümumiləşmiş funksiyalar, 92; -ndan kənara çıxma, 93, 95-96, 114, 116, 117, 126, 181; -nda operator hesabı kimi kvant mexanikası, 95; uyğunlaşdırılmış 96; və Baker çevrilməsi ilə spektral təsvir, 103, 104
- Homer,** 186-87
- Hoyle, Fred,** 166, 173
- Hubble, Edwin Powell,** 176
- Husserl, Edmund,** 13
- X - sirlər,** 130
- Xaos:** Baker çevrilməsi xaotik kimi, 101; -la bağlı bifurkasiya, 68; xaotik sistemlər, 30-31; klassik fizikada, 4; -un ümumi təyini üçün şərtlər, 156; nəticəsində indeterminizm, 56; və fiziki anlayışların həddü, 29; tarazlıqdan kənar fizikada, 3; üçün dinamikanın ehtimalı qanunları, 104; problemi ansambl səviyyəsində həll edilən kimi, 87; -a rezonansların təsiri, 41; -a gətirən rezonanslar, 112; -un sadələşdirilmiş nümunəsi, 35-37; qanunlarının statistik xarakteri, 37; -da pozulan zaman simmetriyası, 105; -un təsviri üçün trayektoriyaların adekvat olmaması, 90-91, 105. *Habelə bax:* determinist kaos; kaosun qanunları
- Xaosun qanunları,** 89—106; haqqında danışmağın mümkünüyü, 87, 104
- Xaotik diaqramlar,** 81—88; -li təkamülün iki növü, 102. *Habelə bax:* Baker çevrilmələri; Bernoulli diaqramları
- Xətti tarazlıqdan kənar termodinamika,** 63
- Xəyali zaman,** 58, 164, 170
- Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi,** 167—72; -ndə gələcək və keçmiş, 168; və Hamiltonian təsviri, 170-72; -nin fəzalaşmış zamana gətirməməsi, 171-72; zamanın yavaşması, 169, 170; ekizlər paradoksu, 169-70, 171
- İdarəetmə,** 154
- İki cismin hərəkəti,** 102, 156
- İkiqat korrelyasiyalar,** 121, 122, 122
- Iliad (Homer),** 186
- İmkanlar (ehtimallar),** 5, 29
- İndeterminizm:** antropomorfik kimi, 14; realizmlə uzlaşan kimi, 132; dayanıqsızlıq və kaosun nəticəsi kimi, 56; fizikanın fundamental qanunlarında, 16; tələb edən dayanıqsız sistemlərin statistik təsviri, 109
- İnteqrallana bilən sistemlər,** 39, 44, 54, 108, 131, 144
- İnteqrallana bilməyən Böyük Poincare Sistemləri (BPS)** -ndə kəsilməz spektr, 133-34; müəyyən edilməsi. 111; və determinist kaos,

112; -nə misal, 111-12; kvant mexanikasında ifadəsi, 148; üçün ekvivalent olmayan fərdi və statistik təsvir, 106; kimi dinamik sistemlərin əksəriyyəti, 127; özü-özünü ölçən kimi, 151; -ndə rezonanslar, 141-42

İnteqrallana bilməyən sistemlər, 39-41; -i tələb edən zaman oxu, 39; -də dinamik parçalanma, 102; kimi bir stəkan su, 78; -in KAM nəzəriyyəsi, 41; -in səbəbi olan rezonanslar, 39-40, 109, 111; istisna deyil, qayda kimi, 108; -ə uyğun gələn termodinamik limit, 45. *Habelə bax*: inteqrallana bilməyən Böyük Poincare Sistemləri

İnterferensiya hədləri, 52

İnterferensiya, konstruktiv və destruktiv, 119

İşıq, sürəti, 105-6, 167-68

James, William, 1, 13, 14

Jordan, Pascual, 134, 175

Kainat. *Bax*: kosmologiya

KAM nəzəriyyəsi, 41

Kanonik ansambl, 77

Kanonik hərəkət tənlikləri, 110-11, 112

Kant, Immanuel, 4, 10

Keçici qarşılıqlı təsirlər: müəyyən edilməsi, 114; -də nəzərə alınmayacaq qədər kiçik diffuziya hədləri, 44; -i təsvir etmək üçün lokallaşmış paylanma funksiyaları, 114, 115; kimi səpilmə, 115, 127; təbiətə xas olmayan kimi, 127

Keçid ehtimalları, 75

Keçmiş: xaos və sadə dinamik sistemlərdə, 102, 104; -ə doğru yayılan dalğa funksiyalarının kompleks qoşması, 137; Schrodinger tənliyinin formal həllində, 142; və gələcək dönməyən proseslərdə qeyri-simmetrik kimi, 28; və gələcəyin ehtimalların müəyyən edilməsində

görüşü, 137; fizikada fərqləndirilməyən gələcək və, 2, 138; -i yaradan, öyrənən və öyrənilən arasında qarşılıqlı təsir, 153; Newton-un təcil və qüvvə arasındakı münasibətində, 110; klassik elmdə keçmişin bərpa edilməsi, 4; xüsusi nisbilik nəzəriyyəsində, 168

Kəpənək effekti, 30-31

Kəsilməz spektr, 133-34, 141

Kiçik məxrəclər problemi, 40

Kimya, tarazlıqdankənar, 26, 27, 67-68

Kimyəvi reaksiyalar: tarazlıqda, 65-66; -də dəyişən zaman axımı, 159; -də dönməyənlik, 158-59, 183; -ı təsvir etmək üçün qeyri-xətti tənliklər, 66; rəqsi reaksiyalar, 66, 127, 175; sintetik kimya, 71; -də zamanın istiqamətlənməsi, 18

Klassik fizika: -ya daxil edilən kaos, 4; determinist kimi, 136-37; dayanıqsız sistemlərə genişləndirilmiş, 89; -nın genişləndirilməsi, 46, 109; -nın fundamental anlayışları, 109-10; -də H Hamiltonian-ı, 133; natamam kimi, 108; -də dayanıqsızlıq, 4, 54, 107; -də dönməyənlik, 49; -də təbiət qanunları, 4, 138, 184; -də sadələşmə realizm, 135; -də öngörənlik, 4; -də ehtimallar, 5; -nin doğruluğunu məhdud-laşdıran kvant mexanikası, 107; reduksionist kimi, 114; -nın sərhədlərini göstərən nisbilik nəzəriyyəsi, 107; -ya qeyri-müəyyənlik daxil edən rezonanslar, 44; -də statistik təsvirlər, 108; -də zaman, 59, 60; -də zamanca dönən proseslər, 28. *Habelə bax*: Newton fizikası; trayektoriyalar

Klinamen, 10-11, 52, 55, 127

Kobud paylaşdırma, 24, 51, 52, 53, 101-2

Kolmogorov, Andrei N., 41

- Konform faktor, 178-79, 181
 Konform zaman, 178
 Konfrans, Statistik Mexanika və Termodinamika barədə, 61-62
 Konservativ sistemlər, -in dinamikası, 101
 Konstruktiv interferensiya, 119
 Kopenhagen yozumu, 50, 150, 156-57
 Korrelyasiyalar: ikiqat korrelyasiyalar, 121, 122, 122; və toqquşmalar, 78, 79, 80; -la müqayisə edilən rabitə, 79; -in yaranması, 122, 147; müəyyən edilməsi, 78, 120-21; -in dağılması, 79, 80, 122, 147; -in tarixi kimi dinamika, 122; -in dinamikası, 79; -in təkamülü, 123; -in axını, 78-80, 80, 88; -in vakuumu, 121, 122, 122, 123, 123
 Korrelyasiyalar vakuumu, 121, 122, 122, 123, 123
 Kosmologiya: antropik prinsip, 15—16; Kainatın dayanıqsızlıqla əlaqədar doğulması, 179; Kainatın entropiyanın partlayışı nəticəsində doğulması, 180; kosmoloji prinsip, 177; Einstein-ə görə, 176, 177; Meta-kainat, 164, 181; -da müşahidəçi, 51; ilkin Kainat yüksək dərəcədə təşkil edilmiş kimi, 28; mümkün dünyalar, 59, 72; standart model, 164, 174-75, 177; Kainatımızda bifurkasiyalar silsiləsi, 72; Kainat təkamül edən kimi, 4, 155; niyə heç nə olmayan yerdə nəşə bir şey yaranıb, 175.
Habelə bax: Böyük Partlayış;
 Kosmoloji prinsip, 177
 Köçürmə hadisələri, 18, 105
 Kristallar, 62
 Kronecker, Leopold, 84
 Kvant fizikası: mütləq kimi, 28-29; ənənəvi kvant fizikasının antropomorfik xüsusiyyətləri, 151; -nın əsas fərziyyələri, 47; -nın əsas nəticələri, 149; -nın əsas problemi, 133, 140; -na daxil edilmiş xaos, 4; ilə məhdudlaşdırılan klassik mexanika, 107; -na daxil edilən klinamen anlayışı, 52; tamamlama prinsipi, 74, 150; Kopenhagen yozumu, 50, 150, 156-57; determinist kimi, 136—37; -nda kəsilmə və kəsilməz spektrlər, 133, 141; -nda dualizm, 50, 53, 130, 131; -nda məxsusi funksiya və qiymətlər, 95, 133; -nın dayanıqsız sistemlərə genişləndirilməsi, 89, 131; -ni əslində heç kimin anlamadığı barədə Feynman-ın fikri, 47; -nda təbiətin fundamental qanunu, 136; -nda Hamiltonian, 138; Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik prinsipi, 74, 135-36, 143; tamamlanmamış kimi, 130-31; -nda dayanıqsızlıq, 4, 53-54, 107; -nda dönməyənlilik, 53, 138; -nda təbiətin qanunları, 4, 136, 138, 184; -nın yararlılıq həddləri, 44, 54; -nın əhəmiyyəti və miqyası barədə müzakirə, 46-47, 129-30; mikro və makrohallar, 24; ilə müqayisə edilən Newton dinamikası, 129; -nda qeyri-lokallıq, 130; -nda müşahidəçinin rolu, 5, 48—55, 131, 151; Hilbert fəzasında operator hesabı kimi, 95; -nda operator formalizmi, 92, 133, 134; -nın uğurları, 46; -nda ehtimallar, 5, 51-52, 54, 132, 149; -nın realist yozumu, 54, 131; -nın yenidən formalaşdırılması, 46-55, 129-51; -nda rezonanslar, 53-54, 146, 148; kvant sisteminin həli, 136, 143; və termodinamika, 131; -na daxil edilən zaman axını, 5; -nda zamanca dönmə proseslər, 28; -nda fərdi təsvirdən statistik təsvirə keçid, 143-46; -nda inkar edilən biristiqamətli zaman, 2.
Habelə bax: kvant paradoksu; dalğa funksiyaları
 Kvant paradoksu, 48, 130; və kvant fizikasının statistik ifadəsi, 144; zaman paradoksu və, 5, 48, 138, 156, 157

Kvant sıçrayışları, həyəcanlanmış atomların, 138-39, 139
 Kvant sisteminin hali, 136, 143
 Kvant vakuumu, 175, 179, 180

Qara cismin şüalanması, 131, 145, 174, 176

Qarşılıqlı təsirlər: müəyyən edilməsi, 147; öyrənmə və öyrənilən arasında, 153; relyativistik sistemlərdə, 172; -in təsir etdiyi statistik təsvir, 120-25. *Habelə bax*: davamlı qarşılıqlı təsirlər; keçici qarşılıqlı təsirlər

Qazların kinetik nəzəriyyəsi: Boltzmann-ın iki bölməli modeli, 22-23, 76, 91; barədə Poincare, 35; -ndə ehtimal, 35; yeni yavaşmanın xüsusi hali kimi, 125

Qeyri-lokal təsvir, 37, 42, 96

Qeyri-lokalhq, kvant nəzəriyyəsində, 130

Qeyri-müəyyənlik, rezonansların klassik mexanikaya daxil etdiyi, 44

Qocalma, 78, 125

Qravitasiya: fəza-zamanın ayrılığı kimi, 175-76; -nin kvantlanması, 178

Qravitasiya sahələri: hesabına yaranan kimi, maddə, 179, 180, 181; -nin təsirinə məruz qalan zaman axımı, 159-60, 160

Qruplar, dinamik, 104, 142, 171

Lagrange, Joseph-Louis, 28, 58

Landau, Lev Davidovich, 164

Laplace, Pierre-Simon de, 11, 14, 25, 38, 106

Leclerc, Yvor, 7

Leibniz, Gottfried von, 12, 185

Lemaitre, Georges-Henri, 176, 177

Lewis, Gilbert N., 61

Lifschitz, Evgeny Mikhailovich, 164

Liouville operatoru: müəyyən edilməsi, 113; -nun məxsusi qiymətləri, 113, 118, 120, 149; sərbəst hissəcik üçün, 118; ilə müqayisə edilən Hamilton operatoru, 136; -nun spektral

təsviri, 113, 125, 149; vasitəsilə statistik təsvir, 118—19

Liouville tənliyi, 113, 136, 144, 146

Lokallaşmamış paylanma funksiyaları: müəyyən edilməsi, 114; və Hilbert fəzasından kənara çıxma, 116, 117; davamlı qarşılıqlı təsirlər üçün, 114, 115, 117, 125, 148, 155-56; ilə təsvir edilən davamlı toqquşma, 149; kvant fizikasında, 146

Lokallaşmış paylanma funksiyaları: müəyyən edilməsi, 114; keçici qarşılıqlı təsirlər üçün, 114, 115

Lorentz, Hendrik Antoon, 134

Lorentz çevrilməsi, 167, 168

Loschmidt, Joseph, 21, 23

Lucretius, 10, 55

Lyapunov qüvvəti: Baker

çevrilməsində, 97-98, 101;

Bernoulli diaqramında, 84, 87, 90,

93; vasitəsilə qonşu

trayektoriyaların müqayisəsi, 105

Lyapunov zamanı, 105

Maddə: ilə tarazlıqda olan qara cisim şüalanması, 131, 145, 174; tarazlıqda kor kimi, 127; zaman oxu olmayanda kor kimi, 3; cazibə sahəsinin hesabına yaranan kimi, 179, 180, 181; ilə bağlı entropiya, 180; şüur və, 16, 49; tarazlıqdan uzaqda yeni keyfiyyətlər qazanan, 65, 67; dayanıqlı hal nəzəriyyəsində kəsilməz yaranması, 173; fəza keçidləri, 45, 116; -nin xassələrini anlamaq üçün tələb olunan ehtimallar, 47-48; dönməyənliyin nəticəsi kimi, 159; və Einstein-ə görə fəza-zaman, 176; maddənin halları, 45, 116; fəza-zamanın maddəyə çevrilməsi, 180

Maddənin halları, 45, 116

Maxwell, James Clerk: ansambllar barədə, 76; və kinetik nəzəriyyə, 125; biliklərin yeni növü haqqında, 4, 5

Maxwell-Boltzmann paylanması, 20

Makrohəllər, 24

- Makroskopik sistemlər, 6, 45, 115, 128, 162
- Mandelbrot, Benoit, 38
- Markov prosesi, 76
- Memarlıq, 60
- Meneceus, 10
- Meta-kainat, 164, 181
- Məxrəclər, kiçik məxrəclər problemi, 40
- Məxsusi funksiyalar: Baker çevrilməsi ilə, 103; statistik və kvant mexanikasında mərkəzi yeri, 95; müəyyən edilməsi, 92; təkamül operatorunun, 93; Hamilton operatorunun, 133; Liouville operatorunun, 113, 118; operatorların, 134-35; operatorun spektral təsvirində, 94-95; kvant fizikasının statistik ifadəsində, 144
- Məxsusi qiymətlər: Baker çevrilməsi ilə, 103; statistik və kvant mexanikasında mərkəzi yeri, 95; müəyyən edilməsi, 92; təkamül operatorunun, 93; Hamilton operatorunun, 133, 138, 140-42; Liouville operatorunun, 113, 118, 120, 149; operatorun spektral təsvirində, 94-95; kvant fizikasının statistik ifadəsində, 144
- Məxsusi qiymətlərin müəyyən edilməsi, 138
- Məxsusi qiymətlərin tapılması üçün həyəcanlanma metodu, 140-42
- Məlumat: və entropiya, 24; -in qıtlığını ifadə edən ehtimallar, 34; əlavə məlumat verən ehtimal paylanmaları, 37; termodinamikanın ikinci qanunu məlumat çatışmazlığının nəticəsi kimi, 25-26
- Mikrohəllər, 24
- Mikrokanonik ansambl, 77
- Minkowski fəza-zaman intervalı, 167, 171, 172, 176, 177, 178
- Minkowski, Hermann, 165
- Minkowski və kuumu, 179
- Misra, B., 169
- Morfogenez, 68
- Moser, Jürgen Kurt, 41
- Müəyyənlik: -yin sonuna gəlib çıxmaq, 183; -lə bağlı olaraq zaman və yaradıcılığın inkarı, 184; -lə bağlı Descartes-in axtarışları, 184—85; qeyri-müəyyənlik daxil edən rezonanslar, 44
- «Müftə səhər yeməyi» modeli, 175, 179
- Mümkün dünyalar, 59, 72
- Mürəkkəbli: bioloji və kimyəvi strukturlarda, 71; -yin meydana çıxması, 128; tarazlıqdankənar sistemlərdə təkamül edən, 64; ilə bağlı dönməyənlik, 64
- Müstəvi dalğalar: müəyyən edilməsi, 116; -in superpozisiyası, 117, 118-19, 119, 157—58; -dan təşkil olunmuş kimi trayektoriya, 119
- Müşahidəçi: kosmologiyada, 51; müşahidə ilə artan entropiya, 50; -dən asılı olmayan kimi indeterminizm, 132; müşahidənin makroskopik xarakteri, 23; kvant fizikasında, 5, 48-55, 131, 151; -nin məlumatsızlığına əsaslanan termodinamikanın ikinci qanunu, 25; xüsusi nisbilik nəzəriyyəsində, 167, 169
- Nabokov, Vladimir, 154
- Nardone, Pasquale, 180
- Narlikar, Jayant Vishnu, 166, 178
- Needham, Joseph, 12
- New Physics, The: A Synthesis* (Davies), 48
- «New Refutation of Time, A» (Borges), 187
- Newton fizikası: mütləq kimi, 2, 28; -ndan kənara çıxmalar, 126; zamanın dönməsinə görə invariant olan hərəkət tənlikləri, 90; -nda universal kimi zaman axını, 160, 164, 170; -ndan kənara çıxma, 127; qüvvə və təcili əlaqələndirən qanun, 11, 109-10; -nin doğruluq sərhədləri, 44, 107-8; ilə müqayisə edilən kvant fizikası, 129; Descartes-in müəyyənlik axtarışlarının gerçəkləşdirilməsi kimi, 185; fəza və zaman birdəfəlik və əbədi verilən kimi, 164, 176; -

nda inkar edilən biristiqamətli zaman, 2. *Habelə bax*: klassik fizika

Nicolis, Gregoire, 71

Nietzsche, Friedrich, 14

Nisbilik nəzəriyyəsi: tərəfindən klassik mexanikanın hüdudlarının göstərilməsi, 107; və sonsuz sürətlər, 105; üçün zaman, 164—66; -ndə inkar edilən biristiqamətli zaman, 2. *Habelə bax*: ümumi nisbilik nəzəriyyəsi; xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi

Nizam: -in mənbəyi kimi zaman oxu, 26; nizamsızlıq mikroskopik sistemlərin təməlini təşkil edən kimi, 155; entropiya və, 26; -i təmin edən özünü-təşkil, 71-72. *Habelə bax*: entropiya; özünü-təşkil

Nizamsızlıq, mikroskopik sistemlərin təməlini təşkil edən kimi, 155

Odyssey (Homer), 186

Open Universe, The: An Argument for Indeterminism (Popper), 1, 14

Operator formalizmi, 92, 133, 134

Operatorlar: toqquşma operatorları, 124; tələb edən təsvir, 133; -in məxsusi funksiyaları, 134—35; təkamül operatoru, 93, 125-26, 142; ermit operatorlar, 138; -in fizikaya daxil edilməsi, 134;

operator formalizmi, 92, 133, 134; kvant fizikası Hilbert fəzasında operator hesabı kimi, 95. *Habelə bax*: Hamilton operatoru H ;

Liouville operatoru; Perron-Frobenius operatoru; operatorun spektral təsviri

Operatorun spektral təsviri: təkamül operatorunun, 125-26; Liouville operatorunun, 113, 125, 149; Perron-Frobenius operatorunun, 94-95, 96, 103, 104

Ossilyatorlar, harmonik, 39, 102

Ölçmə: potensial imkanın gerçəkləşməsi kimi, 48;

Kopenhagen yozumunda, 156-57; təbiətin fundamental təsvirində, 49; -də dönməyənlik, 49, 53; əlaqə vasitəsi kimi, 150; ehtimallı xarakteri, 15

Ölçmə alətləri, 51, 54, 150-51

Öncədən görülmə bilənlik: klassik elmdə, 4, 11; determinist xaosla, 38; kvant nəzəriyyəsinin öngörüm uğurları, 46; təbiətdə öncədən görülmə bilməyən yenilik, 72

Özlülük, 3, 17-18

Özünə bənzər molekullar yaradan biomolekullar, 159

Özünü-təşkil: dissipativ strukturlarda, 70; və tarazlıqdan uzaqlıq, 57; tarazlıqdankənar fizikada, 3, 27; üçün tələb olunan inteqrallana bilməyən sistemlər, 39; -lə təmin edilən nizam, 71-72; -lə müqayisə edilən texnologiya, 71-72; üçün tələb olunan zamanca istiqamət, 128

Parçalanma prosesləri: dayanıqsız hissəciklərin selində, 139-40; həyəcanlanmış atomların, 138-39, 139; eksponensial parçalanma, 139, 142; radioaktiv parçalanma, 17, 18; -ndən yaranmış kainatlar, 182

Parmenides, 10

Pauli, Wolfgang, 50, 53

Paylanma funksiyaları: -nin verdiyi əlavə məlumat, 37; və Bernoulli diaqramları, 86, 87-88; sıxlıq matrisi kimi, 143-44; ilə ifadə edilən ansambllar, 33; tarazlıqda, 76-77, 117; zamana görə təkamül, 112; -in inteqrallanması, 120-21; -nin təkamülünü müəyyən edən Liouville operatoru, 113; lokallaşmış, 114, 115; -nda nəzərə alınmış faza fəzasının mikrostrukturu, 95; və Perron-Frobenius operatoru, 87-88, 91, 94; kvant halı təsvirində, 143—44; -nin həllərində hamarlıq, 87—88; dinamik problemlərin statistik

- təsvirində, 91-96, 125-28; bircins paylanma, 93; Bernoulli polynomları kimi yazılmış, 93-94.
- Habelə bax:* lokallaşmamış paylanma funksiyaları
- Paylanmalar. *Bax:* ümumiləşmiş funksiyalar
- Penrose, Roger, 16, 130, 180n
- Penzias, Arno, 174
- Periodik diaqramlar, 82, 82-83
- Periodik funksiyalar, 116, 117
- Perron-Frobenius operatoru: Baker çevrilmələrində, 103; Bernoulli diaqramlarında, 83, 87-88, 91, 94,96
- Perron-Frobenius tənliyi, 88, 104
- Planck enerjisi, 178
- Planck erası, 178
- Planck, Max, 131, 145
- Planck miqyasları, 177-78
- Planck sabiti, 142, 145, 148, 177
- Planck uzunluğu, 177
- Planck zamanı, 177
- Plato, 11
- Plato, Jan von, 84
- Poincare, Henri: dinamik sistemlər arasında fərqləndirmə haqqında, 31; dinamik sistemlər barədə, 38—41; dönməyənliyin trayektoriya anlayışlarında izahı barədə, 21; sərbəst Hamiltonian-lar barədə, 111; dinamikanın ümumi problemi barədə, 40; qazların kinetik nəzəriyyəsi barədə, 35; termodinamika qanunları barədə, 55-56
- Poincare rezonansları. *Bax:* rezonanslar
- Poincare-nin rekurrentlik teoremi, 23, 39, 100-101
- Popper, Karl, I, 6, 14, 132
- Postmodern fəlsəfə, 14
- Radioaktiv parçalanma, 17, 18
- Rae, Alastair, 157
- Realizm: -lə uzlaşa bilən kimi indeterminizm, 132; klassik fizikanın sadələvh realizmi, 135; kvant nəzəriyyəsinin realist yozumu, 54, 131; dalğa funksiyasının reduksiyasının realist yozumu, 130; -in əsas çətinliyi kimi zaman və dəyişkənlik, 14
- Rekurrent münasibət, 91-92
- Rekurrentlik: Baker çevrilmələrində, 99-101; Poincare'-nin rekurrentlik teoremi, 23, 39, 100-101
- Rezonanslar, 39—44; nəticəsində qovuşqlar, 123-24, 124; klassik və kvant fizikasında, 129; -in təhlükə yaratdığı qurucu interferensiya, 119; korrelyasiyaların rəbitəni yaratması və pozması, 124; və diffuz hərəkət, 42—44, 43, 126, 155; -in təsirinə məruz qalan dinamik qruplar, 171; delta-funksiya vasitəsilə ifadə edilməsi, 124; -dən qaynaqlanan zaman axını, 159; fizikada fundamental rolu, 42; xaosa gətirən, 112; təhlükəli məxrəclərə malik hədlərə gətirən, 40, 124; BPS-də, 141-42; və inteqrallana bilməyənlik, 39-40, 109, 111; qeyri-lokal kimi, 42; ossilyatorun sahə ilə qarşılıqlı təsirində, 112; və həyəcanlanma metodu, 141; kvant fizikasında, 53-54, 146, 148; vasitəsilə əlaqələndən səs, 40; -in təsirinə məruz qalan statistik təsvir, 122-25; -in təsirinə məruz qalan müstəvi dalğaların superpozisiyası, 157-58; -in pozduğu zaman simmetriyası, 41, 44, 146-47; -in təsir göstərdiyi trayektoriyalar, 41; dalğa funksiyalarından ansambllara keçiddə, 131; və sürətlərin zamana görə paylanması, 79
- Rəqqas, 30
- Rəqs edən kimyəvi reaksiyalar, 66, 127,175
- Riemann həndəsəsi, 176
- Rimini, Emanuele, 52
- Ritz-Rydberg prinsipi, 132, 145, 146,149
- Robertson, Howard, 177

- Rosenfeld, Leon, 29, 50, 53
 Rubino, Carl, 186
 Schrodinger, Erwin, 63, 134
 Schrodinger tənliyi: -nin kompleks qoşması, 137; determinist və zamanca dönən kimi, 12, 15, 47, 137, 146; -nin formal həlli, 142; xüsusi törəməli differensial tənlik kimi, 136; ilə təsvir edilən ehtimal amplitudları, 137; və dalğa funksiyasının reduksiyası, 48, 130; ilə müqayisədə trayektoriyalar, 47; vasitəsilə təsvir edilən dalğa funksiyasının təkamülü, 15, 47, 136
- Schrodinger-in həyəcanlanma metodu, 140-41
- Schuster, Peter, 71
- Scott, Peter, 185
- Searle, John R., 14
- Səbəbiyyət, 4, 187
- Səpilmə, 114—15, 115; təbii dünyanı əks etdirməyən kimi, 127; davamlı səpilmə, 148—49; tipik təcrübələr ideallaşdırma kimi, 156
- Səpilmə mərkəzi, 115, 115
- Sərbəst enerji, tarazlıq şəraitində, 63, 64
- Sərbəst Hamiltonianlar, 111, 138, 140
- Sərbəst hissəcik, -lərin hərəkəti, 111, 118, 156
- Shimony, Abner, 53
- Sıxılan koordinat, 97, 99
- Sıxlıq matrisi, 47, 53-54, 143-44, 147-48
- Sınaq funksiyaları, 33
- Simmetriyanın pozulması. *Bax:* zaman simmetriyası
- Sinqulyar funksiyalar. *Bax:* ümumiləşmiş funksiyalar
- Sintetik kimya, 71
- Smoluchowski, Roman, 23
- Snow, C. P., 17
- Socratics-in sələfləri, 9-10, 17
- Sonsuz sürətlər, 105-6
- Spektral interval, 117
- Spektrlər, kəsilməz və diskret, 133, 141
- Spektroskopiya, 133, 144, 145
- Spinoza, Baruch, 16, 176
- Standart model (kosmologiya), 164, 174-75, 177
- Statistik mexanika, 46, 92, 95
- Stengers, Isabelle, 154
- Struktur: -lərin formalaşmasında zaman oxu, 71; və funksiya, 62; tarazlıqdankənar şəraitdə, 63. *Habelə bax:* dissipativ strukturlar
- Sudarshan, George, 142
- Superpozisiya: 48, 52; dövrü funksiyaların, 116; müstəvi dalğaların, 118-19, 119, 157-58; prinsipi, 149; dalğa funksiyalarının, 138-39
- Sürətin inversiyası, 80
- Sürətlər, sonsuz, 105-6
- Sürətləri döndərmə paradoksu, 21, 23
- Şəhərlər, 62
- Şüalanma: qara cismin, 131, 145, 174, 176; solar, 18
- Şüalanmanın sönməsi, 172
- Şüur və materiya, 16, 49
- Tagore, Rabindranath, 13
- Tam enerji, 76, 175
- Tamamlama prinsipi, 74, 150
- Tarazlıq: -a Baker çevrilməsi vasitəsilə yaxınlaşma, 102; maddə ilə tarazlıqda olan qara cisim şüalanması, 131, 145, 174; Boltzmann-ın iki bölməli modelində, 22-23; -a yaxınlaşma sürətinin hesablanması, 95; və korrelyasiya, 78, 80; -dan uzaqlıq və yaradıcılıq qabiliyyəti, 62; və dissipasiya, 67; -dan olan uzaqlıq təbiəti təsvir etmək üçün parametrikimi, 68; -da ansamblların paylanma funksiyası, 76-77; -da paylanma funksiyaları, 117; sərbəst enerji və, 63, 64; -la termodinamikanın məhdudlaşması, 61-62; -dan uzaqda yeni xassələr qazanan maddə, 65, 67; -da maddə kor kimi, 127; dayanıqlı və dayanıqsız,

- 30, 30-31; hissəciklər sistemində, 20; termodinamik tarazlıq, 60, 63, 66, 77, 113, 130; -a uyğun gələn bircins paylanma, 93; -dan uzaq kimi Kainat, 158. *Habelə bax*: tarazlıqdankənar proseslər
- Tarazlıq halının statistik termodinamikası, 77
- Tarazlıq termodinamikası, 88, 108
- Tarazlıqdankənar kimya, 26, 27, 67-68
- Tarazlıqdankənar proseslər: -də artan mürəkkəblik, 64; -in yaratdığı: effektlər, 158—59; tarazlıqdan kənar sistemlərdə flüktuasiyalar, 64, 68—70; -in yaranması müftə səhər yeməyi kimi, 175; -də qurucu kimi dönməyənlik, 26-27; dünyanı təsvir etmək üçün tələb olunan tarazlıqdan kənar fizika, 131; tarazlıqdan kənar şəraitdə struktur, 63; -də birstiqamətli zaman, 3
- Tarazlıqdankənar termodinamika: sahəsində De Donder-in işi, 61; xətti tarazlıqdankənar termodinamika, 63; və Bergson və Whitehead-in baxışları, 72
- Tarnas, Richard, 7
- Texnologiya, ilə müqayisə edilən özünütəşkil, 71-72
- Termodiffuziya, 26, 27, 35, 64
- Termodinamik budaq: bifurkasiya nöqtəsindən kənarında, 66, 67; müəyyən edilməsi, 66; çəngəl bifurkasiyasında, 68, 69
- Termodinamik limit, 45, 116, 126, 158
- Termodinamik sistemlər, 115-16, 148, 158, 184
- Termodinamik tarazlıq, 60, 63, 66, 77, 113, 130
- Termodinamika: tarazlıq halının statistik termodinamikası, 77; tarazlıq termodinamikası, 88, 108; -nın birinci qanunu, 180; trayektoriya təsviri ilə bir araya sığmayan kimi, 127; tarazlıq şəraiti ilə məhdudlaşdırılan, 61-62; tarazlıqdankənar termodinamika, 61, 63, 72; qanunları barədə Poincare, 55-56; və kvant nəzəriyyəsi, 131; dönməyən haqqında elm kimi, 17; dinamika ilə ənənəvi münəqişəsi aradan götürülmüş, 104. *Habelə bax*: entropiya; termodinamikanın ikinci qanunu
- Termodinamikanın birinci qanunu, 180
- Termodinamikanın ikinci qanunu, 19; klassik ifadəsi, 19, 60; ilə bağlı entropiya, 18-19, 60; və dönməyənlik, 21; -nun əsası kimi müşahidəçinin məlumatsızlığı, 25-26; ehtimalı kimi, 20, 22; qapalı olmayan sistemlər üçün, 61
- Təbiət: avtomat kimi, 12, 17; haqqında Çin və Yapon təsəvvürləri, 12-13; -in yaradıcılığı, 62; üçün tələb olunan dialektik baxış, 182; -in təsviri üçün parametrlər kimi tarazlıqdan olan uzaqlıq, 68; -də dualizm, 15, 16; -in dərk edilənliyi, 17, 29; -in «aralıq» təsviri, 189; -də bəşərin mövqeyi, 9; -in fundamental təsvirinə daxil edilmiş ölçmə, 49; -in mikroskopik təsviri, 127; barədə ondoqquzuncu əsr baxışları münəqişəli kimi, 17, 19; -in xassəsi kimi ehtimal, 44; -də dönməyən və dönməyən proseslər, 18; -lə dialoq kimi elm, 57, 60, 153; gələcəyi və keçmişi fərqləndirən yarımqrup kimi, 104; -in vəhdəti və müxtəlifliyi, 56; -də öncədən deyilə bilməyən yeniliklər, 72. *Habelə bax*: təbiət qanunları
- Təbiət qanunları: klassik fizikada, 4, 138, 184; -nın genişləndirilməsi kimi yaradıcılıq potensialı, 71; on səkkizinci əsrin qanunları determinist və zamana dönməyən kimi, 11; kvant fizikasının fundamental qanunları, 136; ilə təsvir edilən ideallaşdırılmış dünya, 26, 184; və

dayanıqsızlıq, 4, 155, 189; -da dönməyənlik, 38, 96; Poincare termodinamikanın qanunları haqqında, 55—56; -nda ehtimal, 5, 29, 35, 38, 44, 132, 189; kvant fizikasında, 4, 138, 184; aşağı enerjilər oblastında, 6; fizikanın fundamental qanunlarının yenidən formalaşdırılması, 16-17, 108; -nın statistik ifadəsi, 162; üçün zamanın qurucu rolu, 56; tarzıqdan uzaq şəraitdə, 65

Təkamül operatoru, 93, 125-26, 142
 Təkamül: üçün cavabdeh kimi yanaşma, 23, 24-25; Boltzmann-ın fizikada təkamülünə yanaşması, 2, 19-21; korrelyasiyaların təkamülü, 123; Darwin təkamülü, 19, 20, 183; ehtimal ifadələrində təsvir edilən, 55; paylanma funksiyalarının, 112; şərti kimi dinamik dayanıqsızlıq, 128; biologiyada çoxsaylı kimi, 161-62; fizikanın yenidən formalaşdırılmış qanunlarında, 16; xaoslu diaqramlı iki növü, 102; təkamül edən Kainat, 155
 Tərs Fourier çevrilməsi, 117
 Təsadüf. *Bax*: ehtimallar
 Təsadüfi hərəkət, 42, 43, 74
 «Təsadüfi» trayektoriyalar, 41
 Təsvir: fizikanın ənənəvi qanunlarında idəlləşdirilmə kimi, 26; təbiətin «aralıq» təsviri, 189; qeyri-lokal, 37, 42, 96. *Habelə bax*: təsvirin statistik səviyyəsi; təsvirin fərdi səviyyəsi
 Təsvirin fərdi səviyyəsi: statistik təsvirlə ekvivalentliyin pozulması, 35, 83, 87, 89, 94-95, 96, 103, 106, 155; klassik və kvant fizikasında, 129; inteqrallana bilən sistemlər üçün, 108; üçün tələb olunan operatorlar, 133; ilə müqayisə edilən, Liouville operatorları vasitəsilə statistik təsvir, 118-19; -nə ekvivalent kimi statistik təsvir, 34-35, 42, 81, 108; ilə uzlaşmayan kimi termodinamika, 127; kvant fizikasında statistik səviyyəyə

keçid, 143-46; düzgünlüyünün məhdud olması, 127
 Təsvirin statistik səviyyəsi: fərdi təsvirlə ekvivalentliyin pozulması, 35, 83, 87, 89, 94-95, 96, 103, 106, 155; xaoslu sistemlər üçün, 104; klassik və kvant fizikasında, 129; klassik dinamikada, 108; determinist xaos üçün, 105; -ndə həll edilən dinamik problemlər, 91-96, 113, 125-28; -nə ekvivalent kimi fərdi səviyyə, 34—35, 42, 81, 108; -ndə dayanıqsızlıq, 155; qarşılıqlı təsirin statistik təsvirə təsiri, 120-25; -ndə mənə daşıyan dönməyənlik, 81; dönməyən proseslər üçün, 81, 108, 109; təbiət qanunlarının, 162; su stəkanındakı molekulların, 78; üçün tələb olunan operatorlar, 133; koordinatların dalğa vektorları ilə əvəz edilməsi, 121; -nə rezonansların təsiri, 122-25; Perron-Frobenius operatoru vasitəsilə, 87-88; tələb edən termodinamika, 127; trayektoriya təsviri ilə müqayisə edilən, 118-19; -nə keçid kvant fizikasında, 143—46; dayanıqsız sistemlər üçün, 109
 Təşəkkül edən, 10
 Toqquşma operatorları, 124
 Toqquşmalar: Boltzmann-ın H-teoremində, 20; və korrelyasiyalar, 78, 79, 80; molekulların, 78; davamlı qarşılıqlı təsirlərdə, 115
 Toplular: -in xassəsi kimi qocalmaq, 78, 125; Boltzmann və Darwin-in tədqiqatları, 20; yalnız toplular səviyyəsində mənaya malik olan faza keçidləri, 45; -in fizikası, 35
 Toplular fizikası, 35
 Topluların dinamikası, 33
 «Possible and the Real, The» (Bergson), 14, 59

Toulmin, Stephen, 184-85

Trayektoriya təsviri. *Bax*: fərdi təsvirin səviyyəsi

Trayektoriyalar: və Bernoulli diaqramları, 83-88, 85; -in

kollapsı, 109, 119, 126; müstəvi dalğalardan quraşdırılmış kimi, 119, 157-58; və delta-funksiyalar, 33, 143; ansamblarla müqayisədə, 82, 83, 87; idcallaşdırma kimi, 37; xaos sistemləri təsvir etmək üçün uyğun gəlməyən kimi, 90-91, 105; -

la paradoksal görünən xaos qanunları, 104; -in məhdud yararlılıq oblastı, 44; Lyapunov qüvvətinin təyində, 105; hamar olmayan kimi, 87--88; bəsit anlayış kimi, 108; və ehtimal paylanması, 34; -a təsir edən rezonanslar, 41;

termodinamikanın ikinci qanunu və fərdi, 20; Perron-Probenius tənliliyinin xüsusi həlləri kimi, 88; -la müqayisədə üç cisim məsələsi, 31; zamanca dönən kimi, 21; ilə müqayisədə dalğa funksiyası, 47

Tryon, Edward, 175

Turing, Alan Mathison, 68, 69

"Ultrabənövşəyi" dağılmalar, 180—81

Urna modeli, 74-76, 75, 81

Uyğunlaşdırılmış Hilbert fəzası, 96

Üç cisim məsələsi, 31, 108

Üçqat korrelyasiyalar, 121

Ümumi nisbilik nəzəriyyəsi: -nə klassik mexanikanın genişləndirilməsi, 46; -nin tənliliklərindən kosmologiyaya keçid, 177; -ndə fəza-zaman intervalı, 176

Ümumi təkamül şərti, 65

Ümumiləşdirilmiş nəzəriyyə, 182

Ümumiləşmiş funksiyalar, 33;

Dirac-ın delta-funksiyaları, 33, 94-95, 117, 124, 143; funksional analizdə, 38; və Hilbert fəzasından kənara çıxma, 117; ilə müqayisədə

yaxşı funksiyalar, 94; Hilbert fəzasına daxil olmayan kimi, 92

Valery, Paul, 106

Von Neumann, John, 49, 51, 53, 130

Wahl, Jean, 11

Walker, Arthur, 177

Weber, Tullio, 52

Weinberg, Steven, 15, 48

Weyl, Hermann, 84

Wheeler, John Archibald, 164

Whitehead, Alfred North: elm və azadlıq arasında kompromis, 10; təbiətin yaradıcılıq qabiliyyəti barədə, 62; mövcudluq haqqında proses kimi, 59; təbiətin dərk edilmə bilənliyi barədə, 17, 29; və tarazlıqdan kənar termodinamika, 72; fəlsəfinin zamanı diqqət mərkəzinə qoyması barədə, 13; elm torundan sürüşüb keçmək haqqında, 189

Wigner, Eugene, 49

Wilson, Robert, 174

Yaxınlaşma: ilə izah edilməyən dissipativ strukturlar, 73; nəticəsində təkamül, 23, 24-25; vasitəsilə həll edilmiş problemlər, 52; nəticəsində dönməyənlik, 23, 24, 81, 91, 105

Yaxşı funksiyalar, 92, 94, 95, 96

Yaradıcılıq: təbiətin qanunlarının genişləndirilməsi kimi, 71; -in inkar edilməsi və müəyyənlik, 184; -a əsaslanan demokratiya, 17; və determinizm, 6; və tarazlıqdan uzaqlıq, 62; təbiətin yaradıcılığı, 62; elmdə, 188

Yaranma fraqmentləri, 122, 122, 124

Yararlılıq oblastı, 29

Yarımqruplar, 104, 142, 171

Yayıma, 79

Yayıma hadisəsi (diaqramı), 121, 121

Z - sirlər, 130

Zaman: əsas mövcudluq ölçüsü kimi, 13; -in başlanğıcı, 6, 163-64; -in inkarı, və müəyyənlik, 184; klassik elmdə, 59, 60; ümumi zaman tələb edən rabitə, 150; -in qurucu rolu, 56; realizmin çətinliyi kimi, 14; və determinizm dilemması, 1; meydana çıxan xassə kimi, 60; entropiya zamanı, 161; əbədi kimi, 166; -la əlaqədar olan etika, 58; -la əlaqəli azadlıq, 58; geoloji zaman miqyası, 161; tarixdən asılı kimi, 170; illüziya kimi, 1, 58, 165, 187; xəyali zaman, 58, 164, 170; -la əlaqələndirilən dayanıqsızlıq, 175; ədəbiyyatın mövzusu kimi, 187; diaqramlarda, 81; Meta-kainatın zamanı, 164; Newton-un təcil və qüvvə münasibətində, 110; barədə filosoflar, 58; zamanı diqqət mərkəzinə qoyan fəlsəfə, 13; barədə fiziklər, 58; mövcudluqdan əvvəl olan kimi, 163, 182; və gerçəklik bağlı kimi, 187; nisbilik nəzəriyyəsində, 164—66; eynizamanlıq, 168; fəzalaşmış zaman, 58-59, 165-66, 171-72; Newton fizikasında universal kimi, 160, 164, 170. *Habelə bax:* zaman oxu; təkamül; zaman axını; gələcək; keçmiş; fəza-zaman; zaman paradoksu; zaman simmetriyası

Zaman axını: hadisələrin tarixçəsindən asılı olan, 170; qlobal xassə kimi, 20; -na təsir edən qravitasiya sahəsi, 159-60, 160; kvant fizikasında daxil edilən, 5; qeyri-relyativist fizikada, 159; təşkil səviyyəsini inkişaf etdirən, 162; -nın mənbəyi kimi rezonanslar, 159; Newton fizikasında universal kimi, 160, 164, 170; dəyişən kimi, 159

Zaman oxu: hamısı eyni istiqamətə malik, 102, 162; -nu daxil edən Bernoulli diaqramları, 90, 96; -nun konstruktiv rolu, 3; şüurlu həyatı

nəzərə almaq üçün, 15; -nun inkarı, 1—2; tələb edən dissipativ strukturlar, 73; kimi entropiya, 19; əbədi kimi, 182; Kainatın təkamülündə, 4; müşahidənin ortaya qoyduğu fakt kimi, 74; anlayışına düşmənin münasibət, 61-62; makroskopik proseslərdə, 18; qeyri-tarazlıq fizikasında, 3; üçün tələb olunan inteqrallana bilməyən sistemlər, 39; -nun fizika tərəfindən inkarı, 2; kvant mexanikasının realist yozumunda, 54; fenomenologiya sahəsinə qovulmuş, 2, 3; nizamın mənbəyi kimi, 26; ilə uyğun olan fəza-zaman, 172; struktur formalaşmasında, 71; -nin subyektiv yozumu, 49

Zaman paradoksu: və Baker çevrilməsi, 103; müəyyən edilməsi, 2; -nun formalaşdırılması yaradıcılıq təzahürü kimi, 188; -nun nüvəsində şüur-maddə təmas müstəvisi, 49; ilə birlikdə həll edilən kvant paradoksu, 5, 48, 138, 156, 157

Zaman simmetriyası: -nı pozan kimi Bernoulli diaqramları, 90; -nın pozulması qlobal xassə kimi, 156; -nı pozan xaotik sistemlər, 105; -nı pozan kimi kompleks spektral təsvir, 126; -nı pozan dissipativ strukturlar, 69; -nı pozan dayanıqsızlıq, 5, 37-38; -nı pozan kimi ölçmə cihazı, 54, 150-51; -nı pozan qeyri-Newton prosesləri, 108, 124, 129; ehtimallar zamanca simmetrik kimi, 137; -nı pozan rezonanslar, 41, 44, 146-47; -nı pozan yarım-qruplar, 171

Zamanca dönmə proseslər: demək olar ki, dərkedilməz kimi, 154; kimi Baker çevrilməsi, 101, 103; klassik və kvant mexanikasında, 28; ə inama əsaslanan elm kimi klassik fizika, 107; və entropiya, 18-19; -i öyrənmək üçün tələb olunan dönməyənlik, 49; -la

müqayisə edilən dönməyən
proseslər, 17-18; fizikas: zaman-
mərkəzli fəlsəfəyə qarşı, 14; kimi
Schrodinger tənliyi, 137; zamanca
dönən dünya dərk edilə bilməyən

kimi, 153; kimi trayektoriya, 21;
zamanca dönən tənliyi ödəyən
dalğa funksiyası, 5
Zamanın «genişlənməsi»
(yavaşması), 169, 170
Zermelo, Ernst, 23

