

**E.Ə.MƏSİMOV, M.Ş.MƏMMƏDOV,
R.M.BAĞIROV**

ATOM FİZİKASINDAN MƏSƏLƏLƏR

*BDU-nun fizika fakültəsinin
elmi-metodiki şurasının qərarı
ilə çap olunur*

Bakı-2007

Prof.E.Ə.Məsimovun ümumi redaktorluğu ilə

539
+ M54

Rəy verənlər:

1. BDU-nun «Fizika Problemləri İnstitutu»nun direktoru, AMEA-nın müxbir üzvü, prof. **Hacıyev S.Ə.**
2. BDU-nun «Yarımkəçiricilər fizikası» kafedrasının professoru, f.r.e.d. **Salmanov V.M.**

E.Ə.Məsimov, M.Ş.Məmmədov, R.M.Bağirov.

ATOM FİZİKASINDAN MƏSƏLƏLƏR

Bakı, 2007, 223 səh.

266362

Dərs vəsaiti Universitetlərdə təhsilin bakalavr pilləsi üçün ümumi fizika kursunun «Atom fizikası» bölməsinə aid məsələ həllinə həsr olunmuşdur. Mövzular proqrama uyğun olaraq paraqraflara ayrılmış və hər paraqrafın əvvəlində mövzuya aid qısa nəzəri məlumat verilmiş, bir neçə tipik məsələnin həlli geniş izahla şərh edilmişdir.

Vəsait Universitet tələbələri üçün nəzərdə tutulmuşdur. Ondan müəllimlər və atom fizikası ilə maraqlanan geniş oxucu kütləsi də istifadə edə bilər.

Bakı Dövlət Universiteti
ELMİ KİTABXANA

M Ü N D Ə R İ C A T

Ön söz 4

I. Işığın kvant təbiəti

§ 1. Işıq kvantları. Fotoeffekt 5

§ 2. Işığın təzyiqi. Kompton effekti 19

§ 3. İstilik şüalanması qanunları 33

II. Atomun quruluşu

§ 4. Atomun modelləri 46

§ 5. Bor nəzəriyyəsinə görə hidrogen və hidrogenəbənzər atomlar 60

§ 6. Rentgen şüaları 77

III. Kvant mexanikasına giriş

§ 7. Zərrəciklərin dalğa xassələri 84

§ 8. Şredinger tənliyi. Zərrəciklərin potensial çuxurda hərəkəti 98

§ 9. Qələvi metalların spektri. İncə quruluş 112

§ 10. Atomun vektor modeli 122

IV. Yüklü zərrəciklər və atom xarici sahədə

§ 11. Yüklü zərrəciklərin xarici sahədə hərəkəti 130

§ 12. Atom xarici elektromaqnit sahəsində 144

V. Elementlərin dövri qanunu

§ 13. Atomun elektron quruluşu. Spektral termlərin hesablanması 157

Əlavələr 171

Məsələlərin cavabları. 192

Ədəbiyyat 222

Ön söz

«Atom fizikası» ümumi fizika kursunun yekunlaşdırıcı və olduqca vacib bölmələrindən biridir. Keçilmiş nəzəri materialların mükəmməl mənimsənilməsində laboratoriya işlərinin yerinə yetirilməsi ilə yanaşı məsələ həll etmək vərdişlərinin yaradılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Keyfiyyət və hesablama xarakterli məsələlərin təhlili və həlli nəzəri materialın yaxşı mənimsənilməsinə köməklik göstərməklə yanaşı, biliyin qiymətləndirilməsi üçün ən vacib meyardır.

Əfsuslar olsun ki, əcnəbi dillərdə fizikanın «Atom fizikası» bölməsinə aid yetərincə məsələ kitablarının olmasına baxmayaraq Azərbaycan dilində bu sahədə bir boşluq mövcuddur. Oxucuların diqqətinə çatdırılan bu vəsait məhz həmin boşluğu doldurmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur. Vəsait Təhsil Nazirliyi tərəfindən universitetlərdə təhsilin bakalavr pilləsi üçün təsdiq olunmuş «Atom fizikası» proqramı əsasında tərtib olunmuşdur. Hər bölmənin əvvəlində bölməyə aid qısa nəzəri məlumat və məsələ həllinə aid tipik nümunələr verilmişdir ki, bu da, müəlliflərin fikrincə, tələbələrin müstəqil işləməsi üçün çox yardımçı olacaqdır.

Vəsaitin əlyazmasının müzakirəsində yaxından iştirak etmiş BDU-nun «Maddə quruluşu» kafedrasının əməkdaşlarına, həmçinin onun kompüterdə yığılmasında göstərdiyi köməyə cürə G.Turabovaya müəlliflər öz dərin minnətdarlığını bildirir.

Əziz oxucu, Sizə təqdim olunan bu kitab ana dilimizdə atom fizikasıdan məsələ həllinə dair yazılmış ilk vəsait olduğundan heç şübhəsiz ki, qüsurlardan xali deyildir. Ona görə də öz təklif və iradlarını bizə bildirəcək hər bir oxucuya əvvəlcədən təşəkkürümüzü bildiririk.

I. İŞIĞIN KVANT TƏBİƏTİ

§1. İşıq kvantları. Fotoeffekt

1. Fotoeffekt üçün Eynşteyn düsturu

$$h\nu = A + E_k \quad \text{və ya} \quad \frac{hc}{\lambda} = A + E_k \quad (1.1)$$

Burada $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ - fotonun enerjisi, ν və λ - uyğun olaraq fotonun tezliyi və dalğa uzunluğu, A - elektronun metaldan çıxış işi, E_k - elektronun metalı tərk etdikdən sonra kinetik enerjisi, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$ Plank sabitidir.

Metalın üzərinə düşən fotonun enerjisi 5 keV-dən kiçik olduqda fotoelektronların sürəti $v \ll c$ şərtini ödədiyindən onların kinetik enerjisini

$$E_k = \frac{m_e v^2}{2} \quad (1.2)$$

düsturu ilə hesablamaq olar. Burada $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kq}$ elektronun sükunət kütləsi, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$ işığın boşluqda yayılma sürətidir.

Metalın üzərinə düşən fotonun enerjisi 5 keV-dən böyük olduqda relyativistik effektlər özünü büruzə verir. Ona görə də bu halda fotoelektronun kinetik enerjisi

$$E_k = (m - m_e)c^2$$

düsturu ilə hesablanır. Burada $m = m_e / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ elektronun relyativistik kütləsidir. $\beta = v/c$ əvəzləməsini aparsaq,

fotoelektronun relyativistik kinetik enerjisini aşağıdakı düsturla hesablamaq olar:

$$E_k = m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (1.3)$$

2. Fotoeffektin qırmızı sərhəddi, yəni fotoeffekt yarada bilən dalğanın uzunluğunun ən böyük, yaxud tezliyinin ən kiçik qiyməti

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A} \quad \text{yaxud} \quad \nu_{\min} = \frac{A}{h} \quad (1.4)$$

düsturu ilə ifadə olunur.

3. Fotonun kütləsi

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c \cdot \lambda} \quad (1.5)$$

düsturu ilə təyin olunur.

4. Fotonun impulsu

$$P = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (1.6)$$

düsturu ilə təyin olunur.

5. Zərrəciyin E tam enerjisi, E_0 sükunət enerjisi və impulsu P arasında əlaqə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$E = c\sqrt{m_0^2 c^2 + P^2}; \quad E^2 = E_0^2 + (P \cdot c)^2 \quad (1.7)$$

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr:

1. Gümüşün səthinə 1) dalğa uzunluğu 0,155 mkm olan ultrabənövşəyi şüalar düşükdə; 2) dalğa uzunluğu 1 pm olan qamma şüalar düşükdə fotoeffekt nəticəsində ondan qopan elektronların sürətini hesablayın:

Həlli:

Verilir: $\lambda_1 = 0,155 \text{ mkm} = 1,55 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

$$\lambda_2 = 0,01 \text{ \AA} = 10^{-12} \text{ m}$$

$v - ?$

Əvvəlcə metalın üzərinə düşən hər iki dalğaya uyğun fotonun enerjisini hesablayaq:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{düsturuna əsasən}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,55 \cdot 10^{-7}} = 1,28 \cdot 10^{-18} \text{ ; } \varepsilon_1 = 1,28 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-12}} = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ ; } \varepsilon_2 = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ C}$$

Göründüyü kimi

$$\varepsilon_1 = 1,28 \cdot 10^{-18} \text{ C} = \frac{1,28 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{19}} \text{ eV} = 8 \text{ eV} < 5 \text{ keV}$$

olduğundan fotoelektronun kinetik enerjisini (1.2) düsturu ilə hesablayacağıq. Birinci halda (1.1) düsturunu tətbiq etsək

$$\varepsilon_1 = A + \frac{m_e v_1^2}{2}; \quad v_1 = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_e}}$$

Gümüş üçün elektronun çıxış işinin $A = 4,28 \text{ eV} = 6,85 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ olduğunu nəzərə alıb hesablama apararaq:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(1,28 \cdot 10^{-18} - 6,85 \cdot 10^{-19})}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,595 \cdot 10^{-18}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} =$$

$$= \sqrt{1,2 \cdot 10^{12}} = 1,1 \cdot 10^6; \quad v_1 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ m/san}$$

İkinci halda

$$\varepsilon_2 = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ C} = \frac{1,99 \cdot 10^{13}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1,24 \text{ MeV};$$

$\varepsilon_2 > 5 \text{ keV}$ olduğundan fotoelektronun sürətini hesablamaq üçün kinetik enerjinin relyativistik ifadəsindən istifadə etmək lazımdır. Digər tərəfdən, hesablamalardan görüldüyü kimi bu halda fotonun enerjisi $\varepsilon_2 \gg A$ olduğundan Eynşteyn tənliyində A -nı nəzərdən atmaq olar:

$$\varepsilon_2 = m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} - 1 \right); \quad \sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}} = \frac{m_e c^2}{\varepsilon_2 + m_e c^2}$$

$$v_2 = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_e c^2}{\varepsilon_2 + m_e c^2} \right)^2} \quad \text{düstura daxil olan ifadələrin}$$

qiymətlərini nəzərə alıb hesablama apararaq:

$$\begin{aligned}v_2 &= 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^6}{1,99 \cdot 10^{-13} + 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}} \right)^2} = \\&= 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{81,9 \cdot 10^{-15}}{10^{-13} (1,99 + 0,819)} \right)^2} = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - 0,085} = \\&= 3 \cdot 10^8 \cdot 0,957 = 2,87 \cdot 10^8\end{aligned}$$

$$v_2 = 2,87 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$$

Cavab: 1) $v_1 = 1,1 \cdot 10^6 \frac{m}{san}$; 2) $v_2 = 2,87 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$

2. Fotoelementin üzərinə tezliyi $1,6 \cdot 10^{15}$ Hz olan işıq dalğası düşür. Ləngidici gərginliyin 4,1 V olduğunu bilərək fotokatodun səthindən qopan elektronların çıxış işini və fotoeffektin tezliyə görə qırmızı sərhəddini təyin edin.

Həlli:

Verilir: $U_c = 4,1V$

$$\nu = 1,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$A -? \quad \nu_{\min} = ?$$

Məlum olduğu kimi fotoelementdə cərəyanın kəsilməsi üçün katod və anod arasındakı elektrik sahəsinin gördüyü iş, fotoelektronun maksimal kinetik enerjisinə bərabər olmalıdır:

$$e \cdot U_e = \frac{m_e v_{\max}^2}{2}; \quad \text{Bunu fotoeffekt üçün Eynşteyn}$$

tənliyində nəzərə alsaq $h\nu = A + e \cdot U_e$;

$A = h\nu - e \cdot U_e$ olar. Buradan düstura daxil olan ifadələrin qiymətlərini yerinə yazıb hesablama aparmaq olar:

$$A = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 1,6 \cdot 10^{15} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,1 = 10,61 \cdot 10^{-19} - 6,56 \cdot 10^{-19} = 4,05 \cdot 10^{-19}; \quad A = 4,05 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h} = \frac{4,05 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 0,61 \cdot 10^{15} = 6,1 \cdot 10^{14}$$

$$\nu_{\min} = 6,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Cavab: $A = 4,05 \cdot 10^{-19} \text{C}$, $\nu_{\min} = 6,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

3. Seziyum fotoelementində katod üzərinə səthə normal istiqamətdə tezliyi $9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ olan monoxromatik dalğa düşür. Fotoeffekt zamanı metaldan qopan elektronun düşən şüaya qarşı hərəkət etdiyini bilərək, onun impulsunu və katodun aldığı impulsu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\nu = 9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

$$A = 3,15 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$P_e - ? \quad P_k - ?$$

Fotoeffekt üçün Eynşteyn tənliyinə əsasən metalı tərk edən elektronun maksimal kinetik enerjisini, impulsla kinetik

enerji arasındakı əlaqəni ifadə edən $E_k = \frac{P_e^2}{2m_e}$ düsturundan isə elektronun impulsunu təyin etmək olar.

$$h\nu = A + E_k; \quad E_k = h\nu - A;$$

$$P_e = \sqrt{2m_e \cdot E_k} = \sqrt{2m_e (h \cdot \nu - A)}$$

$$P_e = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{31} (6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 9 \cdot 10^{14} - 3,15 \cdot 10^{-19})} =$$

$$= \sqrt{18,2 \cdot 10^{-31} \cdot 2,817 \cdot 10^{-19}} = \sqrt{51,27 \cdot 10^{-50}} = 7,16 \cdot 10^{-25}$$

$$P_e = 7,16 \cdot 10^{-25} \frac{kq \cdot m}{san}$$

Fotoeffekt zamanı katodun aldığı impulsu qapalı sistemlər üçün impulsun saxlanması qanununa əsasən təyin etmək olar. Işıq kvantının katodla qarşılıqlı təsirinə qədər sistemin impulsu ehtiva kvantın impulsuna, qarşılıqlı təsirdən sonra isə fotoelektronun və katodun impulslarının vektorial cəminə bərabər olduğundan $\vec{P}_f = \vec{P}_e + \vec{P}_k$ yazmaq olar. Müsbət istiqamət olaraq işıq kvantının yayılma istiqamətini qəbul etsək, impulsun saxlanması qanununu skalyar formada aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$P_f = -P_e + P_k; \quad P_k = P_f + P_e = \frac{h\nu}{c} + P_e$$

$$P_k = \frac{6,63 \cdot 10^{34} \cdot 9 \cdot 10^{14}}{3 \cdot 10^8} + 7,16 \cdot 10^{-25} = 7,18 \cdot 10^{-25}$$

$$P_k = 7,18 \cdot 10^{-25} \frac{kq \cdot m}{san}$$

Cavab: $P_e = 7,16 \cdot 10^{-25} \frac{kq \cdot m}{san}$; $P_k = 7,18 \cdot 10^{-25} \frac{kq \cdot m}{san}$

4. Təklənmiş metal kürə üzərinə tezliyi $\nu = 1,4 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ olan monoxromatik ultrabənövşəyi dalğa düşdükdə fotoeffekt nəticəsində kürə 3,5 V maksimal potensiala qədər yüklənir. Elektronun metaldan çıxış işini təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\nu = 1,4 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

$\varphi_{\max} = 3,5 \text{ V}$

$A - ?$

Metal kürənin üzərinə ultrabənövşəyi şüalar düşdükdə fotoeffekt nəticəsində ondan elektronlar qopur və metal kürə müsbət yüklənir. Ona görə də yüklənmiş kürənin yaratdığı elektrostatik sahə metaldan qopan elektronlara tormozlayıcı təsir göstərir. Digər tərəfdən metaldan qopan elektronların sayı artdıqca kürənin müsbət yükü və buna uyğun olaraq onun yaratdığı elektrostatik sahənin potensialı da artır. Kürənin yüklənə biləcəyi maksimal potensial, elektronun kinetik enerjisinin, onun sahə ilə qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisinə bərabərliyi şərtindən tapıla bilər.

$$e \cdot \varphi_{\max} = E_k$$

Bunu fotoeffekt üçün Eynşteyn tənliyində nəzərə alsaq, elektronun metaldan çıxış işini təyin etmək olar.

$$h\nu = A + E_k ; \quad A = h\nu - E_k = h\nu - e \cdot \varphi_{\max}$$

$$A = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 1,4 \cdot 10^{15} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,5 =$$

$$= 9,28 \cdot 10^{-19} - 5,6 \cdot 10^{-19} = 3,68 \cdot 10^{-19}$$

Cavab: $A = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 2,3 \text{ eV}.$

Məsələlər

1.1. Natrium üçün fotoeffektin qırmızı sərhəddinin $\lambda_{\max} = 0,5 \text{ mkm}$ olduğunu bilərək elektronun metaldan çıxış işinin hesablayın.

1.2. Fotoeffektin qırmızı sərhədi 307 nm və fotoelektronun kinetik enerjisi 1 eV -a bərabər olarsa, fotonun enerjisinin hansı hissəsi fotoelektronun çıxış işinə sərf olunur?

1.3. Dalğa uzunluğu $\lambda_1 = 0,1 \text{ nm}$ olan rentgen şüası fotonunun enerjisi, dalğa uzunluğu $\lambda_2 = 0,4 \text{ mkm}$ olan görünən işıq fotonunun enerjisindən neçə dəfə böyükdür?

1.4. İnsan gözü uzunluğu $0,5 \text{ mkm}$ olan işıq dalğalarını qəbul edir. Bu dalğaların hər vahid zamanda özləri ilə daşdığı enerjinin $20,69 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ olduğunu bilərək, gözün torlu qişasına vahid zamanda düşən kvantların sayını tapın.

1.5. Sink lövhə üzərinə dalğa uzunluğu 220 nm olan monoxromatik dalğa düşür. Fotoelektronların maksimal sürətini təyin edin.

1.6. Müəyyən metalın üzərinə düşən ultrabənövşəyi şüaların dalğa uzunluğu nə qədər olmalıdır ki, fotoelektronların sürəti 10000 km/san olsun. Çıxış işini nəzərə almayın.

1.7. Dalğa uzunluğu 3 pm olan γ kvantların metaldan çıxardığı elektronların maksimal sürətini təyin edin (elektronun metaldan çıxış işini nəzərə almayın).

1.8. Enerjisi $1,53 \text{ MeV}$ olan γ kvantların metaldan çıxardığı elektronun sürətini təyin edin (elektronun metaldan çıxış işini nəzərə almayın).

1.9. γ kvantların metaldan çıxardığı elektronların maksimal sürəti $2,91 \cdot 10^8 \text{ m/san}$ olarsa, γ kvantların enerjisi nə qədər olar? (Elektronun metaldan çıxış işini nəzərə almayın).

1.10. Qırmızı işıq ilə işıqlandırılmış suyun altında gözünü açan insan hansı rəngi görər?

1.11. Günəşin, Ayın, planetlərin və ulduzların spektrləri eynidirmi ?

1.12. Nə üçün nəqliyyatda qadağan edici siqnal kimi qırmızı işıqdan istifadə edilir?

1.13. Nə üçün sərbəst elektron fotonu uda bilmir?

1.14. Nə üçün pəncərə şüşəsindən keçən ağ işıq öz tərkib hissələrinə ayrılır?

1.15. Suda qırmızı işığın dalğa uzunluğu, havadakı yaşıl işığın dalğa uzunluğuna bərabədirsə qırmızı işıq ilə işıqlandırılmış suyun altında gözünü açan insan hansı rəngi görər?

1.16. Pəncərə şüşəsi vasitəsilə infraqırmızı, ultrabənövşəyi və görünən işıq şüaları eyni cür mü udulur?

1.17. Litium üzərinə monoxromatik işıq ($\lambda = 3100 \text{ \AA}$)

düşür. Elektronların emissiyasının qarşısını almaq üçün 1,7 V-dan az olmamaqla ləngidici gərginlik tətbiq etmək lazım gəlir. Çıxış işini təyin edin.

1.18. Platin lövhə üzərinə ultrabənövşəyi işıq şüası düşür. Fotocərəyanı kəsmək üçün 3,7 V ləngidici gərginlik tətbiq etmək lazım gəlir. Platin lövhəni başqa metal lövhə ilə əvəz etdikdə ləngidici gərginliyin qiymətinin 6 V olduğunu bilərək bu metal üçün elektronların çıxış işini təyin edin.

1.19. Aşağıdakı hallarda fotonun enerjisini və impulsunu təyin edin:

- a) Spektirin görünən oblastı ($\lambda=0,6$ mkm);
- b) Dalğa uzunluğu $\lambda = 0,1$ nm olan rentgen şüaları;
- c) Dalğa uzunluğu $\lambda = 1$ pm olan qamma-şüaları üçün

1.20. Enerjisi elektronun sükunət enerjisinə bərabər olan fotonun dalğa uzunluğunu və impulsunu hesablayın.

1.21. Hansı temperaturalarda ideal qaz molekulunun orta istilik enerjisi, aşağıdakı şüalanmalar zamanı ayrılan fotonun enerjisinə bərabərdir?

- a) insan bədəninin şüalanması ($\lambda=10$ mkm),
- b) görünən işıq şüalanması ($\lambda=0,6$ mkm).

1.22. Daşdığı enerji 10^{-7} C, dalğa uzunluqları 10 mkm və 2 pm olan şüalanmalar neçə kvantdan ibarətdir?

1.23. Hansı temperaturda neytronun orta impulsu dalğa uzunluğu $\lambda = 0,1$ nm olan rentgen fotonun impulsuna bərabərdir?

1.24. Müəyyən metalın səthinə dalğa uzunluqları 279 nm

və 245 nm olan şüalar saldıqda fotoeffekt nəticəsində metalı tərk edən elektronlar üçün ləndici gərginliyin qiymətləri uyğun olaraq $0,64 \text{ V}$ və $1,26 \text{ V}$ olmuşdur. Elektronun yükünü və işığın boşluqda yayılma sürətini məlum hesab edərək, plank sabitini və elektronların metaldan çıxış işini təyin edin.

1.25. Başqa cisimlərdən təcrid olunmuş mis kürə $0,2 \text{ mkm}$ dalğa uzunluqlu monoxromatik işıq dəstəsi ilə şüalandırılır. Kürə öz fotoelektronlarını itirərək hansı maksimal potensiala qədər yüklənə bilər?

1.26. Müstəvi sink lövhə qısa dalğalı sərhəddi 30 mmk olan kəsilməz spektrə malik şüalarla işıqlandırılır. Əgər lövhə intensivliyi 10 V/sm olan ləngidici bircins sahəyə daxil edilmişdirsə, fotoelektronun lövhənin səthindən uzaqlaşma məsafəsini təyin edin.

1.27. Metalın səthi dalğa uzunluğu 3500 \AA olan işıq şüası ilə işıqlandırılır. Ləngidici gərginliyin müəyyən qiymətində fotocərəyan kəsilir. İşığın dalğa uzunluğunu 500 \AA qədər dəyişdirdikdə, ləngidici gərginliyi $0,59 \text{ V}$ qədər artırmaq lazım gəlir ki, fotocərəyan kəsilsin. Plank sabitini və işıq sürətini bilərək, elektronun yükünü tapın.

1.28. Dalğa uzunluğu 342 \AA olan foton, metal litiumun təmiz səthindən fotoelektron çıxarır, və bu fotoelektron induksiyası $1,5 \text{ mTl}$ olan maqnit sahəsində radiusu $1,2 \text{ sm}$ olan çevrə cızır. Bu elektronun litium atomundan azad olunmasına sərf olunan enerjini hesablayın.

1.29. Volfram atomunun K təbəqəsindən γ -kvant vasitəsilə çıxarılan fotoelektron, (ionlaşma enerjisi $E_i = 69,3$ keV) sındırma əmsalı $n = 1,4$ olan mühitdə hərəkət edir. Qamma-kvantın dalğa uzunluğu nə qədər olmalıdır ki, fotoelektron şüalanmağa başlasın (Vavilov-Çerenkov effekti).

266368
1.30. Volframın səthinin $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ dalğa uzunluqlu şüa ilə işıqlanması nəticəsində fotoelement dövrəsində yaranan fotocərəyan $U_t = 1V$ ləngidici gərginlikdə kəsilir. Xarici kontakt potensialları fərqinin qiymət və istiqamətini təyin edin.

1.31. Rentgen borusuna 62 kV gərginlik verdikdə, kəsilməz rentgen spektrinin qısaldağalı sərhədi $0,2 \text{ \AA}$ olur. Elektronun yükünü və işığın sürətini bilərək, Plank sabitinin qiymətini hesablayın.

1.32. Rentgen borusunda sürətləndirici gərginliyin 2 dəfə artması zamanı, kəsilməz rentgen spektrinin qısaldağalı sərhəddinin $0,5 \text{ \AA}$ qədər dəyişdirdiyini bilərək, kəsilməz rentgen spektrinin qısaldağalı sərhədini təyin edin.

1.33. Rentgen borusunda elektronların sürəti işıq sürətinin yarısına bərabər olarsa kəsilməz rentgen spektrinin qısaldağalı sərhədini tapın.

1.34. Dalğa uzunluğu 500 nm olan fotonun impulsunu tapın. Onun impulsunu otaq temperaturunda olan hidrogen molekulunun impulsu ilə müqayisə edin. Hidrogen molekulunun kütləsi $2,35 \cdot 10^{-24} \text{ q}$ -dır.

1.35. Dalğa uzunluğunun hansı qiymətində fotonun

impulsu otaq temperaturunda olan hidrogen molekulunun impulsuna bərabər olar?

1.36. Dalğa uzunluğu 500 nm olan fotonun enerjisini otaq temperaturunda olan hidrogen molekulunun irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi ilə müqayisə edin.

1.37. Sərbəst elektronun işıq fotonu şüalandıra bilmədiyini, yəni sərbəst elektronun foton şüalandırdığını qəbul etdikdə enerjinin və impulsun saxlanması qanununun eyni vaxtda ödənilə bilmədiyini göstərin.

1.38. Təklənmiş sink kürəcik dalğa uzunluğu 250 nm olan ultrabənövşəyi şüalarla işıqlandırılır. Kürəcik maksimum hansı potensiala qədər yüklənəcək? Elektronun sinkdən çıxış işi 3,74 eV-dur. Hansı dalğa uzunluqlu şüalardan istifadə etdikdə bu kürəcik yüklənməyəcək?

1.39. Vakuum fotoelementi işıqlandırılan zaman yaranan doyma cərəyanı $3 \cdot 10^{-10}$ A-dir. Fotoelementin katodundan 1səndə işığın qopardığı elektronların sayını tapın.

§2. Işığın təzyiqi. Kompton effekti

1. Işığın təzyiqi

$$P = \frac{\varepsilon \cdot N}{c} (1 + \rho) = \frac{J}{c} (1 + \rho) \quad (2.1)$$

və ya

$$P = W (1 + \rho) \quad (2.2)$$

düsturları ilə hesablanı bilər. Burada ε - bir fotonun enerjisi, N - vahid səthə, vahid zamanda düşən fotonların sayı, J - düşən işığın intensivliyi, yəni vahid zamanda vahid səthə düşən enerji, c - işığın boşluqda yayılma sürəti, ρ - səthin əksətmə əmsalı, W - şüalanmanın həcmi sıxlığıdır. Mütləq qara cisim üçün $\rho = 0$, ideal güzgü səthi üçün $\rho = 1$ qəbul olunmuşdur.

2. Kompton effektində kristalın üzərinə düşən dalğa ilə θ bucağı altında səpilən dalğanın uzunluqları arasındakı fərq

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_e c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (2.3)$$

düsturu ilə təyin olunur. Burada

$$\lambda_k = \frac{h}{m_e c} = 0,02426 \text{ \AA} = 2,426 \text{ pm}$$

elektronun Kompton dalğasının uzunluğudur.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr:

1. Dalğa uzunluğu $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ olan paralel işıq dəstəsinin qaraldılmış səth üzərinə düşərək 10^{-5} Pa təzyiq yaratdığını bilərək: a) dəstədəki fotonların konsentrasiyasını (vahid həcmdəki fotonların sayını); b) vahid zamanda vahid səthə düşən fotonların sayını təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\lambda = 5000 \text{ \AA} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

$$P = 10^{-5} \text{ Pa}$$

$$n_0 - ? \quad n - ?$$

Fotonların konsentrasiyasını tapmaq üçün (2.2) düsturundakı W – enerjinin həcmi sıxlığını bir fotonun ε - enerjisinə bölmək lazımdır:

$$n_0 = \frac{W}{\varepsilon} = \frac{P}{\varepsilon \cdot (1 + \rho)} \quad (1)$$

burada ρ - səthin əksətmə əmsalıdır. Adətən səthi qaraldılmış cisimlər üçün $\rho = 0$ götürülür.

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{və} \quad \rho = 0 \quad \text{olduğunu yuxarıda nəzərə}$$

alsaq:

$$n_0 = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c (1 + \rho)} = \frac{P \cdot \lambda}{hc} \quad (2)$$

almış olarıq. Verilənləri və $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$,

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$ qiymətlərini (2) düsturunda yerinə yazıb hesablama aparaq:

$$n_0 = \frac{10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^7}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 2,51 \cdot 10^{13} ;$$

$$n_0 = 2,51 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-3}$$

Vahid səthə, vahid zamanda düşən fotonların n sayını (2.1) düsturuna daxil olan J – düşən işığın intensivliyini bir fotonun ε - enejisinə bölməklə təyin etmək olar:

$$n = \frac{J}{\varepsilon} = \frac{P \cdot c}{\varepsilon(1 + \rho)} = \frac{P \cdot c}{\frac{hc}{\lambda}(1 + \rho)} = \frac{P \cdot \lambda}{h(1 + \rho)}$$

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi mütləq qara cisim üçün $\rho = 0$ qəbul edildiyindən

$$n = \frac{P \cdot \lambda}{h} = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} \cdot c = n_0 \cdot c \quad \text{olar.}$$

$$n = 2,51 \cdot 10^{13} \cdot 3 \cdot 10^8 = 7,53 \cdot 10^{21};$$

$$n = 7,53 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2} \cdot \text{san}^{-1}$$

Cavab: $n_0 = 2,51 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-3}$; $n = 7,53 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2} \cdot \text{san}^{-1}$

2. Nöqtəvi işıq mənbəyindən $R=1,5m$ məsafədə düşən şüalara perpedikulyar yönəlmiş radiusu $r = 2 \text{ sm}$ və qaytarma əmsalı $\rho = 0,8$ olan dairəvi formalı boz səth yerləşdirilmişdir. Mənbəyin şüalanma gücünün 600 Vt olduğunu bilərək işıq şüalarının səthə göstərdiyi təzyiq qüvvəsini hesablayın.

Həlli:

Verilir: $R = 1,5 \text{ m}$

$$r = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\rho = 0,8$$

$$\Phi = 600 \text{ Vt}$$

$$F - ?$$

İşıq şüalarının səthə göstərdiyi təzyiq qüvvəsini təzyiqin düsturundan istifadə etməklə hesablamaq olar.

$$P = \frac{F}{S}; \quad F = P \cdot S = \frac{J}{c}(1 + \rho) \cdot S; \quad (1)$$

$J \cdot S = \Phi_s$ - vahid zamanda S - səthindən daşınan şüalanma enerjisi, başqa sözlə səthdən keçən şüalanmanın gücü olduğunu (1)-də nəzərə alsaq təzyiq qüvvəsini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$F = \frac{\Phi_s}{c}(1 + \rho)$$

Səth nöqtəvi işıq mənbəyindən R – məsafəsində yerləşdiyinə görə səthdən daşınan şüalanmanın gücünü işıq mənbəyinin şüalanma gücü ilə aşağıdakı kimi əlaqələndirmək olar.

$$\Phi_s = \frac{\Phi}{4\pi R^2} \cdot \pi r^2 = \frac{\Phi \cdot r^2}{4R^2} \quad (3)$$

Bunu (2) düsturunda nəzərə alsaq

$$F = \frac{\Phi r^2}{4R^2 c}(1 + \rho) \quad (4)$$

alınar. Verilənləri və $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$ olduğunu nəzərə alıb hesablama aparmaq olar:

$$F = \frac{600 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 1,8}{4 \cdot 2,25 \cdot 3 \cdot 10^8} = 1,6 \cdot 10^{-10} N = 0,16 nN$$

Cavab: $0,16 n \cdot N$.

3. Enerjisi $\varepsilon = 0,75$ MeV olan foton sərbəst elektron-dan $\theta = 60^\circ$ bucaq altında səpilir. Fotonla toqquşana qədər elektronun enerjisinin və impulsunun çox kiçik olduğunu qəbul edib səpilən fotonun ε' enerjisini və toqquşmadan sonra elektronun E_k – kinetik enerjisini təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\varepsilon = 0,75 \text{ MeV}$

$$\theta = 60^\circ$$

$$\varepsilon' - ? \quad E_k - ?$$

Fotonun enerjisi üçün $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$ düsturundan fotonun səpilməyə qədər və səpilmədən sonrakı dalğa uzunluqlarını uyğun olaraq $\lambda = \frac{hc}{\varepsilon}$ və $\lambda' = \frac{hc}{\varepsilon'}$ düsturları ilə ifadə etmək olar. Onda (2.3) düsturuna əsasən

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta); \quad \frac{hc}{\varepsilon'} - \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta);$$

$$\frac{1}{\varepsilon'} - \frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta) \text{ yazmaq olar.}$$

$m_0 c^2 = 0,51 \text{ MeV}$ - elektronun sükunət enerjisi olduğunu nəzərə alsaq $\frac{1}{\varepsilon'} - \frac{1}{\varepsilon} = \frac{1 - \cos \theta}{E_0}$ alınar. Buradan

$$\varepsilon' = \frac{E_0 \cdot \varepsilon}{\varepsilon(1 - \cos \theta) + E_0} = \frac{\varepsilon}{\frac{\varepsilon}{E_0}(1 - \cos \theta) + 1} \text{ yazmaq olar.}$$

$\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ olduğunu nəzərə alıb hesablamaları sistemdən kənar vahidlərdə yerinə yetirmək olar.

$$\varepsilon' = \frac{0,75}{\frac{0,75}{0,51} \left(1 - \frac{1}{2}\right) + 1} = \frac{0,75}{1,735} \approx 0,43$$

$$\varepsilon' \approx 0,43 \text{ MeV}$$

Elektronun fotonla toqquşmadan sonrakı kinetik enerjisini, enerjinin saxlanması qanununa əsasən fotonun səpilmədən əvvəlki və sonrakı enerjiləri fərqi kimi təyin etmək olar:

$$E_k = \varepsilon - \varepsilon' ; \quad E_k = 0,75 - 0,43 = 0,32 ;$$

$$E_k = 0,32 \text{ MeV}$$

Cavab: $\varepsilon' \approx 0,43 \text{ MeV} ; \quad E_k = 0,32 \text{ MeV}.$

4. Enerjisi $E = 0,15 \text{ MeV}$ olan fotonun sükunətdə olan elektrondan səpildikdən sonra dalğa uzunluğunun $\Delta\lambda = 1,21 \cdot 10^{12} \text{ m}$ qədər dəyişdiyini bilərək fotonun başlanğıc yayılma istiqamətinə nəzərən elektronun təpmə bucağını təyin edin.

Həlli:

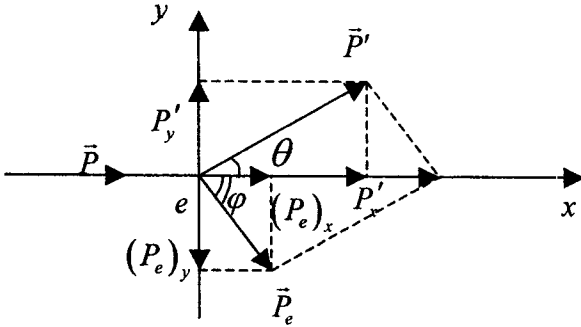
Verilir: $E = 0,15 \text{ MeV}$

$$\frac{\Delta\lambda = 1,21 \cdot 10^{12} \text{ m}}{\varphi - ?}$$

İmpulsun saxlanması qanununa əsasən fotonun sükunətdə olan elektronla toqquşmaya qədər malik olduğu impuls,

toqquşmadan sonra fotonun və elektronun impulslarının vektorial cəminə bərabər olacaqdır (şəkil 1).

$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_e \quad (1)$$



Şəkil 1

İmpulsun koordinat oxlarına proyeksiyaları uyğun olaraq aşağıdakı kimi olar:

$$\begin{cases} P_x = P'_x + (P_e)_x \\ P_y = P'_y - (P_e)_y \end{cases} \quad (2)$$

x - oxunu fotonun toqquşmaya qədərki yayılma istiqamətində seçsək $P_x = P$ və $P_y = 0$ olar. Onda

$$\begin{cases} P = P' \cdot \cos \theta + P_e \cdot \cos \varphi \\ 0 = P' \cdot \sin \theta - P_e \cdot \sin \varphi \end{cases} \quad (3)$$

Burada θ - fotonun səpilmə bucağı, φ - isə elektronun təpmə

bucağıdır.

$$\begin{cases} P_e \cdot \cos \varphi = P - P' \cdot \cos \theta \\ P_e \cdot \sin \varphi = P' \cdot \sin \theta \end{cases}$$

Bu tənlikləri tərəf-tərəfə bölsək

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P' \sin \theta}{P - P' \cos \theta} \quad (4)$$

alırıq.

(2.3) düsturuna əsasən

$$\Delta \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) = \lambda_k (1 - \cos \theta).$$

Buradan θ -bucağının sinusunu və kosinusunu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$1 - \cos \theta = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_k};$$

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta \lambda}{\lambda_k}\right)^2} = \sqrt{2 \frac{\Delta \lambda}{\lambda_k} - \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda_k}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{\Delta \lambda}{\lambda_k} \left(2 - \frac{\Delta \lambda}{\lambda_k}\right)} = \sqrt{\frac{\Delta \lambda}{\lambda_k} \cdot \frac{2\lambda_k - \Delta \lambda}{\lambda_k}} = \frac{\sqrt{\Delta \lambda (2\lambda_k - \Delta \lambda)}}{\lambda_k} \end{aligned}$$

İmpuls və enerji arasındakı əlaqə düsturuna əsasən

$$P = \frac{E}{c} \quad \text{və} \quad P' = \frac{E'}{c} \quad \text{yazmaq olar.}$$

Fotonun sərbəst elektrondan səpildikdən sonra E' -

enerjisi aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{hc}{\lambda + \Delta\lambda} = \frac{hc}{\frac{hc}{E} + \Delta\lambda} = \frac{E \cdot h \cdot c}{hc + E \cdot \Delta\lambda}$$

Onda $P' = \frac{E'}{c} = \frac{E \cdot h}{hc + E \cdot \Delta\lambda}$ alarıq.

P və P' - üçün aldığımız ifadələri (4) düsturunda nəzərə alaq:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{P' \cdot \sin \theta}{P - P' \cos \theta} = \frac{\frac{E \cdot h}{hc + E \cdot \Delta\lambda} \cdot \frac{\sqrt{\Delta\lambda(2\lambda_k - \Delta\lambda)}}{\lambda_k}}{\frac{E}{c} - \frac{E \cdot h}{hc + E \cdot \Delta\lambda} \left(1 - \frac{\Delta\lambda}{\lambda_k}\right)} = \\ &= \frac{h \cdot \sqrt{\Delta\lambda(2\lambda_k - \Delta\lambda)}}{hc + E \cdot \Delta\lambda} \cdot \frac{\lambda_k}{\lambda_k} = \frac{h \cdot \sqrt{\Delta\lambda(2\lambda_k - \Delta\lambda)}}{hc + E \cdot \Delta\lambda} \cdot \frac{\lambda_k}{\lambda_k} = \\ &= \frac{\frac{1}{c} - \frac{h}{hc + E \cdot \Delta\lambda} \left(1 - \frac{\Delta\lambda}{\lambda_k}\right)}{\frac{hc + E \cdot \Delta\lambda - hc \left(1 - \frac{\Delta\lambda}{\lambda_k}\right)}{c(hc + E \cdot \Delta\lambda)}} = \\ &= \frac{hc \sqrt{\Delta\lambda(2\lambda_k - \Delta\lambda)}}{E \cdot \Delta\lambda \cdot \lambda_k + hc \cdot \Delta\lambda} = \frac{\sqrt{\Delta\lambda(2\lambda_k - \Delta\lambda)}}{\frac{E \cdot \Delta\lambda \cdot \lambda_k}{hc} + \Delta\lambda} = \frac{\Delta\lambda \sqrt{\frac{2\lambda_k}{\Delta\lambda} - 1}}{\Delta\lambda \left(\frac{E \cdot \lambda_k}{hc} + 1\right)} = \\ &= \frac{\sqrt{\frac{2\lambda_k}{\Delta\lambda} - 1}}{1 + \frac{E \cdot \lambda_k}{hc}} = \frac{\sqrt{\frac{2\lambda_k}{\Delta\lambda} - 1}}{1 + \frac{E}{m_0 c^2}} \end{aligned}$$

Sərbəst elektron üçün Kompton dalğasının uzunluğunun

$\lambda_k = 2,42 \cdot 10^{-12} m$, elektronun sükunət enerjisinin $E_0 = m_0 c^2 = 0,51 MeV$ olduğunu nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot 2,42 \cdot 10^{12}}{1,21 \cdot 10^{-12}} - 1}}{1 + \frac{0,15}{0,51}} = \frac{\sqrt{3}}{1,29} = \frac{1,73}{1,29} = 1,34$$

$$tg\varphi = 1,34$$

$$\varphi = \arctg 1,34 \approx 53^\circ$$

Məsələlər

2.1. Dalğa uzunluğu $\lambda = 497 \text{ nm}$ olan monoxromatik paralel işıq dəstəsi qaraldılmış səth üzərinə düşür. Dəstədəki fotonların konsentrasiyasının $n = 2 \cdot 10^{13} m^{-3}$ olduğunu bilərək işığın səthə göstərdiyi təzyiqi hesablayın.

2.2. Radiusu 5 sm, gücü 100 Vt olan kürəvi formalı elektrik lampasının divarına düşən işığın təzyiqini hesablayın. Lampanın bütün gücünün şüalanmaya sərf olunduğunu və lampanın divarının əksətmə qabiliyyətini $\rho = 0,1$ qəbul edin.

2.3. Dalğa uzunluğu 4900 \AA olan işıq dəstəsi səth üzərinə perpendikulyar olaraq düşür və $5 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$ təzyiq yaradır. Bu səthdən işığın əks olunma əmsalı 0,25 olduğunu bilərək, vahid səthə, vahid zamanda nə qədər foton düşdüyünü hesablayın.

2.4. Sahəsi 100 sm^2 olan səth üzərinə hər saniyədə 1,05 C

ışığı enerjisi düşür. Aşağıdakı hallarda ışıqın təzyiqini hesablayın: 1) səth işığı tam əks etdirir; 2) səth işığı tam udur.

2.5. İşığı qara səthə yoxsa ağ səthə daha böyük təzyiq göstərir?

2.6. Monoxromatik ($\lambda=662 \text{ \AA}$) işığı dəstəsi müstəvi güzgü səthinə düşür. Şüalanma seli $0,6 \text{ Vt}$ olarsa aşağıdakıları hesablayın: a) bu səthə düşən təzyiq qüvvəsini, b) bir saniyədə səthə düşən fotonların sayını.

2.7. Kompton effekti nəticəsində foton 90° bucaq altında səpilir. Səpilmədən sonra fotonun enerjisinin $0,4 \text{ MeV}$ olduğunu bilərək onun səpilməyə qədərki enerjisini və impulsunu təyin edin.

2.8. Kompton effekti nəticəsində dalğa uzunluğu $0,1 \text{ \AA}$ olan foton 60° bucaq altında səpilir. Həmin bucaq altında səpilən fotonun dalğa uzunluğunu təyin edin.

2.9. Kompton effekti nəticəsində enerjisi $0,51 \text{ MeV}$ olan foton 90° bucaq altında səpilir. Səpilən fotonun enerjisini təyin edin.

2.10. Dalğa uzunluğu $55,8 \text{ pm}$ olan rentgen şüası qrafit lövhədən səpilir (Kompton effekti). Şüaların düşmə istiqaməti ilə 60° bucaq altında səpilən şüaların dalğa uzunluğunu təyin edin.

2.11. Sərbəst elektrondan və sərbəst protondan Kompton səpilməsi zamanı dalğa uzunluğunun maksimum dəyişməsini təyin edin.

2.12. Sərbəst elektronla toqquşaraq dalğa uzunluğunu

0,0362 Å qədər dəyişən fotonun səpilmə bucağını təyin edin.

2.13. 0,4 MeV enerjili foton, sərbəst elektrondan 90° bucaq altında səpilir. Səpilən fotonun enerjisini və təpmə elektronunun kinetik enerjisini təyin edin.

2.14. Enerjisi elektronun sükunət enerjisinə bərabər olan foton 180° bucaq altında səpilirsə Kompton effekti zamanı elektronun təpmə enerjisini təyin edin.

2.15. Kompton effekti zamanı enerjisi 0,255 MeV olan fotonun səpilmə bucağı 180° olarsa, enerjisinin hansı hissəsi elektronun təpmə enerjisinə sərf olunur?

2.16. 0,25 MeV enerjili foton sərbəst elektrondan səpilir və enerjisi 0,2 MeV olur. Səpilmə bucağını təyin edin.

2.17. Fotonun səpilmə bucağı 90° , elektronun təpmə bucağı 30° olarsa, düşən fotonun enerjisini təyin edin.

2.18. Fotonun dalğa uzunluğu elektronun kompton dalğasının uzunluğuna bərabər olarsa, fotonun impulsunu və enerjisini təyin edin.

2.19. Enerjisi 0,5 MeV olan fotonun dalğa uzunluğu Kompton səpilməsi zamanı $\Delta\lambda = \alpha\lambda$ qədər dəyişir. $\alpha = 0,25$ olduqda təpmə elektronunun kinetik enerjisini təyin edin.

2.20. Sərbəst elektrondan Kompton səpilməsi nəticəsində rentgen şüalanmasının λ dalğa uzunluqlu fotonun başlanğıc istiqamətdən θ bucağı qədər meyl edir. Təpmə elektronunun enerjisini və impulsunu təyin edin. $\lambda = 0,02$ nm və $\theta = 90^\circ$ olduqda ədədi qiymətlərini hesablayın.

2.21. Sərbəst elektrondan Kompton səpilməsi nəticəsində

fotonun dalğa uzunluğunun dəyişməsi həmin fotonun sərbəst protondan Kompton səpilməsi nəticəsində dalğa uzunluğunun dəyişməsindən neçə dəfə çoxdur?

2.22. Rentgen şüalanması və γ – şüalanmanın sərbəst protondan səpilməsi nəticəsində fotonun dalğa uzunluğunun maksimal dəyişməsini tapın.

2.23. Dalğa uzunluğu λ olan foton hərəkət edən sərbəst elektrondan səpilir və nəticədə elektron dayanmış, foton isə başlanğıc hərəkət istiqamətindən θ bucağı qədər meyl etmişdir. Bu prosesdə fotonun dalğa uzunluğunun $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ dəyişməsini təyin edin. Bu məsələni sükunətdə olan elektrondan səpilməyə necə gətirmək olar?

2.24. Enerjisi $2m_0c^2$ (m_0 – elektronun sükunət kütləsi, c – işıq sürətidir) olan foton sükunətdə olan elektrondan səpilərkən öz enerjisinin yarısını itirir. Səpilən fotonla təpmə elektronunun hərəkət istiqaməti arasındakı bucağı tapın.

2.25. Dalğa uzunluğu 0,0024 nm olan foton elektrondan səpildikdən sonra əks istiqamətdə hərəkət edir. Elektron hansı sürətlə hərəkət etməlidir ki, səpilmə zamanı fotonun tezliyi dəyişməsin?

§3. İstilik şüalanması qanunları

1. Vahid səthin ($S = 1 \text{ m}^2$), vahid zamanda ($t = 1 \text{ san}$) bütün tezlik intervalında ($\nu = 0 \div \infty$) şüalandırdığı enerjiyə inteqral şüalanma qabiliyyəti deyilir və J hərfi ilə ifadə olunur.

$$J = \frac{c}{4} U \quad (3.1)$$

burada U şüalanmanın həcmi sıxlığıdır. BS-də onların ölçü vahidləri

$$[J] = 1 \frac{C}{m^2 \cdot san}; \quad [U] = 1 \frac{C}{m^3}$$

kimi olur.

2. Sonsuz kiçik $d\nu$ tezlik intervalı üçün şüalanmanın spektral həcmi sıxlığını aşağıdakı düsturla ifadə etmək olar:

$$dU_\nu = \rho_\nu d\nu \quad (3.2)$$

Burada ρ_ν - kəmiyyətinə şüalanmanın vahid tezlik intervalına düşən spektral həcmi sıxlığı deyilir. BS-də $[\rho_\nu] = 1 \frac{C}{m^3} \cdot san$ vahidi ilə ifadə olunur. Onda tezliyi sıfırdan sonsuzluğa qədər intervalı əhatə edən bütöv spektr üçün şüalanmanın həcmi sıxlığı U -nu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$U = \int_0^\infty dU_\nu = \int_0^\infty \rho_\nu d\nu \quad (3.3)$$

3. Vinin termodinamik qanunu:

$$\rho_\nu d\nu = \nu^3 F \left(\frac{\nu}{T} \right) d\nu \quad (3.4)$$

4. Vinin yerdəyişmə qanunu:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b \quad (3.5)$$

Burada λ_{\max} - mütləq qara cismin şüalanma spektrində maksimum şüalandırma qabiliyyətinə uyğun gələn dalğa uzunluğu $b = 2,898 \cdot 10^{-3} m \cdot K$ Vin sabitidir.

5. Mütləq qara cisim üçün Stefan-Bolsman qanunu:

$$J = \sigma \cdot T^4 \quad (3.6)$$

Burada $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Wt}{m^2 \cdot K^4}$ Stefan-Bolsman sabiti adlanır.

6. Reley-Cins qanunu

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot kT \quad (3.7)$$

Burada $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{c}{K}$ Bolsman sabitidir.

7. Enerji seli $P = J \cdot S$ (3.8)

düsturu ilə ifadə olunur. BS-də $[P] = 1 \frac{C}{san} = 1Wt$.

8. İstilik şüalanmasında P - təzyiqi ilə U – enerjinin həcmi sıxlığı arasında əlaqə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$P = \frac{U}{3} \quad (3.9)$$

$$[P] = 1 \text{ Pa}; \quad [U] = 1 \frac{C}{m^3} = 1 \frac{N \cdot m}{m^3} = 1 \frac{N}{m^2} = 1 \text{ Pa}$$

9. Plank düsturu:

$$\rho(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (3.10)$$

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Günəşin şüalanma spektrinin tədqiqi göstərmişdir ki, şüalanma enerjisinin maksimal qiyməti dalğa uzunluğunun 5000 \AA qiymətinə uyğun gəlir. Günəşi mütləq qara cisim kimi qəbul edərək, aşağıdakıları təyin edin:

- a) Günəşin şüalanma qabiliyyətini;
- b) Günəşin şüalandırdığı enerji selini;
- c) Vahid zamanda Günəşin şüalandırdığı bütün fotonların kütləsini:

Həlli:

Verilir: $\lambda_{\max} = 5000 \text{ \AA} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

$$t = 1 \text{ san}$$

$$J - ?; P - ?; m - ?$$

Vinin yerdəyişmə və Stefan-Bolsman qanunlarından istifadə edərək Günəşin şüalanma qabiliyyətini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b; \quad T = \frac{b}{\lambda_{\max}}; \quad J = \sigma \cdot T^4 = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_{\max}} \right)^4;$$

$$J = 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} \right)^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,11 \cdot 10^{16} = 6,4 \cdot 10^7$$

$$J = 6,4 \cdot 10^7 \frac{Vt}{m^2}$$

Günəşin şüalandırdığı enerji selini (3.8) düsturu ilə hesablamak olar.

$$P = J \cdot S = J \cdot 4\pi R^2;$$

Burada $R = 6,96 \cdot 10^8 m$ Günəşin radiusudur.

$$P = 6,4 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 48,44 \cdot 10^{16} = 3893,8 \cdot 10^{23} = 3,9 \cdot 10^{26}$$

$$P = 3,9 \cdot 10^6 Vt$$

Şüalandırılan bütün elektromaqnit dalğalarına uyğun fotonların kütləsini $E = mc^2$ düsturundan istifadə etməklə təyin etmək olar.

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{P \cdot t}{c^2}; \quad m = \frac{3,9 \cdot 10^{26}}{9 \cdot 10^{16}} \approx 0,43 \cdot 10^{10} = 4,3 \cdot 10^9$$

$$m \approx 4,3 \cdot 10^9 kq$$

$$\text{Cavab: } J = 6,4 \cdot 10^7 \frac{Vt}{m^2}; \quad P = 3,9 \cdot 10^{26} Vt; \quad m \approx 4,3 \cdot 10^9 kq$$

2. Günəşin səhində temperatur 6000K qəbul edilir. Yerin Günəş ətrafında orbitinin radiusunun Günəşin radiusundan 215 dəfə böyük olduğunu və şüalanma zamanı Yerin özünü mütləq qara cisim kimi apardığını

qəbul edərək onun orta temperaturunu təyin edin. Yer in bütün istiqamətlərdə şüalanmasını eyni hesab etməli.

Həlli:

Verilir: $T_G = 6000K$

$$\frac{R_{or} = 215R_G}{T_{Yer} - ?}$$

Günəşin şüalanma qabiliyyəti $J_G = \frac{P_G}{S_G}$ düsturu ilə ifadə

oluna bilər. Burada S_G - Günəşin səthinin sahəsi, P_G - Günəş səthinin şüalandırdığı enerji selidir. Buradan $P_G = J_G \cdot S_G$ - yazmaq olar. Kosmik fəzanın vakuum olduğunu nəzərə alsaq, yəni udulma və səpilmə olmadığından bu sel radiusu Yer orbitinin radiusuna bərabər olan sferik səth üzrə müntəzəm paylanmalıdır. Ona görə də Yer orbitində şüalanma selinin sıxlığı $J_{or} = \frac{P_G}{S_{or}}$ düsturu ilə ifadə olunur. Burada S_{or} - radiusu

Yer orbitinin radiusuna bərabər olan sferanın səthinin sahəsidir. Onda

$$J_{or} = \frac{J_G \cdot S_G}{S_{or}} = \frac{J_G \cdot 4\pi R_G^2}{4\pi R_{or}^2} = J_G \left(\frac{R_G}{R_{or}} \right)^2$$

olar.

Yer in udduğu enerji selinin $P'_{yer} = J_{or} \cdot \pi R_{yer}^2$ və şüalandırdığı enerji selinin $P''_{yer} = J_{yer} \cdot 4\pi R_{yer}^2$ olduğunu, həmçinin $P'_{yer} = P''_{yer}$ olduğunu nəzərə alsaq:

$$J_{or} \cdot \pi R_{yer}^2 = J_{yer} \cdot 4\pi R_{yer}^2; \quad J_{or} = 4J_{yer};$$

Stefan-Bolsman qanununu axırıncı bərabərlikdə nəzərə alsaq

$$\sigma T_G^4 \left(\frac{R_G}{R_{or}} \right)^2 = 4\sigma T_{yer}^4$$

$$T_{yer} = \sqrt[4]{\frac{T_G^4}{4} \left(\frac{R_G}{R_{or}} \right)^2} = T_G \sqrt{\frac{1}{2} \frac{R_G}{R_{or}}} \text{ almış olarıq.}$$

Verilənləri nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$T_{yer} = 6000 \sqrt{\frac{R_G}{2 \cdot 215 R_G}} = \frac{6000}{\sqrt{430}} = \frac{6000}{20,74} = 289,3$$

Cavab: $T_{yer} = 289,3 K$ və ya $t = 16,3^\circ S$.

3. Mütləq qara cisim soyuyan zaman istilik şüalanması nəticəsində enerjinin paylanma spektrinin maksimumuna uyğun gələn dalğa uzunluğu 500 nm sürüşmüşdür. Cismin başlanğıc temperaturunun 2000 K olduğunu bilərək onun nə qədər soyuduğunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\Delta\lambda = 5 \cdot 10^{-7} m$

$$T_1 = 2000 K$$

$$\Delta T - ?$$

Dalğa uzunluğunun dəyişməsi $\Delta\lambda = \lambda_{m2} - \lambda_{m1}$ olduğundan $\Delta\lambda_{m2} = \Delta\lambda + \lambda_{m1}$ yazmaq olar. Burada λ_m - şüalanma spektrinin maksimumuna uyğun gələn dalğa uzunluğudur. Vinin yerdəyişmə qanununa ($T \cdot \lambda_m = b$) istinadən $T_1\lambda_{m1} = T_2\lambda_{m2}$ yazmaq olar. Onda

$$T_2 = \frac{T_1\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} = \frac{T_1 \cdot \lambda_{m1}}{\Delta\lambda + \lambda_{m1}} = \frac{T_1 \cdot \lambda_{m1}}{\lambda_{m1} \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{m1}} + 1 \right)} =$$

$$= \frac{T_1}{1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{m1}}} = \frac{T_1}{1 + \frac{\Delta\lambda \cdot T_1}{b}} = \frac{b \cdot T_1}{b + \Delta\lambda \cdot T_1}$$

alırıq. Burada $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ Vin sabitidir. Verilənləri nəzərə alıb hesablama aparmaq olar:

$$T_2 = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3}{2,898 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^3} = \frac{5,8}{3,9 \cdot 10^{-3}} = 1487$$

$$T_2 = 1487 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 2000 - 1487 = 513$$

Cavab: $\Delta T = 513 \text{ K}$.

4. Şüalanmanın vahid tezlik intervalına düşən spektral həcmi sıxlığı ρ_ν ilə vahid dalğa uzunluğu intervalına düşən spektral həcmi sıxlığı ρ_λ arasında əlaqəni ifadə edən düstur alın və Plank düsturunu ρ_λ üçün yazın.

Həlli:

Şüalanma spektrinin istənilən elementar intervalını həm tezliyə görə, həm də dalğa uzunluğuna görə xarakterizə etmək olar. Belə ki, elektromaqnit dalğalarının boşluqda yayılma sürəti $c = \lambda \cdot \nu$ bu iki kəmiyyəti bir-biri ilə əlaqələndirir. Odur ki, $\nu = \frac{c}{\lambda}$ yazmaq olar. Bu bərabərliyin hər

iki tərəfini diferensiallasaq $d\nu = -\frac{cd\lambda}{\lambda^2}$ almış olarıq. Buradan

$\frac{d\nu}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$ olar. Göründüyü kimi $d\nu$ və $d\lambda$ bir-biri ilə əks işarə ilə əlaqəlidir. Bunu və şüalanma spektrinin eyni bir intervalına istər tezliyə, istərsə də dalğa uzunluğuna görə eyni enerji sıxlığı uyğun gəldiyini nəzərə alsaq

$\rho_\nu d\nu = -\rho_\lambda d\lambda$ yazmaq olar. Buradan

$$\begin{aligned}\rho_\lambda &= -\rho_\nu \cdot \frac{d\nu}{d\lambda} = \rho_\nu \cdot \frac{c}{\lambda^2} = \frac{2\pi h \frac{c^3}{\lambda^3}}{c^2} \cdot \frac{c}{\lambda^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{kT \lambda}} - 1} = \\ &= \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}\end{aligned}$$

Cavab: $\rho_\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$

Məsələlər

3.1. Günəşin səthini temperaturu təxminən 5800 K olan mütləq qara cisim hesab edərək, Yer orbiti radiusuna bərabər

məsafədə, Günəş şüalarına perpendikulyar qoyulmuş vahid səthə vahid zamanda düşən şüa enerjisini, başqa sözlə Günəş sabitini təyin edin. Günəşin radiusunu $R_G = 7 \cdot 10^8 m$, Yer orbitinin radiusunu isə $R_{or} = 1,5 \cdot 10^{11} m$ qəbul etməli.

3.2. Hansı temperaturda mütləq qara cismin inteqral şüalanma qabiliyyəti $J = 1 \text{ Vt} / \text{sm}^2$ olar?

3.3. Sobanın, sahəsi $S = 6 \text{ sm}^2$ olan baxış pəncərəsindən şüalanan enerji selinin $P = 34 \text{ Vt}$ olduğunu bilərək, sobanın temperaturunu təyin edin.

3.4. Mütləq qara cismin temperaturunu 1% artırıqda, onun şüalanma enerjisi neçə faiz artar?

3.5. Günəşdən Yerin işıqlanan səthinə intensivliyi $1,38 \cdot k \text{ Vt} / \text{m}^2$ olan şüalanma düşür. Günəşin şüalandırmasını mütləq qara cismin şüalandırması kimi hesab edərək, onun fotosferinin temperaturunu təyin edin. Günəşin radiusunu $R_G = 7 \cdot 10^8 m$, Yer orbitinin radiusunu isə $R_{or} = 1,5 \cdot 10^{11} m$ qəbul etməli.

3.6. 0°S temperaturda mütləq qara cismin şüalanma enerjisinin spektral sıxlığının maksimum qiyməti hansı dalğa uzunluğuna uyğun gəlir?

3.7. Hansı temperaturda mütləq qara cismin şüalanma enerjisinin spektral sıxlığının maksimumu görünən dalğaların qırmızı sərhəddində (7600 \AA) olar? Hansı halda bənövşəyi sərhəddə (3800 \AA) olar?

3.8. İstilik şüalanmasının, xemi, foto, elektro və katodolümenessensiya şüalanmalarından əsas fərqi nədir?

3.9. Mütləq qara cismin rəngi nədir? Hansı mənada mütləq qara cisim kimi hisi, qarı, Günəşi götürmək olar?

3.10. Vin düsturundan və verilmiş temperaturda mütləq qara cismin spektrində enerjinin paylanması qanunundan istifadə edərək, istənilən başqa temperatur üçün enerjinin paylanma əyrisini necə qurmaq olar?

3.11. Ulduz səthinin temperaturunu təyin etmə üsullarından biri enerji şüalanma spektrinin maksimal şüalanmaya uyğun dalğa uzunluğunun təyin edilməsinə əsaslanır. Günəş üçün bu dalğa uzunluğu 0,55 mkm, qütb ulduzu üçün 0,35 mkm, Sirius üçün 0,29 mkm-dur. Bu ulduzların temperaturunu təyin edin.

3.12. Vinin termodinamik qanunundan Stefan-Bolsman qanununu alın.

3.13. Günəşin kütləsi $2 \cdot 10^{30}$ kq, radiusu $7 \cdot 10^8$ m və səthinin effektiv temperaturunu 5700 K qəbul edərək Günəşin şüalanma nəticəsində hər saniyədə itirdiyi kütləni təyin edin. Günəşin öz çəkisinin 1%-ni itirdiyi vaxtı hesablayın.

3.14. Bəzi mülahizələrə görə Günəşin daxili oblastlarında P təzyiqi 0,4 mlrd. atm-dir. Bu təzyiqin hansı temperatura uyğun olduğunu təyin edin.

3.15. «Ultrabənövşəyi fəlakət»in fiziki mahiyyətini izah edin.

3.16. Plank düsturundan istifadə edərək Reley-Cins

$(h\nu \ll \kappa T)$ və V in $(h\nu \gg \kappa T)$ qanunlarını alın.

3.17. Qırmızı ulduz Arktur üçün şüalanmanın spektral sıxlığının maksimumu dalğa uzunluğunun $0,58 \text{ mkm}$ qiymətinə uyğun gəlir. Ulduzun səthinin temperaturunu təyin edin.

3.18. Şüalanma zamanı mütləq qara cismin temperaturunun dəyişməsi nəticəsində şüalanmanın spektral sıxlığının maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğu $2,4 \text{ mkm}$ -dən $0,8 \text{ mkm}$ -ə qədər azalmışdır. Şüalanma selinin sıxlığı necə dəyişmişdir?

3.19. Işıq şiddətinin etalonu kimi temperaturu platinin ərimə temperaturuna bərabər (1063°S) və sahəsi $0,5305 \text{ mm}^2$ olan tam şüalandırıcı səth götürülür. Bütün dalğa uzunluqlarını şüalandıran bu səthin şüalanma selini təyin edin.

3.20. Diametri 20 sm olan kürə formalı cisim müəyyən temperaturadək qızdırılmışdır və temperaturu sabit saxlanılır. Bu cismin şüalanma gücünün 2 kVt olduğunu bilərək onun temperaturunu təyin edin.

3.21. Hər biri ayrılıqda tarazlıqda olan iki mütləq qara istilik şüalanma mənbəyi vardır. Onlardan birincisinin temperaturu 2500 K -dir. Əgər ikinci mənbənin şüalandırma qabiliyyətinin maksimumuna uyğun gələn dalğa uzunluğu birincinin şüalandırma qabiliyyətinin maksimumuna uyğun gələn dalğa uzunluğundan $0,5 \text{ mkm}$ qədər böyük olarsa ikinci mənbənin temperaturu nə qədər olar?

3.22. Plank düsturundan istifadə edərək Stefan-Bolsman

qanununda Plank sabitinin qiymətinə görə σ -nın qiymətini tapın.

3.23. Plank düsturundan istifadə edərək Vinin yerdəyişmə qanununda b sabitini h , c , κ universal sabitləri vasitəsi ilə ifadə edin və onun ədədi qiymətini tapın.

3.24. Radiusu 1 sm olan mütləq qara səthə malik mis kürə, mütləq qara səthə malik olan və 0 K temperatura yaxın bir başqa qaba yerləşdirilir. Əgər mis kürənin başlanğıc temperaturu 300 K olarsa, 5 saatdan sonra onun temperaturunu təyin edin. Misin xüsusi istilik tutumunu $380 \frac{\text{C}}{\text{kq} \cdot \text{K}}$, sıxlığını isə $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3}$ qəbul edin.

3.25. Mühitin başlanğıc T_0 temperaturunu $n = 2$ dəfə artırmaq, istilik tarazlıq şüalanmasının təzyiqi $\Delta P = 38 \text{ m}\kappa\text{Pa}$ qədər dəyişərsə, başlanğıc T_0 temperaturunu tapın.

3.26. İsbət edin ki, Vinin yerdəyişmə qanunu onun ρ_λ paylanma funksiyası üçün olan qanunundan alınır.

3.27. Başlanğıc temperaturu 2000 K olan mütləq qara cisim soyuyarkən, enerjinin paylanma spektrində (ρ_ν) maksimal qiymətə uyğun gələn dalğa uzunluğunun 5000 \AA dəyişdiyini bilərək cismin neçə dərəcə soyuduğunu təyin edin.

3.28. Diametri 10 sm olan kürə formalı mütləq qara cisim müəyyən sabit temperaturda saxlanılır. Bu cismin şüalanma gücünün $1,05 \text{ kVt}$ olduğunu bilərək, temperaturunu təyin edin.

3.29. İnteqral intensivlik $J = 5,7 \text{ Vt/sm}^2$ olduqda maksimal şüalanmaya uyğun gələn dalğa uzunluğunu təyin edin.

3.30. Mütləq qara cisim modeli kimi diametri 1 sm olan və çox kiçik deşiyi olan boş qab götürülür. Qab gücü $0,1 \text{ kVt}$ olan elektrik spirali vasitəsilə qızdırılır ki, bunun da bir hissəsi ($\eta = 10\%$) divarlar vasitəsilə ətrafa səpilir. Deşikdən çıxan tarazlıq temperaturunun qiymətini təyin edin.

3.31. Sobanın baxış pəncərəsindən 34 Vt gücündə istilik seli şüalanır. Sobanı mütləq qara cisim hesab edərək və pəncərənin sahəsinin 6 sm^2 olduğunu bilərək onun temperaturunu təyin edin.

3.32. Şüalandırdığı sel 1 kVt olan mütləq qara cismin şüalanma spektrinin maksimumu dalğa uzunluğunun $1,45 \text{ mkm}$ qiymətinə uyğun gəlir. Cismin şüalandırıcı səthinin sahəsini təyin edin.

II. ATOMUN QURULUŞU

§ 4. Atomun modelləri

1. Atomun Tomson modelinə görə müsbət yük mühiti daxilində elektronun kvazielastiki qüvvənin təsiri ilə rəqs tezliyi aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\omega = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m R^3}} \quad (4.1)$$

Burada e - elektronun yükü, m - elektronun kütləsi, R - atomun radiusu, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ - elektrostatik sabitdir.

2. Zərrəciklərin başlanğıc yayılma istiqamətinə nəzərən θ - bucağı altında, $d\Omega$ - elementar cisim bucağı daxilində səpilən nisbi sayı üçün Rezerford düsturu

$$\sigma = \frac{\Delta N}{N} = n \left(k \frac{q_1 q_2}{4E_k} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (4.2)$$

Burada $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$ - cisim bucağı, n - səpici maddənin vahid səthinə düşən nüvələrin sayı, E_k - səpilməyə məruz

qalan yüklü zərrəciyin kinetik enerjisi, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{Kl^2}$ -

Kulon qanununa daxil olan mütənasiblik əmsəlidir.

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ - elektrostatik sabitdir.

3. Nüvədən səpilmə zamanı yüklü zərrəciyin öz

əvvəlki hərəkət istiqamətinə nəzərən meyl bucağı θ - aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = k \frac{q_1 q_2}{2E_k \cdot b} \quad (4.3)$$

Burada q_1 və q_2 uyğun olaraq yüklü zərrəciyin və səpici nüvənin yükü, E_k - yüklü zərrəciyin kinetik enerjisi, b - hədəf məsafəsidir.

4. Səpilmə nəzəriyyəsində bəzən kütlə qalınlığı anlayışından istifadə olunur. Səpici maddənin hər vahid səthinə düşən kütlə, kütlə qalınlığı adlanır:

$$\frac{m}{S} = \frac{\rho \cdot V}{S} = \frac{\rho \cdot S \cdot d}{S} = \rho \cdot d \quad (4.4)$$

ρ - maddənin sıxlığı, d - qalınlıqdır.

$$[\rho d] = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

5. Zərrəciklərin yüngül nüvələrdən səpilməsi zamanı kinetik enerji aşağıdakı düsturla təyin edilir.

$$E_k = \frac{\mu \cdot v_{\text{nisbi}}^2}{2} = \frac{p^2}{2\mu}; \quad \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (4.5)$$

Burada μ - gətirilmiş kütlədir.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr:

1. Atomun Tomson modelinə görə ionlaşma enerjisi 13,6 eV olan hidrogen atomunun radiusunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E_{ion} = 13,6 \text{ eV} = 21,76 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$R - ?$

Tomson modelinə görə hidrogen atomu R – radiuslu küre daxilində müntəzəm paylanmış, yükü modulca elektronun yükünə bərabər müsbət yük mühitindən və bu mühit daxilində kvazielastiki qüvvənin təsiri ilə rəqs edə bilən elektrondan ibarətdir. Atomun ionlaşması üçün elektron buludun səthinə gəlib çatmalı və oradan sonsuzluğa qədər uzaqlaşmalıdır. Başqa sözlə ionlaşma enerjisi elektronun bulud daxilində mərkəzdən səthə qədər gəlib çatması və buludu tərk edib sonsuzluğa qədər uzaqlaşması üçün görülən işlərin cəminə bərabər olmalıdır.

$$E_{ionlaş} = A_1 + A_2$$

Yük buludu daxilində sahənin intensivliyi $E_1 = k \frac{e}{R^3} \cdot r$,

buluddan xaricdə isə $E_2 = k \frac{q}{r^2}$ olduğundan (burada r yük

buludunun mərkəzindən elektrona qədər olan məsafədir) A_1 və A_2 işlərini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$A_1 = \int_0^R e \cdot E_1 dr; \quad A_2 = \int_R^\infty e \cdot E_2 dr;$$

$$E_{ionlaş} = \int_0^R e \cdot k \frac{e}{R^3} r dr + \int_R^{\infty} e \cdot k \frac{e}{r^2} dr = k \frac{e^2}{R^3} \int_0^R r dr + ke^2 \int_R^{\infty} \frac{dr}{r^2} =$$

$$= k \frac{e^2}{R^3} \frac{r^2}{2} \Big|_0^R + \frac{ke^2}{r} \Big|_R^{\infty} = k \frac{e^2 R^2}{2R^3} + \frac{ke^2}{R} = \frac{3ke^2}{2R}$$

$$E_{ionlaş} = \frac{3ke^2}{2R}; \quad R = \frac{3ke^2}{2 \cdot E_{ionlaş}} = \frac{3 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2,56 \cdot 10}{2 \cdot 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,59 \cdot 10^{-10} m$$

Cavab: $1,59 \cdot 10^{-10} m$.

2. Sükunətdə olan qurğuşun atomu və sükunətdə olan litium atomu ilə mərkəzi toqquşma zamanı kinetik enerjisi $E_k = 40 keV$ olan α - zərrəcik nüvəyə hansı minimal məsafəyə qədər yaxınlaşa bilər?

Həlli:

$$E_k = 40 keV = 4 \cdot 10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C = 6,4 \cdot 10^{-15} C$$

$$Z_1 = 82 (Pb)$$

$$Z_2 = 3 (Li)$$

$$r_{\min} - ?$$

Qurğuşun atomu ağır element olduğundan α - zərrəciklərin səpilməsi zamanı onu sükunətdə qalmış hesab etmək olar. Onda α - zərrəcik nüvəyə o məsafəyə qədər yaxınlaşa bilər ki, onun kinetik enerjisi, α - zərrəcik ilə nüvə

arasıündakı qarşılıqlı təsirin potensial enerjisi ($U = k \frac{2Ze^2}{r_{\min}}$)

ilə tarazlaşsın, bundan sonra α - zərrəcik nüvədən təcürək geriye səpilsin.

$$E_k = U; \quad E_k = k \frac{2Ze^2}{r_{\min}}; \quad r_{\min} = k \frac{2Ze^2}{E_k};$$

Qiymətləri yerinə yazıb hesablamı aparırıq:

$$\begin{aligned} r_{\min} &= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 82 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{6,4 \cdot 10^{-15}} = \\ &= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 164 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}}{6,4 \cdot 10^{-15}} = 5,9 \cdot 10^{-12}; \\ r_{\min} &= 5,9 \cdot 10^{-12} \text{ m}; \end{aligned}$$

Litium nüvəsi yüngül nüvə olduğundan səpilmə zamanı o da hərəkət edəcəkdir. Ona görə də bu halda kinetik enerji üçün (4.5) düsturundan istifadə edəcəyik.

$$E_k' = \frac{\mu v^2}{2} = \frac{m_\alpha \cdot m_{Li}}{m_\alpha + m_{Li}} \frac{v^2}{2} = \frac{m_\alpha v^2}{2} \cdot \frac{m_{Li}}{m_{Li} + m_\alpha} = E_k \frac{m_{Li}}{m_{Li} + m_\alpha}$$

$$E_k' = U; \quad E_k \frac{m_{Li}}{m_{Li} + m_\alpha} = k \frac{2Ze^2}{r_{\min}}$$

$$r_{\min} = k \cdot 2Ze^2 \frac{m_{Li} + m_\alpha}{m_{Li} \cdot E_k} = \frac{k \cdot 2 \cdot Ze^2}{E_k} \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_{Li}} \right)$$

$m_\alpha = 6,644 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$ və $m_{Li} = 9,964 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$ olduğunu nəzərə alıb hesablamı aparırıq:

$$r_{\min} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}}{6,4 \cdot 10^{-15}} \left(1 + \frac{6,644 \cdot 10^{-27}}{9,964 \cdot 10^{-27}} \right) =$$

$$= 21,6 \cdot 10^{-14} \cdot 1,67 = 36 \cdot 10^{-14} = 3,6 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

Cavab: $r_{\min}(Pb) = 5,9 \cdot 10^{-12} \text{ m};$

$r_{\min}(Li) = 3,6 \cdot 10^{-13} \text{ m} .$

3. Kinetik enerjisi $E_k = 2 \text{ MeV}$ olan α zərrəcik $b = 9 \cdot 10^{-12} \text{ sm}$ hədəf parametri ilə sükunətdə olan qurğuşun ($Z=82$) nüvəsindən səpələn zaman onun impuls vektorunun dəyişməsinin modulunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E_k = 2 \text{ MeV} = 3,2 \cdot 10^{13} \text{ C}$

$b = 9 \cdot 10^{-12} \text{ sm} = 9 \cdot 10^{-14} \text{ m}$

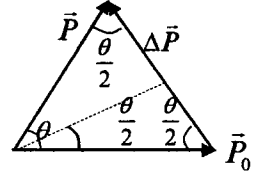
$Z = 82$

$|\Delta \vec{P}| - ?$

Əvvəlki məsələdə qeyd edildiyi kimi qurğuşun ağır element olduğundan α -zərrəciyin səpilməsi zamanı onun sükunətdə qaldığını qəbul etmək olar. Onda α - zərrəciyin səpilməyə qədər malik olduğu \vec{P}_0 - impuls vektoru və səpilmədən sonrakı \vec{P} - umpuls vektoru modulca bərabər olub, bir-biri ilə θ bucağı altında yönələcəklər (şəkil 2.) $|\vec{P}_0| = |\vec{P}|$.

Şəkildən görüldüyü kimi bu halda $|\Delta \vec{P}| = 2|\vec{P}_0| \cdot \sin \frac{\theta}{2}$ olacaqdır.

Kinetik enerji ilə impuls arasındakı $E_k = \frac{P_0^2}{2m}$ - münasibətinə əsasən α - zərrəciyin səpilməyə qədər olan P_0 – impulsunu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:



Şəkil 2.

$$P_0 = \sqrt{2m_\alpha \cdot E_k} \quad (2)$$

(2)-ni (1)-də nəzərə alsaq

$$|\Delta \vec{P}| = 2\sqrt{2m_\alpha \cdot E_k} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad (3)$$

alırıq.

Triqonometriyadan məlum olan

$$\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

düsturunua əsasən:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}}} \quad (4)$$

yazmaq olar.

α - zərrəciyin yükünün $q_\alpha = 2e$ və qurğuşun nüvəsinin yükünün $q_{pb} = Z \cdot e$ olduğunu nəzərə alsaq (4.3) düsturunu

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = k \frac{2e \cdot Ze}{2E_k \cdot b} = k \frac{Ze^2}{E_k \cdot b} \quad (5)$$

kimi yazmaq olar. (5) və (4) ifadələrini (3)-də nəzərə alsaq səpilmə zamanı α -zərrəciyin impuls vektorunun dəyişməsi üçün aşağıdakı düsturu almaq olar.

$$\begin{aligned} \sin \frac{\theta}{2} &= \frac{\frac{kZe^2}{E_k \cdot b}}{\sqrt{1 + \left(\frac{kZe^2}{E_k \cdot b}\right)^2}} = \frac{kZe^2}{E_k \cdot b \sqrt{1 + \left(\frac{kZe^2}{E_k \cdot b}\right)^2}} = \\ &= \frac{kZe^2}{\sqrt{(E_k \cdot b)^2 + (kZe^2)^2}} \end{aligned}$$

$$\Delta P = 2 \sqrt{2m_\alpha E_k} \cdot \frac{kZe^2}{\sqrt{(E_k \cdot b)^2 + (kZe^2)^2}} \quad (6)$$

$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ K}\ell$, $m_\alpha = 6,444 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$ və verilənləri (6) düsturunda yerinə yazıb hesablamı aparıq:

$$\Delta P = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 6,444 \cdot 10^{-27} \cdot 3,2 \cdot 10^{-13}} \cdot$$

$$\begin{aligned} &\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 82 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}}{\sqrt{(3,2 \cdot 10^{-13} \cdot 9 \cdot 10^{-14})^2 + (9 \cdot 10^9 \cdot 82 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38})^2}} = \\ &= 2 \cdot 6,52 \cdot 10^{-20} \frac{1,89 \cdot 10^{-26}}{\sqrt{8,29 \cdot 10^{-52} + 3,57 \cdot 10^{-52}}} = \frac{24,65 \cdot 10^{-46}}{3,44 \cdot 10^{-26}} = \\ &= 7,1 \cdot 10^{-20} \end{aligned}$$

$$|\Delta \vec{P}| = 7,1 \cdot 10^{-20} \frac{kq \cdot m}{san^2}$$

Cavab: $|\Delta \vec{P}| = 7,1 \cdot 10^{-20} \frac{kq \cdot m}{san^2}$

4. Klassik elektrodinamikaya görə a təcili ilə hərəkət edən e yükünə malik zərrəciyin enerjisi

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{2}{3} \frac{ke^2}{c^3} \cdot a^2 \quad \text{qanunu ilə şüalanmaya sərf olunur.}$$

Hidrogen atomunda orbitin radiusunu (r) sabit qəbul edərək $r = 0,5 \cdot 10^{-10} m$ qiyməti üçün elektronun hər vahid zamanda şüalandırdığı enerjini təyin edin. Əgər orbitin radiusu 2 dəfə azalarsa bu enerji necə dəyişər?

Həlli:

Verilir: $\frac{dE}{dt} = -\frac{2}{3} \frac{ke^2}{c^3} \cdot a^2$

$$\Delta t = 1 \text{ san}$$

$$r_1 = 0,5 \cdot 10^{-10} m$$

$$r_2 = \frac{r_1}{2}$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = ? \quad \frac{\Delta E_2}{\Delta t} / \frac{\Delta E_1}{\Delta t} = ?$$

Atomun quruluşuna dair Rezerfordun təklif etdiyi planetar modelə görə elektron müsbət yüklü nüvə ətrafında dairəvi orbit üzrə hərəkət edir. Bu zaman elektrona təcil verən qüvvə nüvə ilə elektron arasındakı Kulon qarşılıqlı təsir

qüvvəsi olduğundan onun təcilini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{k \frac{Ze^2}{r^2}}{m} = \frac{kZe^2}{m \cdot r^2} \quad (1)$$

Burada k Kulon qanununa daxil olan mütənasiblik əmsəlidir. Hidrogen atomu üçün $Z=1$ olduğundan elektronun təcili üçün

$$a = \frac{ke^2}{mr^2} \quad (2)$$

almış olarıq. Bunu enerji itkiləri üçün şərtə verilən düsturda nəzərə alsaq:

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{2}{3} \frac{ke^2}{c^3} \cdot \frac{k^2 e^4}{m^2 r^4} = -\frac{2}{3} \frac{k^3 e^6}{m^2 c^3 r^4} \quad (3)$$

olar. Bu ifadəni $dE = -\frac{2}{3} \cdot \frac{k^3 \cdot e^6}{m^2 \cdot c^3 \cdot r^4} dt$ şəklində yazıb inteqrallasaq $\Delta t = t - t_0$ zaman intervalında şüalanmaya sərf olunan $\Delta E = E_1 - E_2$ enerjisini tapmaq olar.

$$\int_{E_1}^{E_2} dE = -\int_{t_0}^t \frac{2}{3} \frac{k^3 e^6}{m^2 c^3 r^4} \cdot dt$$

$$\Delta E = \frac{2}{3} \cdot \frac{k^3 \cdot e^6}{m^2 \cdot c^3 \cdot r^4} \cdot dt ; \quad \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k^3 \cdot e^6}{m^2 \cdot c^3 \cdot r^4} \quad (4)$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}, \quad m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kq}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{san}},$$

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Kl}^2}$ qiymətlərini və verilənləri (4) düsturunda yerinə yazıb hesablama aparaq:

$$\frac{\Delta E_1}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 729 \cdot 10^{27} \cdot 16,78 \cdot e^{-114}}{3 \cdot 82,81 \cdot 10^{-62} \cdot 27 \cdot 10^{24} \cdot 6,25 \cdot 10^{-42}} = 0,58 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{\Delta E_1}{\Delta t} = 0,58 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{san}}$$

$$\frac{\Delta E_2}{\Delta t} / \frac{\Delta E_1}{\Delta t} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^4 = \left(\frac{r_1}{\frac{r_1}{2}} \right)^4 = 16$$

Cavab: $\frac{\Delta E_1}{\Delta t} = 0,58 \cdot 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{san}}$; Orbitin radiusu 2 dəfə

azaldıqda hər vahid zamanda şüalanmaya sərf olunan enerji 16 dəfə artar.

Məsələlər

4.1. Bir elektronlu atom üçün Tomson modelindən istifadə edərək elektronun kvazielastiki qüvvənin təsiri altında rəqs tezliyi üçün ifadə alın.

4.2. Hidrogen atomunun radiusunu $2 \cdot 10^{-10} m$ qəbul edərək Tomson modelinə əsasən elektronun kvazielastiki qüvvənin təsiri altında rəqs tezliyini hesablayın.

4.3. Tomson modelinə görə hidrogen atomunun radiusu nə qədər olmalıdır ki, elektron kvazielastiki qüvvənin təsiri altında $1,1 \cdot 10^{-15}$ san periodu ilə rəqs etmiş olsun.

4.4. Hidrogen atomu üçün Tomson modelinə əsasən atomun radiusunun hansı qiymətində şüalandırılan işığın dalğa uzunluğu $0,6 mkm$ -ə bərabər olar?

4.5. Tomson modelinə əsasən atom neçə spektral xətt şüalandıra bilər? Hidrogen atomunun dalğa uzunluğu $\lambda = 0,5 mkm$ olan işıq şüalandıra bilməsi üçün radiusu nə qədər olmalıdır?

4.6. Kinetik enerjisi $E_k = 2,3 MeV$ olan α -zərrəciyin qızıl folqadan səpilən zaman impulsunun dəyişməsinin modulunun $|\Delta \vec{P}| = 7 \cdot 10^{-20} \frac{kq \cdot m}{san}$ olduğunu bilərək səpilmə bucağını təyin edin.

4.7. v -sürəti ilə hərəkət edən α -zərrəciyin yükü $Z \cdot e$ olan nüvədən səpilməsi zamanı səpilmə bucağı θ ilə hədəf məsafəsi b arasında $ctg \frac{\theta}{2} = \frac{m_\alpha v^2}{2k \cdot Ze^2} \cdot b$ şəklində əlaqənin olmasını göstərməli.

4.8. Enerjisi 20 keV olan α - zərrəcik qızıl ($Z=79$) nüvəsi ilə mərkəzi toqquşma zamanı ona hansı minimal məsafəyə qədər yaxınlaşa bilər?

4.9. Müəyyən ağır elementin nüvəsindən $\theta = 60^\circ$ bucaq altında səpilən α -zərrəciyin impuls vektorunun dəyişməsinin modulunun $|\Delta\vec{P}| = 7,29 \cdot 10^{-21} \frac{kq \cdot m}{san}$ olduğunu bilərək, onun kinetik enerjisini təyin edin.

4.10. İmpulsu $53 \frac{MeV}{c}$ (c - işıq boşluqda yayılma sürətidir) olan α -zərrəciyin sükunətdə olan uran atomu nüvəsinin Kulon sahəsində 60° bucaq altında səpildiyini bilərək hədəf məsafəsini təyin edin.

4.11. Enerjinin və impuls momentinin saxlanması qanunlarından istifadə edərək $tg \frac{\theta}{2} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{2E_k \cdot b}$ düsturunu çıxarın. Burada q_1 və q_2 qarşılıqlı təsirdə olan zərrəciklərin yükü, E_k – hədəfə doğru yaxınlaşan zərrəciyin kinetik enerjisi, b – hədəf məsafəsi, k - Kulon qanununa daxil olan mütənəsblik əmsəlidir.

4.12. Kinetik enerjisi 5,4 MeV olan α -zərrəciyin nazik qızıl ($Z=79$) folqadan 60° bucaq altında səpildiyini bilərək səpilmənin hədəf parametrini təyin edin.

4.13. Kinetik enerjisi $E_k = 0,87$ MeV olan protonun səpilmə bucağının $\theta = \frac{\pi}{2}$ qiymətində sükunətdə olan cive atomunun nüvəsinə yaxınlaşa biləcəyi minimal məsafəni

tapın. Bu məsafəni hədəf məsafəsinin uyğun qiyməti ilə müqayisə edin.

4.14. Qalınlığı $d = 0,005$ mm olan mis lövhənin üzərinə düşən enerjisi 1 MeV olan $N = 10^4$ sayda α -zərrəciyin neçəsi (ΔN) 44° və 46° bucaq intervalı altında səpilər?

4.15. Sükunətdə olan qurğuşun nüvəsindən $b = 90$ fm hədəf parametri ilə səpilən α - zərrəciyin kinetik enerjisi nə qədər olmalıdır ki, onun impuls vektorunun dəyişməsinin modulu maksimal qiymət alsın?

4.16. Atomun quruluşuna dair Rezerfordun təklif etdiyi planetar model nə üçün atom sisteminin dayanıqlığını təmin edə bilmir?

4.17. Atomun planetar modelinə əsasən elektronun nüvə ətrafında fırlanma tezliyi üçün ifadə alın və hidrogen atomunun radiusunu $r = 0,53 \cdot 10^{-10}$ m qəbul edərək elektronun nüvə ətrafında fırlanma tezliyini hesablayın.

4.18. Atomun quruluşuna dair Rezerfordun təklif etdiyi planetar modelə əsasən atom müsbət yüklü nüvədən və nüvə ətrafında dairəvi orbitlər üzrə hərəkət edən elektronlardan ibarətdir. Klassik elektrodinamikaya görə a – təcil ilə hərəkət edən yüklü zərrəciyin enerjisinin $\frac{dE}{dt} = -\frac{2ke^2}{3c^3} a^2$ qanunu ilə şüalanmaya sərf olunduğunu qəbul edərək, hidrogen atomunda orbitinin radiusu $r = 0,53 \cdot 10^{-10}$ m olan elektronun nüvə üzərinə düşmə müddətini hesablayın.

§ 5. Bor nəzəriyyəsinə görə hidrogen və hidrogenəbənzər atomlar

1. Atom sistemində dairəvi orbitlərin kvantlanma şərti:

$$m v_n \cdot r_n = \hbar \cdot n \quad (5.1)$$

burada m - elektronun kütləsi; v_n -elektronun n -ci orbitdə (stasionar halda) sürəti; r_n - n -ci orbitin (stasionar halın) radiusu; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$ - Plank sabiti; $\hbar = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$; n - tam ədəddir ($n = 1,2,3,\dots$).

2. Atomda elektronun bir orbitdən digərinə keçdikdə şüalandırdığı və udduğu kvantın enerjisi:

$$h\nu = E_n - E_k \quad \text{və ya} \quad \frac{hc}{\lambda} = E_n - E_k \quad (5.2)$$

Burada n və k orbitlərin nömrəsi olub tam ədədlərdir.

3. Kvantlanmış orbitlərin radiusu:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 \cdot n^2}{mZe^2}; \quad (n = 1,2,3,\dots) \quad (5.3)$$

burada Z - elementin dövrü sistem cədvəlində sıra nömrəsi m və e uyğun olaraq elektronun kütləsi və yüküdür.

Hidrogen atomunda ($Z=1$) birinci orbitin ($n=1$) radiusunu Bor radiusu (a_0) adlandırmaq qəbul olunmuşdur:

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Onda kvantlanmış orbitlərin radiusunu aşağıdakı kimi ifadə

etmək olar:

$$r_n = a_0 \frac{n^2}{Z} \quad (5.4)$$

4. Kvantlanmış orbitdə elektronun enerjisi

$$E_n = -\frac{mZ^2 e^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}; \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (5.5)$$

Burada enerjinin mənfi işarəli olması göstərir ki, sistem rabitəlidir, yəni elektronun hərəkəti finit hərəkətdir. Hidrogen atomunda ($Z=1$) elektronun birini orbitdə ($n=1$), yəni minimal enerjiyə malik olan stasionar halda (əsas hal) enerjisi

$$E_1 = -\frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} = -13,6 \text{ eV}$$

olar. Onda (5.5) düsturunu aşağıdakı kimi də ifadə etmək olar:

$$E_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ eV}; \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (5.6)$$

5. Atomun bir stasionar haldan digər stasionar hala keçidi zamanı udulan və ya şüalanan kvantın dalğa uzunluğunu təyin etmək üçün serial düstur:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (5.7)$$

Burada R – Ridberq sabitidir. Nüvənin hərəkəti nəzərə alınmadıqda ($M_n \rightarrow \infty$) $R_\infty = \frac{me^4}{64\pi^3 \hbar^3 \varepsilon_0^2 c}$ düsturu ilə ifadə olunur və hidrogen atomu üçün $R_\infty = 109737,309 \text{ sm}^{-1}$ -ə

bərabərdir. Nüvənin hərəkəti nəzərə alındıqda Ridberq sabiti

$$R_Z = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m}{M_Z}} \quad (5.8)$$

düsturu ilə ifadə olunur. Burada M_Z – nüvənin kütləsidir.

6. Atomun xarici elektron təbəqəsindən elektronu qoparmaq üçün lazım olan enerji ionlaşma enerjisi adlanır.

$$E_i = E_\infty - E_1 = \frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot Z^2 \quad (5.9)$$

Hidrogen atomu üçün ionlaşma enerjisi

$$E_i(Z=1) = \frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} = 13,6 \text{ eV}$$

olduğundan $E_i(Z) = 13,6 \cdot Z^2$ (eV) yazmaq olar.

7. İonlaşma enerjisinə bərabər enerji əldə etmək üçün elektronun bircins elektrik sahəsində keçməli olduğu potensiallar fərqi (gərginlik) ionlaşma potensialı adlanır.

$$eU_i = E_i ; \quad U_i = \frac{E_i}{e} \quad (5.10)$$

Hidrogen atomu üçün $U_i = 13,6 \text{ V}$ -a bərabərdir.

8. Atom bir stasionar haldan digərinə keçdikdə onun şüalandırdığı və ya udduğu kvantın enerjisi ilə ionlaşma enerjisi arasında əlaqə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$E = E_i(H)Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (5.11)$$

burada $E_i(H) = 13,6 eV$ - hidrogen atomunun ionlaşma enerjisidir.

9. Elektronun n -ci stasionar orbitdə sürəti aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$v_n = \frac{Z}{n} \alpha \cdot c \quad (5.12)$$

burada $n=1,2,3,\dots$ - stasionar orbitin nömrəsi, c - işıq boşluqda yayılma sürəti, $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$ - incə quruluş sabitidir.

10. Atomun birinci həyəcanlaşmış səviyyədən əsas səviyyəyə keçidi zamanı şüalandırdığı spektral xətt rezonans xətti adlanır.

11. Elektronun $\vec{\mu}_l$ orbital maqnit momenti ilə \vec{P}_l orbital mexaniki momenti arasında əlaqəni ifadə edən düstur:

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2mc} \cdot \vec{P}_l \quad (5.13)$$

Burada m və e uyğun olaraq elektronun kütləsi və yüküdür.

12. Elektronun orbital maqnit momentinin məxsusi qiymətləri üçün kvantlanma şərti:

$$\mu_l = -\frac{e}{2mc} \cdot \hbar \sqrt{\ell(\ell+1)} = -\mu_B \sqrt{\ell(\ell+1)} \quad (5.14)$$

Burada $\mu_B = \frac{e\hbar}{2mc} = 0,927 \cdot 10^{-23} \frac{C}{T\ell}$ Bor maqnetonu,

$\ell = 0,1,2,\dots$ orbital kvant ədədidir.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Hidrogen atomu enerjisi 10,2 eV olan foton udaraq əsas səviyyədən həyəcanlaşmış səviyyəyə keçir. Bu səviyyədə atomun elektron orbitinin radiusunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E_f = 10,2 \text{ eV}$

$r_n - ?$

Atom enerjisi E_f - olan foton udaraq əsas səviyyədən ($n=1$) həyəcanlaşmış səviyyəyə keçdikdə (5.2) düsturuna əsasən

$$E_f = E_n - E_1 \quad (1)$$

yazmaq olar. Digər tərəfdən hidrogen atomu üçün

$$E_1 = -13,6 \text{ eV} \quad \text{və} \quad (5.6) \text{ düsturuna görə} \quad E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

olduğundan bunları (1)-də nəzərə alıb həyəcanlaşmış səviyyənin nömrəsini təyin etmək olar.

$$E_f = -\frac{13,6}{n^2} + 13,6; \quad \frac{13,6}{n^2} = 13,6 - E_f;$$

$$n = \sqrt{\frac{13,6}{13,6 - E_f}} = \sqrt{\frac{13,6}{13,6 - 10,2}} = \sqrt{\frac{13,6}{3,4}} = \sqrt{4} = 2$$

$$n = 2$$

(5.4) düsturunda $Z = 1$, $a_0 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ və $n=2$ olduğunu yerinə yazıb həyəcanlaşmış orbitin radiusunu təyin etmək olar.

$$r_n = a_0 \cdot \frac{n^2}{Z} = 0,53 \cdot 10^{-10} \cdot 4 = 2,12 \cdot 10^{-10}; \quad r_n = 2,12 \cdot 10^{-10} m$$

Cavab: $r_2 = 2,12 \cdot 10^{-10} m$.

2. Hidrogen atomunda elektronu yükü elektronun yükünə bərabər, kütləsi isə elektronun kütləsindən 207 dəfə böyük olan mezonla əvəz etdikdə alınan sistem mezoatom adlanır. Hidrogen mezoatomunun birinci Bor orbitinin radiusunu və ionlaşma potensialını təyin edin.

Həlli:

Verilir: $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl$

$$\frac{m_\mu = 207 m_e}{r_1 - ? \quad U_i - ?}$$

Hidrogen mezoatomunun birinci Bor orbitinin radiusunu təyin etmək üçün (5.3) düsturundan istifadə edək.

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n^2}{mZe^2};$$

Burada $Z=1$, $n = 1$ və $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ olduğunu nəzərə alsaq düsturu aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{k \cdot m e^2};$$

Burada κ – Kulon qanununa daxil olan mütənasiblik əmsalındır və $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{Kl^2}$. Verilənləri və $\hbar = 1,0546 \cdot 10^{-34} C \cdot san$

olduğunu nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$r_1 = \frac{1,11 \cdot 10^{-68}}{9 \cdot 10^9 \cdot 1,88 \cdot 10^{-28} \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}} = 0,0256 \cdot 10^{-11} = 2,56 \cdot 10^{-13}$$

$$r_1 = 2,56 \cdot 10^{-13} \text{ m} = 0,256 \text{ pm}$$

İonlaşma potensialını (5.10) düsturu ilə hesablamaq olar. İonlaşma enerjisi üçün (5.9) düsturunu (5.10)-da nəzərə alsaq ionlaşma potensialı üçün aşağıdakı işçi düsturu alarıq:

$$\begin{aligned} U_i &= \frac{E_i}{e} = \frac{\frac{m_\mu e^4}{32\pi^2 \varepsilon_0 \hbar^2} \cdot Z^2}{e} = \frac{m_\mu \cdot e^4}{e \cdot 32\pi^2 \varepsilon_0 \hbar^2} \cdot Z^2 = \\ &= \frac{207 \cdot m_e e^4}{e \cdot 32\pi^2 \cdot \varepsilon_0 \hbar^2} Z^2 = \frac{207}{e} \cdot \frac{m_e e^4}{32\pi^2 \cdot \varepsilon_0 \hbar^2} \cdot Z^2 \end{aligned}$$

Hidrogen mezoatomu üçün $Z=1$ və

$$\frac{m_e \cdot e^4}{32\pi^2 \varepsilon_0 \hbar^2} = 13,6 \text{ eV} = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

olduğunu nəzərə alsaq

$$U_i = \frac{207 \cdot 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2815,2$$

$$U_i = 2815,2 \text{ V} \approx 2,8 \text{ kV}$$

Cavab: $r_1 = 0,256 \text{ pm}$ və $U_i = 2,8 \text{ kV}$

3. He^+ və Li^{++} ionlarının ionlaşma enerjilərini və 1-ci həyəcanlaşma potensiallarını tapın.

Həlli:

İonlaşma enerjisini təyin etmək üçün (5.9) düsturundan istifadə edək:

$$E_i = \frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0 \hbar^2} \cdot Z^2 = 13,6 \cdot Z^2 \text{ (eV)}$$

He^+ ionu üçün $Z=2$, Li^{++} ionu üçün isə $Z=3$ olduğundan

$$E_i(He^+) = 13,6 \cdot 4 = 54,4 \text{ eV}$$

$$E_i(Li^{++}) = 13,6 \cdot 9 = 122,4 \text{ eV}$$

Həyəcanlaşma potensialı, elektronun əsas haldan həyəcanlaşmış hala keçidi zamanı lazım olan enerji qədər enerji əldə etməsi üçün bircins elektrik sahəsində keçməli olduğu potensiallar fərqinə (gərginliyə) bərabər olduğundan

$$U_{həy.} = \frac{E_{həy.}}{e} \quad \text{olar. Birinci həyəcanlaşma enerjisi}$$

$$E_{həy.1} = E_2 - E_1 ; \quad (5.6) \text{ düsturunu burada nəzərə alsaq}$$

$$E_{həy.1} = 13,6 Z^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{13,6 \cdot 3}{4} \cdot Z^2 = \frac{40,8}{4} \cdot Z^2 \text{ (eV) alarıq.}$$

$$U_{həy.1} = \frac{40,8}{4} \cdot \frac{Z^2}{e} \left(\frac{\text{eV}}{\text{Kl}}\right) = \frac{40,8}{4} \cdot Z^2 \text{ (V)}$$

$$U_{\text{həy.1}}(He^+) = \frac{40,8}{4} \cdot 4 = 40,8 \text{ V};$$

$$U_{\text{həy.1}}(Li^{++}) = \frac{40,8}{4} \cdot 9 = 91,8 \text{ V};$$

Cavab: $E_i(He^+) = 54,4 \text{ eV}$, $E_i(Li^{++}) = 122,4 \text{ eV}$,

$$U_{\text{həy.1}}(He^+) = 40,8 \text{ V}, U_{\text{həy.1}}(Li^{++}) = 91,8 \text{ V}.$$

4. Hidrogen (H) və deyterium (D) atomları üçün ionlaşma potensialları fərqlərini təyin edin.

Həlli:

Verilir: H; D

$$\Delta U_i - ?$$

(5.9) və (5.10) düsturlarına istinad edərək ionlaşma potensialını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$U_i = \frac{E_i}{e} = \frac{E_\infty - E_1}{e} = \frac{1}{e} \cdot \frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} = \frac{hcR}{e} \quad (1)$$

Məlum olduğu kimi deyterium hidrogenin ağır izotoplarından biridir və onun kütləsi hidrogen atomunun kütləsindən təqribən iki dəfə böyükdür ($M_D \approx 2M_H$). Odur ki, elektron ilə nüvə arasındakı qravitasiya qarşılıqlı təsiri hidrogen və deyterium izotopları üçün fərqlənməlidir. Lakin qravitasiya qarşılıqlı təsiri elektromaqnit qarşılıqlı təsirindən dəfələrlə zəif olduğundan ionlaşma potensialının qiymətinə onun praktik təsiri olmur. İonlaşma potensialları arasında fərqin yaranması bu izotoplar üçün Ridberq sabitinin

qiymətinin eyni olmaması ilə bağlıdır. (5.8) düsturundan istifadə edərək hidrogen və deyterium üçün Ridberq sabitini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$R_H = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m}{M_H}}; \quad R_D = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m}{M_D}} \quad (2)$$

Burada m – elektronun M_H və M_D isə uyğun olaraq hidrogen və deyterium nüvələrinin kütlələridir. (2)-ni (1)-də nəzərə alsaq ionlaşma potensialları üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$U_H = \frac{hcR_\infty}{e \left(1 + \frac{m}{M_H}\right)}; \quad U_D = \frac{hcR_\infty}{e \left(1 + \frac{m}{M_D}\right)} \quad (3)$$

$m \ll M_H$ və $m \ll M_D$ olduğunu nəzərə alaraq (3) ifadələrini aşağıdakı kimi sadə hala gətirmək olar:

$$U_H = \frac{hcR_\infty}{e} \left(1 - \frac{m}{M_H}\right); \quad U_D = \frac{hcR_\infty}{e} \left(1 - \frac{m}{M_D}\right) \quad (4)$$

Onda

$$\begin{aligned} \Delta U_i = U_D - U_H &= \frac{hcR_\infty}{e} \left(1 - \frac{m}{M_D} - 1 + \frac{m}{M_H}\right) = \\ &= \frac{hcR_\infty}{e} \left(\frac{m}{M_H} - \frac{m}{M_D}\right) \approx \frac{hcR_\infty}{e} \cdot \frac{m}{2M_H} \end{aligned} \quad (5)$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kq}, \quad M_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kq}, \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl},$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{san}}, \quad R_\infty = 109,74 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$$

qiymətlərini (5) düsturunda yerinə yazıb hesablarına aparaq.

$$\begin{aligned} \Delta U_i &\approx \frac{hcR_\infty}{e} \cdot \frac{m}{2M_H} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 109,74 \cdot 10^5 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} = \\ &= \frac{19862,83 \cdot 10^{-52}}{5,344 \cdot 10^{-46}} = 3716,85 \cdot 10^{-6} = 3,72 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\Delta U_i = 3,72 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 3,72 \text{ mV}$$

Cavab: $\Delta U_i = 3,72 \text{ mV}$

Məsələlər

5.1. Hidrogen atomunda elektronun 4-cü energetik səviyyədən 2-ci energetik səviyyəyə keçidi zamanı şüalandırılan fotonun enerjisini təyin edin.

5.2. Bor postulatlarından istifadə edərək hidrogen atomunda elektronun n -ci orbitinin radiusunu ifadə edən düstur çıxarın. Birinci 3 orbitin radiusunu hesablayın.

5.3. Balmer seriyasında üçüncü spektral xəttə uyğun dalğa uzunluğunu təyin edin.

5.4. Hidrogen spektrində birinci infraqırmızı seriyanın (Paşen) ən böyük və ən kiçik dalğa uzunluğunu təyin edin.

5.5. Hidrogen atomunda elektronun üçüncü energetik səviyyədən birinci energetik səviyyəyə keçidi zamanı şüalandırılan fotonun enerjisini hesablayın.

5.6. Hidrogen atomunun spektrində ultrabənövşəyi seriyaya (Layman seriyası) uyğun fotonun enerjisinin ən böyük və ən kiçik qiymətini hesablayın.

5.7. Əsas səviyyədə olan hidrogen atomu dalğa uzunluğu 121,5 nm olan foton udaraq həyəcanlaşmış səviyyəyə keçir. Həyəcanlaşmış səviyyədə elektron orbitinin radiusunu təyin edin.

5.8. Hidrogen atomunun birinci həyəcanlaşma potensialını təyin edin.

5.9. Enerjisi $E_f = 16,5 eV$ olan foton əsas halda olan hidrogen atomu tərəfindən udularaq onu ionlaşdırır. Atomdan qopan elektronun sürətini təyin edin.

5.10. Layman, Balmer, Paşen, Breket, Pfund və Hemfri seriyalarının hüdudlandığı spektral intervalın dalğa uzunluqlarını təyin edin. Dalğa uzunluğu şkalasında onların nisbi yerləşməsini təsvir edin və spektrin görünən oblastını ayırın.

5.11. Hidrogenin rezonans potensialını hesablayın.

5.12. Helium atomunda nüvənin birinci Bor orbitində yaratdığı elektrik sahəsinin intensivliyini V/sm-vahidində hesablayın.

5.13. He^+ və Li^{++} ionları üçün birinci Bor orbitinin radiusunu (a_0), ionlaşma potensialını (U_i), rezonans potensialını (U_r) və rezonans xəttin dalğa uzunluğunu (λ_r) təyin edin.

5.14. Əsas halda olan pozitronium atomunda elektron və pozitron arasındakı məsafəni hesablayın.

5.15. Nüvəni sükunətdə hesab edərək hidrogen atomu, He^+ və Li^{++} ionları üçün:

a) birinci Bor orbitinin radiuslarını və orada elektronların

sürətini;

b) elektronun kinetik enerjisini;

c) birinci həyəcanlaşma potensialını və rezonans xəttin dalğa uzunluğunu təyin edin.

5.16. Bir sıra hidrogenəbənzər ionlar üçün Balmer seriyasının üçüncü xəttinin dalğa uzunluğu 1085 \AA -ə bərabərdir. Bu ionlar üçün elektronun əsas səviyyədə rabitə enerjisini təyin edin.

5.17. Əsas səviyyədə yerləşən He^+ ionundan dalğa uzunluğu 180 \AA olan işığın qopardığı elektronun sürətini hesablayın.

5.18. He^+ ionunun birinci həyəcanlaşmış haldan əsas hala keçdikdə şüalandırdığı foton əsas səviyyədə olan hidrogen atomunu ionlaşdırır. Fotoelektronun sürətini təyin edin.

5.19. Sükunətdə olan hidrogen atomunun birinci həyəcanlaşmış haldan əsas hala keçidi zamanı foton şüalandırması nəticəsində aldığı sürəti hesablayın. Bu zaman fotonun dalğa uzunluğu nə qədər dəyişər?

5.20. Nüvənin hərəkətini nəzərə almaqla hidrogen atomunda elektronun əsas səviyyədə rabitə enerjisi üçün və Ridberq sabiti üçün ifadə alın. Hidrogen atomu nüvəsinin hərəkəti nəzərə alınmadıqda elektronun rabitə enerjisi və Ridberq sabitinin qiyməti bu kəmiyyətlərin dəqiqləşdirilmiş qiymətindən neçə faiz fərqlənər?

5.21. Hidrogenin ağır və yüngül izotopları üçün Ridberq sabitinin qiymətlərinin nisbətini $\eta = 1,000272$ və nüvələrin kütlələri nisbətini ikiyə bərabər olduğunu bilərək protonun kütləsinin elektronun kütləsinə nisbətini hesablayın.

5.22. Hidrogenin yüngül və ağır izotopları üçün:

- a) əsas səviyyədə elektronun rabitə enerjisi;
- b) birinci həyəcanlaşma potensialı;
- c) rezonans xətlərin dalğa uzunluğu arasındakı fərqi təyin edin.

5.23. Hidrogen mezoatomu üçün (burada nüvə ətrafında elektron əvəzinə yükü elektronun yükünə bərabər, kütləsi isə elektronun kütləsindən 207 dəfə böyük olan mezonun hərəkəti nəzərdə tutulur):

- a) əsas səviyyədə mezon və nüvə arasındakı məsafəni;
- b) rezonans xəttin dalğa uzunluğunu;
- c) nüvəsi protondan və deytrondan ibarət hidrogen mezoatomu üçün əsas səviyyədə rabitə enerjisini hesablayın.

5.24. Pozitronium (ümumi kütlə mərkəzi ətrafında fırlanan elektron və pozitrondan ibarət sistem) üçün aşağıdakıları təyin edin:

- a) əsas səviyyədə zərrəciklər arasındakı məsafəni;
- b) ionlaşma potensialını və birinci həyəcanlaşma potensialını;
- c) Ridberq sabitini və rezonans xəttinin dalğa uzunluğunu.

5.25. Hidrogen atomu üçün Balmer seriyasının birinci üç xəttinin dalğa uzunluğunu təyin edin.

5.26. Layman, Paşen, Brekket və Pfund seriyalarının 1-ci üç xəttinin dalğa uzunluqlarını təyin edin.

5.27. Balmer seriyasının sərhəd xəttinin dalğa uzunluğunu təyin edin.

5.28. n -ci energetik səviyyəyə həyəcanlandırılmış hidrogen atomu neçə spektral xətt şüalandıra bilər?

5.29. Həyəcanlaşmış halda olan hidrogen atomunun əsas hala keçdikdə dalğa uzunluğu $97,25 \text{ nm}$ olan foton

şüalandırıldığını bilərək, həyəcanlaşmış səviyyənin baş kvant ədədini (nömrəsini) təyin edin.

5.30. He^+ ionunun Layman seriyasının baş xəttinin fotonu əsas halda olan hidrogen atomu tərəfindən udulur və onu ionlaşdırır. Belə ionlaşmada elektronun kinetik enerjisini təyin edin.

5.31. Sonsuz ağır nüvəli atomlar üçün Ridberq sabitini əsas sabitlərlə ifadə edin.

5.32. Hidrogen atomunun spektral seriyalarından biri də Hemfri seriyasıdır. O, dalğa uzunluğunun 12368 nm qiymətindən başlayaraq, 3281,4 nm dalğa uzunluğuna qədər müşahidə oluna bilər. Onu hansı keçidlər verir? Aralıq keçidlərin dalğa uzunluqları necə alınır?

5.33. Hidrogen atomu spektrində seriyanın xətləri 656,46; 486,27; 434,17 və 410,29 nm uzunluqlara malikdir. Bu seriyanın növbəti xətti hansı dalğa uzunluğuna malikdir? Hidrogen atomunu ionlaşdırmaq üçün nə qədər enerji lazımdır?

5.34. İkiqat ionlaşmış litium (Li^{2+}) atomunda cəmi bir elektron var və gözləmək olardı ki, onun spektri hidrogen atomunun spektrinə oxşamalıdır. Aşağıdakıları nəzərə alaraq göstərin ki, enerji səviyyələri K/n^2 düsturu ilə verilir. Layman seriyası 740747, 877924 və 925933 sm^{-1} dalğa uzunluğuna malik olduğunu bilərək, K sabitini tapın.

5.35. Yuxarıdakı məlumatlardan Li^{2+} üçün Balmer seriyasının dalğa ədədlərinin təyinində istifadə etmək olarmı? Bu seriyada ən aşağı enerji səviyyələri arasında keçidin dalğa ədədləri neçədir?

5.36. Pozitronium atomu ümumi kütlə mərkəzi ətrafında

fırlanan elektron və pozitrondan (kütlələri eyni, yükləri modulca eyni və işarəcə əks olan zərrəciklər) ibarətdir. Onda, onun spektri hidrogen atomunun spektri ilə oxşar olmalıdır, fərq isə əsas etibarilə kütlələrin qiyməti ilə əlaqədardır. Pozitronium atomunun spektrində Balmer seriyasının birinci üç xətti hansı oblastda yerləşir? Əsas halda rabitə enerjisi nəyə bərabərdir?

5.37. Kvant mexanikasına görə Bor modelinin hansı xüsusiyyətləri real deyil? Bora görə əsas hal həqiqi əsas haldan nə ilə fərqlənir? Əgər uyğunluq dəqiq olarsa, eksperiment necə qoyulmalıdır ki, Bor modelini inkar edib, kvant-mexaniki modeli təsdiq etsin?

§ 6. Rentgen şüaları

1. Tormozlanma rentgen şüalanmasının kəsilməz spektrinin λ_{\min} - qısdalğalı sərhəddi aşağıdakı şərtədən təyin edilir.

$$\frac{m\nu^2}{2} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}; e \cdot U = \frac{hc}{\lambda_{\min}}; \lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad (6.1)$$

Burada m – elektronun kütləsi, e - elektronun yükü, ν - elektronun antikatoda çatan anda sürəti, U – rentgen borusunda elektrodlar arasındakı sürətləndirici gərginlik, h - Plank sabiti, c – işığın boşluqda yayılma sürətidir.

2. Optik spektrlərdə olduğu kimi rentgen spektrlərində də xətlər seriyalar şəklində qruplaşdırılır. Bu seriyalar K , L , M , N və O hərfləri ilə işarə edilir. Hər bir seriyada xətlər tezliyin artma sırasına uyğun olaraq $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$ indeksləri ilə işarə olunur:

$$K_{\alpha}, K_{\beta}, K_{\gamma}, \dots, L_{\alpha}, L_{\beta}, L_{\gamma}, \dots \text{ və s.}$$

3. Rentgen spektrindəki xətlərin λ dalğa uzunluğu ilə bu xətləri buraxan elementin dövrü sistemdəki Z sıra nömrəsi arasında əlaqəni ifadə edən Mozli düsturu:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (6.2)$$

Burada R – Ridberq sabiti, σ - ekranlaşma sabiti, n_1 və n_2 enerji keçidlərinin baş verdiyi layların nömrələridir. K seriyası

üçün $\sigma=1$, L seriyası üçün $\sigma = 0,75$ -dir.

Rentgen spektrlərində K_α, K_β və L_α xətlərinin dalğa uzunluğunu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = R(Z-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} R(Z-1)^2 \quad (6.3)$$

$$\frac{1}{\lambda_{K_\beta}} = R(Z-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{8}{9} R(Z-1)^2 \quad (6.4)$$

$$\frac{1}{\lambda_{L_\alpha}} = R(Z-0,75)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{5}{36} R(Z-0,75)^2 \quad (6.5)$$

4. Xarakteristik rentgen şüalanmasının spektral xətlərinə uyğun fotonun enerjisi:

$$E = E_0(Z-\sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (6.6)$$

ifadəsi ilə verilir. Burada E_0 – hidrogen atomunun ionlaşma enerjisidir. K – seriyasının α xəttinə uyğun fotonun enerjisini aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$E_{K_\alpha} = \frac{3}{4} E_0(Z-1)^2 \quad (6.7)$$

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Rentgen borusunun antikatodu molibden ($Z=42$) təbəqəsi ilə örtülmüşdür. Elektrodlar arasında hansı minimal gərginlik yaratmaq lazımdır ki, rentgen şüalanma spektrində K seriyasının xətlərini almaq mümkün olsun?

Həlli:

Verilir: $Z=42$

U_{\min} - ?

Məlum olduğu kimi xarakteristik rentgen şüalanmasının K seriyası elektronların $L(n_2=2)$, $M(n_2=3)$ və s. laylarından ən aşağı $K(n_1=1)$ layına keçidi zamanı müşahidə olunur. Oudur ki, bu seriyanın xətlərini almaq üçün K layında elektron vakansiyası yaratmaq lazımdır, başqa sözlə K layında olan elektronlardan birini atomdan qoparmaq lazımdır. Bunun üçün K – layında olan elektronlardan birinə (6.6) düsturu ilə təyin olunan minimal enerji verilməlidir. Belə enerji antikatod üzərinə çəkilmiş molibden atomlarına anodla katod arasındakı elektrik sahəsində sürətləndirilən elektronlarla toqquşma nəticəsində verilir.

$$\frac{mv^2}{2} = e \cdot U_{\min}; \quad e \cdot U_{\min} = E_0(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$
$$U_{\min} = \frac{E_0}{e} (Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

K seriyasının bütün xətlərini müşahidə etmək üçün (1) düsturunda $n_1=1$, $n_2=\infty$ və $\sigma=1$ qəbul etmək olar. Onda

$$U_{\min} = \frac{E_0}{e}(Z-1)^2 \quad (2)$$

alarıq. $E_0 = 13,6eV = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl$ qiymətlərini (2) düsturunda yerinə yazıb hesablama aparaq:

$$\begin{aligned} U_{\min} &= \frac{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} (42-1)^2 = 13,6 \cdot 1681 = \\ &= 22861,6 = 22,86 \cdot 10^3; \quad U_{\min} = 22,86 kV \approx 23 kV \end{aligned}$$

Cavab: $U_{\min} \approx 23 kV$

2. Volfram ($Z=74$) elementinin Rentgen şüalanmasının K_α -xəttinə uyğun gələn fotonun dalğa uzunluğunu və enerjisini təyin edin.

Həlli:

Verilir: $Z=74$
 $\lambda_{K_\alpha} - ?$, $E_{K_\alpha} - ?$

Rentgen spektrinin K_α xəttinin dalğa uzunluğu və ona uyğun gələn fotonun enerjisini uyğun olaraq (6.3) və (6.7) düsturlarının köməyi ilə hesablamaq olar.

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = \frac{3}{4} R(Z-1)^2; \quad \lambda_{K_\alpha} = \frac{4}{3R(Z-1)^2} \quad (1)$$

Burada R – Ridberq sabitidir. $R = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$ olduğunu (1) düsturunda nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$\lambda_{K_\alpha} = \frac{4}{3 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot 5329} = \frac{4 \cdot 10^{-7}}{17537,74} = 2,28 \cdot 10^{-11}$$

$$\lambda_{K_\alpha} = 2,28 \cdot 10^{-11} m$$

$$E_{K_\alpha} = \frac{3}{4} E_0 (Z-1)^2$$

$E_0 = 13,6 eV$ olduğunu bu düsturda yerinə yazıb K_α

xəttinə uyğun fotonun enerjisini hesablayaq:

$$E_{K_\alpha} = \frac{3 \cdot 13,6 \cdot 5329}{4} = 54355,8 = 54,36 \cdot 10^3$$

$$E_{K_\alpha} = 54,36 \cdot 10^3 eV = 54,36 keV$$

Cavab: $\lambda_{K_\alpha} = 2,28 \cdot 10^{-11} m$, $E_{K_\alpha} = 54,36 keV$

3. Sıra nömrəsi (Z) məlum olmayan elementlərin K_α xarakteristik rentgen spektrinin dalğa uzunluqları $\lambda_1 = 179,9 pm$ və $\lambda_2 = 228,8 pm$ olarsa həmin elementlərin Mendeleyev cədvəlində Mozli qanuna əsasən sıra nömrəsini tapın.

Həlli:

$$\lambda_1 = 179,9 pm = 1,799 \cdot 10^{-10} m$$

$$\lambda_2 = 228,8 pm = 2,288 \cdot 10^{-10} m$$

$$\sigma = 1$$

$$Z_1 - ? \quad Z_2 - ?$$

Elementin dövrü sistemdə sıra nömrəsini təyin etmək üçün (6.3) düsturundan istifadə edək:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4} R(Z-1)^2, \quad (Z-1)^2 = \frac{4}{3R\lambda}, \quad Z-1 = \sqrt{\frac{4}{3R\lambda}},$$

$$Z = \sqrt{\frac{4}{3R\lambda}} + 1$$

Ridberq sabitinin $R=1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ olduğunu nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$Z_1 = \sqrt{\frac{4}{3 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot 1,799 \cdot 10^{-10}}} + 1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3}{5,92}} + 1 = 27 \text{ (Co)}$$

$$Z_2 = \sqrt{\frac{4}{3 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot 2,288 \cdot 10^{-10}}} + 1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3}{7,53}} + 1 = 24 \text{ (Cr)}$$

Cavab: $Z_1=27$ (Co – kobalt) və $Z_2=24$ (Cr – xrom).

Məsələlər

6.1. Volframın sürətli elektronlarla bombardıman edilməsi nəticəsində yaranan xarakteristik Rentgen şüalanmasının K_α -xəttinin enerjisini və dalğa uzunluğunu təyin edin (Volfram üçün $Z=74$).

6.2. Bütöv Rentgen spektrində minimal dalğa uzunluğunun 10 \AA olduğunu bilərək Rentgen borusunda antikatod üzərinə düşən elektronların sürətini təyin edin.

6.3. Rentgen borusunun 30 kV gərginlik altında işlədiyini bilərək, Rentgen şüalarının bütöv spektrinin qısdalğalı sərhəddini təyin edin.

6.4. Skandium üçün xarakteristik rentgen şüalanmasının K -seriyasının ən böyük dalğa uzunluğunu hesablayın ($Z=21$).

6.5. Müəyyən bir elementin xətti Rentgen spektrini araşdıran zaman məlum olmuşdur ki, K_{α} -seriyasının dalğa uzunluğu $0,76 \text{ \AA}$ bərabərdir. Bu elementi təyin edin.

6.6. Antikatodu vanadiumla örtülmüş Rentgen borusuna hansı minimal gərginlik (U_{\min}) vermək lazımdır ki, Rentgen şüalanması spektrində vanadiumun K -seriyasının bütün xətləri alınmış olsun. Vanadium üçün K -seriyasının sərhəddi $\lambda=2,26 \text{ \AA}$ -dir.

6.7. Manqanın xarakteristik Rentgen şüalanması spektrinin K_{α} -xəttinə uyğun fotonun E -enerjisini təyin edin ($Z=25$).

6.8. Volfram atomunda ($Z=74$) ekranlaşma sabitinin $\sigma = 5,5$ olduğunu qəbul edərək, elektronun M -təbəqəsindən L -təbəqəsinə keçidi zamanı buraxılan fotonun dalğa uzunluğu λ -ni təyin edin.

6.9. Rentgen borusunun $U=10^6 \text{ V}$ gərginlik altında işlədiyini bilərək, Rentgen şüalanmasının minimal dalğa uzunluğu λ_{\min} -i təyin edin.

6.10. Platinin ($Z=78$) xarakteristik Rentgen şüalanmasının K_{α} - xəttinin dalğa uzunluğunu və fotonun E -enerjisini hesablayın.

6.11. Rentgen borusunda hansı minimal U_{\min} -

gərginliyində misin ($Z=29$) K_{α} -seriyasının xətləri şüalanmağa başlayır?

6.12. Xarakteristik rentgen şüalanması spektrinin dublet olmasını göstərin.

6.13. Nə üçün Rentjen şüalanmasının udulma spektrinin K -zolağının sərhəddi sadə, L -zolağının üçqat, M -zolağınıniki isə beşqatdır?

6.14. Rentgen borusunun antikatodu sürəti $v = 0,6 \cdot c$ (c – işığın boşluqda yayılma sürətidir) olan elektronlarla bombardman edilir. Bu zaman yaranan kəsilməz rentgen spektrinin qısa dalğalı sərhəddini (λ_{\min}) təyin edin.

6.15. Atomun K və L ; K və M ; L və M layları arasındakı keçidlə şərtlənən spektral xətlərin sayını təyin edin.

6.16. Rentgen borusunda anodla katod arasında gərginlik 22,5 kV azaldıqda alınan bütöv rentgen spektrinin qısdalğalı sərhəddinə uyğun dalğa uzunluğunun qiymətinin 2 dəfə azaldığını bilərək, qısdalğalı sərhəddin dalğa uzunluğunun başlanğıc qiymətini təyin edin.

III. KVANT MEXANİKASINA GİRİŞ

§7. Zərrəciklərin dalğa xassələri

1. De-Broyl hipotezinə görə dualizm yalnız işığa aid olmayıb, universal əhəmiyyət kəsb edir və materiyanın ümumi xüsusiyyətidir. Enerjisi E , impulsu P olan zərrəciyə tsiklik tezliyi ω və dalğa uzunluğu λ olan müstəvi monoxromatik dalğa yuğun qoymaq olar:

$$\omega = \frac{E}{\hbar}; \quad \nu = \frac{E}{h}; \quad \lambda = \frac{h}{P}; \quad \vec{P} = h\vec{k}; \quad |\vec{k}| = \frac{1}{\lambda} \quad (7.1)$$

Burada ν - de-Broyl dalğasının tezliyi, \vec{k} - dalğa vektorudur.

Zərrəciyin sürəti $v \ll c$ olduqda (qeyri-relyativistik hal):

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v}; \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}} \quad (7.2)$$

Burada m_0 - zərrəciyin sükunət kütləvi, E_k - zərrəciyin kinetik enerjisidir.

Zərrəciyin sürəti işığın boşluqda yayılma sürəti (c) tərtibində olduqda (relyativistik hal):

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}} \quad (7.3)$$

Burada $E_0 = m_0 c^2$ - zərrəciyin sükunət enerjisidir.

2. Sürətləndirici U potensailar fərqi keçən və yükü q olan zərrəciyə uyğun qoyulan de-Broyl dalğasının uzunluğunu aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mqU}} \quad (7.4)$$

Elektron üçün $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kq}$, $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ olduğunu nəzərə alsaq:

$$\lambda_e = \frac{1,2267}{\sqrt{U}} \cdot 10^{-9} \text{ m} \quad (7.5)$$

Proton üçün $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$; $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ olduğunu nəzərə alsaq:

$$\lambda_p = \frac{0,02862}{\sqrt{U}} \cdot 10^{-9} \text{ m} \quad (7.6)$$

3. Mütləq temperaturu T olan qaz molekullarına uyğun gələn de-Broyl dalğasının uzunluğunu aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3mkT}} \quad (7.7)$$

Burada $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{C}}{\text{K}}$ - Bolsman sabitidir.

4. Zərrəciyin E – tam enerjisi ilə P – impulsu arasında əlaqə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$E = c\sqrt{P^2 + m_0^2 c^2}; \quad P = \sqrt{\left(\frac{E}{c}\right)^2 - m_0^2 c^2} \quad (7.8)$$

5. Zərrəciyin P – impulsu ilə E_k - kinetik enerjisi

arasında əlaqə düsturu:

$$P = \frac{\sqrt{E_k(E_k + 2m_0c^2)}}{c} \quad (7.9)$$

6. Faza (ν_f) və qrup (ν_q) sürətləri:

$$\nu_f = \frac{v}{k} = v \cdot \lambda; \quad \nu_q = \frac{dv}{dk} \quad (7.10)$$

7. Elektron dalğalarının kristalda sınmasını nəzərə almaqla Vulf-Breqq düsturu:

$$2d\sqrt{n^2 - \cos^2 \theta} = k \cdot \lambda \quad (7.11)$$

Burada d – təbğəqələrarası məsafə, θ - sürüşmə bucağı, k - əksetmənin tərtibi, n - sındırma əmsəlidir.

8. Heyzenberqin qeyri-müəyyənlik münasibətləri:

$$\Delta x \cdot \Delta P_x \geq h; \quad \Delta t \cdot \Delta E \geq h \quad (7.12)$$

9. Elektronun sükunət enerjisi:

$$E_{0e} = m_{0e}c^2 = 0,51 \text{ MeV} \quad (7.13)$$

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. $E_k = 0,6 \text{ MeV}$ kinetik enerjiyə qədər sürətləndirilmiş elektron üçün de-Broyl dalğasının

uzunluğunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E_k = 0,6 \text{ MeV} = 0,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ C} = 9,6 \cdot 10^{-14} \text{ C}$

$\lambda - ?$

Elektronun kinetik enerjisi onun sükunət enerjisindən ($E_o = 0,51 \text{ MeV}$) böyük olduğu üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunu relyativistik hal üçün yazılmış (7.3) düsturuna göbrə təyin etmək olar.

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k(E_k + 2E_o)}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}; \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{san}}; \quad E_o = 0,51 \text{ MeV} =$$

$= 8,16 \cdot 10^{-14} \text{ C}$ olduğunu nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\sqrt{9,6 \cdot 10^{-14} (9,6 \cdot 10^{-14} + 2 \cdot 8,16 \cdot 10^{-14})}} =$$
$$= \frac{19,89 \cdot 10^{-26}}{15,77 \cdot 10^{-14}} = 1,26 \cdot 10^{-12};$$

$$\lambda = 1,26 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 1,26 \text{ pm}$$

Cavab: $\lambda = 1,26 \text{ pm}$.

2. Elektron hansı sürətlə hərəkət etməlidir ki, onun de-Broyl dalğasının uzunluğu Kompton dalğasının uzunluğuna bərabər olsun?

Həlli:

Verilir: $\lambda_k = \lambda_D$
 $v - ?$

Eelektron üçün Kompton dalğasının uzunluğu $\lambda_k = \frac{h}{m_o c}$ düsturu ilə təyin edilir. Burada m_o – elektronun sükunət kütləsidir. Relyativistik hal üçün elektronun de-Broyl dalğasının uzunluğunu (7.3) düsturu ilə təyin etmək olar.

$$\lambda_D = \frac{h}{m_o v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Məsələnin şərtinə müvafiq olaraq bu ifadələrin sağ tərəflərini bərabərləşdirib, elektronun sürətini təyin etmək olar:

$$\frac{h}{m_o c} = \frac{h}{m_o v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \frac{1}{c} = \frac{1}{v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \frac{v}{c} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Bərabərliyin hər iki tərəfini kvadrata yüksəldib sadələşdirsək elektronun sürətini təyin etmək olar:

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2}; \quad \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{2}; \quad v = \frac{c}{\sqrt{2}}$$

İşığın boşluqda yayılma sürətinin $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$ olduğunu

nəzərə alıb hesablamı aparırıq:

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^8}{1,41} = 2,128 \cdot 10^8 \frac{m}{san} = 212,8 \frac{Mm}{san}$$

Cavab: $\nu = 212,8 \frac{Mm}{san}$

3. 27°S temperaturda götürülmüş hidrogen qazı molekullarına uyğun gələn de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $T = 300K$

$$\lambda - ?$$

Verilmiş temperaturda götürülmüş hidrogen qazı molekullarına uyğun gələn de-Broyl dalğasının uzunluğunu (7.7) düsturuna görə hesablamaq olar:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3mkT}}$$

Hidrogen molekulunun kütləsinin $m_{H_2} = 3,348 \cdot 10^{-27} kq$,

Bolsman sabitinin $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{C}{k}$ olduğunu nəzərə alıb

hesablama aparaq:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{3,3,348 \cdot 10^{-27} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{64,484 \cdot 10^{-25}} =$$

$$= 0,103 \cdot 10^{-9} ; \quad \lambda = 0,103 \cdot 10^{-9} m = 103 pm$$

Cavab: $\lambda = 103 pm$.

4. Qeyri-müəyyənlik münasibətindən istifadə edərək hidrogen atomunda əsas səviyyədə olan elektronun rabitə enerjisini və nüvədən olan məsafəni qiymətləndirin.

Həlli:

Verilir: $Z = 1$

$$\frac{\Delta P_x \cdot \Delta x \geq h}{}$$

$$E - ? ; r - ?$$

Nüvə ətrafında dairəvi orbit üzrə hərəkət edən elektronun tam enerjisini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$E = \frac{mv^2}{2} - k \frac{e^2}{r} = \frac{P^2}{2m} - k \frac{e^2}{r} \quad (1)$$

Qeyri-müəyyənlik münasibətində $\Delta P_x \sim P$ və $\Delta x \sim r$ qəbul etsək $P \cdot r = \hbar$ yazmaq olar. Buradan

$$P = \frac{\hbar}{r} \quad (2)$$

(2)-ni (1)-də nəzərə alsaq,

$$E = \frac{\hbar^2}{2mr^2} - k \frac{e^2}{r} \quad (3)$$

alarıq.

Enerjinin minimumluğu şərtinə görə $\frac{dE}{dr} = 0$

olmalıdır. Onda $\frac{d}{dr} \left(\frac{\hbar^2}{2mr^2} - k \frac{e^2}{r} \right) = 0$

$$-\frac{\hbar^2 \cdot 4mr}{4m^2 r^4} + \frac{k \cdot e^2}{r^2} = 0; \quad -\frac{\hbar^2}{mr^3} + \frac{ke^2}{r^2} = 0$$

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{\hbar^2}{mr^3}; \quad r = \frac{\hbar^2}{m \cdot k \cdot e^2} \quad (4)$$

(4) ifadəsini (3)-də nəzərə alsaq:

$$\begin{aligned} E &= \frac{\hbar^2}{2m \cdot \frac{\hbar^4}{m^2 k^2 e^4}} - k \frac{e^2}{\frac{\hbar^2}{m \cdot k e^2}} = \frac{mk^2 e^4}{2\hbar^2} - \frac{m \cdot k^2 \cdot e^4}{\hbar^2} = \\ &= -\frac{k^2 \cdot m \cdot e^4}{2\hbar^2}; \quad E = -\frac{k^2 \cdot m \cdot e^4}{2\hbar^2} \quad (5) \end{aligned}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{K \ell^2}; \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} K \ell; \quad m = 9,1 \cdot 10^{-31} kq \quad \text{və}$$

$\hbar = 1,055 \cdot 10^{34} \text{ C} \cdot \text{san}$ olduğunu nəzərə alıb (4) və (5) düsturlarına görə hesablama apararaq.

$$E = -\frac{81 \cdot 10^{18} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6,55 \cdot 10^{-76}}{2 \cdot 1,11 \cdot 10^{-68}} =$$

$$= -2174,8 \cdot 10^{-21} = -21,748 \cdot 10^{-19}$$

$$E = -21,748 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -13,6 \text{ eV};$$

$$r = \frac{1,11 \cdot 10^{-68}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}} =$$

$$= \frac{1,11 \cdot 10^{-68}}{209,664 \cdot 10^{-60}} = 0,0053 \cdot 10^{-8} = 0,53 \cdot 10^{-10}$$

$$r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

Cavab: $E = -13,6 \text{ eV}; \quad r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$

Məsələlər

7.1. Kinetik enerjisi E_k olan relyativistik zərrəciyə uyğun qoyulan de-Broyl dalğasının uzunluğunun

$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}}$ düsturu ilə təyin olunduğunu isbat edin.

Burada E_0 - zərrəciyin sükunət enerjisidir.

7.2. Kinetik enerjisi 20 MeV və 2000 MeV olan deyton üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunu hesablayın.

7.3. Kinetik enerjisi 1 KeV olan elektron üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.4. Sürəti $10^6 \frac{m}{san}$ olan elektron və proton üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.5. De-Broyl dalğasının uzunluğu $\lambda = 10^{-10} m$ olan elektronun kinetik enerjisini təyin edin.

7.6. $v = 2 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$ sürətlə hərəkət edən elektron üçün kütlənin sürətdən asılı olaraq dəyişməsinə nəzərə almaqla de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.7. Elektron hansı sürətləndirici potensiallar fərqi keçməlidir ki, onun de-Broyl dalğasının uzunluğu 1A-ə bərabər olsun?

7.8. Əsas halda olan hidrogen atomunda dairəvi orbit üzrə hərəkət edən elektronun de-Broyl dalğasının uzunluğunu hesablayın.

7.9. Hidrogen atomunda ikinci orbitdə olan elektronun de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.10. Eni 1 *mm* olan yarığa sürəti $3,65 \cdot 10^6 \frac{m}{san}$ olan elektron dəstəsi yönəldirilmişdir. Yarıqdan $L = 10 sm$ məsafədə yerləşən ekranda alınan difraksiya mənzərəsində

birinci tərtib iki maksimum arasındakı məsafəni hesablayın.

7.11. Sürəti 1000 km/san olan monoenergetik elektron dəstəsi yarığının eni 1 mkm olan diafraqmaya normal istiqamətdə düşür. Yarıqdan keçdikdən sonra elektronlar səpilir və diafraqmaya paralel olmaqla ondan 50 sm məsafədə yerləşdirilmiş ekran üzərində difraksiya mənzərəsi yaranır. Birinci tərtib difraksiya minimumları arasındakı məsafəni təyin edin.

7.12. Monoenergetik paralel elektron dəstəsi yarığının eni 2 mkm olan diafraqma üzərinə normal istiqamətdə düşür. Diafraqmaya paralel olmaqla ondan 70 sm məsafədə yerləşdirilmiş ekran üzərində alınan mərkəzi difraksiya maksimumunun eninin 1 mm olduğunu bilərək elektronların sürətini təyin edin.

7.13. Kinetik enerjisi $E_k = 20 \text{ KeV}$ olan elektron dəstəsi qəfəs sabiti $d = 4,06 \text{ \AA}$ olan nazik polikristallik qızıl vərəqəsindən (folqasından) səpilərək fotolövəhə üzərinə düşür. Fotolövəhənin qızıl vərəqdən $L=10 \text{ sm}$ məsafədə yerləşdiyini bilərək birinci üç difraksiya həlqəsinin diametrləri D -ni təyin edin.

7.14. $U=128 \text{ kV}$ potensiallar fərqiində sürətləndirilən elektron dəstəsi nazik polikristallik vərəq (folqa) üzərinə düşür. Folqadan $L=10 \text{ sm}$ məsafədə yerləşən ekran üzərində alınan birinci difraksiya həlqəsinin radiusunun $r=0,15 \text{ sm}$ olduğunu bilərək folqa materialının d qəfəs periodunu təyin edin.

7.15. Rentgen şüalarının bütöv spektrinin qısa dalğalı

sərhəddi dalğa uzunluğunun 30 \AA qiymətinə uyğun gələrsə, Rentgen borusunun antikatodunu bombardıman edən elektronların de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.16. Rentgen borusunun antikatodunda elektronların tormozlanması nəticəsində qısdalğalı sərhəddi $\lambda = 1 \text{ \AA}$ olan tormozlanma Rentgen spektri yaranır. Bu elektronlar üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.17. İnduksiyası $8 \cdot 10^{-3} \text{ Tl}$ olan bircins maqnit sahəsində radiusu $0,5 \text{ sm}$ olan çevrə üzrə hərəkət edən elektronun de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.18. İnduksiyası $B = 1 \text{ Tl}$ olan maqnit sahəsində əyrilik radiusu $r = 5 \text{ sm}$ olan trayektoriya üzrə hərəkət edən protonlar üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunun orta qiymətini təyin edin.

7.19. 5 K temperaturda He atomu üçün orta de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.20. $T = 1000 \text{ K}$ temperatura qədər qızdırılmış sobanın pəncərəsindən litium atomları çıxır. Bu atomlara uyğun gələn de-Broyl dalğasının uzunluğunu təyin edin.

7.21. $E_{k1} = 0,5 \text{ MeV}$ və $E_{k2} = 1 \text{ QeV}$ enerjiyə qədər sürətləndirilmiş elektronların kütləsini və onlar üçün de-Broyl dalğasının uzunluğunu hesablayın.

7.22. Hidrogen atomunda $n=10$ sayılı Bor orbitinə yerləşə bilən de-Broyl dalğa uzunluqlarının sayını hesablayın.

7.23. Adi həyəcanlaşmış səviyyədə atomun yaşama

müddətinin tipik qiyməti 10^{-8} san tərtibindədir, metastabil halda yaşama müddəti isə 10^{-3} san tərtibinə çatır. Bu hallar üçün görünən spektr oblastının ($\sim 6000 \text{ \AA}$) spektral xəttinin təbii enini anqstremlərlə qiymətləndirin.

7.24. Heyzenberqin qeyri-müəyyənlik prinsipindən və virial teoremindən istifadə edərək hidrogen atomunda elektronun de Broyl dalğasının uzunluğunu qiymətləndirin.

7.25. Qeyri-müəyyənlik prinsipindən və virial teoremindən istifadə edərək hidrogen atomunun ölçüsünün tərtibini təyin edin.

7.26. Hidrogen atomunda elektronun nüvədən orta məsafəsinin $r \sim 10^{-8}$ sm tərtibində olduğunu bilərək və qeyri-müəyyənlik prinsipindən istifadə edərək elektronun kinetik enerjisinin tərtibini qiymətləndirin.

7.27. Klassik harmonik ossilyatorun enerjisinin $E = \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$ düsturu ilə hesablandığını və qeyri-müəyyənlik münasibətini nəzərə alaraq göstərin ki, kvant harmonik ossilyatorun enerjisi sıfıra bərabər ola bilməz.

7.28. Qeyri-müəyyənlik münasibətindən və qarşılıqlı təsir üçün Kulon qanunundan istifadə edərək göstərin ki, radiusu $R \sim 10^{-12}$ sm tərtibində olan orbitdə, başqa sözlə nüvədə bağlı elektronlar ola bilməz.

7.29. Sərbəst hərəkət edən qeyri-relyativistik zərrəciyin kinetik enerjisi $1,6 \cdot 10^{-4}$ tərtibində nisbi qeyri-müəyyənliyə malikdir. Bu zərrəciyin koordinatının qeyri-müəyyənliyinin

onun de Broyl dalğa uzunluğundan neçə dəfə böyük olduğunu göstərin.

7.30. Elektronun de Broyl və Kompton dalğa uzunluqlarının eyni olduğunu bilərək kinetik enerjisini hesablayın.

7.31. Atomda elektronun Bor orbiti üzrə hərəkətinə dair klassik təsəvvürlərin Heyzenberqin qeyri – müəyyənlik prinsipinə zidd olduğunu isbat edin.

§8. Şredinger tənliyi. Zərrəciklərin potensial çuxurda hərəkəti

1. Zamandan asılı hal üçün Şredinger tənliyi:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (8.1)$$

Burada m – zərrəciyin kütləsi, i – mövhumi vahid, ψ – zərrəciyin dalğa funksiyası, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – Laplas operatoru, E – zərrəciyin tam enerjisi, U – koordinat və zamandan asılı olan funksiyadır və onun qradienti mənfi işarə ilə zərrəciyə təsir edən qüvvəni təyin edir.

2. Əgər U – zamandan aşkar şəkildə asılı deyilsə belə sahə stasionar sahə adlanır və bu halda U potensial enerjini ifadə edir. Stasionar hal üçün Şredinger tənliyi:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\psi = 0 \quad (8.2)$$

3. Zərrəciyin $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ həcm elementində olma ehtimalı

$$dW = |\psi|^2 dV = |\psi|^2 dx \cdot dy \cdot dz \quad (8.3)$$

düsturu ilə təyin olunur. $dP = \frac{dW}{dV} = |\psi|^2$ ehtimal sıxlığı adlanır.

4. Dalğa funksiyasının normallaşma şərti aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\int_V |\psi|^2 dV = 1 \quad (8.3)$$

5. Sonsuz dərin düzbucaqlı potensial çuxurda hərəkət edən zərrəciyin dalğa funksiyasının və enerjisinin məxsusi qiymətləri aşağıdakı düsturlarla təyin olunur:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi}{\ell} \cdot x \quad (8.4)$$

$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8m\ell^2} \quad (8.5)$$

Burada m – zərrəciyin kütləsi, ℓ - potensial çuxurun eni, $n = 1, 2, 3, \dots$

6. Xətti harmonik ossilyatorun məxsusi enerjisi

$$E_n = \hbar \omega \left(n + \frac{1}{2} \right); \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (8.6)$$

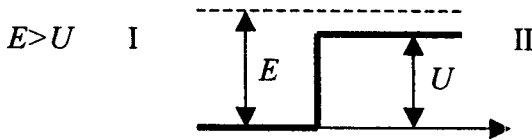
düsturu ilə təyin olunur.

7. Düzbucaqlı potensial çəpərin D – şəffaflıq əmsalı aşağıdakı düsturla təyin olunur.

$$D = \exp \left(-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m(U-E)} \cdot dx \right) \quad (8.7)$$

Burada x_1 və x_2 $U > E$ şərtini ödəyən nöqtələrin koordinatlarıdır. U – potensial çəpərin hündürlüyü, E – zərrəciyin enerjisidir.

8. Sonsuz enə malik olan potensial çəpərin R – əksətmə və D – şəffaflıq əmsalları aşağıdakı kimi təyin olunurlar.



$$R = \left(\frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right)^2 \quad (8.8)$$

$$D = \frac{4k_1 \cdot k_2}{(k_1 + k_2)^2} \quad (8.9)$$

$$R + D = \left(\frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right)^2 + \frac{4k_1 \cdot k_2}{(k_1 + k_2)^2} = 1 \quad (8.10)$$

$$k_1 = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2m \cdot E} ; \quad k_2 = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2m(E - U)} \quad (8.11)$$

k_1 və k_2 uyğun olaraq I və II oblastda dalğa vektorlarıdır.

(8.11) ifadələrini (8.8) və (8.9)-da nəzərə alsaq R və D üçün

aşağıdakı düsturları almaq olar.

$$R = \frac{\left(1 - \sqrt{1 - \frac{U}{E}}\right)^2}{\left(1 + \sqrt{1 - \frac{U}{E}}\right)^2} \quad (8.12)$$

$$D = 1 - R = 4 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{U}{E}}}{\left(1 + \sqrt{1 - \frac{U}{E}}\right)^2} \quad (8.13)$$

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Hidrogen atomunda elektronun halı $\psi = A \cdot e^{-\frac{r}{a}}$ şəklində dalğa funksiyası ilə təsvir olunur. Burada r – nüvədən elektrona qədər olan məsafə, a – birinci Bor orbitinin radiusudur. Normallaşma şərtindən istifadə edərək A – normallaşdırıcı vuruğunu təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\psi = A \cdot e^{-\frac{r}{a}}$

A - ?

(8.3) düsturuna uyğun olaraq normallaşma şərtini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$\int_0^{\infty} |\psi|^2 dV = 1 \quad (1)$$

Burada dV – nüvədən r məsafədə yerləşən və qalınlığı dr olan sferik layın həcmidir. Sferik layın qalınlığının çox kiçik olduğunu nəzərə alsaq

$$dV = 4\pi r^2 dr \quad (2)$$

yazmaq olar. (2)-ni (1)-də nəzərə alsaq

$$\int_0^{\infty} |\psi|^2 dV = \int_0^{\infty} A^2 e^{-\frac{2r}{a}} \cdot 4\pi r^2 dr = 4\pi A^2 \int_0^{\infty} e^{-\frac{2r}{a}} \cdot r^2 dr = 1 \quad (3)$$

almış olarıq. Burada $\frac{2r}{a} = t$ əvəzləməsi edək:

$$\frac{2r}{a} = t; \quad t^2 = \frac{4r^2}{a^2}; \quad r^2 = \frac{a^2}{4} t; \quad r = \frac{a}{2} \cdot t; \quad dr = \frac{a}{2} dt$$

Bunları (3) ifadəsindəki inteqralda nəzərə alaq:

$$\int_0^{\infty} e^{-\frac{2r}{a}} \cdot r^2 \cdot dr = \int_0^{\infty} e^{-t} \cdot \frac{a^2}{4} \cdot t^2 \cdot \frac{a}{2} dt = \frac{a^3}{8} \int_0^{\infty} e^{-t} \cdot t^2 \cdot dt$$

Burada $\int_0^{\infty} e^{-t} \cdot t^2 \cdot dt$ Eylər inteqralıdır və qiyməti $2! \cdot a$

bərabərdir (Cədvəl 12). Bunu (3)-də nəzərə alsaq

$$4\pi A^2 \cdot \frac{a^3}{8} \cdot 2! = 1 \quad \text{alırıq. Buradan} \quad \pi A^2 \cdot a^3 = 1; \quad A = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} .$$

Cavab : $A = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} .$

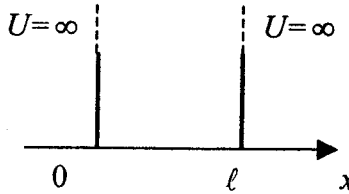
2. Şredinger tənliyini tətbiq edərək eni ℓ olan sonsuz dərin və birölçülü potensial çuxurda sərbəst hərəkət edən elektronun enerjisi və iki qonşu enerji səviyyələri arasındakı ΔE - enerji fərqi ifadə edən düstur alın.

Həlli:

Məsələni həll etmək üçün (8.2) stasionar hal üçün Şredinger tənliyindən istifadə edək:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0 \quad (1)$$

Məsələnin şərtinə görə elektron x oxu boyunca hərəkət edir və onun hərəkət oblastı $x = 0$ və $x = \ell$ sonsuz hündür və keçilməz divarlarla məhdudlaşmışdır. Bu halda elektronun hərəkəti $0 \leq x \leq \ell$ oblastında (şəkil 3) baş verir və onun potensial enerjisi aşağıdakı kimi təyin olunur:



Şəkil 3

$$U(x) = \begin{cases} 0; & 0 < x < \ell \\ \infty; & x \leq 0; x \geq \ell \end{cases} \quad (2)$$

(2) şərtini və $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ olduğunu nəzərə alsaq (1) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2m}{h^2} E \cdot \psi = 0 \quad (3)$$

$$k^2 = \frac{8\pi^2mE}{h^2} \quad (4)$$

əvəzləməsi aparsaq, onda (3) tənliyi

$$\psi'' + k\psi = 0 \quad (5)$$

şəklinə düşər. Bu ikinci tərtib differensial tənlikdir və onun həlli

$$\psi(x) = a \cdot \sin(k \cdot x + \alpha) \quad (6)$$

şəklində axtarılır. Burada k və α parametrləri dalğa funksiyasının kəsilməzlik şərtindən tapılır.

$$\psi(x=0) = \psi(x=\ell) = 0$$

$$\psi(x=0) = a \cdot \sin \alpha = 0; \quad \alpha = 0$$

$$\psi(x=\ell) = a \cdot \sin(k \cdot \ell + \alpha) = a \cdot \sin k \cdot \ell = 0; \quad k \cdot \ell = n \cdot \pi$$

$$k = \frac{n \cdot \pi}{\ell} \quad (7)$$

(7)-ni (4) – əvəzləməsində nəzərə alıb enerji üçün ifadə almaq olar:

$$\frac{8\pi^2 m E_n}{h^2} = \frac{n^2 \pi^2}{\ell^2}; \quad E_n = \frac{n^2 h^2}{8m\ell^2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\begin{aligned} \Delta E_n &= E_{(n+1)} - E_n = \frac{(n+1)h^2}{8m\ell^2} - \frac{n^2 h^2}{8m\ell^2} = \\ &= \frac{h^2}{8m\ell^2} (n^2 + 2n + 1 - n^2) = \frac{h^2}{8m\ell^2} (2n + 1) \end{aligned}$$

Cavab: $E_n = \frac{n^2 h^2}{8m\ell^2}; \quad \Delta E_n = \frac{h^2}{8m\ell^2} (2n + 1) .$

3. Monoenergetik elektron dəstəsi sonsuz böyük enə malik olanq potensial çəpərin üzərinə düşür. Düşən elektronların enerjisinin 100 eV olduğunu və onların 4%-nin çəpərdən əks olunduğunu bilərək potensial çəpərin hündürlüyünü təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E = 100 \text{ eV}$

$$R = 0,04$$

$U - ?$

Çəpərin əksətmə əmsalı məlum olduğundan onun hündürlüyünü (8.12) düsturuna əsasən təyin etmək olar.

$$R = \left(\frac{1 - \sqrt{1 - \frac{U}{E}}}{1 + \sqrt{1 - \frac{U}{E}}} \right)^2$$

Bərabərliyin hər iki tərəfindən kvadrat kök alaq:

$$\sqrt{R} = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{U}{E}}}{1 + \sqrt{1 - \frac{U}{E}}}; \quad \sqrt{R} + \sqrt{R} \cdot \sqrt{1 - \frac{U}{E}} = 1 - \sqrt{1 - \frac{U}{E}}$$

$$\sqrt{1 - \frac{U}{E}} \cdot (1 + \sqrt{R}) = 1 - \sqrt{R}; \quad \sqrt{1 - \frac{U}{E}} = \frac{1 - \sqrt{R}}{1 + \sqrt{R}}$$

Bərabərliyin hər iki tərəfini kvadrata yüksəldək və U -ya görə həll edək:

$$1 - \frac{U}{E} = \left(\frac{1 - \sqrt{R}}{1 + \sqrt{R}} \right)^2; \quad \frac{U}{E} = 1 - \left(\frac{1 - \sqrt{R}}{1 + \sqrt{R}} \right)^2$$

$$U = E \cdot \left[1 - \left(\frac{1 - \sqrt{R}}{1 + \sqrt{R}} \right)^2 \right]$$

E və R -in qiymətlərini yerinə yazıb hesablama

aparaq:

$$U = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{1 - \sqrt{0,04}}{1 + \sqrt{0,04}} \right)^2 \right] = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{1 - 0,2}{1 + 0,2} \right)^2 \right] =$$
$$= 100 \left[1 - \left(\frac{0,8}{1,2} \right)^2 \right] = 100 \left(1 - \frac{4}{9} \right) = 55,6$$

$$U = 55,6 \text{ eV} .$$

Cavab: $U = 55,6 \text{ eV} .$

4. Enerjisi $E = 5 \text{ eV}$ olan elektron hündürlüyü $U = 10 \text{ eV}$ və eni $\ell = 0,1 \text{ nm}$ olan düzbücaqlı potensial çuxurda X – oxunun müsbət istiqamətində hərəkət edir. Potensial çuxurun şəffaflıq əmsalını təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E = 5 \text{ eV} = 8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$$U = 10 \text{ eV} = 16 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\ell = 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$D - ?$

Düzbucaqlı potensial çuxurun şəffaflıq əmsalını (8.7) – düsturuna əsasən təyin etmək olar. Çəpərin eninin $\ell = x_2 - x_1$ olduğunu nəzərə alsaq D -ni aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$D = \exp\left(-\frac{2\ell}{\hbar}\sqrt{2m(U-E)}\right)$$

Düstura daxil olan kəmiyyətlərin qiymətlərini yerinə yazıb hesablama aparaq:

$$\begin{aligned} D &= \exp\left(-\frac{2 \cdot 10^{-10}}{1,05 \cdot 10^{-34}} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} (16-8) \cdot 10^{-19}}\right) = \\ &= \exp\left(-\frac{2 \cdot 10^{24}}{1,05} \cdot 10^{-25} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 8}\right) = \exp\left(-\frac{0,2 \cdot 12,07}{1,05}\right) = \\ &= e^{-2,3} = 0,1; \quad D = 0,1. \end{aligned}$$

Cavab: $D = 0,1$.

Məsələlər

8.1. Müəyyən zərrəciyin halı $\psi = \frac{A}{r} e^{-\frac{r}{a}}$ şəklində dalğa

funksiyası ilə təsvir olunur. Burada r qüvvə mərkəzindən zərrəciyə qədər məsafə, a – müəyyən sabit əmsaldır. Dalğa funksiyasının normallaşma şərtindən istifadə edərək A – normallaşdırma vuruğunu təyin edin.

8.2. Zamandan asılı Şredinger tənliyinin hansı həlləri stasionar həllər adlanır? Belə həllərin U zamandan aşkar şəkildə asılı olmadıqda alındığını göstərin.

8.3. Əgər potensial enerjinin hesablamaya başlanğıcını müəyyən ΔU kəmiyyəti qədər dəyişsək, stasionar halı xarakterizə edən tam dalğa funksiyası necə dəyişər?

8.4. Zərrəcik P impulsu ilə Ox oxunun müsbət istiqamətində hərəkət edir. Bu zərrəcik üçün zamana görə Şredinger tənliyinin həllini tapın.

8.5. Sərbəst hərəkət edən zərrəciyin enerjisinin ixtiyari qiymət ala bildiyini göstərin.

8.6. Birölçülü sonsuz dərin potensial çuxur daxilində hərəkət edən zərrəciyin dalğa funksiyasının məxsusi qiymətinin $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \sin \frac{\pi \cdot n}{\ell} \cdot x$ şəklində olduğunu göstərin.

8.7. Eni ℓ olan sonsuz dərin düzbucaqlı potensial çuxurda yerləşən zərrəcik əsas halda ($n=1$) olarsa, bu zərrəciyin çuxurun $0 < x < \frac{\ell}{3}$ oblastında olma ehtimalını hesablayın.

8.8. $n=3$ həyəcanlaşma halında olan elektron eni ℓ olan sonsuz dərin birölçülü potensial çuxurda yerləşir. Elektronun potensial çuxurun $\frac{\ell}{3} \leq x \leq \frac{2\ell}{3}$ oblastında olma ehtimalını hesablayın.

8.9. m kütləli zərrəcik eni ℓ sonsuz dərin, birölçülü və düzbucaqlı formada potensial çuxurda yerləşmişdir. Enerji səviyyələrinin çox sıx yerləşdiyi hal üçün E ilə $E+dE$ enerji intervalında olan enerji səviyyələrinin sayını təyin edin.

8.10. Eni $\ell = 10^{-10} m$ olan birölçülü sonsuz dərin potensial çuxurda yerləşən elektronun enerjisinin ən kiçik qiymətini təyin edin.

8.11. Eni $\ell = 10^{-10} m$ olan birölçülü sonsuz dərin potensial çuxurda olan protonun $n = 3$ həyəcanlaşmış səviyyədə enerjisini təyin edin.

8.12. Neytron eni $\ell = 2 \cdot 10^{-14} m$ olan sonsuz dərin düzbucaqlı formada birölçülü potensial çuxurda yerləşir. Neytronun enerji səviyyələri arasındakı minimal fərqi hesablayın.

8.13. Birölçülü, sonsuz dərin və düzbucaqlı formada potensial çuxurun eni nə qədər olmalıdır ki, oradakı zərrəciyin iki qonşu enerji səviyyələri arasındakı fərq T temperaturundakı orta kinetik enerjiyə bərabər olsun?

8.14. Eni ℓ olan sonsuz dərin, düzbucaqlı formada olan birölçülü potensial çuxurda olan zərrəciyin 3-cü və 2-ci enerji səviyyələri arasındakı fərqi ΔE olduğunu bilərək zərrəciyin kütləsini təyin edin.

8.15. Kütləsi m və elastiklik əmsalı k olan harmonik ossilyatorun halı $\psi(x) = A \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{\sqrt{m \cdot k}}{2\hbar} \cdot x^2\right)$ şəklində

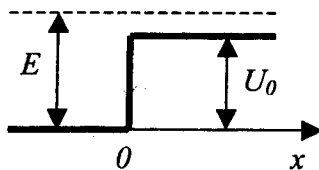
dalğa funksiyası ilə təsvir olunur. Ossilyatorun tam enerjisinin məxsusi qiymətini təyin edin.

8.16. Harmonik ossilyatorun məxsusi funksiyalarını və enerjisinin məxsusi qiymətlərini bilərək, $x > 0$ olduqda

$U(x) = \frac{kx^2}{2}$ və $x < 0$ olduqda $U(x) = \infty$ şərtini ödəyən

birölçütlü potensiallı sahədə hərəkət edən m kütləli zərrəciyin enerjisinin məxsusi qiymətini təyin edin.

8.17. Kütləsi m olan zərrəcik hündürlüyü U_0 olan düzbucaqlı potensial çəpər üzərinə düşür (şəkil 4). Zərrəciyin enerjisinin $E > U_0$ olduğunu bilərək potensial çəpərin əksətmə və şəffaflıq əmsallarını təyin edən ifadə alın.



Şəkil 4.

8.18. Enerji fərqi $U - E = 10 eV$ olan potensial çəpərin eni nə qədər olmalıdır ki, onun şəffaflıq əmsalı $D = 0,01$ -ə bərabər olsun.

8.19. Enerjisi $E = 25 eV$ olan monoenergetik elektron dəstəsi öz yolunda hündürlüyü $U = 9 eV$ olan potensial çəpərə rast gəlir. Çəpərin əksətmə və şəffaflıq əmsallarını təyin edin.

8.20. Eni $\ell = 10^{-10} m$ olan düzbucaqlı potensial çəpərlə rastlaşan elektron üçün $U - E$ enerji fərqi nə qədər olmalıdır ki, çəpərin şəffaflıq əmsalı $D = 0,5$ olsun?

§9. Qələvi metalların spektri. İncə quruluş

1. Bir valent elektronu olan atomun (ionun) spektral termi aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$T = \frac{RZ_{\text{eff}}^2}{(n - \sigma)^2} \quad (9.1)$$

burada R – Ridberq sabiti, Z_{eff} – atomun gövdəsinin effektiv yükü, n – baş kvant ədədi, σ – kvant defekti adlanır və aşağıdakı düsturla təyin edilir. BS-də

$$\sigma = -\frac{me^2 \cdot C_1}{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 \left(\ell + \frac{1}{2}\right)} \quad (9.2)$$

Qaus sistemində

$$\sigma = \frac{4\pi^2 me^2 \cdot C_1}{\hbar^2 \left(\ell + \frac{1}{2}\right)} \quad (9.3)$$

C_1 – sahənin təhrifinə edilən düzəlişdir və uzunluq vahidi ilə ifadə olunur.

2. Hidrogenəbənzər atomlarda valent elektronun enerjisi:

BS-də

$$E_{nt} = -\frac{me^4}{32 \cdot \pi^2 \cdot \epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{(n + \sigma)^2} \quad (9.4)$$

Qaus sistemində $\frac{m \cdot e^4}{32\pi^2 \cdot \epsilon_0^2 \cdot \hbar^2} = 13,6 eV$ olduğunu nəzərə

alsaq elektronun enerjisi üçün düsturu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$E_{nt} = -\frac{13,6}{(n+\sigma)^2} (eV) \quad (9.6)$$

3. Hidrogenəbənzər atomlar üçün stasionar halların enerjisi:

$$E = -\frac{m \cdot Z^2 \cdot e^4}{2\hbar^2 \cdot n^2} \left[1 + \frac{\alpha^2 \cdot Z^2}{n} \left(\frac{1}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4n} \right) \right] \quad (9.7)$$

$\alpha = \frac{e^2}{h \cdot c}$ - incə quruluş sabiti adlanır.

4. Spektral xətlərin dalğa uzunluğu:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{(k+\sigma_1)^2} - \frac{1}{(n+\sigma_2)^2} \right] \quad (9.8)$$

Burada k və n enerji keçidi baş verən səviyyələrin nömrələri, σ_1 və σ_2 isə uyğun kvant defektləridir.

5. Fotonun enerjisi:

$$E_f = E_0 \left[\frac{1}{(k+\sigma_1)^2} - \frac{1}{(k+\sigma_2)^2} \right] \quad (9.9)$$

$$E_0 = 13,5 \text{ eV}$$

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Litium ($Z=3$) atomunun $2s$, $2p$ və $3d$ hallarında rabitə enerjisi uyğun olaraq $5,39$ eV, $3,54$ eV və $1,51$ eV olarsa bu halların kvant defektlərini təyin edin.

Həlli:

Verilir: $E_{2s}(\text{rab}) = 5,39$ eV

$$E_{2p}(\text{rab}) = 3,54$$
 eV

$$E_{3d}(\text{rab}) = 1,51$$
 eV

$$\sigma_{2s} - ?; \quad \sigma_{2p} - ?; \quad \sigma_{3d} - ?;$$

Rabitə enerjisi elektronun mövcud stasionar halının enerjisinə müsbət işarə ilə bərabər olduğundan onu (9.6) düsturunun köməyi ilə ifadə etmək olar.

$$E_{n,\ell}(\text{rab}) = \frac{me^4}{32\pi^2 \cdot \epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{(n+\sigma)^2} = \frac{13,6}{(n+\sigma)^2} (\text{eV})$$

Buradan stasionar halın kvant defektini təyin etmək üçün düstur almaq olar:

$$n + \sigma = \sqrt{\frac{13,6}{E_{n,\ell}(\text{rab})}}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{13,6}{E_{n,\ell}(\text{rab})}} - n$$

Məsələnin şərtində verilənləri nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$\sigma_{2s} = \sqrt{\frac{13,6}{5,39}} - 2 = 1,59 - 2 = -0,41$$

$$\sigma_{2p} = \sqrt{\frac{13,6}{3,54}} - 2 = 1,96 - 2 = -0,04$$

$$\sigma_{3d} = \sqrt{\frac{13,6}{1,51}} - 3 = 3 - 3 = 0$$

Cavab: $\sigma_{2s} = -0,41$; $\sigma_{2p} = -0,04$; $\sigma_{3d} = 0$.

2. Natrium və kalium atomları üçün kvant defektinin qiymətlərinin uyğun olaraq $\sigma_{3s} = -1,37$ və $\sigma_{4s} = -2,23$ olduğunu bilərək bu atomların valent elektronlarının rabitə enerjisini təyin edin.

Həlli:

Verilir: $\sigma_{3s} (Na) = -1,37$

$\sigma_{4s} (K) = -2,23$

$E_{rab} - ?$

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi rabitə enerjisi elektronu atomdan qoparmaq üçün lazım olan enerjiyə bərabər olduğundan onu elektronun mövcud stasionar halının enerjisinin müsbət işarə ilə götürülmüş qiyməti kimi təyin etmək olar.

$$E_{rab} = \frac{me^4}{32\pi^2 \cdot \epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{(n+\sigma)^2} = \frac{13,6}{(n+\sigma)^2} (eV)$$

Na – atomu üçün $n = 3$ və $\sigma_{3s} = -1,37$ olduğundan

$$E_{3s} (rab) = \frac{13,6}{(3-1,37)^2} = \frac{13,6}{2,66} = 5,11$$

$$E_{3s} (rab) = 5,11 eV$$

K – atomu üçün $n = 4$ və $\sigma_{4s} = -2,23$ olduğundan

$$E_{4s}(rab) = \frac{13,6}{(4 - 2,23)^2} = \frac{13,6}{3,13} = 4,35$$

$$E_{4s}(rab) = 4,35 eV$$

Cavab: $E_{3s}(rab) = 5,11 eV$, $E_{4s}(rab) = 4,35 eV$.

3. Həyəcanlaşmış natrium atomları 4s halından əsas 3s halına aralıq 3p halına keçid vasitəsi ilə gəlir. Bu stasionar hallar üçün Ridberq düzəlişlərinin qiymətlərinin $\sigma_{4s} = -1,36$, $\sigma_{3s} = -1,37$ və $\sigma_{3p} = -0,88$ olduğunu bilərək şüalanan fotonların dalğa uzunluqlarını təyin edin.

Həlli:

Verilir: $Z=11$

$$\sigma_{4s} = -1,36$$

$$\sigma_{3s} = -1,37$$

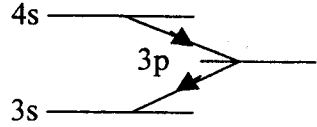
$$\sigma_{3p} = -0,88$$

$$\lambda(4s \rightarrow 3p) - ?$$

$$\lambda(3p \rightarrow 3s) - ?$$

Məsələnin şərtinə uyğun olaraq natrium atomunun həyəcanlaşmış 4s halından əsas 3s halına keçidini sxematik olaraq aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

Bu keçidlər zamanı şüalanan fotonun dalğa uzunluğunu (9.8) düsturunun köməyi ilə hesablamaq olar.



$$\frac{1}{\lambda(4s \rightarrow 3p)} = R \left(\frac{1}{(3 + \sigma_{3p})^2} - \frac{1}{(4 + \sigma_{4s})^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda(3p \rightarrow 3s)} = R \left(\frac{1}{(3 + \sigma_{3s})^2} - \frac{1}{(3 + \sigma_{3p})^2} \right)$$

Ridberq sabitinin $R = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1}$ olduğunu və məsələnin şərtində verilənləri nəzərə alıb hesablama aparaq.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda(4s \rightarrow 3p)} &= 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{(3 - 0,88)^2} - \frac{1}{(4 - 1,36)^2} \right) = \\ &= 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{4,49} - \frac{1}{6,97} \right) = 1,097 \cdot 10^7 (0,223 - 0,144) = \\ &= 8,67 \cdot 10^5 \end{aligned}$$

$$\lambda(4s \rightarrow 3p) = \frac{1}{8,67 \cdot 10^5} = 0,11 \cdot 10^{-5}$$

$$\lambda(4s \rightarrow 3p) = 0,11 \cdot 10^{-5} m = 1,1 \text{ mkm}$$

$$\frac{1}{\lambda(3p \rightarrow 3s)} = 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{(3-1,37)^2} - \frac{1}{(3-0,88)^2} \right) =$$

$$= 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2,66} - \frac{1}{4,49} \right) = 1,097 \cdot 10^7 (0,376 - 0,223) =$$

$$= 1,097 \cdot 10^7 \cdot 0,153 = 0,168 \cdot 10^7 = 1,68 \cdot 10^6$$

$$\lambda(3p \rightarrow 3s) = \frac{1}{1,68 \cdot 10^6} = 0,595 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda(3p \rightarrow 3s) = 0,595 \cdot 10^{-6} m = 0,595 \text{ mkm}$$

Cavab: $\lambda(4s \rightarrow 3p) = 1,1 \text{ mkm}$;
 $\lambda(3p \rightarrow 3s) = 0,595 \text{ mkm}$.

Məsələlər

9.1. Kvars monoxromator civə lampası spektrindən dalğa uzunluğu $\lambda = 253 \text{ \AA}$ olan xətti ayırır. Ayrılan dalğa içərisində sezium buxarı olan boru üzərinə düşür. Sezium atomunun fotoionlaşması zamanı ayrılan elektronun sürəti $v = 6 \cdot 10^7 \text{ sm/san.}$, seziumun rezonans xəttinin dalğa uzunluğu $\lambda = 8944 \text{ \AA}$ -dir. σ_s və σ_p Ridberq düzəlişlərini təyin edin.

9.2. Kaliumun rezonans xəttinin dalğa uzunluğu $\lambda = 7665 \text{ \AA}$, əsas (baş) seriyanın sərhəd dalğa uzunluğu $\lambda_{\infty} = 5858 \text{ \AA}$ – dir. S və P termləri üçün Ridberq düzəlişini və kalium atomunun ionlaşma potensialını təyin edin.

9.3. Kvant defekti $\sigma_S = -0,4$, $\sigma_P = -0,04$ olduqda Li (litium elementi) atomunun rezonans xəttinin multiplet parçalanmasının anqstermlərlə ifadə olunmuş qiymətini tapın

9.4. Əsas $3S$ və $3P$ termləri üçün kvant defektlərinin uyğun olaraq 1,37 və 0,88 olduğunu bilərək, Na atomunun ionlaşma potensialını və birinci həyəcanlaşma potensialını təyin edin.

9.5. Əsas halda valent elektronun rabitə enerjisinin 5,39 eV, birinci həyəcanlaşma potensialının 1,85 eV və diffuz seriyanın əsas xəttinin dalğa uzunluğunun 0,610 mkm olduğunu bilərək Li (litium) atomunun S , P və D termləri üçün kvant defektini hesablayın.

9.6. Kəskin seriyanın əsas xəttinin və qısa dalğalı sərhəddinin dalğa uzunluqlarının uyğun olaraq 0,813 mkm və 0,349 mkm olduğunu bilərək Li (litium) atomunun əsas halında valent elektronun rabitə enerjisini tapın .

9.7. Mövcud seçmə qaydasına əsasən Li atomunun

a) $4S$; b) $4P$ halından əsas hala keçməsi zamanı neçə spektral xətt yaranır?

9.8. Rezonans xəttinin dublet komponentlərinin dalğa uzunluqlarının uyğun olaraq $7698,98\overset{\circ}{\text{Å}}$ və $7698,98\overset{\circ}{\text{Å}}$ olduğunu bilərək K (kalium) atomunun $4P$ səviyyəsinin parçalanmasının qiymətini (eV-la) təyin edin. Alınmış nəticəni rezonans keçidi enerjisi ilə müqayisə edin.

9.9. Elektronun məxsusi mexaniki və maqnit momentinin mövcud olduğunu hansı təcrübi faktlar göstərir?

9.10. İncə quruluş düsturunun köməyi ilə hidrogen atomunda elektronun spin-orbital qarşılıqlı təsirinə uyğun gələn enerjinin maksimal qiymətini tapın.

9.11. Atomun quruluşu haqqında Bor fərziyyəsinə əsaslanaraq normal halda, hidrogen atomunda elektronun spini-orbital maqnit qarşılıqlı təsirinə uyğun gələn enerjinin maksimal tərtibini müəyyən edin.

9.12. Ümumi halda incə quruluş düsturundakı əlavə ΔE düzəliş həddinin n və j kvant ədədlərinin heç bir mümkün qiymətlərində itmədiyini göstərin.

9.13. Hidrogen və qələvi metalların atomu üçün Şredinger tənliyini həll edərək orbital və baş kvant ədədləri alınır. Nə üçün bu tənlik spin kvant ədədinə gətirmir?

9.14. İncə quruluş düsturuna əsasən dubetliyi hesablayarkən $3S$ və $3P$, $3P$ və $3D$ təbəqələrinin üst-üstə düşməsinə göstərin ($3S_{\frac{1}{2}} = 3P_{\frac{1}{2}}$, $3P_{\frac{3}{2}} = 3D_{\frac{3}{2}}$)

9.15. Baş kvant ədədi $n=3$ olan halda birqat ionlaşmış helium atomunun termlərinin sxemini qurun. Dalğa ədədlərinin intervalını tapın.

9.16. İkiqat ionlaşmış litium atomu üçün baş kvant ədədləri $n=3$ və $n=2$ olan hallar arasında mümkün olan keçidlərin sxemini qurun.

9.17. Məlumdur ki, başqa termlərdən fərqli olaraq S -termlər həmişə sadədir (sinqletdir).

a) Bunu incə quruluş düsturu ilə izah etmək olarmı ?

b) Bu faktın fiziki izahı (interpretasiyası) necədir?

9.18. Seziyum buxarının spektrində kəskin seriyanın əsas xətti 14695 \AA və 13588 \AA dalğa uzunluğuna malik dubletdir. Bu seriyanın digər spektral xətləri arasındakı intervalı dalğa ədədləri vasitəsilə təyin edin.

§10. Atomun vektor modeli

1. Elektronun M_S – spin momentini və onun verilmiş Z oxu istiqamətdə proyeksiyası:

$$M_S = \hbar\sqrt{s(s+1)} \quad (10.1)$$

$$M_{sz} = m_s \cdot \hbar \quad (10.2)$$

Burada $m_s = \pm \frac{1}{2}$ - spin kvant ədədidir.

2. Elektronun orbital impuls momentini M_ℓ və onun verilmiş Z oxu istiqamətdə proyeksiyası:

$$M_\ell = \hbar\sqrt{\ell(\ell+1)} \quad (10.3)$$

$$M_{\ell z} = m_\ell \cdot \hbar \quad (10.4)$$

Burada ℓ - orbital kvant ədədidir. $\ell=0,1,2,\dots n-1$ qiymətlərini alır. m_ℓ -orbital maqnit kvant ədədidir və $m_\ell=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$ qiymətlərini alır.

3. Çoxelektronlu atomda yekun M_L – orbital momentini və yekun M_S – spin momentini:

$$M_L = \hbar\sqrt{L(L+1)} \quad (10.5)$$

$$M_S = \hbar\sqrt{S(S+1)} \quad (10.6)$$

Burada L – yekun orbital momentin kvant ədədi, S – yekun spin momentinin kvant ədədidir.

4. Atomun tam impuls momentini

$$\vec{M}_J = \vec{M}_L + \vec{M}_S \quad (10.7)$$

$$M_J = \hbar\sqrt{J(J+1)} \quad (10.8)$$

Burada J – atomun yekun impuls momentini kvant ədədidir.

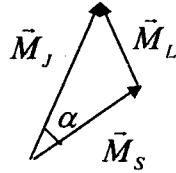
$J=L+S, L+(S-1), \dots, |L-S|$ qiymətlərini alır.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Atom dolmuş elektron layından əlavə üç elektrona (s, p, d) malikdir və bu hal üçün mümkün olan maksimal impuls momentinə malikdir. Atomun vektor modelindən istifadə edərək tam spin (\vec{M}_S) və yekun (\vec{M}_J) vektorları arasındakı bucağı təyin edin.

Həlli:

Atomun vektor modelinə istinadən \vec{M}_S , \vec{M}_L və \vec{M}_J vektorlarının yönəlməsini sxematik olaraq aşağıdakı kimi təsvir etmək olar. Buradan axtarılan α - bucağını kosinuslar teoreminin köməyi ilə təyin edə bilərik.



$$M_L^2 = M_J^2 + M_S^2 - 2M_S \cdot M_J \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{M_J^2 + M_S^2 - M_L^2}{2M_S \cdot M_J} \quad (1)$$

(10.8)- düsturuna əsasən M_J özünün ən böyük qiymətini J - kvant ədədi maksimal olduqda alar.

$$J_{\max} = L_{\max} + S_{\max}$$

Dolmuş layın tam impuls momenti 0-a bərabər olduğundan yalnız 3 elektronun (s, p, d) nəzərdən keçirmək lazım gələcəkdir.

$$l_1 = 0; l_2 = 1 \text{ və } l_3 = 2 ; \text{ Buna uyğun olaraq}$$

$$L_{\max} = l_1 + l_2 + l_3 = 0 + 1 + 2 = 3$$

$$\text{Eyni qayda ilə } S_{\max} = s_1 + s_2 + s_3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}.$$

(10.5), (10.6) və (10.8) – düsturlarına uyğun olaraq

$$M_L = \sqrt{12} \cdot \hbar = \frac{\sqrt{48}}{2} \hbar; \quad M_S = \frac{\sqrt{15}}{2} \hbar \quad \text{və} \quad M_J = \frac{\sqrt{99}}{2} \hbar \quad \text{alırıq.}$$

M_L , M_S və M_J – üçün aldığımız bu qiymətləri (1) düsturunda yerinə yazıb hesablama aparırıq:

$$\cos \alpha = \frac{\frac{99}{4} \hbar^2 + \frac{15}{4} \hbar^2 - \frac{48}{4} \hbar^2}{2 \cdot \frac{\sqrt{15}}{2} \hbar \cdot \frac{\sqrt{99}}{2} \hbar} = \frac{66}{77,07} = 0,856$$

$$\alpha = \arccos 0,856 = 31^\circ$$

Cavab: $\alpha = 31^\circ$

2. Əgər $l_1 = 2$ və $l_2 = 3$ olarsa, L tam orbital momentinin və M_{l_1} , M_{l_2} , M_L momentlərinin mümkün olan qiymətlərini tapın.

Həlli:

Məsələnin şərtinə görə $l_{\min} = l_1 = 2$ olduğundan yekun orbital kvant ədədi (L) $(2l_1 + 1) = (2 \cdot 2 + 1) = 5$ qiymət alır. L -in ən kiçik qiyməti $L_{\min} = (l_2 - l_1) = 3 - 2 = 1$ olduğundan yekun orbital moment aşağıdakı mümkün qiymətləri alır:

$$L = 5; 4; 3; 2; 1$$

(10.3) və (10.5) düsturlarına əsasən impuls momentlərinin qiymətlərini hesablamaq olar:

$$M_{l_1} = \hbar\sqrt{l_1(l_1+1)} = \hbar\sqrt{2(2+1)} = \hbar\sqrt{6}$$

$$M_{l_2} = \hbar\sqrt{l_2(l_2+1)} = \hbar\sqrt{3(3+1)} = \hbar\sqrt{12}$$

$$M_{L_1} = \hbar\sqrt{L(L+1)} = \hbar\sqrt{5(5+1)} = \hbar\sqrt{30}$$

$$M_{L_2} = \hbar\sqrt{4(4+1)} = \hbar\sqrt{20}$$

$$M_{L_3} = \hbar\sqrt{3(3+1)} = \hbar\sqrt{12}$$

$$M_{L_4} = \hbar\sqrt{2(2+1)} = \hbar\sqrt{6}$$

$$M_{L_5} = \hbar\sqrt{1(1+1)} = \hbar\sqrt{2}$$

Məsələlər

10.1. Həyəcanlaşmış helium atomunda elektronlardan biri p – təbəqəsində, digəri d – təbəqəsindədir. Tam orbital kvant ədədi L -in mümkün qiymətlərini və uyğun hərəkət miqdarı momentini tapın.

10.2. Aşağıdakı şərtlər daxilində biri d – halında, digəri f – halında olan iki elektronun orbital momentləri arasındakı bucağı tapın:

- tam orbital kvant ədədi $L = 3$;
- axtarılan bucaq minimaldır;
- axtarılan bucaq maksimaldır.

10.3. d – təbəqəsində olan elektronun tam hərəkət

miqdarı momentinin hansı mümkün qiymətləri var? Bu halda spin mexaniki momenti və orbital momentlər arasındakı bucaq nəyə bərabərdir?

10.4. İki elektronlu sistemin mexaniki spin momenti $S = 1$ kvant ədədi ilə təyin edilir. Bu iki elektronun spin mexaniki momentləri arasında qalan bucağı tapın.

10.5. $L = 3$; S kvant ədədinin isə $\frac{3}{2}$; 2 ; $\frac{5}{2}$

qiymətləri ala bildiyi hal üçün elektron sisteminin tam mexaniki momentinə uyğun gələn J kvant ədədinin mümkün qiymətlərini təyin edin.

10.6. Sistemin mümkün hallarının sayı $L > S$ olduqda $2S + 1$; $L < S$ olduqda $2L + 1$ ifadəsi ilə təyin olunur. J kvant ədədinin bütün mümkün qiymətlərini aşağıdakı hallar üçün yazmaqla bu fakta bilavasitə əmin olun:

a) $L = 3$, $S = 2$; b) $L = 2$, $S = \frac{3}{2}$;

c) $L = 3$, $S = \frac{7}{2}$; d) $L = 2$, $S = 3$.

$L = S$ olduqda J kvant ədədinin mümkün qiymətləri hansı ifadə ilə təyin olunur?

10.7. Atomlardan biri F halında, digəri D halındadır. Bu zaman J kvant ədədinin mümkün qiymətlərinin sayı hər iki hal üçün eynidir və beşə bərabərdir. Bu halların spin kvant ədədlərini təyin edin.

10.8. İki valent elektrona malik atomlarda termlərin iki

sisteminin (sinqlet və triplet) mövcud olduğunu atomun vektor modeli əsasında (nöqtəyi nəzərindən) izah edin .

10.9. Aşağıdakı atomların mümkün multipletlik dərəcələrini təyin edin: Li, Be, B, C, N.

10.10. Rabitənin Rassel-Saunders tipinə uyğun olaraq p – elektron və d – elektron kombinasiyaları üçün bütün mümkün termləri yazın. Onların spektral termlərini tapın.

10.11. İki elektronlu sistem ($l_1 = 2, l_2 = 3$) nümunəsində rabitənin hər iki tipinə (Rassel-Saunders rabitəsi və $j - j$ rabitə) görə mümkün halların sayının eyni olduğunu göstərin . Bu iki tip rabitə hər hansı bir fərqlə özünü büruzə verəcəkmi?

10.12. Sistem üç elektrondan ibarətdir: biri s – halında, ikinci p – halında, üçüncüsü isə d – halında. Elektronların bu konfigurasiyasına hansı termlər uyğun gəlir? Mümkün olan bütün spektral termlərini tapın.

10.13. Aşağıdakı hallar mümkündürmü:

$${}^2S_1, {}^3S_0, {}^3P_0, {}^3S_{\frac{1}{2}}, {}^2S_{\frac{1}{2}}, {}^3D_0, {}^2D_{\frac{1}{2}} ?$$

10.14. Multipletlərin çatışmayan komponentlərini yazın:

$${}^2P_{\frac{3}{2}}, {}^3D_1, {}^4F_{\frac{5}{2}}, {}^3P_2, {}^5D_4, {}^7P_{\frac{1}{2}} .$$

10.15. Qapalı səviyyələrin və alt səviyyələrin mexaniki və maqnit momentlərinin ($\vec{L}, \vec{S}, \vec{J}, \vec{M}_L, \vec{M}_S, \vec{M}_J$) sıfıra bərabər olduğunu göstərin.

10.16. Orbital kvant ədədləri $l_1 = 1$, $l_2 = 2$, $l_3 = 3$ olan üç elektrondan ibarət sistem S haldadır. Birinci iki elektronun mexaniki orbital momentləri arasında qalan bucağı tapın.

10.17. Atomun vektor modelinə uyğun olaraq 3P_0 və 3D_2 termlərin orbital və spin momenti vektorları arasında qalan bucağı hesablayın.

10.18. Göstərin ki, He (helium) üçün 3S_1 halı əsas hal ola bilməz.

10.19. S , P , D və F termlər hansı hallarda ola bilər?

10.20. He (helium) atomunun elektronlarından biri həyəcanlaşmamış $n=1$ səviyyəsində, digəri isə həyəcanlaşmış $n=2$ səviyyəsindədir. Atomun hallarını xarakterizə edən mümkün spektral termlərini tapın.

10.21. H , He , Li , Mg , Fe , Hg , U , Cl atomlarının mümkün multipletliyini təyin edin.

10.22. Sr^+ , Li^+ , Ca^+ , C^{++} , O^{++++} ionlarının mümkün multipletlikləri necədir?

10.23. Hidrogen atomunun $n=2$, $l=1$ səviyyəsində spinin orbitlə maqnit qarşılıqlı təsiri nəticəsində parçalanmasını təyin edin.

10.24. Üçüncü qrup elementlərinin ən yüksək multipletliyi necədir?

9.15. Baş kvant ədədi $n=3$ olan halda birqat ionlaşmış helium atomunun termlərinin sxemini qurun. Dalğa ədədlərinin intervalını tapın.

9.16. İkiqat ionlaşmış litium atomu üçün baş kvant ədədləri $n=3$ və $n=2$ olan hallar arasında mümkün olan keçidlərin sxemini qurun.

9.17. Məlumdur ki, başqa termlərdən fərqli olaraq S -termlər həmişə sadədir (sinqletdir).

- a) Bunu incə quruluş düsturu ilə izah etmək olarmı ?
- b) Bu faktın fiziki izahı (interpretasiyası) necədir?

9.18. Seziyum buxarının spektrində kəskin seriyanın əsas xətti 14695 \AA və 13588 \AA dalğa uzunluğuna malik dubletdir. Bu seriyanın digər spektral xətləri arasındakı intervalı dalğa ədədləri vasitəsilə təyin edin.

§10. Atomun vektor modeli

1. Elektronun M_S – spin momentini və onun verilmiş Z oxu istiqamətdə proyeksiyası:

$$M_s = \hbar\sqrt{s(s+1)} \quad (10.1)$$

$$M_{sz} = m_s \cdot \hbar \quad (10.2)$$

Burada $m_s = \pm \frac{1}{2}$ - spin kvant ədədidir.

2. Elektronun orbital impuls momentini M_ℓ və onun verilmiş Z oxu istiqamətdə proyeksiyası:

$$M_\ell = \hbar\sqrt{\ell(\ell+1)} \quad (10.3)$$

$$M_{\ell z} = m_\ell \cdot \hbar \quad (10.4)$$

Burada ℓ - orbital kvant ədədidir. $\ell = 0, 1, 2, \dots, n-1$ qiymətlərini alır. m_ℓ -orbital maqnit kvant ədədidir və $m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$ qiymətlərini alır.

3. Çoxelektronlu atomda yekun M_L – orbital momentini və yekun M_S – spin momentini:

$$M_L = \hbar\sqrt{L(L+1)} \quad (10.5)$$

$$M_S = \hbar\sqrt{S(S+1)} \quad (10.6)$$

Burada L – yekun orbital momentinin kvant ədədi, S – yekun spin momentinin kvant ədədidir.

4. Atomun tam impuls momentini

$$\vec{M}_J = \vec{M}_L + \vec{M}_S \quad (10.7)$$

$$M_J = \hbar\sqrt{J(J+1)} \quad (10.8)$$

Burada J – atomun yekun impuls momentini kvant ədədidir.

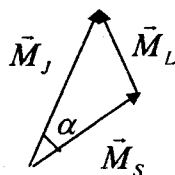
$J=L+S, L+(S-1), \dots, |L-S|$ qiymətlərini alır.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Atom dolmuş elektron layından əlavə üç elektrona (s, p, d) malikdir və bu hal üçün mümkün olan maksimal impuls momentinə malikdir. Atomun vektor modelindən istifadə edərək tam spin (\vec{M}_S) və yekun (\vec{M}_J) vektorları arasındakı bucağı təyin edin.

Həlli:

Atomun vektor modelinə istinadən \vec{M}_S , \vec{M}_L və \vec{M}_J vektorlarının yönəlməsini sxematik olaraq aşağıdakı kimi təsvir etmək olar. Buradan axtarılan α - bucağını kosinuslar teoreminin köməyi ilə təyin edə bilərik.



$$M_L^2 = M_J^2 + M_S^2 - 2M_S \cdot M_J \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{M_J^2 + M_S^2 - M_L^2}{2M_S \cdot M_J} \quad (1)$$

(10.8)- düsturuna əsasən M_J özünün ən böyük qiymətini J - kvant ədədi maksimal olduqda alar.

$$J_{\max} = L_{\max} + S_{\max}$$

Dolmuş layın tam impuls momenti 0-a bərabər olduğundan yalnız 3 elektronun (s, p, d) nəzərdən keçirmək lazım gələcəkdir.

$l_1 = 0$; $l_2 = 1$ və $l_3 = 2$; Buna uyğun olaraq

$$L_{\max} = l_1 + l_2 + l_3 = 0 + 1 + 2 = 3$$

$$\text{Eyni qayda ilə } S_{\max} = s_1 + s_2 + s_3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}.$$

(10.5), (10.6) və (10.8) – düsturlarına uyğun olaraq

$$M_L = \sqrt{12} \cdot \hbar = \frac{\sqrt{48}}{2} \hbar; \quad M_S = \frac{\sqrt{15}}{2} \hbar \quad \text{və} \quad M_J = \frac{\sqrt{99}}{2} \hbar \quad \text{alırıq.}$$

M_L , M_S və M_J – üçün aldığımız bu qiymətləri (1) düsturunda yerinə yazıb hesablama aparaq:

$$\cos \alpha = \frac{\frac{99}{4} \hbar^2 + \frac{15}{4} \cdot \hbar^2 - \frac{48}{4} \hbar^2}{2 \cdot \frac{\sqrt{15}}{2} \cdot \hbar \cdot \frac{\sqrt{99}}{2} \cdot \hbar} = \frac{66}{77,07} = 0,856$$

$$\alpha = \arccos 0,856 = 31^\circ$$

Cavab: $\alpha = 31^\circ$

2. Əgər $l_1 = 2$ və $l_2 = 3$ olarsa, L tam orbital momentinin və M_{l_1} , M_{l_2} , M_L momentlərinin mümkün olan qiymətlərini tapın.

Həlli:

Məsələnin şərtinə görə $l_{\min} = l_1 = 2$ olduğundan yekun orbital kvant ədədi (L) $(2l_1 + 1) = (2 \cdot 2 + 1) = 5$ qiymət alır. L -in ən kiçik qiyməti $L_{\min} = (l_2 - l_1) = 3 - 2 = 1$ olduğundan yekun orbital moment aşağıdakı mümkün qiymətləri alır:

$$L = 5; 4; 3; 2; 1$$

(10.3) və (10.5) düsturlarına əsasən impuls momentlərinin qiymətlərini hesablamaq olar:

$$M_{l_1} = \hbar\sqrt{l_1(l_1+1)} = \hbar\sqrt{2(2+1)} = \hbar\sqrt{6}$$

$$M_{l_2} = \hbar\sqrt{l_2(l_2+1)} = \hbar\sqrt{3(3+1)} = \hbar\sqrt{12}$$

$$M_{L_1} = \hbar\sqrt{L(L+1)} = \hbar\sqrt{5(5+1)} = \hbar\sqrt{30}$$

$$M_{L_2} = \hbar\sqrt{4(4+1)} = \hbar\sqrt{20}$$

$$M_{L_3} = \hbar\sqrt{3(3+1)} = \hbar\sqrt{12}$$

$$M_{L_4} = \hbar\sqrt{2(2+1)} = \hbar\sqrt{6}$$

$$M_{L_5} = \hbar\sqrt{1(1+1)} = \hbar\sqrt{2}$$

Məsələlər

10.1. Həyəcanlaşmış helium atomunda elektronlardan biri p – təbəqəsində, digəri d – təbəqəsindədir. Tam orbital kvant ədədi L -in mümkün qiymətlərini və uyğun hərəkət miqdarı momentini tapın.

10.2. Aşağıdakı şərtlər daxilində biri d – halında, digəri f – halında olan iki elektronun orbital momentləri arasındakı bucağı tapın:

- a) tam orbital kvant ədədi $L = 3$;
- b) axtarılan bucaq minimaldır;
- c) axtarılan bucaq maksimaldır.

10.3. d – təbəqəsində olan elektronun tam hərəkət

miqdarı momentinin hansı mümkün qiymətləri var? Bu halda spin mexaniki momenti və orbital momentlər arasındakı bucaq nəyə bərabərdir?

10.4. İki elektronlu sistemin mexaniki spin momenti $S = 1$ kvant ədədi ilə təyin edilir. Bu iki elektronun spin mexaniki momentləri arasında qalan bucağı tapın.

10.5. $L = 3$; S kvant ədədinin isə $\frac{3}{2}$; 2 ; $\frac{5}{2}$ qiymətləri ala bildiyi hal üçün elektron sisteminin tam mexaniki momentinə uyğun gələn J kvant ədədinin mümkün qiymətlərini təyin edin.

10.6. Sistemin mümkün hallarının sayı $L > S$ olduqda $2S + 1$; $L < S$ olduqda $2L + 1$ ifadəsi ilə təyin olunur. J kvant ədədinin bütün mümkün qiymətlərini aşağıdakı hallar üçün yazmaqla bu fakta bilavasitə əmin olun:

a) $L = 3$, $S = 2$; b) $L = 2$, $S = \frac{3}{2}$;

c) $L = 3$, $S = \frac{7}{2}$; d) $L = 2$, $S = 3$.

$L = S$ olduqda J kvant ədədinin mümkün qiymətləri hansı ifadə ilə təyin olunur?

10.7. Atomlardan biri F halında, digəri D halındadır. Bu zaman J kvant ədədinin mümkün qiymətlərinin sayı hər iki hal üçün eynidir və beşə bərabərdir. Bu halların spin kvant ədədlərini təyin edin.

10.8. İki valent elektrona malik atomlarda termlərin iki

sisteminin (sinqlet və triplet) mövcud olduğunu atomun vektor modeli əsasında(nöqtəyi nəzərindən) izah edin .

10.9. Aşağıdakı atomların mümkün multipletlik dərəcələrini təyin edin: Li, Be, B, C, N.

10.10. Rabitənin Rassel-Saunders tipinə uyğun olaraq p – elektron və d – elektron kombinasiyaları üçün bütün mümkün termləri yazın. Onların spektral termlərini tapın.

10.11. İki elektronlu sistem ($l_1 = 2, l_2 = 3$) nümunəsində rabitənin hər iki tipinə (Rassel-Saunders rabitəsi və $j - j$ rabitə) görə mümkün halların sayının eyni olduğunu göstərin . Bu iki tip rabitə hər hansı bir fərqlə özünü büruzə verəcəkmi?

10.12. Sistem üç elektrondan ibarətdir: biri s – halında, ikinci p – halında, üçüncüsü isə d – halında. Elektronların bu konfigurasiyasına hansı termlər uyğun gəlir? Mümkün olan bütün spektral termlərini tapın.

10.13. Aşağıdakı hallar mümkündürmü:

$${}^2S_1, {}^3S_0, {}^3P_0, {}^3S_{\frac{1}{2}}, {}^2S_{\frac{1}{2}}, {}^3D_0, {}^2D_{\frac{1}{2}} ?$$

10.14. Multipletlərin çatışmayan komponentlərini yazın:

$${}^2P_{\frac{1}{2}}, {}^3D_1, {}^4F_{\frac{3}{2}}, {}^3P_2, {}^5D_4, {}^7P_{\frac{1}{2}} .$$

10.15. Qapalı səviyyələrin və alt səviyyələrin mexaniki və maqnit momentlərinin ($\vec{L}, \vec{S}, \vec{J}, \vec{M}_L, \vec{M}_S, \vec{M}_J$) sıfıra bərabər olduğunu göstərin.

10.16. Orbital kvant ədədləri $l_1 = 1$, $l_2 = 2$, $l_3 = 3$ olan üç elektrondan ibarət sistem S haldadır. Birinci iki elektronun mexaniki orbital momentləri arasında qalan bucağı tapın.

10.17. Atomun vektor modelinə uyğun olaraq 3P_0 və 3D_2 termlərin orbital və spin momenti vektorları arasında qalan bucağı hesablayın.

10.18. Göstərin ki, He (helium) üçün 3S_1 halı əsas hal ola bilməz.

10.19. S , P , D və F termlər hansı hallarda ola bilər?

10.20. He (helium) atomunun elektronlarından biri həyəcanlaşmamış $n=1$ səviyyəsində, digəri isə həyəcanlaşmış $n=2$ səviyyəsindədir. Atomun hallarını xarakterizə edən mümkün spektral termlərini tapın.

10.21. H , He , Li , Mg , Fe , Hg , U , Cl atomlarının mümkün multipletliyini təyin edin.

10.22. Sr^+ , Li^+ , Ca^+ , C^{++} , O^{++++} ionlarının mümkün multipletlikləri necədir?

10.23. Hidrogen atomunun $n=2$, $l=1$ səviyyəsində spinin orbitlə maqnit qarşılıqlı təsiri nəticəsində parçalanmasını təyin edin.

10.24. Üçüncü qrup elementlərinin ən yüksək multipletliyi necədir?

10.25. Aşağıdakı orbitallarda olan elektronların bucaq momenti nəyə bərabərdir: a) $1s$, b) $3s$, c) $3d$, d) $2p$, e) $3p$?
Hər bir hala uyğun radial və bucaq düyünlərinin sayını tapın.

10.26. Tutaq ki, elektron kvant ədədi $I_{mol} = 20$ qiymətinə uyğun bucaq momenti ilə fırlanan molekulun bir hissəsidir. Bütövlükdə sistemin bucaq momentinin mümkün qiymətlərini təyin edin.

IV. YÜKLÜ ZƏRRƏCİKLƏR VƏ ATOM XARİCİ SAHƏDƏ

§11. Yüklü zərrəciklərin xarici sahədə hərəkəti

1. İntensivliyi E olan bircins elektrik sahəsində yükü q olan zərrəciyə sahə tərəfindən təsir edən qüvvə:

$$F = q \cdot E \quad (11.1)$$

2. İnduksiyası B olan bircins maqnit sahəsində v sürəti ilə hərəkət edən yüklü zərrəciyə sahə tərəfindən təsir edən qüvvə:

$$F_L = q \cdot B \cdot v \cdot \sin \alpha \quad (11.2)$$

burada q – zərrəciyin elektrik yükü, α - isə \vec{B} - induksiya vektoru ilə \vec{v} - sürət vektoru arasında qalan bucaqdır.

3. v - sürəti ilə induksiyası B olan bircins maqnit sahəsinə qüvvə xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə daxil olan yüklü zərrəciyin trayektoriyasının əyrilik radiusu:

$$r = \frac{mv}{q \cdot B} \quad (11.3)$$

4. Bircins maqnit sahəsində dairəvi trayektoriya üzrə hərəkət edən yüklü zərrəciyin dövretmə periodu və tezliyi:

$$T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B} \quad (11.4)$$

$$v = \frac{q \cdot B}{2\pi \cdot m} \quad (11.5)$$

5. Zərrəciyin tam enerjisi ilə impulsu arasında relyativistik əlaqə:

$$E = c\sqrt{P^2 + m_0^2 c^2} \quad (11.6)$$

Burada m_0 – zərrəciyin sükunət kütləsi, c – işığın boşluqda yayılma sürətidir.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Sürəti $v_0 = 3 \cdot 10^6 \frac{m}{san}$ olan elektron dəstəsi üfüqi vəziyyətdə yerləşdirilmiş müstəvi kondensatora köynəklərə paralel istiqamətdə daxil olur. Kondensator daxilində sahənin intensivliyinin $E = 200 \frac{V}{m}$ və köynəyin uzunluğunun $\ell = 5sm$ olduğunu bilərək, kondensatordan çıxarkən elektronların əvvəlki istiqamətə nəzərən meyl bucağını təyin edin.

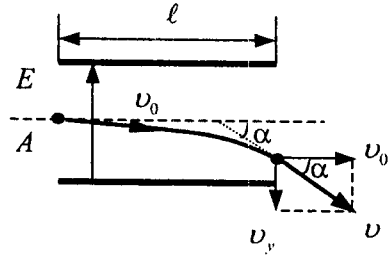
Həlli:

Verilir: $v_0 = 3 \cdot 10^6 \frac{m}{san}$

$$E = 200 \frac{V}{m}$$

$$\ell = 5 \cdot 10^{-2} m$$

$$\alpha - ?$$



Şəkil 5.

Yükü e olan hər bir elektrona bircins elektrik sahəsində intensivlik vektorunun əksinə yönəlmiş $F = q \cdot E$ - qüvvəsi təsir edəcəkdir. Sahə tərəfindən elektrona təsir edən qüvvə onun başlanğıc sürətinə perpendikulyar olduğundan elektron üfüqi istiqamətdə ətaləti üzrə bərabərsürətli, şaquli istiqamətdə isə bərabəryeyinləşən hərəkət edəcəkdir. Nəticədə sahə daxilində elektronun trayektoriyası təpə nöqtəsi A-da olan parabolanın ikinci budağı boyunca olacaq.

Kondensatordan çıxdıqdan sonra elektron başlanğıc sürət vektoruna nəzərə α - bucağı altında yönəlmiş v - sürəti ilə düzxətli bərabərsürətli hərəkət edəcəkdir. Şəkil 5-ə istinad edərək elektronun meyl bucağını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_0}; \quad \alpha = \operatorname{arctg} \frac{v_y}{v_0} \quad (1)$$

Burada v_y - sahə daxilində elektronun sürətinin şaquli toplanandır.

$$v_y = a \cdot t; \quad a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}; \quad v_y = \frac{eE}{m} \cdot t \quad (2)$$

Üfüqi istiqamətdə elektronun hərəkəti bərabərsürətli olduğundan $\ell = v_0 t$ yazmaq olar. Buradan

$$t = \frac{\ell}{v_0} \quad (3)$$

(2) və (3)-ü (1)-də nəzərə alsaq meyl bucağı üçün aşağıdakı işçi düsturu almaq olar.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{v_y}{v_0} = \operatorname{arctg} \frac{e \cdot E}{m \cdot v_0} \cdot \frac{\ell}{v_0} = \operatorname{arctg} \frac{e \cdot E \cdot \ell}{m \cdot v_0^2}$$

Şərtə verilənləri və $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ K}\ell$, $m = 1,6 \cdot 10^{-31} \text{ kq}$ olduğunu nəzərə alıb hesablama aparacağıq:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 200 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{12}} = \operatorname{arctg} \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{81,9 \cdot 10^{-19}} =$$

$$= \operatorname{arctg} 0,195 = 11^\circ; \quad \alpha = 11^\circ$$

Cavab: $\alpha = 11^\circ$.

2. Elektron intensivliyi $\dot{E} = 20 \frac{MV}{sm \cdot san}$ sabit sürətlə

artan bircins elektrik sahəsində hərəkət edir. Başlanğıc anda elektronun sürəti və sahənin intensivliyi sıfıra bərabər olarsa, bu sahədə $\ell = 10 sm$ məsafəni keçdikdən sonra o hansı kinetik enerjiyə malik olar?

Həlli:

Verilir: $\dot{E} = 20 \frac{MV}{sm \cdot san} = 2 \cdot 10^9 \frac{V}{m \cdot san}$

$$\ell = 10 sm = 0,1 m$$

$$E_k - ?$$

Sahənin intensivliyi sabit sürətlə artdığından onun ani qiymətini $E(t) = \dot{E} \cdot t$ kimi ifadə etmək olar. Koordinat oxunun elektronun hərəkət istiqamətində yönəldiyini qəbul etsək onun hərəkət tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$m \ddot{x} = e \cdot E(t) \quad (1)$$

(1) tənliyini aşağıdakı kimi çevirək:

$$\frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{e}{m} E(t) ; \quad d\dot{x} = \frac{e}{m} \dot{E} \cdot t \cdot dt \quad (2)$$

(2) tənliyinin hər tərəfini zamana görə inteqrallasaq və $\dot{x} = v$ olduğunu nəzərə alsaq aşağıdakı alırıq:

$$\dot{x} = v = \frac{e}{m} \int_0^t \dot{E} \cdot t \cdot dt ; \quad v = \frac{e \cdot \dot{E}}{m} \cdot \frac{t^2}{2} = \frac{e \cdot \dot{E}}{2 \cdot m} \cdot t^2 \quad (3)$$

$v = \frac{dx}{dt}$ olduğunu (3)-də nəzərə alaq.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{e \cdot \dot{E}}{2m} \cdot t^2 ; \quad dx = \frac{e \cdot \dot{E}}{2m} \cdot t^2 \cdot dt$$

Buradan

$$\ell = \int_0^t dx = \int_0^t \frac{e \cdot \dot{E}}{2m} t^2 dt = \frac{e \cdot \dot{E}}{6 \cdot m} \cdot t^3$$

$$\ell = \frac{e \cdot \dot{E}}{6 \cdot m} \cdot t^3 ; \quad t = \sqrt[3]{\frac{6m\ell}{e \cdot \dot{E}}} \quad (4)$$

(4)-ü (3)-də yerinə yazıb, sürətin ani qiyməti üçün ifadə almaq olar.

$$v = \frac{e \cdot \dot{E}}{2 \cdot m} \cdot \sqrt[3]{\frac{36 \cdot m^2 \cdot \ell^2}{e^2 \dot{E}^2}} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{36 \cdot e \cdot \dot{E} \cdot \ell^2}{m}} \quad (5)$$

Sürətin ani qiyməti üçün aldığımız (5) ifadəsini $E_k = \frac{m\nu^2}{2}$ düsturunda nəzərə alıb elektronun kinetik enerjisini təyin etmək olar:

$$E_k = \frac{m\nu^2}{2} = \frac{m}{8} \sqrt[3]{\left(\frac{36 \cdot e \cdot E \ell^2}{m}\right)^2} \quad (6)$$

Məsələnin şərtində verilənləri və $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kq}$ olduğunu (6) düsturunda nəzərə alıb hesablama aparaq:

$$E_k = \frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{8} \sqrt[3]{\left(\frac{36 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 0,02}{9,1 \cdot 10^{-31}}\right)^2} =$$

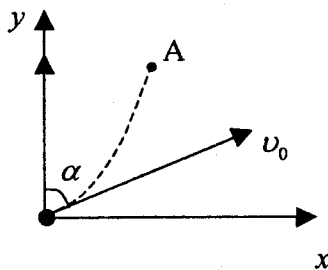
$$= 1,14 \cdot 10^{-31} \cdot 4 \cdot 10^{13} = 4,56 \cdot 10^{-18}$$

$$E_k = 4,56 \cdot 10^{-18} \text{ C} = \frac{4,56 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 28,5 \text{ eV}$$

Cavab: $E_k = 28,5 \text{ eV}$.

3. Kinetik enerjisi $E_k = 6 \text{ KeV}$ olan proton 0

nöqtəsindən \vec{E} - intensivlik vektoruna 60° bucaq altında bircins elektrik sahəsinə daxil olur (şəkil 6). Protonun sahə qüvvələrinin təsiri ilə koordinatları $x = 10 \text{ sm}$ və $y = 7,5 \text{ sm}$ olan nöqtəyə çatdığını bilərək bu sahənin intensivliyini təyin edin.



Şəkil 6.

Həlli:

Verilir: $E_k = 6 \text{ KeV} = 6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ C} = 9,6 \cdot 10^{-16} \text{ C}$

$x = 10 \text{ sm} = 0,1 \text{ m}$

$y = 7,5 \text{ sm} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$\alpha = 60^\circ$

$E - ?$

Protonun başlanğıc sürət vektorunu koordinat oxları üzrə iki toplanana ayırmaq olar:

$v_{0x} = v_0 \cdot \sin \alpha$; $v_{0y} = v_0 \cdot \cos \alpha$ (1)

Sahə tərəfindən protona təsir edən qüvvə intensivlik vektoru istiqamətdə yönəlir və o, sürətin üfüqi toplananına perpendikulyar, şaquli toplananı ilə isə eyni istiqamətdə yönəlir. Ona görə də protonun üfüqi istiqamətdə hərəkətə

bərabərsürətli, şaquli istiqamətdə hərəkəti isə bərabəryeyinləşən olacaqdır.

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} = v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_y = v_{0y} + a \cdot t = v_0 \cdot \cos \alpha + \frac{eE}{m} \cdot t \end{cases} \quad (2)$$

Uyğun olaraq protonun koordinatlarını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$\begin{cases} x = v_x \cdot t = (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t \\ y = v_{0y} \cdot t + \frac{at^2}{2} = \frac{e \cdot E}{2m} \cdot t^2 + (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t \end{cases} \quad (3)$$

(3)-ün birinci tənliyindən t -ni tapıb ikinci tənlikdə yerinə yazsaq protonun trayektoriyasının tənliyini alarıq:

$$\begin{aligned} t = \frac{x}{v_0 \cdot \sin \alpha} ; \quad y &= \frac{e \cdot E}{2 \cdot m} \left(\frac{x}{v_0 \cdot \sin \alpha} \right)^2 + \frac{v_0 \cdot \cos \alpha}{v_0 \cdot \sin \alpha} \cdot x = \\ &= \frac{e \cdot E}{2mv_0^2 \cdot \sin^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \operatorname{ctg} \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

$mv_0^2 = 2E_k$ olduğunu (4)-də nəzərə alsaq

$$y = \frac{e \cdot E}{4E_k \cdot \sin^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (5)$$

(5) tənliyini E -yə görə həll edək:

$$\frac{e \cdot E}{4E_k \cdot \sin^2 \alpha} \cdot x^2 = y - x \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

$$E = \frac{(y - x \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot 4E_k \cdot \sin^2 \alpha}{e \cdot x^2} \quad (6)$$

Məsələnin şərtində verilənləri və $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$;

$$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866 ; \quad \operatorname{ctg} 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0,577 \quad \text{olduğunu} \quad (6)$$

düsturunda nəzərə alıb hesablama apararaq:

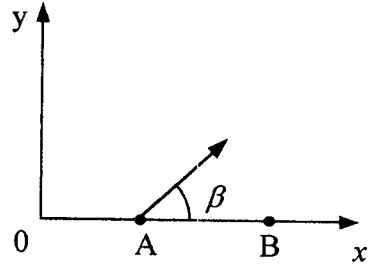
$$E = \frac{(0,075 - 0,1 \cdot 0,577) \cdot 4 \cdot 9,6 \cdot 10^{-16} \cdot 0,75}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,01} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot 10^{-16}}{1,6 \cdot 10^{-21}} = 0,31 \cdot 10^5 ; \quad E = 0,31 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 31 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$$

Cavab: $E = 31 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$.

Məsələlər

11.1. Enerjisi $W = 100 \text{ eV}$ olan elektron A nöqtəsindən intensivliyi $E = 100 \text{ V}\overline{\text{sm}}$ olan bircins elektrik sahəsinə daxil olur və $t = 5 \cdot 10^{-9}$ san. müddətdən sonra B nöqtəsində olur. AB məsafəsini və β bucağını təyin edin.



Şəkil 7

11.2. Elektron $E_x = E_z = 0$; $E_y = E = ky$ şərtini ödəyən sabit elektrik sahəsinə daxil olur. $t = 0$ anında $x = y = z = 0$; $v_x = v_z = 0$; $v_y = v_0$ olduğunu nəzərə alaraq, bu fəzada elektronun (zərrəcik qeyri-relyativistikdir; k -əmsaldır) sürətini və trayektoriyasını təyin edin.

11.3. Cu^+ və Au^+ ionları potensial fərqi U olan sahədə sükunət halından Ox oxu boyunca hərəkətə başlayır. Sonra həmin ionlar bircins \vec{E} ($E_x = E_z = 0$; $E_y = E$) elektrik sahəsinə daxil olur. Bu ionların trayektoriyasının tənliyini tapın. Bircins elektrik sahəsində bu ionları bir-birindən ayırmaq olarmı?

11.4. Sürəti $v = 10^3 \frac{m}{san}$ olan proton induksiyası $B = 1 \text{ mTl}$ olan bircins maqnit sahəsinə qüvvə xətlərinə 60° bucaq altında daxil olur. Protonun vintvari trayektoriyasının

radiusunu və addımını təyin edin.

11.5. Fəzada bircins sabit elektrik və maqnit sahələri mövcuddur. Bu sahələr üçün uyğun olaraq, $E_x = E_z = 0$, $E_y = E = const$; $H_x = H_z = 0$, $H_y = H = const$ şərti ödənilir. Başlanğıc $t = 0$ anında $x = y = z = 0$; $v_x = v_y = v_z = 0$ olduğunu bilərək, bu sahədə kütləsi m və yükü e olan zərrəciyin hərəkət trayektoriyasını və sürətini təyin edin.

11.6. Enerjisi $W = 7 \cdot 10^{10}$ eV olan proton sahənin istiqamətinə perpendikulyar olmaqla intensivliyi $H = 10^4$ ersted olan bircins maqnit sahəsinə daxil olur. Onun fırlanma periodunu və trayektoriyasının əyrilik radiusunu tapın.

11.7. İntensivliyi $H = 10^3$ ersted olan maqnit sahəsində elektronun hərəkət trayektoriyasının əyrilik radiusu 20 sm-ə bərabərdir. Elektronun W enerjisini və \bar{v} sürətini tapın.

11.8. İntensivliyi $H = 10^3$ ersted olan maqnit sahəsində elektronun T fırlanma periodu $7 \cdot 10^{-11}$ san -dir. Elektronun W kinetik enerjisini və trayektoriyasının R əyrilik radiusunu təyin edin.

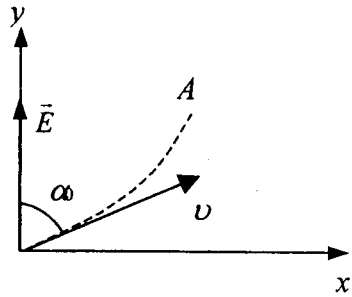
11.9. Maqnit sahəsində elektronların enerji səviyyələrini təyin edin (spini nəzərə almamalı).

11.11. $U = 15$ kV sürətləndirici potensiallar fərqi keçən ion induksiyası $B = 10$ mTl və intensivliyi $E = 17 \frac{kV}{m}$ olmaqla

qüvvə xətləri bir-birinə perpendikulyar yönəlmiş ($\vec{B} \perp \vec{E}$) bircins elektromaqnit sahəsinə düşür. İonun sürət vektoru hər iki sahənin qüvvə xətlərinə perpendikulyar yönəlmişdir və sahə daxilində düzxətli trayektoriya üzrə hərəkət edir. Bir ionun xüsusi yükünü təyin edin.

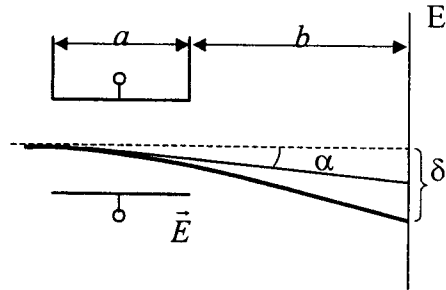
11.12. Elektron intensivliyi $E = 10$ kV/sm olan bircins elektrik sahəsinin təsiri ilə hərəkətə başlayır. Hərəkətə başladıqdan $t = 0,01$ mksan müddətində elektronun aldığı enerjini və keçdiyi yolu təyin edin.

11.13. O nöqtəsindən $T = 6$ keV enerji ilə çıxan proton (şək.8), bircins elektrik sahəsinin təsiri ilə koordinatları $x = 10$ sm və $y = 7,5$ sm olan A nöqtəsinə düşür. $E = 1$ kV/sm olduqda protonun A nöqtəsinə qədər getmək üçün lazım gələn zaman müddətini təyin edin.



Şəkil 8

11.14. Kinetik enerjisi T olan elektron eninə bircins elektrik sahəsindən keçir və E (şək.9) ekranına düşür. $a = 10$ sm, $b = 20$ sm olduqda elektronun α -

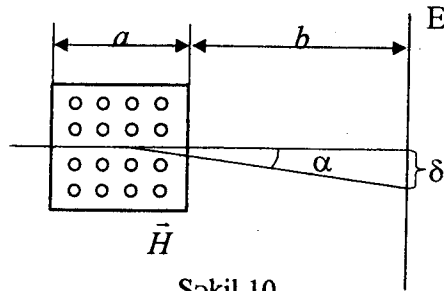


Şəkil 9

meyletmə bucağını və ekranda δ – meyletmə məsafəsini tapın.

11.15. $V = 1 \text{ kV}$ potensiallar fərqi ilə sürətlənmiş elektron dəstəsi bir-birindən 20 sm məsafədə yerləşən iki çox böyük olmayan kondensatordan keçir. Kondensatorlarda eyni bir generatorun köməyi ilə sinxron fazalı dəyişən elektrik sahəsi yaradılır. Generatorun tezliyini dəyişməklə elektron dəstəsinin bu sistemdən kənaraxıxmalarsız keçməsinə nail olunur. Bu şərtin ödənilməyi iki ardıcıl tezliyin qiyməti uyğun olaraq 141 MHz və 188 MHz olduqda elektron üçün e/m – nisbətini təyin edin.

11.16. Kinetik enerjisi $T = 50 \text{ keV}$ olan proton eninə bircins $H = 400 \text{ Ersted}$ maqnit sahəsindən keçir (şək.10) və E ekranına düşür. $a = 10 \text{ sm}$,



Şəkil 10

$b = 20 \text{ sm}$ olduğunu qəbul edərək protonun α – meyl etmə bucağını və ekranda δ – meyl etmə məsafəsini tapın.

11.17. Elektron induksiyası $B = 50 \text{ mTl}$ olan bircins maqnit sahəsində radiusu $r = 4 \text{ sm}$ olan çevrə boyunca hərəkət edir. Elektronu relyativistik zərrəcik qəbul edərək onun kinetik enerjisini təyin edin.

§ 12. Atom xarici elektromaqnit sahəsində

1. Atomun maqnit momenti

$$\mu = \mu_B \cdot \sqrt{J(J+1)} \cdot g \quad (12.1)$$

Burada μ_B – Bor maqnetonu, g – Lande vuruğu və ya Lande faktorudur:

$$\text{BS-də } \mu_B = \frac{e \cdot \hbar}{2m} = 0,927 \cdot 10^{-23} \frac{C}{Tl},$$

$$\text{Qaus sistemində } \mu_B = \frac{e \cdot \hbar}{2m \cdot c} = 0,927 \cdot 10^{-20} \frac{erg}{Qs},$$

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}.$$

2. İmpuls momentinin və maqnit momentinin xarici maqnit sahəsi istiqamətindəki proyeksiyaları kvantlanır.

$$M_{tZ} = m_t \cdot \hbar; \quad \mu_{tZ} = \mu_B \cdot m_t \quad (12.2)$$

Burada $m_t = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3, \dots, \pm \ell$ maqnit kvant ədədidir.

3. İntensivliyi H olan maqnit sahəsində maqnit dipolunun enerjisi:

$$E = -\mu_Z \cdot H \quad (12.3)$$

Burada μ_Z - maqnit momentinin Z – oxuna proyeksiyasıdır.

4. Qeyri-bircins maqnit sahəsində maqnit dipoluna təsir edən qüvvə:

$$F = \mu_z \cdot \frac{\partial H}{\partial Z} \quad (12.4)$$

5. Zeyeman effektində spektral xətlərin parçalanma düsturu:

$$\text{normal Zeyeman effektində: } \nu = \nu(0) + \nu_L \cdot \Delta m_l \quad (12.5)$$

anomal Zeyeman effektində:

$$\nu = \nu(0) + \nu_L (m_l g_l - m_s g_s) \quad (12.6)$$

Burada ν_L - Larmor tezliyidir.

$$\text{BS-də } \nu_L = \frac{e \cdot B}{4\pi \cdot m};$$

$$\text{Qaus sistemində } \nu_L = \frac{eH}{4\pi mc} \quad (12.7)$$

m_i və g_i -uyğun olaraq aralarında keçid olan termlərin maqnit kvant ədədi və Lande vuruqlarıdır.

6. Kvant ədədləri üçün seçmə qaydası:

$$\begin{aligned} \Delta S &= 0; & \Delta L &= \pm 1; & \Delta J &= 0, \pm 1 \\ \Delta m_S &= 0; & \Delta m_L &= 0, \pm 1; & \Delta m_J &= 0, \pm 1 \end{aligned} \quad (12.8)$$

Əgər $\Delta J = 0$ olarsa $m_J = 0 \rightarrow m_J = 0$ keçidi baş vermir.

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. 3P_1 halında olan atomun maqnit momentini təyin edin.

Həlli:

Verilir: 3P_1

$$\mu - ?$$

Atomun 3P_1 halına $L=1$, $J = 1$ və $x=3$ qiymətləri uyğun gəlir. Multipletliyin $\chi=2S+1$ ifadəsindən istifadə edərək atomun yekun spin kvant ədədi S -i təyin etmək olar.

$$3=2S+1; S=1$$

g – Lande vuruğunu hesablayaq:

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} = 1 + \frac{2+2-2}{4} = \frac{3}{2}$$

Bor maqnetonunun $\mu_B = 0,927 \cdot 10^{-23} \frac{c}{Tl}$ qiymətini (1)-də nəzərə alıb atomun maqnit momentini hesablayaq:

$$\mu = 0,927 \cdot 10^{-23} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3}{2} = 1,97 \cdot 10^{-23}$$

$$\mu = 1,97 \cdot 10^{-23} \frac{c}{Tl}$$

Cavab: $\mu = 1,97 \cdot 10^{-23} \frac{c}{Tl}$

2. Ştern-Herlax təcrübəsində ən aşağı metastabil halda olan həyəcanlaşmış helium atomları neçə komponentə parçalanar?

Həlli:

Ən aşağı metastabil halda olan helium atomunun elektron konfigurasiyasını $1s^1 2s^1$ kimi təsvir etmək olar. Bu hala 2^3S_1 termi uyğun gəlir, belə ki, $L=0$; $S=1$ və $J=1$ qiymətlərini alır. $J=1$ olduğundan maqnit kvant ədədi 3 mümkün qiymət alır ($m_J = 0, \pm 1$). Digər tərəfdən Ştern-Herlax təcrübəsində istifadə olunan qeyri-bircins maqnit sahəsində maqnit dipoluna təsir edən qüvvə $F = \mu_z \frac{\partial B}{\partial Z} = \mu_B \cdot g \cdot m_J \frac{\partial B}{\partial Z}$ olduğundan belə maqnit sahəsindən keçən helium atomları m_J - in ala biləcəyi mümkün qiymətlər sayda komponentə parçalanacaqdır. Başqa sözlə helium atomları dəstəsi qeyri-bircins maqnit sahəsində 3 komponentə parçalar.

3. Normal Zeyeman effekti zamanı aşağıdakı hallarda bir spektral xətt neçə yerə parçalanacaqdır?

a) $l=1$ -dən $l=0$ -a keçid zamanı;

b) $l=2$ -dən $l=1$ -ə keçid zamanı;

c) $l=3$ -dən $l=2$ -yə keçid zamanı spektral xətlərin tezliyini hesablamak üçün riyazi düstur çıxarın. Keçid sxemlərini qurun və seçmə qaydasından istifadə edib mümkün keçidləri göstərin.

Həlli:

Sadəlik naminə mühakimələrimizi Qaus sistemində apararaq. Atomun xarici maqnit sahəsindəki enerjisini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$E(H) = E(0) + \Delta E \quad (1)$$

$$\Delta E = -(\overline{\mu}_e \overline{H}) = -|\overline{\mu}_e| |\overline{H}| \cos(\mu_e \wedge H) \quad (2)$$

ΔE atomun xarici maqnit sahəsindən aldığı əlavə enerjidir, \overline{H} sahənin intensivliyi, $\overline{\mu}_e$ elektronun orbital maqnit momentidir. Kvant mexanikəsindən alınır ki, elektronun mexaniki \overline{M} - hərəkət miqdarı momenti ilə $\overline{\mu}_e$ arasında aşağıdakı kimi əlaqə mövcuddur:

$$\overline{\mu}_e = -\frac{e}{2mc} \overline{M} \quad \text{və} \quad \overline{M} = \hbar \sqrt{l(l+1)} \quad (3)$$

$l = 0, 1, \dots, (n-1)$ qiymətlər alır və orbital kvant ədədi adlanır. Bu momentlərin üstün Z oxu istiqamətindəki proeksiyası belə təyin olunur;

$$\mu_{ez} = -\frac{e}{2mc} M_z \quad \text{və} \quad M_z = \hbar m_l \quad (4)$$

m_l - maqnit kvant ədədi adlanır və $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (2l+1)$ qiymətlər alır.

$$\left. \begin{array}{l} l = 0; m_l = 0 \\ l = 1; m_l = -1, 0, 1 \\ l = 2; m_l = -2, -1, 0, 1, 2 \\ l = 3; m_l = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 \end{array} \right\} 2l+1 \quad (5)$$

Beləliklə elektronun orbital maqnit momentinin üstün Z oxu istiqamətdə proyeksiyası üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar

$$\mu_{ez} = -\frac{e}{2mc} M_z = -\frac{e\hbar}{2mc} m_l = -\mu_B \cdot m_l \quad (6)$$

Burada μ_B – Bor maqnetonudur.

$\cos(\vec{\mu} \wedge \vec{H}) = 1$ olduğunu və (6) –ifadəsini (2)-də nəzərə alsaq atomun xarici maqnit sahəsində aldığı əlavə enerji üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar.

$$\Delta E = -\mu_{ez} H = \mu_B H m_l = \frac{e\hbar}{2mc} H \cdot m_l$$

$$\Delta E = \frac{eH}{4\pi mc} h m_l, \quad \nu_L = \frac{eH}{4\pi mc} \quad (\text{Larmor tezliyidir})$$

$$\Delta E = \nu_L h m_l \quad (7)$$

(7) -ni (1)-də nəzərə alsaq

$$E(H) = E(0) + \nu_L h m_l \quad (8)$$

Bu düsturu iki qonşu səviyyə üçün yazıb, tərəf-tərəfə çıxaraq

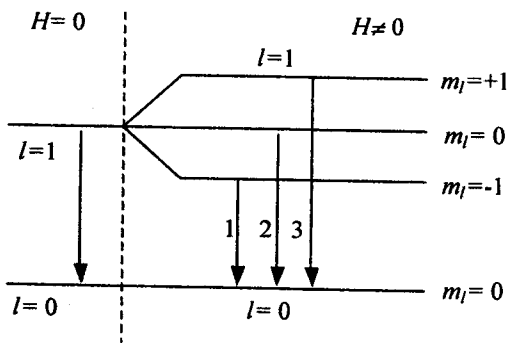
$$E''(H) - E'(H) = E''(0) - E'(0) + \nu_L h (m_l'' - m_l')$$

$$h\nu(H) = h\nu(0) + \nu_L h \Delta m_l$$

$$\nu(H) = \nu(0) + \nu_L \Delta m_l$$

Səviyyələr arasında elə keçidlər mümkündür ki, seçmə qaydası ödənilsin: $\Delta l = \pm 1$; $\Delta m = 0, \pm 1$

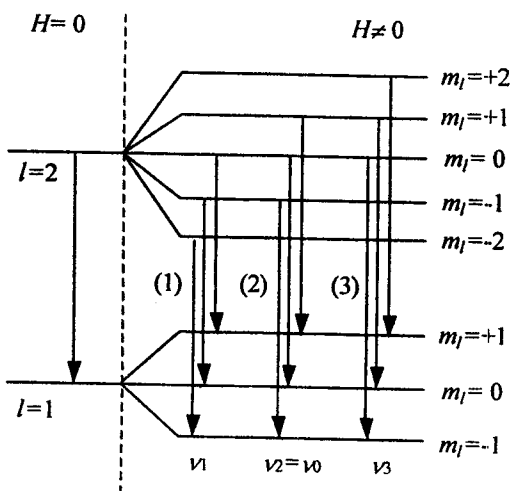
a)



$l=1 \rightarrow l=0$ сәми 3 хәтт

$$\nu_1 = \nu_0 - \nu_L \quad \nu_1 = \nu_0 \quad \nu_1 = \nu_0 + \nu_L$$

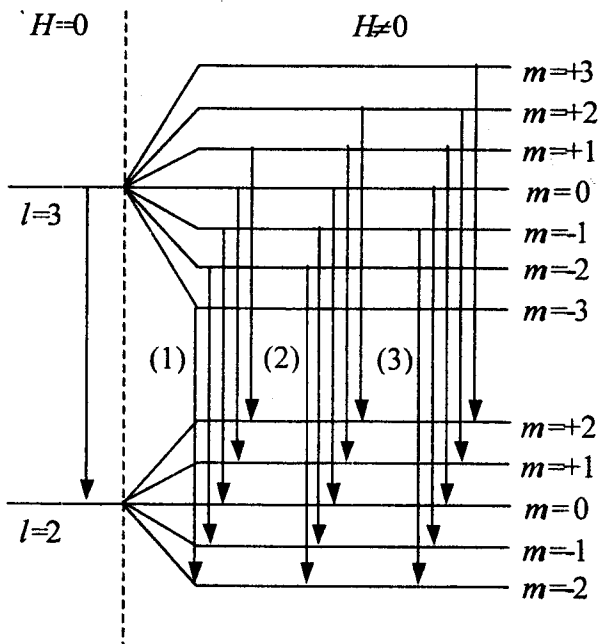
b)



$l=2 \rightarrow l=1$ сәми 3 хәтт

$$(1) \nu_1 = \nu_0 - \nu_L \quad (2) \nu_1 = \nu_0 \quad (3) \nu_1 = \nu_0 + \nu_L$$

c)



$$l=3 \rightarrow l=2$$

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| (1) – ci 5 xəttin tezliyi | $\nu_1 = \nu_0 - \nu_L$ |
| (2) – ci 5 xəttin tezliyi | $\nu_1 = \nu_0$ |
| (3) – ci 5 xəttin tezliyi | $\nu_1 = \nu_0 + \nu_L$ |

Məsələlər

12.1. Natrium atomu ${}^2D_{5/2}$ halındadır. Onun maqnit momentini Bor maqnetonları ilə ifadəsini tapın.

12.2. 3D_2 halında atomun maqnit momentini və maqnit sahəsi istiqamətdə onun proyeksiyasının mümkün qiymətlərini təyin edin.

12.3. Atom 1D_2 halında olduqda, $H = 10^4$ ersted olan xarici maqnit sahəsində ala bildiyi əlavə enerjinin maksimal qiymətinin tərtibini təyin edin.

12.4. Hidrogen atomunun 10-cu bor orbitində fırlanan elektrona, onu nüvəyə cəzb edən qüvvəyə bərabər qüvvə ilə təsir edən maqnit sahəsinin B induksiyasını təyin edin.

12.5. İntensivliyi $H = 3 \cdot 10^4$ Ersted olan sahədə d – elektronun orbital momentinin precessiyası ilə şərtlənən enerji dəyişmələrini təyin edin.

12.6. İntensivliyi $H = 1,5 \cdot 10^4$ Ersted olan maqnit sahəsində ${}^2P_{3/2}$ halında olan atom var. Precessiyanın bucaq sürətini hesablayın.

12.7. Maqnitin qütbləri arasındakı məsafə $d = 10$ sm, $\frac{dH}{dx} = 2 \cdot 10^5$ Ersted/sm və atomar dəstə almaq üçün istifadə olunan sobanın temperaturu $T = 10^3$ K olduqda Ştern – Herlax

təcrübəsində litium atomu dəstəsinin parçalanmasını hesablayın. Parçalanmanın müşahidə olunduğu lövhə maqnit qütblərinin yaxınlığında yerləşdirilmişdir.

12.8. Əsas halda olan civə atomları dəstəsi Ştern – Herlax təcrübəsində necə parçalanır?

12.9. Ştern – Herlax təcrübəsində əsas ${}^2S_{1/2}$ halında olan ensiz gümüş atomları dəstəsi qradiyenti $\frac{\partial H}{\partial x} = 10^5$ Ersted/sm olan qeyri-bircins maqnit sahəsindən keçirilir. Maqnit sahəsi mövcud olan fəzanın uzunluğu $d_1 = 4$ sm, maqnitdən ekrana qədər olan məsafə $d_2 = 10$ sm-dir. Dəstənin ekranda parçalanması $\Delta x = 2$ mm, atom dəstəsini buraxan sobanın temperaturu $T = 1100$ K -dir. Elektronun spini üçün qiromaqnit nisbəti təyin edin.

12.20. Əsas termləri uyğun olaraq 4F , 6S , 3D olan vanadium, manqan və dəmir atomları dəstəsinin güclü qeyri-bircins maqnit sahəsində 4, 6 və 9 komponentə parçalandığını bilərək bu atomların maqnit momentinin proyeksiyalarının maksimal qiymətlərini təyin edin.

12.11. Hidrogen atomunun Bor modelində elektronun $n = 1$ və $n = 10$ orbitləri üzrə hərəkəti nəticəsində yaranan maqnit momentini təyin edin. Alınmış nəticəni real hidrogen atomunun uyğun maqnit momenti ilə (spini nəzərə almadan) müqayisə edin.

12.12. İntensivliyi $H = 6 \cdot 10^3$ Ersted olan maqnit

sahəsində yerləşən sink atomunda $5^3S_1 \rightarrow 4^3P_2$ keçidi baş verir. Xətlərin Zeyeman parçalanmasının sxemini çəkin və ayrı-ayrı komponentlərin tezliklərinin həyəcanlaşmamış xəttə nəzərən sürüşməsinə təyin edin.

12.13. Zəif maqnit sahəsində $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$ və $^3D_2 \rightarrow ^3P_1$ keçidləri zamanı neçə xətt müşahidə olunacaq?

12.14. Zəif maqnit sahəsində yaranan parçalanmaları qrafik olaraq çəkin və $^4D_{5/2} \rightarrow ^4F_{7/2}$ üçün mümkün keçidləri göstərin.

12.15. Elementlərin dövrü sisteminin ilk on elementi zəif maqnit sahəsində olarkən yaranan Zeyeman effektinin xarakteri (normal, anomal) necə olacaq?

12.16. Aşağıdakı keçidlərə uyğun spektral xətlərdə hansı Zeyeman effekti (normal, anomal) müşahidə olunduğunu göstərin:

- 1) $^2D_{3/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$; 2) $^3S_1 \rightarrow ^3P_0$;
 3) $^3S_1 \rightarrow ^3P_1$; 4) $^1P_1 \rightarrow ^1S_0$.

12.17. Seziyum elementinin rezonans xəttində $\left(\lambda_1 = 8521 \overset{\circ}{\text{Å}} \text{ və } \lambda_2 = 8943 \overset{\circ}{\text{Å}} \right)$ anomal Zeyeman effektinin Paşen-Bak effektinə keçdiyi maqnit sahəsinin H_{kr} – kritik qiymətini təyin edin.

12.18. Aşağıdakı halların Lande vuruğunu (g - faktor) təyin edin və uyğun vektor diaqramlarını qurun :

$${}^3D_1, {}^4D_{\frac{1}{2}}, {}^5F_1, {}^2D_{\frac{3}{2}}, {}^4P_{\frac{1}{2}}, {}^8F_{\frac{1}{2}}$$

12.19. ${}^3F_4, {}^4D_{\frac{1}{2}}, {}^5H_1$ halları üçün g Lande vuruğunu təyin edin. Alınmış nəticələrin fiziki mənasını izah edin.

12.20. Spin kvant ədədinin $s = 1/2$, daxili kvant ədədinin $j = 1/2$, Lande vuruğunun $g = 6/7$ olduğunu bilərək halın spektral termini tapın.

12.21. Ştern-Herlax təcrübəsində bor (B) elementi atomlarının dəstəsi (əsas hal ${}^2P_{\frac{1}{2}}$) zəif maqnit sahəsi və güclü maqnit sahəsi olduqda neçə komponentə ayrılır?

12.22. Maqnit sahəsi a) H – zəif, b) H – güclü olduqda 2P və 2S termləri arasında mümkün olan keçidlərin və parçalanmaların sxemini çəkin. Güclü maqnit sahəsi halında $L - S$ qarşılıqlı təsirini nəzərə almamalı.

12.23. Güclü maqnit sahəsində termlərin parçalanmasını qrafik olaraq təsvir edin və ${}^3P - {}^3S$ multipletinin mümkün keçidlərini göstərin.

12.24. Spin mexaniki momentin spin maqnit momentinə nisbətinin orbital mexaniki momentin orbital maqnit momentinə nisbətindən iki dəfə çox olduğunu nəzərə alaraq vektor modelin köməyi ilə g Lande vuruğunun ifadəsini tapın.

12.25. Natrium atomunun 5890Å və 5896Å rezonans xətlərinin $3^2P_{1/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$ və $3^2P_{3/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$ mümkün keçidlərinin sxemini qurun. Mümkün keçidləri göstərin və spektral xətlərin tezliklərini hesablayın.

12.26. Sadə Zeyeman effekti zamanı $l = 3 \rightarrow l = 2$ keçidinə uyğun spektral xətt maqnit sahəsində neçə komponentə parçalanır?

12.27. Qapalı örtüklərin tam hərəkət miqdarı momentinin sıfıra bərabər olduğunu isbat edin.

12.28. Aşağıdakı hallarda Lande vuruğunu təyin edin: a) sinqlet term, b) J -nin maksimal qiyməti $L = 4$ və $S = 2$ olan term, c) J -nin minimal qiyməti $L = 4$ və $S = 2$ olan term.

V. ELEMENTLƏRİN DÖVRI QANUNU

§ 13. Atomun elektron quruluşu. Spektral termlərin hesablanması.

1. Rentgen spektrlərinə əsasən, baş kvant ədədi n -nin müxtəlif qiymətlərinə uyğun gələn atom laylarının simvolik işarələri şərti olaraq aşağıdakı kimi işarə olunur:

$$\begin{array}{cccccc} n = 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ & K & L & M & N & O & P \end{array} \quad (13.1)$$

2. Laylardakı elektronların maksimal sayı

$$Z = 2n^2 \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots) \quad (13.2)$$

düsturu ilə təyin olunur və simvolik işarənin yuxarıda sağ küncündə yazılır.

$$K^2 L^8 M^{18} N^{32} O^{50} \quad (13.3)$$

3. l orbital kvant ədədinin müxtəlif qiymətlərinə uyğun gələn təbəqələr, şərti olaraq latın hərfləri ilə işarə edilir:

$$\begin{array}{cccccc} l = 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & s & p & d & f & g & h \end{array} \quad (13.4)$$

4. Bu təbəqələrdə elektronların maksimal sayı $Z_{(nl)} = 2(2l + 1)$ düsturu ilə hesablanır.

$$\begin{array}{cccccc} l = 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & s^2 & p^6 & d^{10} & f^{14} & g^{18} & h^{22} \end{array} \quad (13.5)$$

n və l – ləri eyni olan elektronlara ekvivalent elektronlar deyilir.

5. Söhbət ayrı-ayrı elektronlardan gedərsə l -orbital, m_l -maqnit, s -spin, m_s -spin maqnit kvant ədədlərindən, əgər atomdan gedərsə uyğun olaraq tam L , m_L , S , m_S kvant ədələrindən istifadə olunur. Bu zaman tam orbital L momentinin müxtəlif qiymətləri (l kvant ədədi kimi) latın əlifbasının böyük hərfləri ilə işarə olunur:

$$L = \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ S & P & D & F & G & H & I & K & L \end{matrix} \quad (13.6)$$

6. Elektronun tam momenti j , atomun tam momenti J kvant ədədləri ilə xarakterizə olunur.

7. Atomun spektral termi şərti olaraq aşağıdakı simvolik işarə ilə öyrənilir:

$$(n^{\chi} L_J) \quad (13.7)$$

Burada n -baş kvant ədədidir, L – tam orbital momentdir, χ verilən enerji layının multipletliyini göstərir və $\chi = 2s + 1$ bərabərliyi ilə təyin olunur. Multipletlik spin-orbital qarşılıqlı təsir nəticəsində enerji layının neçə yerə parçalanmasını göstərir. J atomun tam momentidir.

8. Atomlarda elektronların nüvə ətrafında laylarda və təbəqələrdə paylanması, enerjinin minimumluğuna və Pauli prinsipinə əsaslanır:

Atomda uyğun dörd (n, l, m_l, m_s və n, l, j, m_j) kvant ədədləri eyni olan iki elektron ola bilməz (qeyd edək ki, elektron, proton və neytronun spinləri kəsr ədəd olub Fermi-Dirak statistikasına tabe olurlar).

Atomdakı elektronların sayını Z ilə işarə etsək, Pauli

prinsipinə görə

$$\begin{aligned}
 1) \quad Z_{(n,l,j,m_j)} &= 1 \\
 2) \quad Z_{(n,l,j)} &= 2j + 1 \\
 3) \quad Z_{(nl)} &= 2(2l + 1) \\
 4) \quad Z_{(n)} &= \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 2n^2
 \end{aligned}
 \tag{13.8}$$

9. Atomun əsas termi (enerjisi ən minimum olan hal) **Hund qaydasına** əsasən tapılır. Bu qaydaya görə, **atomun əsas termi Pauli prinsipi ödənilmək şərti ilə, spin orbital momentlərinin maksimal qiymətlərinin tapılmasına gətirilir.**

a) Əgər layda təbəqələr yarıya qədər (s^1, p^3, d^5, f^7, g^9) dolarsa, elektronların spini bir istiqamətə yönəlir və atomun tam momenti

$$J = |L - S| \tag{13.9}$$

olur.

b) Əgər layda təbəqələr yarıdan çox dolarsa ($s^2, p^4, p^5, p^6, d^6, d^7, d^8, d^9, d^{10}$), ... spin vektorları yarıya qədər olanların əksinə dönmür və atomun tam momenti

$$J = L + S \tag{13.10}$$

olur.

c) İstənilən tam dolmuş təbəqənin ($s^2 p^6 d^{10} f^{14} g^{18}$) $L=0, S=0, J=0$ olur.

d) Əgər təbəqədəki elektronların sayı təkdirsə, onda tam spin (S) $\frac{1}{2}N$ -dən $\frac{1}{2}$ -ə qədər qiymət alır:

$$S \rightarrow \frac{1}{2}N \div \frac{1}{2}$$

Əgər təbəqədəki elektronların sayı cütdürsə, onda yekun spin

(S) $\frac{1}{2}N$ -dən 0-a qədər qiymət alır:

$$S \rightarrow \frac{1}{2}N \div 0$$

10. Atomun tam orbital momenti L aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$L = \frac{k}{2}(2l - k + 1) \quad (13.11)$$

Burada k – cütləşməmiş elektronların sayıdır.

11. Müasir atom fizikasında orbita anlayışından istifadə olunmur. Elektronların müəyyən layda və ya yerdə olmasının ehtimal sıxlığından danışmaq olur. Ona görə də müasir kvant mexanikasında və kimyada **orbital** anlayışından istifadə olunur. Şərti olaraq, orbital kvadrat şəklində göstərilir. İstənilən orbitalda yalnız, ya $Z=1$ ↑ elektron, ya da cütləşmiş $Z=2$ ↑↓ elektron ola bilər.

12. Verilmiş təbəqədə orbitalların sayı m_l maqnit kvant ədədinin aldığı qiymətlərlə təyin olunaraq, verilmiş təbəqədəki elektronların maksimal sayının 2-yə bölünməsindən alınır:

$$m_l=0$$

$$S^2 (2:2=1) \quad 1S^2 \quad \boxed{\uparrow\downarrow} (m_l=0)$$

$$m_l = 1 \quad 0 \quad -1$$

$$p^2 (6:2=3) \quad 2p^6 \quad \boxed{\uparrow\downarrow \mid \uparrow\downarrow \mid \uparrow\downarrow} \quad (m_l=1, 0, -1)$$

$$m_l = 2, 1, 0, -1, -2$$

$$d^{10} (10:2=5) \quad 3d^{10} \quad \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow\downarrow} \quad (m_l=2, 1, 0, -1, -2)$$

13. Yuxarıda qeyd etdiyimiz empirik **Hund qaydasını** aşağıdakı kimi də ifadə etmək olar:

Atomun əsas termi o hala uyğun gəlir ki, atomun tam orbital mexaniki momenti L maksimal qiymətlər almaqla elektronlar mümkün olan boş orbitalları tutsun (yarıya dolana qədər s^1, p^3, d^5, f^7, g^9).

Mövzu üzrə məsələ həllinə nümunələr

1. Normal halda aşağıda göstərilən təbəqələri elektronlarda dolmuş atomları təyin edin:

a) K və L – layları, həmçinin $3s$ - təbəqəsi tam dolmuş, $3p$ təbəqəsinin isə yarısı dolmuş;

b) K, L, M – layları və $4s, 4p$ – təbəqələri tam dolmuşdur.

Həlli:

(13.3) və (13.5) şərtlərində qeyd olunduğu kimi atomun elektron laylarında elektronların maksimal sayı $K^2, L^8, M^{18}, N^{32}, O^{50}$, təbəqələrdəki elektronların maksimal sayı isə $s^2, p^2, d^{10}, f^{14}, g^{18}, h^{22}$ kimi təyin olunur. Buna uyğun olaraq

məsələnin a) bəndində göstərilən atomun elektron konfigurasiyasını aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$; Uyğun olaraq $Z = 2 + 8 + 5 = 15$. Bu fosfor (P_{15}) elementidir.

Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə alaraq b)-bəndində göstərilən atomun elektron konfigurasiyasını aşağıdakı kimi təsvir etmək olar (ideal paylanma):

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10}$; Uyğun olaraq $Z = 2 + 8 + 18 + 18 = 46$ Bu palladium (Pd_{46}) elementidir.

Cavab: P_{15} ; Pd_{46} .

2. K_{19} elementinin elektron konfigurasiyasını yazın və elektronların kvant yuvalarını doldurma ardıcılığını təsvir edin.

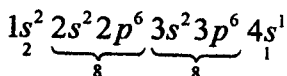
Həlli:

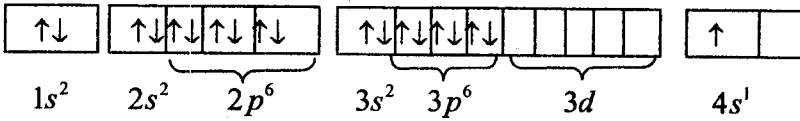
K_{19} – elementi elementlərin dövrü sistemi cədvəlində dördüncü dövrün birinci elementidir. Gözləmək olardı ki, $3p$ – təbəqəsi dolduqdan sonra elektronlar $3d$ - təbəqəsini doldurmağa başlayar. Lakin Kleçkovski qaydasına istinad etsək məlum olur ki, $4s$ səviyyəsi $3d$ -səviyyəsinə nəzərən energetik cəhətdən daha əlverişlidir:

$$3d; \quad (n+l) = 3+2 = 5$$

$$4s; \quad (n+l) = 4+0 = 4$$

Odur ki, 19-cu elektron $3d$ –təbəqəsini deyil $4s$ – təbəqəsini doldurur. Ona görə də K_{19} – elementinin elektron konfigurasiyasını aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:



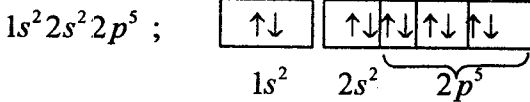


3. Aşağıdaki elementlərin elektron konfigurasiyalarını quraraq və Hund qaydasından istifadə edərək əsas termlərini tapın.

a) F ($Z = 9$); b) Mg ($Z = 12$); c) Cu ($Z = 29$); d) Cr ($Z = 24$);

Həlli:

a) F – elementinin elektron konfigurasiyası aşağıdakı kimi olacaq:



Göründüyü kimi cütləşməmiş elektronların sayı $k=1$ -dir.

Odur ki, $S = \frac{1}{2}$ olar. (13.11) - düsturuna uyğun olaraq atomun

tam orbital momentini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$L = \frac{k}{2}(2\ell - k + 1) = \frac{1}{2}(2 \cdot 1 - 1 + 1) = 1; \quad L = 1;$$

Enerji layının multiplətliyi uyğun olaraq

$$\chi = 2S + 1 = 2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2; \quad \chi = 2 \text{ olacaqdır.}$$

$$J_{\max} = L + S = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2} ; \quad \text{\textcircled{S}as term: } {}^2P_{\frac{3}{2}}$$

b) $Mg(Z=12)$ - elementinin elektron quruluşu $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ kimi təsvir olunur və görüldüyü kimi bütün təbəqələr tam dolmuşdur. Odur ki,

$$k = 0; S = 0; \chi = 2 \cdot 0 + 1 = 1; L = 0 \quad \text{və} \quad J = 0 \quad \text{olacaq.}$$

Buna uyğun olaraq atomun əsas termi 1S_0 olur.

c) $Cu(Z=29)$; Elementin elektron konfigurasiyası:

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^{10}$$

$$k = 1; S = \frac{1}{2}; \chi = 2S + 1 = 2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2; \chi = 2;$$

$$L = \frac{k}{2}(\ell - k + 1) = \frac{1}{2}(2 \cdot 0 - 1 + 1) = 0; L = 0.$$

$$J_{\max} = |L - S| = \left| 0 - \frac{1}{2} \right| = \frac{1}{2} ;$$

Uyğun olaraq əsas term ${}^2S_{\frac{1}{2}}$ olacaqdır.

d) $Cr(Z=24)$; Elektron konfigurasiyası:

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$$

$$k = 6; S = 6 \cdot \frac{1}{2} = 3; \chi = 2S + 1 = 2 \cdot 3 + 1 = 7; \chi = 7;$$

$$L_{4s^1} = \frac{1}{2}(2 \cdot 0 - 1 + 1) = 0$$

$$L_{3d^5} = \frac{5}{2}(2 \cdot 2 - 5 + 1) = 0$$

$$L = L_{4s^1} + L_{3d^5} = 0; L = 0$$

$$J_{\max} = |L - S| = |0 - 3| = 3 . \text{ Uyğun olaraq əsas term } {}^7S_3$$

olacaqdır.

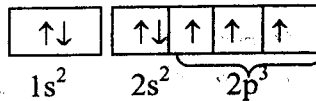
Cavab: a) ${}^2P_{\frac{3}{2}}$; b) 1S_0 ; c) ${}^3P_{\frac{1}{2}}$; d) 7S_3 .

4. Azot atomunun (N) və birqat ionlaşmış azot ionunun (N^+) əsas termini təyin edin.

Həlli:

N –atomunun elektron konfigurasiyası:

$$Z = 7; 1s^2 2s^2 2p^3;$$



$$k = 3; L = \frac{k}{2}(2\ell - k + 1) = \frac{3}{2}(2 \cdot 1 - 3 + 1) = 0; L = 0$$

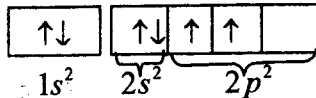
$$S = 3 \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2}; \chi = 2S + 1 = 2 \cdot \frac{3}{2} + 1 = 4; \chi = 4$$

$$J_{\max} = L + S = 0 + \frac{3}{2} = \frac{3}{2}; J_{\max} = \frac{3}{2};$$

Buna uyğun olaraq azot atomunun əsas termi ${}^4S_{\frac{3}{2}}$

olacaqdır. N^+ - ionunun elektron konfigurasiyası:

$$1s^2 2s^2 2p^2;$$



$k = 2$; Uyğun olaraq

$$L = \frac{k}{2}(2\ell - k + 1) = \frac{2}{2}(2 \cdot 1 - 2 + 1) = 1; L = 1;$$

$$S = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1; \quad \chi = 2S + 1 = 2 \cdot 1 + 1 = 3;$$

$J = |L - S| = |1 - 1| = 0;$ Uyğun olaraq N^+ - ionunun əsas termi 3P_0 olacaqdır.

Cavab: ${}^4S_{3/2}; {}^3P_0.$

Məsələlər

13.1. Atomun aşağıdakı halları üçün mümkün olan termləri tapın ${}^2S, {}^2P, {}^4P$ və ${}^5D.$

13.2. Aşağıdakı termlərin cırılma tərtibini tapın ${}^2D_{3/2}, {}^3F_3$ və ${}^1F.$

13.3. Multipletlikləri eyni olub beşə və cırılma tərtipləri yeddiyə bərabər olan bütün termləri yazın.

13.4. Tamamlanmamış təbəqənin tən yarısının olduğu və bu təbəqədə olan elektronların sayının 5-ə bərabər olduğunu bilərək atomun əsas termini təyin edin.

13.5. Aşağıdakı yazılmış hallarda elektronların maksimal sayını tapın:

$$a) Z_{(n,l,j,m_j)} = ? \quad b) Z_{(n,l,j)} = ?$$

$$c) Z_{(n,l)} = ? \quad d) Z_{(n)} = ?$$

13.6. Hər hansı bir atomda $n=3$ layı tam dolarsa, aşağıdakı hallarda kvant ədədləri eyni olan elektronların tam sayını tapın:

$$a) n; \quad b) l=1; \quad c) l=0; \quad d) l=2.$$

13.7. Elementlərin dövri sistemində hansı elementdən başlayaraq, elektronların təbəqələrdə ardıcıl dolması qaydası

pozulur və niyə?

13.8. Pauli prinsipinə əsaslanaraq göstərin ki, əgər atomun layları və təbəqələri tam dolubsa, atomun tam P_L , P_S və P_J mexaniki momentləri sıfıra bərabərdir.

13.9. Aşağıdakı hallarda iki elektrondan ibarət olan atomda ($n \neq n'$), spektral termlərin mümkün növlərini tapın.

a) $ns, n's$ b) $ns, n'p$ c) $np, n'd$

13.10. Həyəcanlaşma halında olan karbon atomunun $1s^2 2s^2 2p^1 3d^1$ elektron konfigurasiyasını nəzərə alaraq atomun mümkün olan termlərini tapın.

13.11. K, L, M layları və $4s^2 4p^1$ təbəqələri dolmuş elementin dövrü sistem cədvəlində sıra nömrəsini təyin edin.

13.12. Hund qaydasına əsasən

- a) hidrogen, helium, litium, berillium;
b) azot və oksigen atomlarının əsas termini tapın.

13.13. Karbon atomunun elektron konfigurasiyasını quraraq, Hund qaydasına görə əsas termini tapın (${}_6C^{12}$).

13.14. $(n+l)$ kvant ədələrinin cəminin artmasından istifadə edərək, V.M.Kleçkovski qaydasına görə təbəqələrin dolma ardıcılığını taparaq, ideal paylanma ilə müqayisə edin ($n=1,2,3,4,5,6,7$ $l=0,1,2,3,4,5,6$).

13.15. Pauli prinsipindən istifadə edərək, istənilən atomun tam orbital momentinin $L = \frac{k}{2}(2l - k + 1)$ ifadəsinin düzgünlüyünü isbat edin (burada k təbəqədəki cütləşməmiş

elektronların sayı, l orbital kvant ədədidir).

13.16. Atom 4F halındadır və maksimal tam mexaniki momentə malikdir. Bu halın cırlaşma tərtibini təyin edin.

13.17. Elektron təbəqələrindəki elektronların sayına görə aşağıdakı hallarda atomun əsas termlərini tapın.

a) nd^2 ; b) nd^5 ; c) nd^{10} .

13.18. Mendeleev cədvəlində axırncı təbəqələri yarıya qədər dolan bütün elementlərin Pauli prinsipinə və Hund qaydasına əsasən əsas termlərini tapın (ns^1 , np^3 , nd^5 , nf^7 , ng^9).

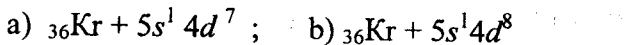
13.19. Pauli prinsipinə və Hund qaydasına əsaslanaraq axırncı elektron təbəqələri tam dolmuş atomların (s^2 , p^6 , d^{10} , f^{14} , g^{18}) əsas termini hesablayın.

13.20. Elektron konfigurasiyası $4s^23d^3$ şəklində olan elementin dövrü sistem cədvəlində sıra nömrəsini və əsas termini təyin edin.

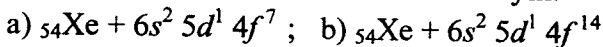
13.21. Elektronun bir təbəqədən başqa təbəqəyə keçməsi nəticəsində naməlum atomun elektron konfigurasiyasının $5s^1 4d^5$ olduğunu bilərək, atomun tam elektron konfigurasiyasını, sıra nömrəsini və əsas termini tapın.

13.22. Platin (Pt , $Z=78$) atomunun elektron konfigurasiyasını quraraq, Hund qaydasına görə əsas termini tapın.

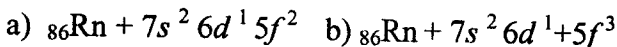
13.23. Elektron konfigurasiyası aşağıdakı kimi təsvir olunmuş elementin dövrü sistem cədvəlində sıra nömrəsini və əsas termini təyin edin:



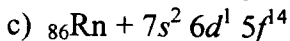
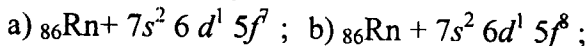
13.24. Aşağıda göstərilən elektron konfigurasiyasına malik olan elementlərin əsas temini hesablayın.



13.25. Aşağıda göstərilən elektron quruluşuna malik olan elementlərin dövrü sistem cədvəlində sıra nömrəsini və əsas termini təyin edin:



13.26. Pauli prinsipi və Hund qaydasından istifadə edərək elektron konfigurasiyası aşağıda təsvir olunan elementlərin əsas termini hesablayın:



13.27. $Z=107$ elementinin elektron konfigurasiyasını və Hund qaydasına əsasən əsas termini tapın.

13.28. Hund qaydasından istifadə edib bütün təsirsiz qazların əsas termini tapın (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn).

13.29. Dövrü sisteminin baş qrup elementlərinin, 1) H (s^1), 2) Be (s^2), 3) B ($s^2 p^1$), 4) C ($s^2 p^2$), 5) N ($s^2 p^3$), 6) O ($s^2 p^4$), 7) F ($s^2 p^5$), 8) Ne ($s^2 p^6$) əsas termini hesablayın.

13.30. Mendeleyev cədvəlində atomun sıra nömrəsi dəyişdikcə aşağıda qeyd olunan xassələrdən hansıları periodik olaraq dəyişir.

a) valentlik; b) atomun həcmi; c) ərimə nöqtəsi;

d) karakteristik rentgen şüaları; e) ionlaşma potensialı.

13.31. Atomun normal elektron spektrində aşağıdakı keçidlərdən hansılar mümkündür: a) $2s \rightarrow 2s$, b) $2p \rightarrow 1s$, c) $3d \rightarrow 2p$, d) $5d \rightarrow 3s$, q) $5p \rightarrow 3s$?

13.32. Aşağıdakı atom orbitallarında neçə elektron ola bilər: a) $1s$, b) $3p$, c) $3d$, d) $6g$?

13.33. Dövri cədvəlin ilk 18 elementinin konfigurasiyasını yazın ($Z = 1 \div 18$) . 18-ci elementdən sonra hansı problem yaranır?

Əlavələr

Cədvəl 1

Bəzi fiziki sabitlərin qiymətləri

1. Avaqadro ədədi	$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
2. İşığın vakuumda yayılma sürəti	$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m / san}$
3. Universal qaz sabiti	$R = 8,314 \text{ C / K} \cdot \text{mol}$
4. Bolsman sabiti	$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ C / K}$
5. Faradey sabiti	$F = 96484,56 \text{ Kl / mol}$
6. Qravitasiya sabiti	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kq}^2$
7. Sərbəstdüşmə təcili	$g = 9,81 \text{ m / san}^2$
8. Normal şəraitdə ideal qazın molyar həcmi	$V = 2,241 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{mol}$
9. Normal atmosfer təzyiqi	$P = 101325 \text{ Pa}$
10. Elektronun sükunət kütləsi	$m_e = \begin{cases} 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kq} \\ 0,511 \text{ MeV} \end{cases}$
11. Elektronun yükü	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$
12. Elektronun xüsusi yükü	$e / m_e = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Kl / kq}$
13. Protonun sükunət kütləsi	$m_p = \begin{cases} 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kq} \\ 938,8 \text{ MeV} \end{cases}$
14. Protonun xüsusi yükü	$e_p / m_p = 0,959 \cdot 10^8 \text{ Kl / kq}$
15. Neytronun sükunət kütləsi	$m_n = \begin{cases} 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kq} \\ 939,5 \text{ MeV} \end{cases}$
16. Plank sabiti	$\begin{cases} h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san} \\ \hbar = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san} \end{cases}$

17. Ridberq sabiti	$\begin{cases} R = 1,097 \cdot 10^7 m^{-1} \\ R' = 2,067 \cdot 10^{16} san^{-1} \end{cases}$
18. Birinci Bor orbitinin radiusu	$r_B = 0,529 \cdot 10^{-10} m$
19. 1 atomun kütlə vahidi	$1(a.k.v) = \begin{cases} 1,66 \cdot 10^{-27} kq \\ 931,5 MeV \end{cases}$
20. Hidrogen atomunda elektronun rabitə enerjisi	$E_0 = 21,8 \cdot 10^{-19} C = 13,6 eV$
21. Deytonun sükunət kütləsi	$m_D = \begin{cases} 3,333 \cdot 10^{-27} kq \\ 1875,5 MeV \end{cases}$
22. Elektronun Kompton dalğasının uzunluğu	$\lambda_k = 2,426 \cdot 10^{-12} m$
23. Elektronun klassik radiusu	$r_e = 2,82 \cdot 10^{-15} m$
24. Vinin yerdəyişmə sabiti	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} m \cdot k$
25. Stefan-Bolsman sabiti	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} Vt / (m^2 k^4)$
26. Bor maqnetonu	$\mu_B = 0,927 \cdot 10^{-27} C / Tl$
27. Nüvə maqnetonu	$\mu_N = 5,051 \cdot 10^{-27} C / Tl$
28. Protonun maqnit momenti	$\mu_p = 2,793 \mu_N$
29. Neytronun maqnit momenti	$\mu_n = -1,913 \mu_N$
30. Elektrik sabiti	$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} Kl^2 / N \cdot m^2$ $(k = 1/4\pi\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^9 N \cdot m^2 / Kl^2)$
31. Maqnit sabiti	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} Hn / m$ $\mu_0 / 4\pi = 10^{-7} Hn / m$

Bəzi astronomik kəmiyyətlər

Nö	Adı	Orta qiyməti
1.	Günəşin kütləsi	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kq}$
2.	Günəşin radiusu	$6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
3.	Günəşin mərkəzindən Yerin mərkəzinə qədər olan məsafə	$1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
4.	Günəş sabiti	$1,36 \cdot 10^3 \text{ Vt/m}^2$
5.	Günəş fotosferinin temperaturu	5800 K
6.	Yerin kütləsi	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ kq}$
7.	Yerin radiusu	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
8.	Yerin qravitasiya sahəsinin intensivliyi (Paris en dairəsi və dəniz səviyyəsində)	$9,80665 \text{ m/san}^2$
9.	Yerin öz oxu ətrafında fırlanma periodu	23 saat 56 dəq 4,09 san
10.	Yerin mərkəzindən Ayın mərkəzinə qədər olan məsafə	$3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$
11.	Ayın kütləsi	$7,35 \cdot 10^{22} \text{ kq}$
12.	Ayın radiusu	$1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$
13.	Ayın səthi yaxınlığında qravitasiya sahəsinin intensivliyi	$1,623 \text{ m/san}^2$
14.	Ayın Yer ətrafında fırlanma periodu	27 gün 7 saat 43 dəq

Metallardan elektronun çıxış işi

Metal	A, eV	A, $10^{-19}C$
Platin	5,29	8,64
Qızıl	4,68	4,48
Civə	4,52	7,23
Volfram	4,5	7,2
Nikel	4,5	7,2
Mis	4,47	7,15
Qalay	4,39	7,02
Dəmir	4,31	6,9
Gümüş	4,3	6,88
Sink	4,24	6,78
Molibden	4,2	6,72
Tantal	4,07	6,5
Maqnezium	3,46	5,54
Litium	2,4	3,84
Natrium	2,3	3,68
Rubidium	2,13	3,41
Kalium	2	3,2
Sezium	1,97	3,15
Barium oksid	1	1,6

Cədvəl 4

Neon spektrində (görünən oblastda) ən parlaq xətlərin dalğa uzunluqları

Rəng	Dalğa uzunluğu, <i>nm</i>	Rəng	Dalğa uzunluğu, <i>nm</i>
Al-qırmızı	640,22	Sarı	585,25
	638,30		
	626,65		
Qırmızı-narıncı	614,31	Yaşıl	540,06
		Mavi	482,73

Cədvəl 5

Civə spektrində (görünən oblastda) ən parlaq xətlərin dalğa uzunluqları

Rəng	Dalğa uzunluğu, <i>nm</i>
Sarı	579,07
Sarı	576,96
Yaşıl	546,07
Göy	435,83

Cədvəl 6

Hidrogen spektrində (görünən oblastda) ən parlaq xətlərin dalğa uzunluqları

Rəng	Dalğa uzunluğu, <i>nm</i>
Qırmızı	656,31
Mavi	486,12
Bənövşəyi	434,01
Bənövşəyi	397,03

Elementlərin əsas termi

Element	K	L		M			N		Əsas term
	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	
1 <i>H</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	$^2S_{1/2}$
2 <i>He</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	1S_0
3 <i>Li</i>	2	1	-	-	-	-	-	-	$^2S_{1/2}$
4 <i>Be</i>	2	2	-	-	-	-	-	-	1S_0
5 <i>B</i>	2	2	1	-	-	-	-	-	$^2P_{1/2}$
6 <i>C</i>	2	2	2	-	-	-	-	-	3P_0
7 <i>N</i>	2	2	3	-	-	-	-	-	$^4S_{3/2}$
8 <i>O</i>	2	2	4	-	-	-	-	-	3P_2
9 <i>F</i>	2	2	5	-	-	-	-	-	$^2P_{3/2}$
10 <i>Ne</i>	2	2	6	-	-	-	-	-	1S_0
11 <i>Na</i>	2	8		1	-	-	-	-	$^2S_{1/2}$
12 <i>Mg</i>	2	8		2	-	-	-	-	1S_0
13 <i>Al</i>	2	8		2	1	-	-	-	$^2P_{1/2}$
14 <i>Si</i>	2	8		2	2	-	-	-	3P_0
15 <i>P</i>	2	8		2	3	-	-	-	$^4S_{3/2}$
16 <i>S</i>	2	8		2	4	-	-	-	3P_2
17 <i>Cl</i>	2	8		2	5	-	-	-	$^2P_{3/2}$
18 <i>Ar</i>	2	8		2	6	-	-	-	1S_0

Element	K		L		M			N		Osas term
	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p		
19 K	2	8		8		-	1	-	$^2S_{1/2}$	
20 Ca	2	8		8		-	2	-	1S_0	
21 Sc	2	8		8	1	2	2	-	$^2D_{3/2}$	
22 Ti	2	8		8	2	2	2	-	3F_2	
23 V	2	8		8	3	2	2	-	$^4F_{3/2}$	
24 Cr	2	8		8	5	1	2	-	7S_3	
25 Mn	2	8		8	5	2	2	-	$^6S_{5/2}$	
26 Fe	2	8		8	6	2	2	-	5D_4	
27 Co	2	8		8	7	2	2	-	$^4F_{3/2}$	
28 Ni	2	8		8	8	2	2	-	3F_4	
29 Cu	2	8		8	10	1	2	-	$^2S_{1/2}$	
30 Zn	2	8		8	10	2	2	-	1S_0	
31 Ga	2	8		8	10	2	2	1	$^2P_{1/2}$	
32 Ge	2	8		8	10	2	2	2	3P_0	
33 As	2	8		8	10	2	2	3	$^4S_{3/2}$	
34 Se	2	8		8	10	2	2	4	3P_2	
35 Br	2	8		8	10	2	2	5	$^2P_{3/2}$	
36 Kr	2	8		8	10	2	2	6	1S_0	

Element	K	L	M	N			O			P	Esas term
				4s 4p	4d	4f	5s	5p	5d	4p	
37 Rb	2	8	18	8	-	-	1	-	-	-	$^2S_{1/2}$
38 Sr	2	8	18	8	-	-	2	-	-	-	1S_0
39 Y	2	8	18	8	1	-	2	-	-	-	$^2D_{3/2}$
40 Zr	2	8	18	8	2	-	2	-	-	-	3F_2
41 Nb	2	8	18	8	4	-	1	-	-	-	$^6D_{1/2}$
42 Mo	2	8	18	8	5	-	1	-	-	-	7S_3
43 Tc	2	8	18	8	5	-	2	-	-	-	$^6S_{5/2}$
44 Ru	2	8	18	8	7	-	1	-	-	-	5F_5
45 Rh	2	8	18	8	8	-	1	-	-	-	$^4F_{3/2}$
46 Pd	2	8	18	8	10	-	-	-	-	-	1S_0
47 Ag	2	8	18	18		-	1	-	-	-	$^2S_{1/2}$
47 Cd	2	8	18	18		-	2	-	-	-	1S_0
49 In	2	8	18	18		-	2	1	-	-	$^2P_{1/2}$
50 Sn	2	8	18	18		-	2	2	-	-	3P_0
51 Sb	2	8	18	18		-	2	3	-	-	$^4S_{3/2}$
52 Te	2	8	18	18		-	2	4	-	-	3P_2
53 J	2	8	18	18		-	2	5	-	-	$^2P_{3/2}$
54 Xe	2	8	18	18		-	2	6	-	-	1S_0

Element	K	L	M	N			O			P	Θsas term
				4s 4p	4d	4f	5s	5p	5d	4p	
55 Cs	2	8	18	18	-	8	-	1	$^2S_{1/2}$		
56 Ba	2	8	18	18	-	8	-	2	1S_0		
57 La	2	8	18	18	-	8	1	2	$^2D_{3/2}$		
58 Ce	2	8	18	18	2	8	-	2	3H_4		
59 Pr	2	8	18	18	3	8	-	2	$^4I_{3/2}$		
60 Nd	2	8	18	18	4	8	-	2	5I_4		
61 Pm	2	8	18	18	5	8	-	2	$^6H_{3/2}$		
62 Sm	2	8	18	18	6	8	-	2	7F_0		
63 Eu	2	8	18	18	7	8	-	2	$^7S_{7/2}$		
64 Gd	2	8	18	18	7	8	1	2	9D_2		
65 Tb	2	8	18	18	8	8	1	2	$^8H_{17/2}$		
66 Dy	2	8	18	18	10	8	-	2	5I_8		
67 Ho	2	8	18	18	11	8	-	2	$^4I_{15/2}$		
68 Er	2	8	18	18	12	8	-	2	3H_6		
69 Tm	2	8	18	18	13	8	-	2	$^2F_{1/2}$		
70 Yb	2	8	18	18	14	8	-	2	1S_0		
71 Ln	2	8	18	18	14	8	1	2	$^2D_{3/2}$		

Element	K	L	M	N	O			P			Q	Θsas term
					5s 5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s	
72 Hf	2	8	18	32	8	2	-	2	-	-	-	2F_2
73 Ta	2	8	18	32	8	3	-	2	-	-	-	$^4F_{3/2}$
74 W	2	8	18	32	8	4	-	2	-	-	-	5D_0
75 Re	2	8	18	32	8	5	-	2	-	-	-	$^6S_{5/2}$
76 Os	2	8	18	32	8	7	-	1	-	-	-	5D_4
77 Ir	2	8	18	32	8	7	-	2	-	-	-	$^4F_{3/2}$
78 Pt	2	8	18	32	8	9	-	1	-	-	-	3D_3
79 Au	2	8	18	32	8	10	-	1	-	-	-	$^2S_{1/2}$
80 Hg	2	8	18	32	18		-	2	-	-	-	1S_0
81 Tl	2	8	18	32	18		-	2	1	-	-	$^2P_{1/2}$
82 Pb	2	8	18	32	18		-	2	2	-	-	3P_0
83 Bi	2	8	18	32	18		-	2	3	-	-	$^4S_{3/2}$
84 Po	2	8	18	32	18		-	2	4	-	-	3P_2
85 At	2	8	18	32	18		-	2	5	-	-	$^2P_{3/2}$
86 Rn	2	2	18	32	18		-	2	6	-	-	1S_0

Element	K	L	M	N	O			P			Q	Bas term
					$\begin{smallmatrix} 5p \\ 5s \end{smallmatrix}$	5d	5f	6s	6p	6d	7s	
87 Fr	2	8	18	32	18	-	8	-	1	$^2S_{1/2}$		
88 Ra	2	8	18	32	18	-	8	-	2	1S_0		
89 Ac	2	8	18	32	18	-	8	1	2	$^2D_{3/2}$		
90 Th	2	8	18	32	18	-	8	2	2	3F_2		
91 Pa	2	8	18	32	18	2	8	1	2	$^4K_{11/2}$		
92 U	2	8	18	32	18	3	8	1	2	5L_6		
93 Np	2	8	18	32	18	4	8	1	2	$^6L_{11/2}$		
94 Pu	2	8	18	32	18	6	8	-	2	7F_0		
95 Am	2	8	18	32	18	7	8	-	2	$^8S_{7/2}$		
96 Cm	2	8	18	32	18	7	8	1	2	9D_2		
97 Bk	2	8	18	32	18	8	8	1	2	$^8H_{17/2}$		
98 Cf	2	8	18	32	18	10	8	-	2	5I_8		
99 Es	2	8	18	32	18	11	8	-	2	$^5I_{15/2}$		
100 Fm	2	8	18	32	18	12	8	-	2	3H_6		
101 Md	2	8	18	32	18	13	8	-	2	$^2F_{7/2}$		
102(No)	2	8	18	32	18	14	8	-	2	1S_0		
103 Lw	2	8	18	32	18	14	8	1	2	$^2D_{3/2}$		

Yüngül nuklidlərin kütləsi

Z	Nuklid	Nuklidin kütlə artıqlığı, $M - A$, a.k.v	Z	Nuklid	Nuklidin kütlə artıqlığı, $M - A$, a.k.v
0	n	0,00867	6	^{11}C ^{12}C ^{13}C	0,01143 0 0,00335
1	^1H ^2H ^3H	0,00783 0,01410 0,01605	7	^{13}N ^{14}N ^{15}N	0,00574 0,00307 0,00011
2	^3He ^4He	0,01603 0,00260	8	^{15}O ^{16}O ^{17}O	0,00307 -0,00509 -0,00087
3	^6Li ^7Li	0,01513 0,01601	9	^{19}F	-0,00160
4	^7Be ^8Be ^9Be	0,01603 0,00531 0,01219	10	^{20}Ne	-0,00756
5	^{10}B ^{11}B	0,01294 0,00930	11	^{23}Na ^{24}Na	-0,0123 -0,00903
			12	^{24}Mg	-0,01496

Bəzi triqonometrik düsturlar

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}}$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \mp 1}{\operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \cdot \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta = \pm \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}$$

$$2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$$

Cədvəl 10

 e^x və e^{-x} funksiyalarının qiymətləri

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
0,00	1,0000	1,0000	2,00	7,3891	0,1353
0,05	1,0513	0,9512	2,05	7,7679	0,1287
0,10	1,1052	0,9048	2,10	8,1662	0,1225
0,15	1,1618	0,8607	2,15	8,5849	0,1165
0,20	1,2214	0,8187	2,20	9,0250	0,1108
0,25	1,2840	0,7788	2,25	9,4877	0,1054
0,30	1,3499	0,7408	2,30	9,9742	0,1003
0,35	1,4191	0,7047	2,35	10,486	0,09537
0,40	1,4918	0,6703	2,40	11,023	0,09072
0,45	1,5683	0,6376	2,45	11,588	0,08629
0,50	1,6487	0,6065	2,50	12,182	0,08208
0,55	1,7333	0,5770	2,55	12,807	0,07808
0,60	1,8221	0,5488	2,60	13,464	0,07427
0,65	1,9155	0,5221	2,65	14,154	0,07065
0,70	2,0138	0,4966	2,70	14,880	0,06721
0,75	2,1170	0,4724	2,75	15,643	0,06393
0,80	2,2255	0,4493	2,80	16,445	0,06081
0,85	2,3396	0,4274	2,85	17,288	0,05784
0,90	2,4596	0,4066	2,90	18,174	0,05502
0,95	2,5857	0,3867	2,95	19,106	0,05234
1,00	2,7183	0,3679	3,00	20,086	0,04979
1,05	2,8577	0,3499	3,05	21,115	0,04736
1,10	3,0042	0,3329	3,10	22,198	0,04505
1,15	3,1582	0,3166	3,15	23,336	0,04285
1,20	3,3201	0,3012	3,20	24,533	0,04076
1,25	3,4903	0,2865	3,25	25,790	0,03877
1,30	3,6693	0,2725	3,30	27,113	0,03688
1,35	3,8574	0,2592	3,35	28,503	0,03508
1,40	4,0552	0,2466	3,40	29,964	0,03337

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
1,45	4,2631	0,2346	3,45	31,500	0,03175
1,50	4,4817	0,2231	3,50	33,115	0,03020
1,55	4,7115	0,2123	3,55	34,813	0,02872
1,60	4,9530	0,2019	3,60	36,598	0,02732
1,65	5,2070	0,1921	3,65	38,475	0,02599
1,70	5,4739	0,1827	3,70	40,447	0,02472
1,75	5,7546	0,1738	3,75	42,521	0,02352
1,80	6,0496	0,1653	3,80	44,701	0,02237
1,85	6,3598	0,1572	3,85	46,993	0,02128
1,90	6,6859	0,1496	3,90	49,402	0,02024
1,95	7,0287	0,1423	3,95	51,935	0,01925
4,00	54,598	0,01832	6,0	403,43	0,00248
4,05	57,397	0,01742	6,1	445,86	0,00224
4,10	60,340	0,01657	6,2	492,75	0,00203
4,15	63,434	0,01576	6,3	544,57	0,00184
4,20	66,686	0,01500	6,4	601,85	0,00166
4,25	70,105	0,01426	6,5	665,14	0,001503
4,30	73,700	0,01357	6,6	735,10	0,001360
4,35	77,478	0,01291	6,7	812,41	0,001231
4,40	81,451	0,01228	6,8	897,85	0,001114
4,45	85,627	0,01168	6,9	992,27	0,001008
4,50	90,017	0,01111	7,0	1096,6	0,000912
4,55	94,632	0,01057	7,1	1212,2	0,000825
4,60	99,484	0,01005	7,2	1339,4	0,000747
4,65	104,58	0,00956	7,3	1480,5	0,000676
4,70	109,95	0,00910	7,4	1636,0	0,000611
4,75	115,58	0,00865	7,5	1808,0	0,000553
4,80	121,51	0,00823	7,6	1998,2	0,000500
4,85	127,74	0,00783	7,7	2208,3	0,000453
4,90	134,29	0,00745	7,8	2440,6	0,000410
4,95	141,17	0,00708	7,9	2697,3	0,000371
5,00	148,41	0,00674	8,0	2981,0	0,000335

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
5,05	156,02	0,00641	8,1	3294,5	0,000304
5,10	164,02	0,00610	8,2	3641,0	0,000275
5,15	172,43	0,00580	8,3	4023,9	0,00024
5,20	181,27	0,00552	8,4	4447,1	0,000225
5,25	190,57	0,00525	8,5	4914,8	0,00020
5,30	200,34	0,00499	8,6	5431,7	0,00018
5,35	210,61	0,00475	8,7	6002,9	0,00016
5,40	221,41	0,00452	8,8	6634,2	0,000151
5,45	232,76	0,00430	8,9	7332,0	0,00013
5,50	244,69	0,00409	9,0	8103,1	0,000123
5,55	257,24	0,00389	9,1	8955,3	0,00011
5,60	270,43	0,00370	9,2	9897,1	0,000101
5,65	284,29	0,00352	9,3	10938	0,00009
5,70	298,87	0,00335	9,4	12088	0,00008
5,75	314,19	0,00318	9,5	13360	0,00007
5,80	330,30	0,00303	9,6	14765	0,00006

Cədvəl 11**0-90° bucaqlar üçün sinus və tangensin qiyməti**

Bucaq	Sinus	Tangens	Bucaq	Sinus	Tangens
0	0,0000	0,0000	46	0,7193	1,036
1	0,0175	0,0175	47	0,7314	1,072
2	0,0349	0,0349	48	0,7431	1,111
3	0,0523	0,0524	49	0,7574	1,150
4	0,0698	0,0699	50	0,7660	1,192
5	0,0872	0,0875	51	0,7771	1,235
6	0,1045	0,1051	52	0,7880	1,280
7	0,1219	0,1228	53	0,7986	1,327
8	0,1392	0,1405	54	0,8090	1,376
9	0,1564	0,1584	55	0,8192	1,428
10	0,1736	0,1763	56	0,8290	1,483
11	0,1908	0,1944	56	0,8387	1,540
12	0,2079	0,2126	58	0,8480	1,600
13	0,2250	0,2309	59	0,8572	1,664
14	0,2419	0,2493	60	0,8660	1,732
15	0,2588	0,2679	61	0,8746	1,804
16	0,2756	0,2867	62	0,8829	1,881
17	0,2924	0,3057	63	0,8910	1,963
18	0,3090	0,3249	64	0,8988	2,050
19	0,3256	0,3443	65	0,9063	2,145
20	0,3420	0,3640	66	0,9135	2,246
21	0,3584	0,3839	67	0,9205	2,356
22	0,3746	0,4040	68	0,9272	2,475
23	0,3907	0,4245	69	0,9336	2,605
24	0,4067	0,4452	70	0,9397	2,747
25	0,4226	0,4663	71	0,9455	2,904
26	0,4384	0,4877	72	0,9511	3,078
27	0,4540	0,5095	73	0,9563	3,271

Bucaq	Sinus	Tangens	Bucaq	Sinus	Tangens
28	0,4695	0,5317	74	0,9631	3,487
29	0,4848	0,5543	75	0,9659	3,732
30	0,5000	0,5774	76	0,9703	4,011
31	0,5150	0,6009	77	0,9744	4,331
32	0,5299	0,6249	78	0,9781	4,705
33	0,5446	0,6494	79	0,9816	5,145
34	0,5592	0,6745	80	0,9848	5,671
35	0,5736	0,7002	81	0,9877	6,314
36	0,5878	0,7265	82	0,9903	7,115
37	0,6018	0,7536	83	0,9925	8,144
38	0,6157	0,7813	84	0,9945	9,514
39	0,6293	0,8098	85	0,9962	11,43
40	0,6428	0,8391	86	0,9976	14,30
41	0,6561	0,8693	87	0,9986	19,08
42	0,6691	0,9004	88	0,9994	28,64
43	0,6820	0,9325	89	0,9998	57,29
44	0,6947	0,9657	90	1,000	∞
45	0,7071	1,0000			

Bəzi müəyyən inteqralların qiyməti

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a^3}}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{x^3} \cdot e^{-ax^2} \cdot dx = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{\pi}{a^5}}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-ax} dx = \frac{1}{a}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-ax^2} \cdot x^3 \cdot dx = \frac{1}{2a^2}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \cdot dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^3 e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2\sqrt{a}}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^4 e^{-ax^2} dx = \frac{3}{8} \sqrt{\frac{\pi}{a^5}}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2x}{4}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-ax^2} dx = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{a^3}}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-ax} \cdot x \cdot dx = \frac{1}{a^2}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \cdot dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} x^n e^{-x} dx = n!$$

**Fiziki kəmiyyətlərin vahidlərini ifadə etmək
üçün işlədilən böyütmə və kiçiltmə ön şəkilçiləri**

Kiçiltmə ön şəkilçiləri			Böyütmə ön şəkilçiləri		
Şəkilçi	İşarəsi	Qiyməti	Şəkilçi	İşarəsi	Qiyməti
desi	<i>d</i>	10^{-1}	deka	<i>da</i>	10
santi	<i>s</i>	10^{-2}	hekto	<i>h</i>	10^2
milli	<i>m</i>	10^{-3}	kilo	<i>κ</i>	10^3
mikro	<i>mκ</i>	10^{-6}	meqa	<i>M</i>	10^6
nano	<i>n</i>	10^{-9}	qiqa	<i>Q</i>	10^9
piko	<i>p</i>	10^{-12}	tera	<i>T</i>	10^{12}
femto	<i>f</i>	10^{-15}	peta	<i>P</i>	10^{15}
atto	<i>a</i>	10^{-18}	eksa	<i>E</i>	10^{18}

Yunan əlifbasının hərfləri

Aα – alfa	Ιι – yota	Ρρ – ro
Bβ – beta	Κκ – kanna	Σσ – siqma
Γγ – qamma	Λλ – lambda	Ττ – tau
Δδ – delta	Μμ – myu	Υυ – ipsilon
Εε – epsilon	Νν – nyu	Φφ – fi
Ζζ – dzeta	Ξξ – ksi	Χχ – xi
Ηη – eta	Οο – omikron	Ψψ – psi
Θθ – teta	Ππ – pi	Ωω – omeqa

Məsələlərin cavabları

I. Işığın kvant təbiəti

§1. Işıq kvantları. Fotoeffekt.

1.1. 2,49 eV; 1.2. $\frac{A_{\zeta}}{E} = \frac{1}{1 + \frac{E_{\kappa} \cdot \lambda_{\max}}{h \cdot c}} = 0,8$; 1.3. $4 \cdot 10^3$;

1.4. 52; 1.5. $698 \frac{km}{san}$; 1.6. 4,37 nm; 1.7. $E_{\gamma} > 5 KeV$

olduğundan kinetik enerjinin relyativistik ifadəsindən istifadə olunur $\nu = 2,5 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$;

1.8. $\nu = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_0 c^2}{E_{\gamma} + m_0 c^2} \right)^2} = 2,9 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$;

1.9. $E_{\gamma} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}} - 1 \right) = 1,59 MeV$;

1.17. 2,3 eV;

1.18. $A_{\zeta 2} = A_{\zeta 1} - e(U_{t2} - U_{t1}) = 3,1 eV$;

1.19. a) 2,07 eV; $1,105 \cdot 10^{-27} \frac{kq \cdot m}{san}$; b) 12,43 eV;

$6,63 \cdot 10^{-24} \frac{kq \cdot m}{san}$; c) 1,24 MeV; $6,63 \cdot 10^{-22} \frac{kq \cdot m}{san}$;

1.20. 2,4 pm; $2,76 \cdot 10^{-22} \frac{kq \cdot m}{san}$;

$$1.21. T = \frac{2hc}{3k\lambda}; T_1 = 961 K; T_2 = 1,6 \cdot 10^4 K;$$

$$1.22. N = \frac{E \cdot \lambda}{hc}; N_1 = 5,02 \cdot 10^{12}; N_2 = 10^6;$$

$$1.23. T = 745 K;$$

$$1.24. h = \frac{e(U_2 - U_1)\lambda_1 \cdot \lambda_2}{c(\lambda_1 - \lambda_2)} = 6,65 \cdot 10^{-34} C \cdot san$$

$$A_{\zeta} = \frac{hc}{\lambda_1} - eU_1 = 3,82 eV;$$

$$1.25. \varphi = \frac{1}{e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\zeta} \right) = 1,75 V;$$

$$1.26. \ell = \frac{1}{eE} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\zeta} \right) = 3,72 sm;$$

$$1.27. e = \frac{hc \cdot \Delta\lambda}{\Delta U_{\ell} \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_1} = 1,6 \cdot 10^{-19} K\ell;$$

$$1.28. \frac{hc}{\lambda} = E_{i\zeta} + A_k + E;$$

$$E_{i\zeta} = \frac{hc}{\lambda^k} - A - E_{\zeta} = \frac{hc}{\lambda} - A - \frac{(eBr)^2}{2m} = 5,48 eV;$$

$$1.29. \chi = \frac{hc}{E_i + m_0 c^2 \left(\frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} - 1 \right)} = 4,3 pm;$$

$$1.30. U_k = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A - eU_{\ell}}{e} = -0,612 V. \text{ Kontakt potentsiallar fərqi}$$

längidici gərginliyə nəzərə alın əks işarəlidir.

$$1.31. h = \frac{e \cdot U \cdot \lambda_{\min}}{c} = 6,61 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san};$$

$$1.32. \lambda_{\min} = 2 \cdot \Delta\lambda = 10^{-10} \text{ m};$$

$$1.33. \lambda_{\min} = \frac{h}{m_0 c \left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} - 1 \right)} = 15,7 \text{ pm};$$

$$1.34. P_f = 1,33 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kq} \cdot \text{m}}{\text{san}}; \frac{P_{H_2}}{P_f} \approx 4000;$$

$$1.35. \lambda = \frac{h}{\sqrt{3mkT}} \approx 0,13 \text{ nm}; \quad 1.36. \frac{E_f}{E_{H_2}} = \frac{2hc}{3kT \cdot \lambda} \approx 67;$$

$$1.38. \varphi_{\max} = \frac{1}{e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\phi} \right) = 2,64 \text{ V}; \quad \lambda > 332 \text{ nm};$$

$$1.39. N = 1,88 \cdot 10^9.$$

§2. Işığın təzyiqi. Kompton effekti.

$$2.1. P = \frac{nhc}{\lambda} (1 + \rho) = 8 \text{ mkPa};$$

$$2.2. P = \frac{\Phi_s (1 + \rho)}{4\pi R^2 \cdot C} = 12 \text{ mkPa};$$

$$2.3. n = \frac{P \cdot \lambda}{h(1 + \rho)} = 2,96 \cdot 10^{21} (\text{m}^2 \cdot \text{san})^{-1};$$

$$2.4. P_1 = 7 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}; \quad P_2 = 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ Pa};$$

$$2.6. F = \frac{\Phi_s}{c}(1 + \rho) = 4 \cdot 10^{-9} N; \quad N = \frac{\Phi_s \lambda}{hc} = 2 \cdot 10^{18} \text{ san}^{-1};$$

$$2.7. E = \frac{E' \cdot E_0}{E_0 - E'(1 - \cos \theta)} = 1,85 \text{ MeV};$$

$E_0 = m_0 c^2 = 0,51 \text{ MeV}$ - elektronun sükunət enerjisidir.

$$P = \frac{\sqrt{E^2 - E_0^2}}{c} = 9,5 \cdot 10^{-22} \frac{kq \cdot m}{\text{san}}$$

$$2.8. \lambda' = \lambda + \frac{h(1 - \cos \theta)}{m_0 c} = 11,2 \text{ pm};$$

$$2.9. E' = \frac{E \cdot E_0}{E_0 + E(1 - \cos \theta)} = 0,255 \text{ MeV};$$

$$2.10. \lambda' = 57 \text{ pm};$$

$$2.11. \Delta \lambda_1 = 4,84 \text{ pm}; \quad \Delta \lambda_2 = 2,64 \text{ fm};$$

$$2.12. \theta = \arccos \left(1 - \frac{\Delta \lambda}{\lambda_k} \right) = 120^\circ \text{ və ya } \theta = 240^\circ;$$

$$2.13. E' = \frac{E \cdot m_0 c^2}{m_0 c^2 + E(1 - \cos \theta)} = 0,287 \text{ MeV};$$

$$E_k = E - E' = 0,113 \text{ MeV};$$

$$2.14. E_k = E_{oe} \left(1 - \frac{1}{2 - \cos \theta} \right) = 0,34 \text{ MeV};$$

$$2.15. \frac{E_k}{E} = 1 - \frac{E_{oe}}{E_{oe} + E(1 - \cos \theta)} = 0,5;$$

burada

$E_{oe} = m_0 c^2 = 0,51 \text{ MeV}$ - elektronun sükunət enerjisidir.

$$2.16. \theta = \arccos \left(1 - \frac{(E - E') \cdot E_{oe}}{E \cdot E'} \right) = 60^\circ 41';$$

2.17. İmpulsun saxlanması qanununa əsasən $\vec{P}_f = \vec{P}'_f + \vec{P}_e$ yazmaq olar. Burada \vec{P}_f - fotonun elektronla toqquşmaya qədər malik olduğu impuls, \vec{P}'_f - fotonun toqquşmadan sonraki impulsu, \vec{P}_e - isə elektronun aldığı impulsdur. Bu tənliyi koordinat oxlarına proyeksiyalasaq aşağıdakı sistem tənliyi almış olarıq:

$$\begin{cases} \frac{h}{\lambda} = P_e \cdot \cos \varphi \\ 0 = \frac{h}{\lambda'} - P_e \cdot \sin \varphi \end{cases}$$

Bu tənliklər sistemini λ -ya görə həll edib düşən fotonun enerjisini təyin etmək olar:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc(\operatorname{ctg} \varphi - 1)}{\lambda_k} = 0,375 \text{ MeV}$$

$$2.18. E_f = 0,51 \text{ MeV}; P_f = 2,72 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kq} \cdot \text{m}}{\text{san}};$$

$$2.19. E_k = \frac{\alpha \cdot E}{1 + \alpha} = 0,1 \text{ MeV};$$

$$2.20. E_k = \frac{hc\lambda_k(1 - \cos \theta)}{\lambda(\lambda + \lambda_k(1 - \cos \theta))} = 0,67 \cdot 10^4 \text{ eV} = 6,7 \text{ keV}$$

$$P = \frac{\sqrt{2E_o E_k + E_k^2}}{c} = \frac{6,78 \text{ keV}}{c}; \quad c - \text{işığın boşluqda}$$

yayılma sürətidir.

$$2.21. \frac{\Delta \lambda_e}{\Delta \lambda_p} = \frac{m_p}{m_e} = 1836;$$

$$2.22. \Delta \lambda_p = 2,64 \text{ fm};$$

$$2.23. \Delta \lambda = \frac{2\pi}{m_e c} \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2};$$

2.24. $\alpha = \theta + \varphi$; θ - bucağı $\lambda' - \lambda = \lambda_k (1 - \cos \theta)$ - düsturundan, φ - isə impulsun saxlanması qanunundan alınmış

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P' \cdot \sin \theta}{P - p' \cos \theta} \quad (\text{bax səh.28}) \text{ düsturuna görə təyin edilə}$$

bilər $\alpha = 95^\circ$.

$$2.25. v = \frac{c}{\sqrt{1,244}} = 2,69 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{san}}.$$

§3. İstilik şüalanması qanunları.

$$3.1. J = \frac{\sigma R_G^2 T^4}{R_{or}^2} = 1,39 \frac{\text{kVt}}{\text{m}^2};$$

$$3.2. T = \sqrt[4]{\frac{J}{\sigma}} = 648 \text{ K};$$

$$3.3. T = \sqrt[4]{\frac{P'}{S \cdot \sigma}} = 1000 \text{ K}; \quad t = 727^\circ \text{ S};$$

$$3.4. \frac{\Delta J}{J_1} \cdot 100\% = \left[\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4 - 1 \right] \cdot 100\% = 4\%;$$

$$3.5. T = \sqrt[4]{\frac{J}{\sigma} \left(\frac{R_{or}}{R_G} \right)^2} = 5782 K;$$

$$3.6. \lambda_m = \frac{b}{T} = 10,6 \text{ mkm};$$

$$3.7. T_1 = 3815 K; T_2 = 7630 K;$$

$$3.10. \rho(v_1, T_1) = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^3 \rho(v_2, T_2);$$

$$3.11. T_1 = 5273 K; T_2 = 8286 K; T_3 = 10^4 K;$$

$$3.12. J = \frac{c}{4} \int_0^{\infty} v^3 f \left(\frac{v}{T} \right) dv = \sigma \cdot T^4;$$

$$3.13. \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{4\pi \cdot \sigma T^4 \cdot R^2}{c^2} = 4,1 \cdot 10^9 \frac{kq}{san}; t = 1,55 \cdot 10^{11} \text{ il};$$

3.14. İstilik şüalanmasında P - təzyiği ilə U – enerjinin həcmi sıxlığı arasındakı $P = \frac{U}{3}$ düsturundan, inteqral şüalanma qabiliyyəti ilə enerjinin həcmi sıxlığı arasındakı əlaqəni ifadə edən $J = \frac{c}{4} U$ düsturundan və Stefan-Bolsman qanunundan istifadə etməklə temperaturu təyin etmək olar.

$$T = \sqrt[4]{\frac{3cP}{4\sigma}} = 2 \cdot 10^7 K.$$

$$3.16. \rho_\nu = \frac{8\pi kT}{c^3} \nu^2; (h\nu \ll kT); \rho_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} e^{-\frac{h\nu}{kT}},$$

$$(h\nu \gg kT);$$

$$3.17. T = \frac{b}{\lambda_{\max}} = 5000 K ;$$

$$3.18. \frac{J_2}{J_1} = \left(\frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} \right)^4 = 81 ; \text{ Şüalanma selinin sıxlığı 81 dəfə artmışdır.}$$

$$3.19. P = \sigma \cdot T^4 \cdot S = 95,83 \text{ Vt} ;$$

$$3.20. T = \sqrt[4]{\frac{P}{\sigma \cdot \pi \cdot d^2}} = 728 K ;$$

$$3.21. T_2 = \frac{b \cdot T_1}{b + \Delta\lambda \cdot T_1} = 1747 K ;$$

3.24. Mütləq qara səthə malik mis kürənin dt müddətində şüalandırdığı enerjini $dW = I \cdot S \cdot dt = \sigma \cdot T^4 \cdot S \cdot dt$ düsturu ilə hesablamaq olar. Digər tərəfdən şüalanma nəticəsində kürənin itirdiyi enerjini $dW = -c \cdot m \cdot dT$ düsturu ilə ifadə etmək olar. Burada S – kürənin səthinin sahəsi, m – kürənin kütləsi, c – kürənin xüsusi istilik tutumudur. Bu ifadələrin sağ tərəflərini bərabərləşdirib 0-dan t sərhdədi daxilində t -yə görə, T_1 -dən T_2 -sərhdədi daxilində isə T -yə görə inteqrallayaq:

$$-\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^4} = \int_0^t \frac{3\sigma}{c \cdot \rho \cdot r} dt ; \quad T_2 = \left(\frac{9 \cdot \sigma \cdot t}{c \cdot \rho \cdot r} + \frac{1}{T_1^3} \right)^{\frac{1}{3}} = 148 K .$$

$$3.25. T_0 = \sqrt[4]{\frac{3c \cdot \Delta P}{4\sigma(n^4 - 1)}} = 1000 K , \text{ burada } c - \text{ışığın boşluqda}$$

yayılma sürətidir.

$$3.27. \Delta T = T_1 \left(1 - \frac{b}{\Delta\lambda \cdot T_1 + b} \right) = 513 K .$$

$$3.28. T = \sqrt[4]{\frac{P}{\pi \cdot d^2 \cdot \sigma}} = 876 K .$$

$$3.29. \lambda_m = b \sqrt[4]{\frac{\sigma}{J}} = 2,9 \cdot 10^{-6} m .$$

$$3.30. T = \sqrt[4]{\frac{0,4 \cdot P}{\sigma \cdot \pi \cdot d^2}} = 1224 K .$$

$$3.31. T = \sqrt[4]{\frac{P}{\sigma \cdot S}} = 1000 K .$$

$$3.32. S = \frac{P}{\sigma} \left(\frac{\lambda_{\max}}{b} \right)^4 = 11 \text{ sm}^2 .$$

II. Atomun quruluşu.

§ 4. Atomun modelləri.

$$4.1. \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k \frac{e^2}{R^3 \cdot m}}; k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} - \text{Kulon qanununa daxil olan}$$

mütənasiblik əmsəlidir.

$$4.2. \nu = 8,95 \cdot 10^{14} \text{ Hz};$$

$$4.3. R = \sqrt[3]{\frac{ke^2 T^2}{4\pi^2 m}} \approx 2 \cdot 10^{-10} m;$$

$$4.4. R = \sqrt[3]{\frac{k \cdot \lambda^2 \cdot e^2}{4\pi^2 \cdot c^2 \cdot m}} \approx 2 \cdot 10^{-10} m ;$$

$$4.5. 2,61 \cdot 10^{-10} m ;$$

$$4.6. \sin \frac{\theta}{2} = \frac{\Delta P}{2\sqrt{2m_\alpha \cdot E_k}}; \theta = 62^\circ;$$

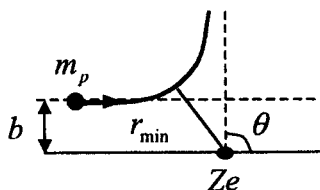
$$4.8. r = k \frac{2Ze^2}{E_k} = 1,14 \cdot 10^{-11} m ;$$

$$4.9. E_k = \frac{\Delta P^2}{8m_\alpha \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2}} = 25,75 keV ;$$

$$4.10. b = k \frac{2m_\alpha \cdot Z \cdot e^2}{P^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} = 5,93 \cdot 10^{-13} m ;$$

$$4.12. b = k \frac{Z \cdot e^2}{E_k \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} = 3,65 \cdot 10^{-14} m ;$$

4.13. Məsələni polyar koordinat sistemində həll etmək əlverişlidir. Mərkəzi sahədə hərəkət edən zərrəcik üçün enerjinin və impuls momentinin saxlanması qanunundan istifadə edək.



$$\begin{cases} \frac{m_p}{2} \left(\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 \right) + k \frac{Ze^2}{r} = E_k = \text{const} \\ m_p \cdot r^2 \dot{\theta} = P = m_p \cdot v \cdot b = \text{const} \end{cases}$$

Burada v və E_k - uyğun olaraq səpici mərkəzdən uzaqda protonun sürəti və kinetik enerjisi, b - hədəf parametri, r - səpilmə zamanı səpici mərkəz ilə proton arasındakı məsafədir. İkinci tənlikdən $\dot{\theta} = \frac{v \cdot b}{r^2}$ olduğunu və r -in

minimumluq şərtini $\left(\dot{r} = 0\right)$ birinci tənlikdə nəzərə alıb,

lazımı çevrilmələr aparmaqla protonun səpici mərkəzə yaxınlaşa biləcəyi ən yaxın məsafə üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar.

$$r_{\min} = k \frac{Z \cdot e^2}{2E_k} \left(1 + \sqrt{1 + ctg^2 \frac{\theta}{2}} \right); r_{\min} = 1,6 \cdot 10^{-13} m;$$

$$b = k \frac{Z \cdot e^2}{2E_k \cdot tg \frac{\theta}{2}} = 6,62 \cdot 10^{-14} m; r_{\min} = 2,42 b.$$

$$4.14. \frac{\Delta N}{N} = n \cdot k^2 \frac{Z^2 e^4}{4E_k^2} \cdot \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}; d\Omega = 2\pi \cdot \sin \theta d\theta \text{ və vahid}$$

səthə düşən səpici mərkəzlərin sayının $n = \frac{\rho N_A}{M} \cdot d$ olduğunu nəzərə alsaq verilmiş bucaq intervalında səpilən α -zərrəciklərin sayını ifadə edən düstur almaq olar:

$$\Delta N = N \cdot \frac{\rho N_A}{M} \cdot d \cdot k^2 \cdot \frac{Z^2 e^4 \cdot \pi \cdot \sin \theta \cdot d\theta}{2E_k^2 \cdot \sin^4 \frac{\theta}{2}} \approx 14$$

$$4.15. E_k = k \frac{Ze^2}{b} = 1,31 MeV;$$

$$4.17. v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k \frac{Ze^2}{m \cdot r^3}} = 6,5 \cdot 10^{15} san^{-1};$$

$$4.18. \tau = \frac{m^2 c^3 r_0^3}{4k^2 e^4} = 1,6 \cdot 10^{-11} san;$$

§ 5. Bor nəzəriyyəsinə görə hidrogen və hidrogenəbənzər atomlar

5.1. $2,55 \text{ eV}$;

5.2. $0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $2,12 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $4,76 \cdot 10^{-10} \text{ m}$;

5.3. $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right)$; $\lambda = 4034 \cdot 10^{-10} \text{ m}$;

5.4. 1870 nm ; 820 nm ;

5.5. $E_f = E_1 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 12,1 \text{ eV}$;

5.6. $E_{\max} = E_1 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_{\infty}^2} \right) = 13,6 \text{ eV}$; $E_{\min} = E_1 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 10,2 \text{ eV}$;

5.7. $\frac{hc}{\lambda} = E_1 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ - düsturundan n -i təyin edib, $r_n = a_0 n^2$

düsturuna əsasən həyəcanlaşmış orbitin radiusunu təyin etmək olar. $r_n = 2,12 \cdot 10^{-10} \text{ m}$;

5.8. $U_1 = 10,2 \text{ V}$;

5.9. $v = \sqrt{\frac{2(E_f - E_i)}{m}} = 10^6 \frac{\text{m}}{\text{san}}$;

5.11. $U_r = 10,2 \text{ V}$;

5.12. $E = k \frac{Z^3 e}{a_0^2} = 4,1 \cdot 10^{10} \frac{\text{V}}{\text{sm}}$;

5.13. $a_0(\text{He}^+) = 0,26 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $U_i(\text{He}^+) = 54,4 \text{ eV}$;

$U_r(\text{He}^+) = 40,8 \text{ eV}$; $\lambda_r = 32 \text{ nm}$

$a_0(\text{Li}^{++}) = 0,18 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $U_i(\text{Li}^{++}) = 122 \text{ eV}$;

$$U_r(Li^{++}) = 91,1 eV; \lambda_r = 13,5 nm;$$

$$5.14. r = \frac{1}{k} \cdot \frac{2\hbar^2}{m_e \cdot e^2} = 1,058 \cdot 10^{-10} m;$$

$$5.15. a) a_0(H) = 0,529 \cdot 10^{-10} m; a_0(He^+) = 0,264 \cdot 10^{-10} m;$$

$$a_0(Li^{++}) = 0,176 \cdot 10^{-10} m; \nu(H) = 2,19 \cdot 10^6 \frac{m}{san};$$

$$\nu(He^+) = 4,38 \cdot 10^6 \frac{m}{san}; \nu(Li^{++}) = 6,57 \cdot 10^6 \frac{m}{san};$$

$$b) E_k(H) = 13,6 eV; E_k(He^+) = 54,4 eV;$$

$$E_k(Li^{++}) = 122,5 eV;$$

$$c) U(H) = 10,2 V; U(He^+) = 40,8 V; U(Li^{++}) = 91,5 V;$$

$$\lambda_r(H) = 121,5 nm; \lambda_r(He^+) = 30,4 nm; \lambda_r(Li^{++}) = 13,5 nm;$$

$$5.16. E = 54,4 eV; (He^+);$$

$$5.17. \nu_e = 2,26 \cdot 10^6 \frac{m}{san};$$

$$5.18. \nu_e = 3,1 \cdot 10^6 \frac{m}{san};$$

$$5.19. \nu = \frac{E_2 - E_1}{m_p \cdot c} = 3,25 \frac{m}{san}; \Delta\lambda = 6,6 \cdot 10^{-8} m;$$

$$5.20. E = \frac{\mu \cdot k^2 \cdot e^4}{2\hbar^2}; R = \frac{\mu \cdot k^2 \cdot e^4}{4\pi \cdot \hbar^3 \cdot c}; \text{ Burada } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} -$$

Kulon qanununa daxil olan mütənasiblik əmsalı μ - sistemin gətirilmiş kütləsidir. Nüvənin hərəkəti nəzərə alınmadıqda bu kəmiyyətlərin qiymətləri nüvənin hərəkəti nəzərə alındıqda alınan qiymətdən 0,055% çoxdur.

5.21. $\frac{m_p}{m_e} = 1840$;

5.22. a) $E_D - E_H = 3,7 \cdot 10^{-3} eV$; b) $U_D - U_H = 2,8 mV$;

c) $\lambda_H - \lambda_D = 33 pm$.

5.23. a) $r = 2,85 \cdot 10^{-13} m$; b) $\lambda_r = 6,54 \cdot 10^{-10} m$;

c) $E_H = 2,53 keV$; $E_D = 2,67 keV$.

5.24. a) $r = 1,06 \cdot 10^{-10} m$; b) $U_i = 6,8V$; $U_1 = 5,1V$;

c) $R = 3,43 \cdot 10^7 \cdot m^{-1}$; $\lambda_r = 243 nm$.

5.25. $656,3 nm$; $486,1 nm$; $434 nm$.

5.27. $\lambda = 364,7 nm$;

5.28. $N = \frac{n(n-1)}{2}$;

5.29. $n = \sqrt{\frac{\lambda \cdot R}{\lambda \cdot R - 1}} = 4$;

5.30. $E_k = 27,2 eV$.

§ 6. Rentgen şüaları

6.1. $E_{K_\alpha} = \frac{3}{4} E_0 (Z-1)^2 = 54,4 keV$; $\lambda_{K_\alpha} = \frac{4}{3R(Z-1)^2} = 23 pm$

6.2. $\nu = 2,1 \cdot 10^7 \frac{m}{san}$;

6.3. $\lambda_{min} = 41 pm$;

6.4. $\lambda_{K_\alpha} = 0,304 nm$;

6.5. $Z = 41$ (Nb - Niobium);

$$6.6. U_{\min} = 5,5 \text{ kV};$$

$$6.7. E_{K_{\alpha}} = \frac{3}{4} E_0 (Z-1)^2 = 5,9 \text{ keV};$$

$$6.8. \lambda_{L_{\alpha}} = \frac{36}{5 \cdot R (Z-0,75)^2} = 0,14 \text{ nm};$$

$$6.9. \lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} = 1,243 \text{ pm};$$

$$6.10. \lambda_{K_{\alpha}} = 20,4 \text{ pm}; \quad E_{K_{\alpha}} = 60,48 \text{ keV};$$

$$6.11. U_{\min} = \frac{3h \cdot c \cdot R (Z-1)^2}{4 \cdot e} = 8 \text{ kV};$$

$$6.14. \lambda_{\min} = \frac{h}{mc \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)} = 9,7 \text{ pm};$$

$$6.16. \lambda_{\min 1} = \frac{h \cdot c}{2e \cdot \Delta U} = 27,6 \text{ pm}.$$

III. Kvant mexanikasına giriş

§ 7. Zərrəciklərin dalğa xassələri

$$7.2. \lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_D E_{k1}}} = 4,5 \cdot 10^{-15} \text{ m};$$

$$\lambda_2 = \frac{hc}{\sqrt{E_k (E_k + 2E_0)}} = 3,66 \cdot 10^{-16} \text{ m};$$

7.3. $\lambda = 38,86 \text{ pm}$;

7.4. $\lambda_e = 0,728 \text{ nm}$; $\lambda_p = 0,397 \text{ pm}$;

7.5. $E_k = 0,15 \text{ keV}$;

7.6. $\lambda_e = 27 \text{ pm}$;

7.7. $U = 150,5 \text{ V}$;

7.8. $\lambda = 0,33 \text{ nm}$;

7.9. $\lambda = 0,67 \text{ nm}$;

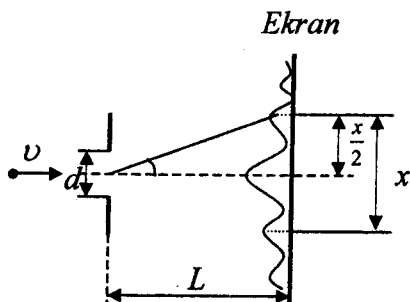
7.10. Bir yarıqdan difraksiya üçün maksimum şərtinə uyğun

olaraq $d \cdot \sin \varphi = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$ yazmaq olar. Burada d – yarığın

eni, k - maksimumların tərtibidir. Kiçik bucaqlarda

$\sin \varphi \approx \text{tg } \varphi = \frac{x}{L} = \frac{x}{2L}$ və $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$ olduğunu nəzərə alsaq

$$x = \frac{(2k+1) \cdot h \cdot L}{d \cdot m \cdot v} \text{ alarıq. } x = \frac{3 \cdot h \cdot L}{d \cdot m \cdot v} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$



7.11. Bir yarıqdan difraksiya üçün minimum şərtinə görə $d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda$ olur. Birinci tərtib difraksiya minimumları

arasındakı məsafəni x ilə təşərsə etsək $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{2L}$

yazmaq olar. Buradan birinci tərtib difraksiya minimumları arasındakı məsafə üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar.

$$x = \frac{2 \cdot k \cdot h \cdot L}{d \cdot m \cdot v}; \quad x = 0,73 \text{ mm}.$$

7.12. Ensiz bir yarıqdan alınan difraksiya mənzərəsində mərkəzi difraksiya maksimumunun eni 1-ci tərtib iki difraksiya minimumu arasındakı məsafə kimi təyin oluna bilər.

Onda $d \cdot \frac{x}{2L} = k \cdot \frac{h}{m \cdot v}$ yazmaq olar. $k = 1$ olduğunu nəzərə

alsaq $v = \frac{2 \cdot L \cdot h}{m \cdot d \cdot x}$ alarıq. $v = 510 \frac{\text{km}}{\text{san}}$.

7.13. Elektron dəstəsinin polikristallik folqadan difraksiya mənzərəsinin maksimum şərti: $2d \sin \varphi = k \cdot \lambda$. Kiçik bucaqlar

üçün $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{L} = \frac{D}{2L}$ olduğunu və $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}$

düstürünü maksimum şərtində nəzərə alsaq difraksiya həlqələrinin diametri üçün aşağıdakı düsturu almaq olar.

$$D = \frac{L \cdot k \cdot h}{d \sqrt{2 \cdot m_0 \cdot E_k}}; \quad D_1 = 0,21 \text{ sm}; \quad D_2 = 0,42 \text{ sm}; \quad D_3 = 0,63 \text{ sm}$$

7.14. U – sürətləndirici potensialar fərqi keçən elektronun kinetik enerjisinin $E_k = eU$ və relyativistik həl üçün elektronun de-Broyl dalğasının uzunluğunun

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}} \quad \text{olduğunu} \quad d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda \quad \text{difraksiya}$$

maksimumu şərtində nəzərə alsaq, qəfəs periodunu ifadə edən düstur almaq olar.

$$d = \frac{k \cdot L \cdot h \cdot c}{2 \cdot e \cdot U \cdot \sqrt{1 + \frac{2E_0}{eU}}} = 2,16 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$7.15. \lambda = \sqrt{\frac{h \cdot \lambda_{\min}}{2m_0c}} = 0,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

$$7.16. \lambda = 0,11 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

$$7.17. \lambda = \frac{h}{e \cdot B \cdot r} = 0,1 \text{ nm}.$$

$$7.18. \lambda = 8,3 \cdot 10^{-14} \text{ m}.$$

$$7.19. \lambda = \frac{h \cdot N_A}{\sqrt{3 \cdot M \cdot R \cdot T}} = 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

$$7.20. \lambda = 3 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

$$7.21. m_1 = 1,81 \cdot 10^{-30} \text{ kq}; \quad m_2 = 1,78 \cdot 10^{-27} \text{ kq};$$

$$\lambda_1 = 1,43 \text{ pm}; \quad \lambda_2 = 1,24 \text{ pm}.$$

$$7.22. N = \frac{2\pi a_0 \cdot n^2}{h} \sqrt{2 \cdot m_0 \cdot E_n} = 10.$$

$$7.23. \Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{c \cdot \tau}; \quad \Delta\lambda_1 \approx 1,2 \cdot 10^{-13} \text{ m}; \quad \Delta\lambda_2 \approx 1,2 \cdot 10^{-18} \text{ m}.$$

$$7.24. \lambda \sim \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

$$7.25. R \sim \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

7.26. $E_k \sim 10 eV$.

7.28. Nüvədə bağlı elektronun ola bilməsi üçün onun potensial enerjisinin kinetik enerjisindən böyük olması zəruridir. Göstərmək olar ki, bu şərt $Z > 137$ halı üçün ödənilə bilər. Təbiətdə isə $Z > 137$ yük ədədinə malik nüvələr mövcud deyil.

7.29. 2000 dəfə.

7.30. $E_k = 0,212 MeV$.

§ 8. Şredinger tənliyi. Zərrəciklərin potensial çuxurda hərəkəti.

8.1. $A = \frac{1}{\sqrt{2\pi a}}$.

8.2. Əgər U zamandan askar şəkildə asılı deyilsə, zamandan asılı Şredinger tənliyinin həllini $\psi(x, t) = \psi(x) \cdot f(t)$ şəklində axtarmaq olar. Bu ifadəni zamandan asılı Şredinger tənliyində nəzərə alsaq iki tənlik almaq olar:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0 ; \quad f + i \cdot \frac{E}{\hbar} \cdot f = 0$$

Birinci tənliyin həlli enerjinin E_n məxsusi qiymətlərinə uyğun olan $\psi_n(x)$ məxsusi funksiyasını, ikinci tənliyin həlli isə

$f(t) = e^{-i \frac{E}{\hbar} t}$ verir. Nəticədə tam dalğa funksiyası

$\psi_n(x, t) = \psi_n(x) \cdot e^{-i \frac{E}{\hbar} t}$ şəklində ifadə oluna bilər.

8.4. $\psi(x, t) = A e^{-i(\omega t - kx)}$; $\omega = \frac{E}{\hbar}$; $k = \frac{P}{\hbar}$.

8.5. Şredinger tənliyində $U = 0$ olduğunu nəzərə alsaq, onun həllini $\psi = A \cdot e^{\pm i \cdot k \cdot x}$ şəklində axtarmaq olar. Burada

$$k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} . \text{ Görüldüyü kimi bu həll enerjinin } E > 0 \text{ şərtini}$$

ödəyən ixtiyari qiyməti üçün sonludur.

$$\mathbf{8.7.} \quad W = \int_0^{\ell/3} |\psi(x)|^2 \cdot dx ; \quad \psi(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{\ell} ; \quad W = 0,195 .$$

$$\mathbf{8.8.} \quad W = \frac{1}{3} .$$

$$\mathbf{8.9.} \quad dN = \frac{\ell}{\pi \cdot \hbar} \sqrt{\frac{m}{2E}} \cdot dE .$$

$$\mathbf{8.10.} \quad E_1 = \frac{h^2}{8m\ell^2} = 37,5 \text{ eV} .$$

$$\mathbf{8.11.} \quad E_3 = 18,5 \text{ MeV} .$$

$$\mathbf{8.12.} \quad \Delta E_{\min} = E_2 - E_1 = 1,54 \text{ MeV} .$$

$$\mathbf{8.13.} \quad \bar{E} = \frac{3}{2} kT ; \quad \Delta E_n = \frac{h^2}{8m\ell^2} (2n+1) ; \quad \bar{E} = \Delta E_n ; \quad \ell = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{2n+1}{mkT}}$$

Burada k - Bolsman sabitidir.

$$\mathbf{8.14.} \quad m = \frac{5\pi^2 \cdot \hbar^2}{2\ell^2 \cdot \Delta E} .$$

$$\mathbf{8.15.} \quad \text{Harmonik ossilyatorun potensial enerjisinin } U = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$$

olduğunu nəzərə alsaq stasionar hal üçün Şredinger tənliyini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0 .$$

Burada $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$; $E = \frac{3}{2}\hbar\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{3}{2}\hbar\omega$.

8.16. $E_{n'} = \hbar\omega\left(2n' + \frac{3}{2}\right)$; $n' = 0, 1, 2, \dots$

8.17. $R = \left(\frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}\right)^2$; $D = \frac{4k_1 \cdot k_2}{(k_1 + k_2)^2}$.

Burada $k_1 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$ və $k_2 = \frac{\sqrt{2m(E - U_0)}}{\hbar}$.

8.18. $\ell = 1, 43 \cdot 10^{-13} \text{ m}$.

8.19. $R = \frac{1}{81}$; $D = 1 - R = \frac{80}{81}$.

8.20. $U - E = 0, 46 \text{ eV}$.

§ 9. Qələvi metalların spektri. İncə quruluş

9.1. $\sigma_s = -4,13$; $\sigma_p = -3,67$

9.2. $\sigma_s = -2,23$; $\sigma_p = -1,8$; $U_{ionl.} = 4,3 \text{ V}$

9.3. $\lambda(2p \rightarrow 2s) \approx 6900 \text{ \AA}$; $\Delta\lambda = 0,19 \text{ \AA}$

9.4. $U_i = 5,14 \text{ V}$; $U_{hay.} = 2,09 \text{ V}$

9.5. $\sigma_s = 0,41$; $\sigma_p = 0,04$; $\sigma_D = 0$

9.6. $E_{rab.} = 5,37 \text{ eV}$

9.7. a) 6; b) 12

9.8. $7,2 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$; $1,62 \text{ eV}$

9.9. Spektral xətlərin dublet quruluşu və anomal Zeyeman

effekti.

9.10. $\Delta E = 1,81 \cdot 10^{-4} eV$

9.11. $E_{\max} \sim 3,6 \cdot 10^4 eV$

9.15. $1,734 sm^{-1}; 0,577 sm^{-1}$.

§ 10. Atomun vektor modeli

10.1. $L=3, 2, 1; M_{L_1} = \hbar\sqrt{12}; M_{L_2} = \hbar\sqrt{6}; M_{L_3} = \hbar\sqrt{6};$
 $M_{L_4} = \hbar\sqrt{2}.$

10.2. a) $\alpha \approx 111^\circ; b) \alpha_{\min} \approx 45^\circ; c) \alpha_{\max} \approx 161^\circ$

10.3. $\frac{\sqrt{35}}{2} \cdot \hbar$ və $\frac{\sqrt{15}}{2} \cdot \hbar; uyğun \alpha \approx 62^\circ$ və $\alpha \approx 135^\circ$

10.4. $\alpha \approx 72^\circ$

10.6. $L=S$ olduqda J – yekun kvant ədədi $2S+1=2L+1$ mümkün qiymətlər alır.

10.7. F halı üçün $S = 2$ olur. Verilmiş şərtlər daxilində D – halı üçün S -i tapmaq olmur.

10.8. $S=0$ və $S=1$, buna uyğun olaraq $\chi=2S+1=1$ və $\chi=2S+1=3$ qiymətlərini alır.

10.9. Li – üçün 2; Be – üçün 1 və 3; B – üçün 2 və 4; C – üçün 3 və 5; N – üçün 2, 4 və 6.

10.10. Sinqlet termlər: $^1P_1; ^1D_2; ^1F_3$

Treplet termlər: $^3P_{0;1;2}; ^3D_{1;2;3}; ^3F_{2;3;4}$

10.11. Bu iki rabitəyə görə spektral termlər fərqlənəcəkdirlər.

10.12. Dublet termlər: $^2P_{\frac{1}{2};\frac{3}{2}}; ^2D_{\frac{3}{2};\frac{5}{2}}; ^2F_{\frac{5}{2};\frac{7}{2}}$

Kvartet termlər: ${}^4P_{\frac{1}{2}\frac{3}{2}\frac{5}{2}}$; ${}^4D_{\frac{1}{2}\frac{3}{2}\frac{5}{2}\frac{7}{2}}$; ${}^2F_{\frac{3}{2}\frac{5}{2}\frac{7}{2}\frac{9}{2}}$

10.13. Yalnız 3P_0 və ${}^2S_{\frac{1}{2}}$ termləri mümkündür.

10.14. ${}^2P_{\frac{1}{2}\frac{3}{2}}$; ${}^3D_{1,2,3}$; ${}^4F_{\frac{3}{2}\frac{5}{2}\frac{7}{2}\frac{9}{2}}$; ${}^5D_{0,1,2,3,4}$; ${}^4P_{\frac{1}{2}\frac{3}{2}\frac{5}{2}}$

10.15. $L=0$; $S=0$; $J=0$; $\chi=2S+1=1$; 1S_0 .

10.16. $\alpha \approx 126^\circ$

10.17. $\alpha({}^3P_0) = 0$; $\alpha({}^3D_2) \approx 107^\circ$

10.20. $1s2s \rightarrow 2 \cdot {}^1S_0, 2 \cdot {}^3S_1$; $1s2p \rightarrow 2 \cdot {}^1P_1, 2 \cdot {}^3P_{0,1,2}$

10.21. $\chi(H) = 2$; $\chi(Li) = 2$; $\chi(Fe) = 1, 3, 5, 7, 9$;

$\chi(Cl) = 2, 4, 6, 8$; $\chi(Mg) = 1, 3$; $\chi(U) = 1, 3, 5, 7$.

10.22. $\chi(Sr^+) = 2$; $\chi(Li^+) = 1, 3$; $\chi(Ca^+) = 2$;

$\chi(C^{++}) = 1, 3$; $\chi(O^{++++}) = 1, 3$.

10.23. $\Delta E = 2 \cdot 10^{-24} C$

10.24. $\chi = 4$.

IV. Yüklü zərrəciklər və atom xarici sahədə

§ 11. Yüklü zərrəciklərin xarici elektrik və maqnit sahəsində hərəkəti

11.1. $\beta = \arcsin \frac{e \cdot E \cdot t}{2\sqrt{2 \cdot m \cdot W}} \approx 49^\circ$;

$$AB = v_0 \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{e^2 \cdot E^2 \cdot t^2}{8m \cdot W}} \approx 2sm.$$

$$11.2. v_y = v_0 \cdot \cos \omega t; y(t) = \frac{v_0}{\omega} \cdot \sin \omega t; \omega = \frac{e \cdot E_0 \cdot k}{m}$$

Elektron OY – oxu boyunca koordinat başlanğıcı
etrafında rəqs edəcəkdir.

$$11.3. y = \frac{E}{4U} \cdot x^2; v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}; \text{ İonlar eyni bir trayektoriya}$$

(parabola) boyunca, lakin müxtəlif sürətlərlə hərəkət
edəcəklər.

$$11.4. R = \frac{m \cdot v \cdot \sin \alpha}{e \cdot B} \approx 9 \text{ mm}; h = \frac{2\pi \cdot m \cdot v \cdot \cos \alpha}{e \cdot B} \approx 3,2 \text{ sm}.$$

$$11.5. \text{ Zərrəciyin trayektoriyası düzxətlidir və } v_y = \frac{eE}{m} \cdot t.$$

$$11.6. T = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ san}; R = 230 \text{ m}.$$

$$11.7. E_k = m_0 c^2 \left(\sqrt{1 + \frac{e^2 R^2 H^2}{m_0^2 c^4}} - 1 \right) \approx 5,5 \text{ MeV};$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{m_0^2 c^4}{e^2 R^2 H^2}}} \approx 0,99 c.$$

$$11.8. T = \frac{2\pi \cdot m \cdot c}{e \cdot H}; E_k = m \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2 = c^2 \left(\frac{e \cdot H \cdot T}{2\pi \cdot c} - m_0 \right) =$$

$$= 5,1 \cdot 10^5 \text{ eV}; R = \frac{c^2}{e \cdot H} \sqrt{\frac{e^2 \cdot H^2 \cdot T^2}{4\pi^2 \cdot c^2} - m_0^2} = 2,9 \text{ sm}.$$

$$11.9. m v_{\perp} = n \cdot \hbar \quad (n=1,2,3,\dots); r = \frac{m c v_{\perp}}{e H}; E = \frac{m v_z^2}{2} + \frac{e \cdot \hbar \cdot H}{2m \cdot c} \cdot n.$$

$$11.10. U = \frac{m_0 c^2}{e} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) = 0,66 \text{ MeV}.$$

$$11.11. \frac{a}{m} = \frac{E^2}{2U \cdot B^2} = 10^8 \frac{Kl}{kq}.$$

$$11.12. E_k = 2,5 \text{ MeV}; \quad S = 2,5 \text{ m}.$$

$$11.13. t = 0,27 \text{ mk san.}$$

$$11.14. \alpha \approx 6^\circ; \quad \delta = 2,5 \text{ sm.}$$

$$11.15. \frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{Kl}{kq}.$$

$$11.16. \alpha = 7^\circ; \quad \delta = 3,1 \text{ sm.}$$

$$11.17. E_k = m_0 c^2 \left(\sqrt{1 + \left(\frac{P}{m_0 c} \right)^2} - 1 \right) = 0,28 \text{ MeV}.$$

§ 12. Atom xarici elektromaqnit sahəsində

$$12.1. \mu = \sqrt[3]{\frac{7}{5}} \cdot \mu_B \approx 3,6 \mu_B$$

$$12.2. \mu = \frac{7}{\sqrt{6}} \mu_B; \quad \mu_{ZH} = \mu_B g m_j; \quad m_j = -2; -1; 0; 1; 2.$$

Buna uyğun olaraq

$$\mu_{ZH} = \frac{7}{3} \mu_B; \quad \mu_{ZH} = \frac{7}{6} \mu_B; \quad \mu_{ZH} = 0; \quad \mu_{ZH} = -\frac{7}{6} \mu_B;$$

$$\mu_{ZH} = -\frac{7}{3} \mu_B.$$

$$12.3. E_{\max} = \mu_B \cdot g \cdot m_J(\max) \cdot H = 1,15 \cdot 10^{-4} eV$$

$$12.4. k \cdot \frac{e^2}{r^2} = e \cdot B \cdot v; \quad B = \frac{k \cdot m \cdot e}{a_0 \cdot \hbar \cdot n^3} = 225,2 Tl. \quad \text{Burada}$$

$a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} m$ hidrogen atomunda birinci Bor orbitinin radiusudur.

$$12.5. \Delta E = \mu_B \cdot H \cdot m_l; \quad d - \text{elektron üçün } m_l = 0, \pm 1, \pm 2$$

$$\Delta E_1 = 0; \quad \Delta E_2 = \pm 1,73 \cdot 10^{-4} eV; \quad \Delta E_3 = \pm 3,46 \cdot 10^{-4} eV.$$

$$12.6. \omega = g \cdot \omega_L; \quad g - \text{Lande faktoru, } \omega_L - \text{Larmor tezliyidir.}$$

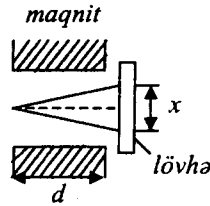
$$\omega = 1,72 \cdot 10^{11} \text{ san}^{-1}.$$

$$12.7. d = v \cdot t; \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_{Li}}};$$

$$x = 2 \cdot \frac{at^2}{2} = a \cdot t^2;$$

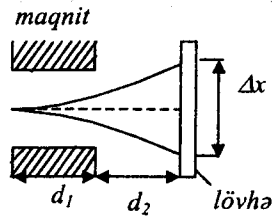
$$m_{Li} a = \mu_B \cdot g \cdot m_J \frac{dH}{dx}$$

$$x = 0,45 \text{ sm}$$



12.9. Maqnit momentinin mexaniki momentə nisbəti qiromaqnit nisbət adlanır: $\gamma = \frac{\mu}{M}$.

$^2S_{\frac{1}{2}}$ -halında atomun maqnit



momenti onun spin maqnit momentinə bərabərdir.

$$\gamma = \frac{\Delta x \cdot m_{Li} \cdot \bar{v}^2}{\mu_B \cdot m_J \cdot \frac{dH}{dx} d_1 (d_1 + 2d_2)} = 2$$

12.10. 1) $V(^4F)$; $g = \frac{2}{5}$; $M_Z = \frac{3}{5} \mu_B$

2) $Mn(^6S)$; $g = 2$; $M_Z = 5 \mu_B$

3) $Fe(^5D)$; $g = \frac{3}{2}$; $M_Z = 6 \mu_B$

12.11. $\mu_n = n \cdot \mu_B$; Atomun orbital maqnit momenti

$$\mu_l = \mu_B \cdot \sqrt{\ell(\ell+1)}; n=1; \mu_l = 0; n=10; \mu_{l(\max)} = 9,5 \mu_B$$

n -nin böyük qiymətlərində $\mu_{l(\max)} \approx n \cdot \mu_B$.

12.12. $\nu(H) = \nu_0 + \nu_L (m'_J g' - m''_J g'')$

ν_L - Larmor tezliyidir.

12.13. $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$; $g_1 = g_2 = 1$; $\Delta \nu = 0; \pm 1$; 3 xətt

$$^3D_2 \rightarrow ^3P_1; \Delta \nu = \pm \frac{2}{6}; \pm \frac{5}{6}; \pm \frac{7}{6}; \pm \frac{9}{6}; 0; 9 \text{ xətt}$$

12.15. H ; Li ; B ; N ; F – anomal, He ; Be ; C ; O ; Ne - normal və anomal.

12.16. 4-cü bənd normal; 1, 2 və 3-cü bəndlər anomal.

12.17. $\Delta \lambda = \Delta \lambda_{\text{Zeyeman}}$; $H_{\text{krit.}} \approx \frac{4\pi \cdot m \cdot c^2}{e} \cdot \frac{\Delta \lambda}{\lambda_{\text{or}}^2} \approx 1,2 \cdot 10^7 \text{ Ersted.}$

12.18. $g(^3D_1) = \frac{1}{2}$; $g\left(^4D_{\frac{1}{2}}\right) = 0$; $g(^5F_1) = 0$; $g\left(^2D_{\frac{3}{2}}\right) = \frac{5}{4}$;

$$g\left(^4P_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{8}{3}; \quad g\left(^8F_{\frac{1}{2}}\right) = 4$$

$$12.19. g({}^3F_4) = \frac{5}{2}; g\left({}^4D_{\frac{1}{2}}\right) = 0; g({}^3H_1) = -1$$

$$12.20. L = 0; {}^2F_{\frac{5}{2}}$$

12.21. Zəif sahədə 2, güclü sahədə 6 komponentə parçalanar.

12.23. Seçmə qaydalarına müvafiq olaraq 7 xətt alınar.

$$12.24. \nu(H) = \nu_0 + \nu_L (g'' \cdot m_j'' - g' \cdot m_j')$$

$$3 {}^2P_{\frac{1}{2}} \rightarrow 3 {}^2S_{\frac{1}{2}} \text{ keçidi zamanı 4 xətt,}$$

$$3 {}^2P_{\frac{3}{2}} \rightarrow 3 {}^2S_{\frac{3}{2}} \text{ keçidi zamanı 6 xətt alınar.}$$

V. Elementlərin dövri qanunu.

§ 13. Atomun elektron quruluşu. Spektral termlərin hesablanması.

$$13.1. {}^2S_{\frac{1}{2}}; {}^2P_{\frac{1}{2}, \frac{3}{2}}; {}^4P_{\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}}; {}^5D_{0,1,2,3,4}.$$

$$13.2. m_j = 2J + 1; 4; 7 \text{ və } 7.$$

$$13.3. \chi = 2S + 1 = 5; m_j = 2J + 1 = 7; {}^5P_3; {}^5D_3; {}^5F_3; {}^5G_3; {}^5H_3.$$

13.4. Məsələnin şərtinə görə verilmiş təbəqədə olan elektronları maksimal sayı 10-a bərabər olmalıdır. Deməli bu nd^5 halıdır. Onda atomun əsas termi ${}^6S_{\frac{5}{2}}$ olacaqdır.

$$13.5. a) Z = 1; b) Z = 2j + 1; c) Z = 2(2\ell + 1); d) Z = 2n^2.$$

$$13.6. a) 18; b) 6; c) 2; d) 10.$$

$$13.7. \text{Kalium elementindən } (Z = 19).$$

$$13.8. M_L = \sum m_l = 0; M_S = \sum m_s = 0; M_J = \sum m_j = 0;$$

$$P_L = 0; P_S = 0; P_J = 0.$$

$$13.9. a) {}^1S_0, {}^3S_1; b) {}^1P_1, {}^3P_{0,1,2}; c) {}^1D_2, {}^3D_{1,2,3}.$$

13.10. $\ell_1 = 1, \ell_2 = 2; L = 3; 2; 1; S = 0; 1;$ L -in hər bir qiymətinə uyğun term iki multipletliyə malik olduğundan 6 müxtəlif term alınır.

$$13.11. Z = 31(Ga)$$

$$13.12. a) {}^2S_{\frac{1}{2}}(H); {}^1S_0(He); {}^2S_{\frac{1}{2}}(Li); {}^1S_0(Be)$$

$$b) {}^4S_{\frac{3}{2}}(N); {}^3P_2(O)$$

$$13.13. {}^3P_0.$$

$$13.14. 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p.$$

$$13.16. m_j = 2J + 1 = 10.$$

$$13.17. a) {}^3F_2; b) {}^6S_{\frac{5}{2}}; c) {}^1S_0.$$

$$13.18. {}^2S_{\frac{1}{2}}(ns^1); {}^4S_{\frac{3}{2}}(np^3); {}^6S_{\frac{5}{2}}(nd^5); {}^8S_{\frac{7}{2}}(nf^7); {}^{10}S_{\frac{9}{2}}(ng^9).$$

13.19. $\chi = 2S + 1 = 1; L = \frac{k}{2}(2\ell - k + 1) = 0.$ Uyğun olaraq əsas term ${}^1S_0.$

$$13.20. Z = 23; {}^4F_{\frac{3}{2}}.$$

$$13.21. 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1 4d^5;$$

$$Z = 42 \text{ (molibden)}; {}^7S_3.$$

$$13.22. {}^3D_3.$$

13.23. a) $Z = 44; {}^5F_5$; b) $Z = 45; {}^4F_{\frac{9}{2}}$.

13.24. a) 9D_2 ; b) ${}^2D_{\frac{3}{2}}$.

13.25. a) $Z = 91; {}^4K_{\frac{11}{2}}$; b) $Z = 92; {}^5L_6$.

13.26. a) 9D_2 ; b) ${}^9H_{\frac{17}{2}}$; c) ${}^2D_{\frac{3}{2}}$.

13.27. ${}_{86}Rn + 7s^2 6d^5 5f^4; {}^6S_{\frac{1}{2}}$.

13.28. 1S_0 .

13.29. 1) ${}^6S_{\frac{1}{2}}$; 2) 1S_0 ; 3) ${}^2P_{\frac{1}{2}}$; 4) 3P_0 ; 5) ${}^4S_{\frac{3}{2}}$;

6) 3P_2 ; 7) ${}^2P_{\frac{3}{2}}$; 8) 1S_0

13.30. a), b) və e) bəndləri periodik olaraq dəyişir.

Ədəbiyyat

1. Э.В. Шпольский. Атомная физика, I и II том, Госиздат, М., 1963.
2. Е.Ə.Мəsimov, Т.М.Мүрсəlov. «Atom fizikası», Bakı, «Çaşıođlu», 2002.
3. S.Ə.Насиyeв, М.Ş.Мəммədov «Atom fizikası», Bakı, BDU Nəşriyyatı, 2000.
4. M.İ.Murquzov, C.İ.Hüseynov, T.A.Cəfərov. Ümumi fizika kursundan məsələlər. Bakı, «Ləman», 2005.
5. И.Е.Иродов. Задачи по квантовой физике. М., «Высшая школа», 1991.
6. И.Е.Иродов. Сборник задач по атомной и ядерной физике. «Атомиздат», М., 1976.
7. В.Л.Гинзбург и др. Сборник задач по общему курсу физики. М., «Наука», 1981.
8. Е.В.Фирганг. Руководство к решению задач по курсу общей физики. М., «Высшая школа», 1978.
9. Задачи по курсу атомной физики. Под ред. Г.И.Горяга, В.А.Квливидзе, С.С.Красилникова. М., «МГУ», 1970.
10. И.Е.Иродов. Квантовая физика. М.-Санкт-Петербург, «Физматлит», 2001.
11. А.Н.Волохов, А.А.Воробьев, М.Ф.Федоров, А.Г.Чертов. Задачник по физике. М., «Высшая школа», 1968.

ATOM FİZİKASINDAN MƏSƏLƏLƏR

***Eldar Əli oğlu Məsimov,
Məmməd Şıxəli oğlu Məmmədov,
Rəfiq Mikayıl oğlu Bağırov.***

Yığılmağa verilmişdir: 19.06.2007
Çapa imzalanmışdır: 27.09.2007
Şərti çap vərəqi 14, format 60x84 1/16
Tiraj 500
«MBM» mətbəəsində
çap olunmuşdur
Tel.: (050) 216-54-36; 439-75-06