Jora Awliýakuliýew

Fizikadan meseleler

(Kwant fizikasy)

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Aşgabat

Ylym

2010

Sözbaşy

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan Täze Galkynyş we beýik özgertmeler zamanasynda Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň baştutanlygynda täze ösüşlere, sepgitlere tarap batly gadamlar bilen ynamly öňe barýar. Döwlet Baştutanymyzyň bilim ulgamyny düýpli kämilleşdirmek, özgertmek hakyndaky resminamalary Altyn asyryň altyn nesillerine döwrüň talabyna laýyklykda ylym, bilim we terbiýe bermäge uly badalga berdi.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedow ýudumyzyň geljegi bolan türkmen ýaşlarynyň ylymly, bilimli we dünýä ülňülerine laýyk gelýän derejede sowatly bolmagy üçin atalyk aladasyny edýär. Bu bolsa her bir bilim işgäriniň Watan öňündäki şahsy jogapkärçiligini has-da artdyrýar.

Bilim ulgamynyň ähli basgançaklarynda mugallymlary we terbiýeçileri, talyplary we okuwçylary dünýä standartyna laýyk gelýän okuw maksatnamalary, okuw kitaplary we okuw gollanmalary bilen üpjün etmek gaýragoýulmasyz, döwlet ähmiýetli wezipeleriň biridir. Çünki bu ýurdumyzda bilim ulgamyny belende galdyrmagyň, öz işine ussat hünärmenleri taýýarlamagyň möhüm şertleriniň biridir.

Bu hödürlenilýän okuw gollanmasy mugallymçylyk institutynyň umumy fizika dersiniň okuw maksatnamasynyň

esasynda taýýarlanyldy. Gollanmada umumy fizika dersiniň kwant fizikasy bölümine degişli meseleleriň toplumy we olaryň käbirleriniň çözülişleriniň mysallary berilýär. Gollanma bir bölümden, bäş bapdan ybarat. Her babyň başynda esasy kanunlar we aňlatmalar berilýär hem-de baba degişli birnäçe meseleleriň giňişleýin çözülişleri görkezilýär. Özbaşdak çözmek üçin hödürlenilýän meseleler degişli jogaplar bilen üpjün edilen. Gollanmada goşmaça maglumat görnüşinde meseleler çözülende peýdalanylýan matematiki formulalar, tablisalar, fiziki hemişelikleriň san bahalary berilýär.

Okuw gollanmasy mugallymçylyk institutynyň mugallymlary we talyplary üçin niýetlenen hem bolsa, umumy fizika dersi okadylýan beýleki ýokary okuw mekdeplerinde hem gollanma hökmünde peýdalanylyp bilner.

Awtor

I BAP

ŞÖHLELENMÄNIŇ KWANT HÄSIÝETI

Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Fotonyň energiýasy

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{ýa-da} \quad \varepsilon = \hbar\omega$$

Bu ýedre h=6,625 $\cdot 10^{-34} J\cdot s$; $\hbar$ =1,05 $\cdot$ $10^{-34} J\cdot s$, Plankyň hemişeligi; ν - fotonyň ýygylygy; ω - fotonyň aýlaw ýygylygy; λ - fotonyň tolkun uzynlygy; c – ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi.

- Fotonyň massasy

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

- Fotonyň impulsy

$$P = mc = \frac{h}{\lambda}$$

Daşky fotoeffekt üçin Eýnşteýniň formulasy:

a) umumy ýagdaý üçin

$$\varepsilon = h\nu = A + T_{in\,uly} \quad \text{ýa-da} \quad h\nu = A + \frac{m_0 \upsilon_{iň\,uly}^2}{2}$$

Bu ýerde $\varepsilon = h\nu$ - metalyň üstüne düşýän fotonyň energiýasy; A - elektronyň metaldan çykyş işi; $T_{iň\,uly}$ - fotoelektronyň iň uly kinetik energiýasy;

A - elektronyň metaldan çykyş işi; m_0 - elektronyň dynçlyk massasy; $\upsilon_{iň\,uly}$ - metaldan goparylyp aýrylan elektronyň iň uly tizligi; h - Plankyň hemişeligi;

b) fotonyň energiýasy elektronyň çykyş işinden has uly bolan ýagdaý üçin ($h\nu >> A$)

$$\varepsilon = h\nu = T_{iň\,uly} \qquad \text{ýa-da} \qquad h\nu = \frac{m_0 \upsilon_{iň\,uly}^2}{2}$$

- Fotoelektronyň iň uly kinetik energiýasy relýatiwistik däl we relýatiwistik ýagdaýlar üçin tapawutlanýar:

a) Eger fotoeffekt energiýasy onçakly uly bolmadyk fotonyň täsirinde ýüze çykan bolsa $(h\nu \approx 5keW)$ fotoelektronyň iň uly kinetik energiýasy

$$T_{iň\,uly} = \frac{m_0 \upsilon_{iň\,uly}^2}{2} \quad \text{formula bilen aňladylýar.}$$

m_0 - elektronyň dynçlyk massasy.

b) Eger fotoeffekt uly energiýaly fotonyň täsirinde ýüze çykýan bolsa $(h\nu >> 5keW)$ fotoelektronyň iň uly kinetik energiýasy

$$T_{iň\,uly} = (m - m_0)\, c^2 \qquad \text{ýa-da} \qquad T_{iň\,uly} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

formula bilen aňladylýar.

Bu ýerde $\beta = \frac{\upsilon_{iň\,uly}}{c}$; c - ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi; m - elektronyň relýatiwistik massasy.

Fotoeffektiň gyzyl araçägi

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} \qquad \text{ýa-da} \qquad \nu_0 = \frac{A}{h}$$

- Uste normal boýunça düşýän ýagtylygyň döredýän basyşy

$$P = \frac{E}{c}(1+\rho) \qquad \text{ýa-da} \qquad P = \omega(1+\rho)$$

Bu ýerde E - üst birligine wagt birliginde düşýän ýagtylyk energiýasy; c - ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi; ω - ýagtylyk energiýasynyň göwrüm dykyzlygy; ρ - üstüň ýagtylygy serpikdirme koeffisiýenti.

- Stefanyň - Bolsmanyň kanuny

$$E_{(T)} = \sigma T^4$$

Bu ýerde $E_{(T)}$ - absolýut gara jisimiň integral şöhlelenijiligi; T - termodinamiki temperatura ; $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{Wt}{m^2 k^4}$ Stefanyň - Bolsmanyň hemişeligi.

- Çal jisimiň integral şöhlelenijiligi

$$E_{(T)} = a_T \sigma T^4$$

Bu ýerde a_T - çal jisimiň ýylylyk şöhlelenme koeffisiýenti.

- Winiň süýşme kanuny

$$\lambda_{iňuly} = \frac{b}{T}$$

Bu ýerde $b = 2.9 \cdot 10^{-3} m \cdot K$ - Winiň hemişeligi; $\lambda_{iňuly}$ - şöhlelenmäniň iň uly bahasyna degişli tolkun uzynlyk.

- Absolýut gara jisimiň spektral şöhlelenijiligi üçin Winiň kanuny

$$\left[\varepsilon_{(\lambda_1 T)}\right]_{iňuly} = C' T^5$$

Bu ýerde $C' = 1.3 \cdot 10^{-5} Wt / m^3 K^5$ - hemişelik ululyk.

- Ýylylyk şöhlelenmesi üçin Plankyň formulasy

$$E_{(v,T)} = \frac{2\pi v^2}{c^2} \cdot \frac{hv}{exp\left(\frac{hv}{kT}\right) - 1}$$

$$E_{(\lambda_1,T)} = \frac{2\pi c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{h}{exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}$$

Bu ýerde $E_{(v,T)}$ we $E_{(\lambda_1,T)}$ absolýut gara jisimiň spektral şöhlelenijiliginiň degişlilikde ýygylygyň we tolkun uzynlygynyň üsti bilen aňladylyşy.

- Komptonyň formulasy ýa-da erkin elektronda θ - burça pytran fotonyň tolkun uzynlygynyň üýtgemesi

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}\left(1 - \cos\theta\right) \qquad \text{ýa-da} \qquad \Delta\lambda = 2\frac{h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

Bu ýerde m - elektronyň massasy; λ - fotonyň pytramadan ozalky tolkun uzynlygy; λ' - fotonyň pytramadan soň eýe bolan tolkun uzynlygy.

- Mikrobölejigiň Kompton tolkun uzynlygy

$$\lambda_k = \frac{h}{mc}$$

Mesele çözmegiň mysallary

1-nji mesele. Tolkun uzynlygy $\lambda = 350\,nm$ deň bolan fotonyň energiýasyny, massasyny we impulsyny kesgitlemeli.

Çözülişi.

1.Fotonyň energiýasy

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär. Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\varepsilon = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 10^{8}}{3.5 \cdot 10^{-7}} = 5.68 \cdot 10^{-19}\,J \text{ alarys.}$$

2.Fotonyň massasy energiýanyň massa proporsionallyk deňlemesinden peýdalanyp kesgitlenilýär.

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} \qquad (2)$$

Ululyklaryň san bahasyny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$m = \frac{5.68 \cdot 10^{-19}}{9 \cdot 10^{16}} = 0.68 \cdot 10^{-35}\,kg \text{ alarys.}$$

3.Fotonyň impulsy

$$P = mc = \frac{h}{\lambda} \text{ (3) formula arkaly kesgitlenilýär.}$$

Ululyklaryň san bahasyny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$P = \frac{6.625 \cdot 10^{-34}}{3.5 \cdot 10^{-7}} = 1.9 \cdot 10^{-27}\,kg\frac{m}{s} \text{ alarys.}$$

2-nji mesele. Kaliý $\lambda = 380\,nm$ tolkun uzynlykly şöhle bilen ýagtylandyrylanda ondan goparylyp aýrylýan

fotoelektronyň iň uly tizligi $\vartheta_{in\,uly} = 0{,}6 Mm/s$ deň. Kaliý üçin fotoeffektiň gyzyl araçägini kesgitlemeli.

Çözülişi. Metalyň üstüne fotoeffektiň gyzyl araçägine deň bolan tolkun uzynlykly şöhle düşürilende fotoelektronlaryň tizligi (kinetik energiýasy) nula deň bolýar. Bu ýagdaýda daşky fotoeffekt üçin Eýnşteýniň formulasy

$$\varepsilon_0 = A \quad \text{ýa-da} \quad h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = A$$

görnüşe eýe bolýar. Bu ýerde

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} \qquad (1)$$

Elektronyň çykyş işini umumy ýagdaý üçin daşky fotoeffektiň formulasyndan kesgitläp,

$$A = \varepsilon - T_{iň\,uly} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{m_0 \upsilon_{iň\,uly}^2}{2} \qquad (2) \text{ alarys}$$

(1) we (2) deňliklerden fotoeffektiň gyzyl araçägi üçin

$$\lambda_0 = \frac{2\lambda hc}{2hc - \lambda m_0 \upsilon_{iň\,uly}^2} \qquad (3) \text{ formulany alarys.}$$

Bu formula girýän ululyklaryň bahalaryny „Halkara birliklerde“ aňlatsak,

$$h = 6.625 \cdot 10^{-34}\, J \cdot s; \qquad c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}; \qquad \lambda = 3.8 \cdot 10^{-7}\, m;$$

$$m_0 = 9.1 \cdot 10^{-31}\, kg; \qquad \upsilon_{iň\,uly} = 6 \cdot 10^5 \frac{m}{s} \text{ bolar.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny (3) formulada ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\lambda_0 = \frac{2\cdot 3.8\cdot 10^{-7}\cdot 6.625\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{2\cdot 6.625\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8} - 3.8\cdot 10^{-7}\cdot 9.1\cdot 10^{-31}\cdot 10^{5}} = 5.5\cdot 10^{-7} m$$

alarys.

3-nji mesele. Sink çaýylan üste tolkun uzynlygy $\lambda_1 = 200nm$ we $\lambda_2 = 2.5pm$ deň bolan şöhleler düşürilende goparylyp aýrylýan fotoelektronlaryň iň uly tizligini kesgitlemeli. Sink üçin elektronyň çykyş işi $A = 4eW$.

Çözülişi. Fotoelektronyň iň uly kinetik energiýasy (iň uly tizligi) nusgawy ýagdaýda:

$$T_{iňuly} = \frac{m_0 \upsilon_{iňuly}^2}{2} \qquad (1)$$

relýatiwistik ýagdaýda $T_{inuly} = \left(m - m_0\right)c^2$ (2) görnüşde kesgitlenilýär.

Eger fotonyň energiýasy elektronyň dynçlyk energiýasyndan $E_0 = m_0 c^2 = 0.51MeW$ has kiçi bolsa, onda (1) formuladan peýdalanylýar; eger-de fotonyň energiýasy elektronyň dynçlyk energiýasyna ýakyn bolsa, onda (2) formuladan peýdalanylýar.

1. Fotonyň energiýasy üçin formuladan λ_1 tolkun uzynlykly fotonyň energiýasyny kesgitlesek,

$$\varepsilon_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6.625\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{2\cdot 10^{-7}} = 9.94\cdot 10^{-19} J = 6.2eW \text{ alarys.}$$

Fotonyň energiýasy elektronyň dynçlyk energiýasyndan has kiçi. Şoňa görä, bu ýagdaýda fotoelektronyň tizligi nusgawy formula arkaly kesgitlenilip bilner, ýagny

$$\varepsilon_1 = A + \frac{m_0 \upsilon_{inuly}^2}{2}$$; bu ýerde $\upsilon_{inuly} = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_0}}$ (3)

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\upsilon_{iňuly} = \sqrt{\frac{2(9.94 - 6.14)\cdot 10^{-19}}{9.1\cdot 10^{-34}}} = 0.88\cdot 10^6 \frac{m}{s}$$ bolar.

2. Tolkun uzynlygy λ_2 deň bolan fotonyň energiýasyny kesgitlesek,

$$\varepsilon_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{6.625\cdot 10^{-23}\cdot 3\cdot 10^8}{2.5\cdot 10^{-12}} = 0.794\cdot 10^{-13} J \approx 0.5 MeW$$

alarys.

Fotonyň energiýasy elektronyň dynçlyk energiýasyna örän ýakyn, elektronyň çykyş işini $(A = 4eW)$ hasaba almazlyk mümkin, şoňa görä fotonyň energiýasyny fotoelektronyň iň uly kinetik energiýasyna deň diýip, kabul etmek bolar, ýagny $T_{iňuly} = \varepsilon_2 = 0.5 MeW$

Bu ýagdaýda fotoelektronyň iň uly tizligini relýatiwistik formuladan peýdalanyp, kesgitlemek mümkin:

$$T_{iňuly} = E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right)$$ bu ýerde $\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + T_{iňuly})T_{iňuly}}}{E_0 + T_{iňuly}}$

(4)

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\beta = \frac{\sqrt{(2\cdot 0.51 + 0.5)\cdot 0.5}}{0.51 + 0.5} = \frac{\sqrt{0.76}}{1.01} = 0{,}86$$ alarys.

Netijede $\upsilon_{iňuly} = \beta\cdot c = 0.86\cdot 3\cdot 10^8 = 2{,}6\cdot 10^8 \frac{m}{s}$ bolar.

4-nji mesele. Ýagtylygyň monohromatik $(\lambda = 600nm)$ dessesi garaldylan üste perpendikulýar düşüp, $P = 0{,}1\ mkPa$ basyş döredýär. Üste düşýän ýagtylyk fotonlarynyň konsentrasiýasyny we üstüň $S = 1sm^2$ meýdanyna $\Delta t = 1s$ dowamynda düşýän fotonlaryň sanyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Üste düşýän fotonlaryň konsentrasiýasy energiýanyň göwrüm dykyzlygynyň fotonyň energiýasyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýär.

$$n = \frac{\omega}{\varepsilon} \qquad (1)$$

Energiýanyň göwrüm dykyzlygy $\omega = \dfrac{P}{(1+\rho)}$ (2) deň.

Fotonyň energiýasy $\varepsilon = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$ (3) deň.

(1), (2) we (3) aňlatmalardan peýdalanyp,

$$n = \frac{P\lambda}{hc(1+\rho)} \qquad \text{(4) alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$n = \frac{10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^{-7}}{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}} = 3 \cdot 10^{13} \frac{1}{m^3} \text{ bolar.}$$

Üstüň S meýdany Δt wagtda düşýän fotonlaryň sany

$$N = \frac{ES\Delta t}{\varepsilon} \qquad \text{(5) formula arkaly kesgitlenilýär.}$$

Üst birligine wagt birliginde düşýän energiýa

$$E = \frac{P \cdot c}{(1+\rho)} \qquad \text{(6) deň.}$$

(3) we (6) formulalardan peýdalanyp, (5) aşakdaky görnüşde aňlatmak mümkin:

$$N = \frac{P \cdot S \cdot \lambda}{h} \Delta t \qquad (7)$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$N = \frac{10^{-5} \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 10^{-7}}{6{,}625 \cdot 10^{-34}} \cdot 1 = 0{,}9 \cdot 10^{18} \text{ foton bolar.}$$

5-nji mesele. Serpikdirme koeffisiýenti $\rho = 0{,}3$ deň bolan üste perpendikulýar monohromatik $(\lambda = 500nm)$ ýagtylyk dessesi düşýär. Eger ýagtylyk akymy $\Phi = 0{,}6\,Wt$ deň bolsa, bu üste ýagtylygyň döredýän F basyş güýji näçä deň bolar?

Çözülişi. Ýagtylygyň täsirinde üste düşýän basyş güýji

$$F = P \cdot S \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Ýagtylygyň basyşy

$$P = \frac{E}{c}(\rho + 1) \qquad (2) \text{ deň.}$$

(2) aňlatmany (1) ornuna goýup,

$$F = \frac{E \cdot S}{c}(\rho + 1) \qquad (3) \text{ alarys.}$$

Bu ýerde $E \cdot S = \Phi$ (4)

ýagtylyk akymy. (4) aňlatmany (3) ornuna goýup,

$$F = \frac{\Phi}{c}(\rho + 1) \qquad (5) \text{ alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$F = \frac{0.6}{3 \cdot 10^8}(0.3+1) = 2{,}6 \cdot 10^{-9} N = 2{,}6 nN \text{ bolar.}$$

6-njy mesele. Günüň spektral şöhlelenijiliginiň dykyzlygynyň iň uly bahasy $\lambda = 520\ nm$ tolkun uzynlyga düşýär. Güni absolýut gara jisim diýip kabul edip, onuň integral şöhlelenijiligini, şöhlelendirýän energiýasynyň akymyny we bir sekundyň dowamynda şöhlelenme arkaly ýitirýän massasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. 1. Absolýut gara jisimiň integral şöhlelenijiligi Stefanyň - Bolsmanyň kanuny arkaly kesgitlenilýär:

$$E_{(T)} = \sigma T^4 \qquad (1)$$

Berlen şertde şöhlelenýän üstüň temperaturasy Winiň süýşme kanunynyň esasynda kesgitlenilýär:

$$\lambda_{iň\,kici} = \frac{b}{T} \quad \text{bu ýerde} \quad T = \frac{b}{\lambda_{iň\,kici}} \qquad (2)$$

(2) aňlatmany (1) ornuna goýup,

$$E_{(T)} = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_{iň\,kici}} \right)^4 \qquad \text{(3) alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$E_{(T)} = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{5{,}2 \cdot 10^{-7}} \right)^4 = 55 \cdot 10^6 \frac{Wt}{m^2} = 55 \frac{MWt}{m^2} \text{ deň}$$

bolar.

2. Günüň şöhlelendirýän energiýasynyň akymy onuň şöhlelenijiligini üstüniň meýdanyna köpeltmek hasylyna deňdir. Ýagny,

$$\Phi = E_{(T)}S \qquad (4) \qquad S = 4\pi r^2$$

Bu ýerde S - Günüň üstüniň meýdany; $r = 6{,}95 \cdot 10^8 m$ - Günüň radiusy; S-iň bahasyny (4) ornuna goýup,

$$\Phi = 4\pi r^2 E_{(T)} \qquad (5) \text{ alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\Phi = 4 \cdot 3{,}14 \cdot \left(6{,}95 \cdot 10^8\right)^2 55 \cdot 10^6 = 3{,}34 \cdot 10^{26} Wt \text{ bolar.}$$

Günüň şöhlelenme arkaly wagt birliginde ýitirýän massasy energiýanyň massa proporsionallyk baglanyşygyndan peýdalanyp kesgitlenilýär:

$$E = mc^2 \qquad (6)$$

Elektromagnit tolkunlarynyň energiýasy

$$E = \Phi \cdot t \qquad (7)$$

formula arkaly aňladylýar. (6) we (7) formuladan

$$m = \frac{\Phi \cdot t}{c^2} \qquad (8) \text{ alarys.}$$

Ululyklaryň san bahasyny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$m = \frac{3{,}34 \cdot 10^{26} \cdot 1}{9 \cdot 10^{16}} = 3{,}7 \cdot 10^9 kg = 3{,}7 Gkg \text{ deň bolar.}$$

7-nji mesele. Ergin halda platinanyň $S = 5sm^2$ üstünden $t = 1\min$ dowamynda ýitirilen ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Platinanyň eremek temperaturasy $t = 1770^0 C$, garalyk derejesi $a_T = 0{,}8$ deň.

Çözülişi. Platinanyň ýitirýän ýylylyk mukdary onuň gyzgyn üstüniň şöhlelendirýän energiýasyna deňdir:

$$Q = E = a_T E_{(T)} S \cdot t \qquad (1)$$

Bu ýerde $E_{(T)}$ Stefanyň - Bolsmanyň kanuny arkaly kesgitlenilýär.

$$E_{(T)} = \sigma T^4 \qquad (2)$$

(2) aňlatmany (1) ornuna goýup,

$$Q = a_T \cdot \sigma \cdot S \cdot t \cdot T^4 \qquad \text{(3) alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$Q = 0{,}8 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 60 \cdot (2043)^4 = 23{,}7 \cdot 10^3 J$ bolar.

8-nji mesele. Erkin elektronda $\theta = 60^0$ burça pytran foton komptonyň effekti netijesinde $\varepsilon' = 0.6 MeW$ energiýa eýe bolýar. Fotonyň pytramadan ozalky energiýasyny kesgitlemeli.

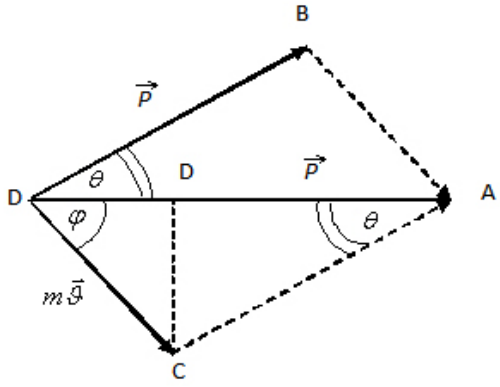
Çözülişi.

$$\lambda' - \lambda = 2\frac{h}{mc}\sin\frac{\theta}{2} \qquad (1)$$

görnüşdäki formuladan we fotonyň energiýasy üçin

$\varepsilon = \dfrac{hc}{\lambda}$ ýa-da $\lambda = \dfrac{hc}{\varepsilon}$, $\lambda' = \dfrac{hc}{\varepsilon'}$ (2) görnüşdäki formulalardan peýdalanyp alarys.

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' mc^2}{mc^2 - \varepsilon' 2\sin^2\frac{\theta}{2}} = \frac{\varepsilon' E_0}{E_0 - 2\varepsilon'\sin^2\frac{\theta}{2}} \qquad (3)$$



1.1-nji surat

Diagramma ähli wektorlar bilen elektronyň täsirleşen nokadyna göçürilen görnüşde gurlan. Bu ýerde θ - fotonyň pytrama burçy; φ - elektronyň hereketiniň ugry bilen düşýän fotonyň ugrunyň arasyndaky burç OCD – üçburçlukdan

$$tg\varphi = \frac{|CD|}{OD} = \frac{|CA|\sin\theta}{|OA| - |CA|\cos\theta} \quad \text{ýa-da}$$

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

φ - burçy meseläniň şertinde berlen ululyklar arkaly aňlatmak üçin aşakdaky formulalardan peýdalanmaly:

$$P = \frac{\varepsilon}{c}, \quad P' = \frac{\varepsilon'}{c} \qquad \text{we} \qquad \frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{\varepsilon}{E_0}(1 - \cos\theta) + 1 \qquad (5)$$

Onda (4) formula $tg\varphi = \dfrac{\sin\theta}{(1 + \varepsilon / E_0)(1 - \cos\theta)}$ (6)

görnüşi alar.

$$\sin\theta = 2\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}; \qquad 1 - \cos\theta = 2\sin^2\frac{\theta}{2} \qquad (7)$$

(7) özgertmeleri (6) formulada ornuna goýup,

$$tg\varphi = \frac{ctg\frac{\theta}{2}}{1+\frac{\varepsilon}{E_0}} \qquad (8) \text{ alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$tg\varphi = \frac{ctg15^0}{1+1.765} = 0.1353 \qquad \text{bolar.}$$

Bu ýerde

$$\varphi = arctg(1.353) = 53^0 30'$$

Bu ýerde $E_0 = mc^2 = 0.51MeW$ - elektronyň dynçlyk energiýasy.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\varepsilon = \frac{0{,}51 \cdot 0{,}6}{0{,}51 - 2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}25} = 0{,}46\ MeW \qquad \text{bolar.}$$

9-njy mesele. Energiýasy $\varepsilon = 0{,}9MeW$ bolan foton energiýasy we impulsy hasaba alarlyksyz kiçi bolan elektronda $\theta = 30^0$ pytraýar. Fotonyň pytramadan soňky eýe bolan energiýasyny, elektronyň alan kinetik energiýasyny we hereketiň ugruny kesgitlemeli.

Çözülişi. 1. Fotonyň pytramadan soňky energiýasy üçin $2\sin^2\frac{\theta}{2}$-ni $(1-\cos\theta)$ bilen çalşyp,

$$\varepsilon' = \frac{E_0\varepsilon}{E_0 + \varepsilon(1-\cos\theta)} \quad \text{aňlatmany alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\varepsilon' = \frac{0.51 \cdot 0.9}{0.51 + 0.9(1 - 0.707)} = 0.60\ MeW \quad \text{bolar.}$$

2. Meseläniň şertine görä, elektronyň foton bilen täsirleşmezden öňki energiýasyny hasaba almazlyk mümkin, onda komptonyň effekti netijesinde elektronyň alan kinetik energiýasy fotonyň pytramadan öňki we pytramadan soňky energiýalarynyň tapawudy ýaly kesgitlenilýär, ýagny

$$T = \varepsilon - \varepsilon' \qquad (2)$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$T = 0.9 - 0.6 = 0.30 MeW \qquad \text{bolar.}$$

Elektronyň hereketiniň ugruny impulsyň saklanma kanunyndan peýdalanyp, kesgitlemek bolar. Düşýän fotonyň impulsy pytramadan soň emele gelen fotonyň impulsynyň we elektronyň impulsynyň geometrik jemine deňdir.

$$\vec{P} = \vec{P}' + m\vec{\upsilon} \qquad (3)$$

Impulsyň wektor diagrammasy 1.1-nji suratda şekillendirilýär.

Diagramma ähli wektorlar foton bilen elektronyň täsirleşen nokadyna göçürilen görnüşde gurlan. Bu ýerde θ - fotonyň pytrama burçy; φ - elektronyň hereketiniň ugry bilen düşýän fotonyň ugrunyň arasyndaky burç OCD – üçburçlukdan

$$tg\varphi = \frac{|CD|}{OD} = \frac{|CA|\sin\theta}{|OA| - |CA|\cos\theta} \quad \text{ýa-da}$$

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

φ - burçy meseläniň şertinde berlen ululyklar arkaly aňlatmak üçin aşakdaky formulalardan peýdalanmaly:

$$P=\frac{\varepsilon}{c},\quad P'=\frac{\varepsilon'}{c}\qquad \text{we}\qquad \frac{\varepsilon}{\varepsilon'}=\frac{\varepsilon}{E_0}(1-\cos\theta)+1 \qquad (5)$$

Onda (4) formula $tg\varphi=\dfrac{\sin\theta}{(1+\varepsilon/E_0)(1-\cos\theta)}$ (6)

görnüşi alar.

$$\sin\theta=2\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2};\qquad 1-\cos\theta=2\sin^2\frac{\theta}{2} \qquad (7)$$

(7) özgertmeleri (6) formulada ornuna goýup,

$$tg\varphi=\frac{ctg\dfrac{\theta}{2}}{1+\dfrac{\varepsilon}{E_0}} \qquad (8)\ \text{alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$tg\varphi=\frac{ctg15^0}{1+1.765}=0.1353 \qquad \text{bolar.}$$

Bu ýerden

$$\varphi=arctg(1.353)=53^0 30'$$

Meseleler

Fotonlar

1.1. Tolkun uzynlyklary $\lambda_1=0.7mkm$ (gyzyl), $\lambda_2=0.55mkm$ (ýaşyl), $\lambda_3=0.4mkm$ (melewşe), $\lambda_4=10mkm$ (infragyzyl) deň bolan fotonlaryň energiýalaryny kesgitlemeli.

1.2. Energiýasy $6\cdot10^{-19}J$ bolan foton görünýän ýagtylyk şöhlelerine degişlimi?

1.3. Betatronda elektronlary tizlendirip, energiýasy $100MeW$ bolan gamma- şöhlelerini almak mümkin. Bu fotonlaryň tolkun uzynlygy näçe?

1.4. Energiýasy $10^{-19} J$ bolan fotonyň elektromagnit tolkunlarynyň haýsy bölege degişlidigini kesgitlemeli.

1.5. Berlen fotonlaryň relýatiwistik massasyny tapmaly:

1. $\lambda_1 = 0.4 mkm,$ 2. $\lambda_2 = 2 nm,$ 3. $\lambda_3 = 2.3 pm.$

1.6. Relýatiwistik massasy $1.66 \cdot 10^{-30} kg$ bolan fotonyň tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

1.7. Energiýasy $1 MeW$ fotonyň impulsyny kesgitlemeli.

1.8. Tolkun uzynlyklary $\lambda_1 = 100 pm$ we $\lambda_2 = 2 pm$ bolan rentgen şöhleleriniň relýatiwistik massasyny, energiýasyny, impulsyny kesgitlemeli.

1.9. Tizligi $\upsilon = 10\ Mm/s$ bolan elektronyň impulsyna deň impulsy fotonyň tolkun uzynlygyny tapmaly.

1.10. Relýatiwistik massasy elektronyň dynçlyk massasyna we protonyň dynçlyk massasyna deň bolan fotonlaryň tolkun uzynlygyny tapmaly.

Fotoelektrik hadysasy

1.11. Natriý üçin fotoeffektiň gyzyl araçägi $\lambda_0 = 500 nm.$ Elektronyň çykyş işini kesgitlemeli.

1.12. Berlen metallar: platina, kümüş, wolfram, tantal we seziý üçin fotoeffektiň gyzyl araçägini kesgitlemeli.

1.13. Molibdeniň üstüne tolkun uzynlygy $\lambda = 200 nm$ bolan şöhle düşürilýär. Onuň üstünden goparylyp aýrylan fotoelektronyň iň uly tizligini tapmaly.

1.14. Sinkiň üstüne nähili tolkun uzynlykly şöhle düşürilende, ondan goparylyp aýrylan fotoelektronlaryň iň uly tizligi $\upsilon_{max} = 0.8 Mm/s$ deň bolar?

1.15. Nikeliň üstüne $(\lambda = 200nm)$ monohromatik şöhle düşürilýär. Nikel üçin fotoeffektiň gyzyl araçägi $\lambda = 248nm$. Düşýän fotonyň energiýasyny, elektronyň çykyş işini, fotoelektronlaryň iň uly kinetik energiýasyny we iň uly tizligini kesgitlemeli.

1.16. Kümüş çaýylan üste $\lambda = 300nm$ tolkun uzynlykly ultramelewşe şöhle düşürilse fotoeffekt ýüze çykarmy?

1.17. Litiniň üstüne $\lambda = 310nm$ tolkun uzynlykly monohromatik şöhle düşürilende, fotoelektronlaryň emissiýasyny basyp ýatyrmak üçin $U = 1.7W$ saklaýjy potensiallar tapawudyny goýmaly. Litiý üçin elektronyň çykyş işini kesgitlemeli.

1.18. Sinkde ýüze çykan fotoeffektiň kesilmegi üçin oňa $U_1 = 3.7W$ deň bolan saklaýjy potensiallar tapawudyny goýmak zerur. Sink başga metal bilen çalşyrylanda fotoeffektiň kesilmegi üçin oňa $U_2 = 6W$ saklaýjy potensiallar tapawudyny goýmak gerek boldy. Soňky alnan metaldan elektronyň çykyş işini kesgitlemeli.

1.19. Tolkun uzynlygy $\lambda = 0.3nm$ deň bolan gamma γ şöhläniň täsirinde metaldan goparylyp aýrylan fotoelektronlaryň iň uly tizligini kesgitlemeli.

1.20. Gamma-şöhleleriň täsirinde metaldan goparylyp aýrylýan fotoelektronlaryň iň uly tizligi $\upsilon_{in\,uly} = 291Mm/s$ deň gamma-fotonyň energiýasyny kesgitlemeli.

Ýagtylygyň basyşy

1.21. Üste perpendikulýar düşýän ýagtylyk energiýasynyň akymynyň dykyzlygy $\phi = 7kWt/m^2$. Üstüň ýagtylygy serpikdirme koeffisiýenti $\rho = 1$ we $\rho = 0$ deň

bolan ýagdaýlar üçin ýagtylygyň döredýän basyşyny kesgitlemeli.

1.22. Tekiz aýna normal düşýän ýagtylygyň döredýän basyşy $P = 0.2Pa$ deň. Aýnanyň ýagtylygy serpikdirme koeffisiýenti $\rho = 0.6$ deň hasap edip, düşýän ýagtylygyň depginini kesgitlemeli.

1.23. Serpikdirme koeffisiýenti $\rho = 0.8$ deň bolan üstüň $S = 10sm^2$ meýdançasyna normal boýunça düşýän ýagtylyk akymy $\Phi = 9Wt$ deň. Ýagtylygyň meýdançada döredýän basyşyny tapmaly.

1.24. Meýdany $S = 10sm^2$ deň bolan üste normal boýunça intensiwligi $n = 10^{18}\frac{1}{s}$ barabar bolan fotonlaryň $(\lambda = 500nm)$ dessesi gönükdirilen. Üstüň serpikdirme koeffisiýenti $\rho = 0.7$ deň bolsa, ýagtylygyň döredýän basyşyny tapmaly.

1.25. Kuwwaty $N = 50Wt$ bolan elektrik çyradan $r = 1m$ aralykda ýerleşen ideal serpikdiriji üstde dörejek basyşy tapmaly.

1.26. Gara üste perpendikulýar düşýän monohromatik $(\lambda = 500nm)$ ýagtylygyň döredýän basyşy $P = 0.12mkPa$ deň. Üstüň $S = 1sm^2$ deň meýdanyna bir sekuntda düşýän fotonlaryň sanyny kesgitlemeli.

1.27. Meýdany $S = 5sm^2$ deň bolan üste $\Delta t = 3\min$ wagtda normal boýunça düşýän monohromatik ýagtylygyň energiýasy $E = 9J$. Üstüň şöhlelendirilişini we ýagtylygyň döredýän basyşyny tapmaly.

1.28. Radiusy $R = 4sm$ barabar sfera görnüşli elektrik çyrasynyň kuwwaty $N = 150Wt$. Eger çyranyň aýna

kolbasynyň ýagtylygy serpikdirme koeffisiýenti $\rho = 0.15$ deň bolsa, ýagtylygyň gabyga edýän basyşyny tapmaly.

1.29. Ideal serpikdiriji üste normal boýunça düşýän monohromatik ýagtylygyň $(\lambda = 0.55mkm)$ akymy $\Phi = 0{,}45Wt$ deň. Ýagtylygyň üste düşýän basyşyny we $\Delta t = 3s$ dowamynda üste düşýän fotonlaryň sanyny tapmaly.

1.30. Monohromatik ýagtylygyň $(\lambda = 760nm)$ parallel dessesi gara üste normal boýunça düşüp, $P = 5mkPa$ basyş döredýär. Ýagtylyk dessesindäki fotonlaryň konsentrasiýasyny we üstüň $S = 1m^2$ meýdanyna $\Delta t = 1s$ dowamynda düşýän fotonlaryň sanyny tapmaly.

Ýylylyk şöhlelenmesi

1.31. Şöhlelenijiligi $E_{(T)} = 10\ kWt/m^2$ deň bolan absolýut gara jisimiň temperaturasyny kesgitlemeli.

1.32. Metal erediji pejiň gözegçilik edilýän äpişgesiniň şöhlelendirýän energiýasynyň akymy $\Phi = 34\,Wt$ deň. Eger äpişgäniň meýdany $S = 6\ sm^2$ barabar bolsa, pejiň içiniň temperaturasyny tapmaly.

1.33. Absolýut gara jisimiň temperaturasy 1% üýtgedilende, onuň energetik şöhlelenmesiniň üýtgemesiniň başlangyç ululygyna bolan gatnaşygynyň näçe esse artjakdygyny tapmaly.

1.34. Metal erediji pejiň gözegçilik edilýän äpişgesiniň meýdany $S = 8sm^2$. Pejiň içiniň temperaturasy $T = 1200^0 K$. Pejiň äpişgesinden $t = 1\min$ dowamynda şöhlelenýän energiýany kesgitlemeli.

1.35. Ýanýan kömrüň $T = 600^0 K$ temperaturada garalyk derejesi $a_T = 0{,}6$ barabar. Kömrüň şöhlelenijiligini we

onuň üstüniň $S = 5sm^2$ meýdandan $t = 10\,\min$ şöhlelendirjek energiýasyny kesgitlemeli.

1.36. Absolýut gara jisimiň temperaturasy näçe esse ýokarlandyrylanda onuň şöhlelenijiligi iki esse artar?

1.37. Gara gurumyň $S = 2sm^2$ üstünden $T = 400^0 K$ temperaturada $t = 5\,\min$ dowamynda $E = 83\,J$ energiýa şöhlelenýän bolsa, onuň garalyk derejesini kesgitlemeli.

1.38. Absolýut gara jisimiň $t = 0^0 S$ temperaturada spektral şöhlelenme energiýasynyň iň uly bahasynyň haýsy tolkun uzynlyga düşýänligini tapmaly.

1.39. Absolýut gara jisimiň spektral şöhlelenme energiýasynyň iň uly bahasynyň $\lambda_1 = 750nm$ we $\lambda_2 = 380nm$ tolkun uzynlyklara düşýän temperaturalaryny tapmaly.

1.40. Temperaturanyň üýtgemesi netijesinde absolýut gara jisimiň spektral şöhlelenme energiýasynyň iň uly bahasynyň düşýän tolkun uzynlygy λ_2-den $(2.4mkm)$ λ_1-e $(0.8mkm)$ süýşüpdir. Onuň şöhlelenijiliginiň we spektral şöhlelenme energiýasynyň dykyzlygynyň iň uly bahasynyň näçe esse üýtgejekdigini kesgitlemeli.

Komptonyň hadysasy

1.41. Erkin elektronda we erkin protonda pytran fotonyň kompton effekti netijesinde tolkun uzynlygynyň iň uly üýtgemesini kesgitlemeli.

1.4.2. Erkin elektronda pytran fotonyň tolkun uzynlygynyň üýtgemesi $\Delta\lambda = 3{,}62\ pm$ deň bolsa, onuň pytrama burçy näçe?

1.43. Dynçlykda elektronda $\theta = 90^0$ burça pytran fotonyň tolkun uzynlygynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

1.44. Energiýasy $\varepsilon = 0.4MeW$ deň bolan foton erkin elektronda $\theta = 90^0$ burça pytraýar. Fotonyň pytramadan soňky energiýasyny we elektronyň alan kinetik energiýasyny tapmaly.

1.45. Energiýasy $\varepsilon = 0.25\ MeW$ deň bolan foton erkin elektronda pytraýar. Pytramadan soň foton $\varepsilon' = 0.2\ MeW$ energiýa eýe bolan bolsa, onuň pytrama burçunyň näçä deň bolýandygyny kesgitlemeli.

1.46. Tolkun uzynlygy $\lambda = 24\ pm$ bolan foton erkin elektronda pytrap, oňa öz energiýasynyň 9 % beripdir. Pytran fotonyň tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

1.47. Erkin elektronda pytran fotonyň tolkun uzynlygy 2 esse artypdyr. Eger fotonyň pytran burçy $\theta = 90^0$ deň bolsa, onuň başlangyç tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

1.48. Energiýasy $\varepsilon = 2m_0c^2$ bolan foton dynçlykdaky elektronda pytrap, energiýasynyň ýarysyny ýitiripdir (m_0 - elektronyň dynçlyk massasy). Pytran foton bilen elektronyň hereketiniň ugrunyň arasyndaky burçy kesgitlemeli.

1.49. Tolkun uzynlygy $\lambda = 5pm$ bolan foton dynçlykdaky elektronda $\theta = 90^0$ burça pytran bolsa, fotonyň tolkun uzynlygynyň üýtgemesini we elektronyň alan impulsyny kesgitlemeli.

1.50. Energiýasy $\varepsilon = 0.25MeW$ bolan foton dynçlykdaky elektronda pytranda tolkun uzynlygy 20 % üýtgeýär. Elektronyň alan kinetik energiýasyny tapmaly.

II BAP

KWANT MEHANIKASYNYŇ ELEMENTLERI

Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Hereket edýän mikrobölejigiň tolkun uzynlygy bilen impulsynyň baglanyşygy üçin de Broýluň formulasy:
  a) Mikrobölejige nusgawy nukdaýnazardan seredilýän ýagdaýda

$$\left(\upsilon << c; P = m_0\upsilon\right) \qquad \lambda = \frac{h}{m_0\upsilon} = \frac{h}{P}$$

b) Mikrobölejige relýatiwistik nukdaýnazardan seredilýän ýagdaýda (mikrobölejigiň tizligi ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligine golaý bolanda)

$$\lambda = \frac{h}{P}; \qquad P = m\upsilon = \frac{m_0\upsilon}{\sqrt{1-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^2}}; \qquad \lambda = \frac{h}{m_0\upsilon}\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}};$$

Bu ýerde υ - mikrobölejigiň tizligi; P - impulsy; m_0 - dynçlyk massasy; m - relýatiwistik massasy; c - ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi; h - Plankyň hemişeligi.

- Mikrobölejigiň tolkun uzynlygy bilen kinetik energiýasynyň baglanyşygy:

  a) Nusgawy ýakynlaşmada

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0T}};$$

  b) Relýatiwistik ýagdaýda

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{T(T+2E_0)}};$$

Bu ýerde T - mikrobölejigiň kinetik energiýasy; $E_0 = m_0c^2$ - mikrobölejigiň dynçlyk energiýasy.

- De Broýluň aňlatmalary:

$$E = \hbar\omega; \qquad \vec{P} = \hbar\vec{k}$$

Bu ýerde E - mikrobölejigiň energiýasy; $\vec{P}$ - impuls; $\vec{k}$ - tolkun wektory; $\left|\vec{k}\right| = k = 2\frac{\pi}{\lambda}$; $\hbar = 1.05\cdot 10^{-34}\, J\cdot s$ Plankyň hemişeligi.

- Bölejigiň koordinatasy we impulsy üçin kesgitsizlikler gatnaşygy:

$$\Delta x\cdot\Delta P_x \geq \hbar; \qquad \Delta y\Delta P_y \geq \hbar; \qquad \Delta z\cdot\Delta P_z \geq \hbar;$$

Bu ýerde $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ - bölejigiň koordinatalarynyň kesgitsizligi; $\Delta P_x, \Delta P_y, \Delta P_z$ - bölejigiň impulsynyň kesgitsizliginiň degişlilikde x, y, z - oklara bolan proýeksiýalary.

- Energiýanyň we wagtyň kesgitsizlikler gatnaşygy:

$$\Delta E\cdot\Delta t \geq \hbar$$

Bu ýerde ΔE - kwant halyň energiýasynyň kesgitsizligi; Δt - ulgamyň berlen kwant halynda bolýan wagtyň kesgitsizligi.

- Şrýodingeriň deňlemesi:

$$ih\frac{\partial\psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right)$$

Bu ýerde i - hyýaly birlik; m - bölejigiň massasy; $\psi(x, y, z, t)$ - bölejigiň tolkun funksiýasy.

- Erkin bölejigiň birölçegli hereketini aňladýan tolkun funksiýasy.

$$\psi(x,t) = A exp \frac{i}{\hbar}(Px - Et)$$

Bu ýerde A - de Broýl tolkunyň amplitudasy; P - bölejigiň impulsy; E - bölejigiň energiýasy.

Bölejigiň ýagdaýyny aňladýan tolkun funksiýasy gutarnykly, birbahaly, üznüksiz, şeýle-de onuň birinji önümi üznüksiz bolmaly.

- Durnukly hallar üçin Şrýodingeriň birölçegli deňlemesi

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0$$

Bu ýerde E - bölejigiň doly energiýasy; $U(x)$ - bölejigiň potensial energiýasy; $\psi(x)$ - tolkun funksiýasynyň koordinata degişli bölegi.

- Bölejigiň kesgitli x we $x + dx$ (birölçegli ýagdaý üçin) aralykda (interwalda) bolmak ähtimallygy

$$dw = |\psi(x)|^2 dx$$

Bu ýerde $|\psi(x)|^2$ - ähtimallygyň dykyzlygy.

- Bölejigiň x_1-den x_2-ä çenli aralykda (interwalda) bolmak ähtimallygy

$$W = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx$$

- Tükeniksiz beýik diwarly, gönüburçly potensial çukurda n-nji energetik derejäni eýelän bölejigiň energiýasynyň hususy bahasy:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m\ell^2} n^2; \quad n=1,2,3,...$$

Bu ýerde l - potensial çukuryň ini.

- Potensial çukurda n-nji energetik derejäni eýelän bölejigiň hususy tolkun funksiýasy

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

- Gutarnykly ölçegler (ini) bolan gönüburçly potensial päsgelçiligiň durulyk koeffisiýenti

$$D = exp\left[-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)\lambda} \right]$$

Bu ýerde U - potensial päsgelçiligiň beýikligi; E - bölejigiň energiýasy; d - päsgelçiligiň çyzykly ölçegi (ini).

Mesele çözmegiň mysallary

1-nji mesele. Elektrik meýdanynda $U_1 = 60W$ we $U_2 = 500kW$ deň bolan tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektronyň de Broýl tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Ilki bölejigiň dynçlyk energiýasy bilen kinetik energiýasyny deňeşdirip, oňa nusgawy ýa-da relýatiwistik bölejik hökmünde seredip boljakdygyny anyklamaly. U - tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen bölejiginiň kinetik energiýasy

$$T = |e|U \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär. Bölejigiň dynçlyk energiýasy

$$E_0 = m_0 c^2 \qquad (2)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$E = m_0c^2 = 9.1\cdot 10^{-31}\cdot 9\cdot 10^{16} = 0.819\cdot 10^{-13}\,J = 0.51MeW$$

$$T_1 = |e|U_1 = 60eW = 0.6\cdot 10^{-4}\,MeW = 96\cdot 10^{-19}\,J$$

$$T_2 = |e|U_2 = 500keW = 0.5MeW \approx E_0 \quad \text{bolar.}$$

Hasaplamalardan görnüşi ýaly, U_1 - tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektrona $(T_1 << E_0)$ nusgawy bölejik hökmünde seretmeli, U_2 - tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektrona $(T_2 \approx E_0)$ relýatiwistik bölejik hökmünde seretmeli.

Indi meseläniň şertinde talap edilýän ululyklary kesgitlemek bolar.

1. $U_1 = 60W$ tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektronyň de Broýl tolkun uzynlygy

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0T_1}} \qquad (3)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\lambda_1 = \frac{6.625\cdot 10^{-34}}{\sqrt{2\cdot 9.1\cdot 10^{-31}\cdot 96\cdot 10^{-19}}} = 158.5\cdot 10^{-12} = 158.5\,pm \quad \text{bolar}$$

2. $U_2 = 500kW$ tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektronyň de Broýl tolkun uzynlygy

$$\lambda_2 = \frac{hc}{\sqrt{(2E_0 + T_2)T_2}} \qquad (4)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

$T_2 \approx E_0 = m_0c^2$ aňlatmany peýdalanyp, (4) formulany özgerdip,

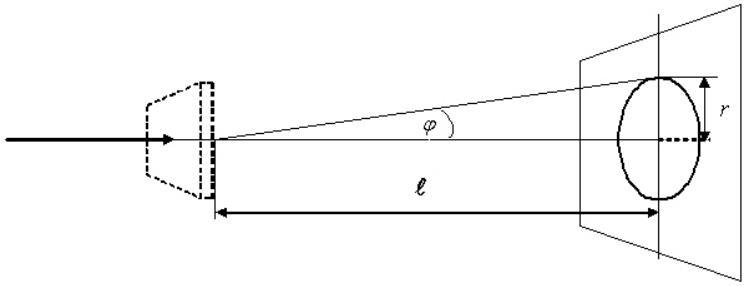
$$\lambda_2 = \frac{hc}{\sqrt{3E_0^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{h}{m_0c} \qquad (5)$$ alarys. Bu ýerde

$$\lambda_k = \frac{h}{m_0c} = 2.43 \cdot 10^{-12} m = 2.43 pm$$

Elektronyň kompton tolkun uzynlygy.

Onda $\lambda_2 = \frac{2.43}{1.73} = 1.4 pm$ deň bolar.

2-nji mesele. $U = 30kW$ tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektronyň ince dessejigi ýuka altyn gatlagynyň üstüne normal boýunça düşüp, ondan geçip pytraýar. Pytran elektronyň dessejigi gatlakdan $\ell = 20sm$ aralykda ýerleşdirilen fotoplastinkada merkezi gara menek we onuň daşynda birnäçe konsentrik töwerekden ybarat difraksiýa şekilini emele getirýär. Eger difarksiýa şekiliniň birinji töweregiň radiusy $r_1 = 3{,}4mm$ deň bolsa, oňa degişli elektronlaryň dessejiginiň serpikme θ- burçuny (θ - burç kristalyň üstünden hasaplanylýar), elektronlaryň de Broýl tolkun uzynlygyny we altynyň kristal gözeneginiň „a“ hemişeligini kesgitlemeli.



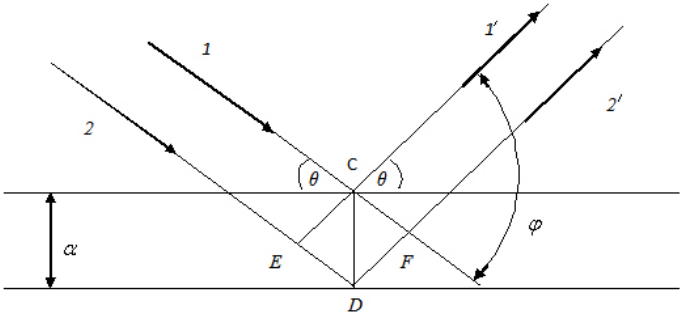
2.1-nji surat

Çözülişi. 1. 2.1-nji suratdaky elektronlaryň difraksiýasy şekilinden

$$tg\varphi = \frac{r}{\ell} \quad \text{ýa-da} \quad \varphi = \frac{r}{\ell} \qquad (1)$$

Bu ýerde φ - difraksiýa burçy, φ - burçuň kiçi bahalarynda $tg\varphi \approx \varphi$ almak mümkin.

2.2-nji suratdan peýdalanyp, elektronlaryň kristalyň atomlaryndan serpikme burçy bilen difraksiýa burçunyň baglanyşygyny anyklamaly.



2.2-nji surat

Çyzgydan görnüşi ýaly, $\varphi = 2\theta$. φ - bahasyny (1) -den ornuna goýup, θ - burçy kesgitlesek,

$$\theta = \frac{r}{2\ell} \qquad (2) \quad \text{alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\theta = \frac{3.4 \cdot 10^{-3}}{20.2} = 8.5 \cdot 10^{-3} rad = 30' \qquad \text{deň bolar.}$$

2. Elektronyň kinetik energiýasyny kesgitläp, dynçlyk energiýasy bilen deňeşdirip, oňa nusgawy ýa-da relýatiwistik formulany ulanmak boljakdygyny anyklamaly.

Ýagny, $T = |e|U = 1 \cdot 3 \cdot 10^4 eW = 0{,}03 MeW$ bu bolsa $(T << E_0)$ şerti kanagatlandyrýar. Şoňa görä, elektronlaryň de Broýl tolkun uzynlygy

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 T}} \qquad (3)$$

formula arkaly kesgitlenilip bilner.

Hasaplama geçirsek,

$$\lambda = \frac{6.625 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^4}} = 7 \cdot 10^{-12} m = 7\, pm$$

deň bolar.

3. Altynyň kristal gözeneginiň hemişeligini 2.2-nji suratdaky çyzgydan peýdalanyp, kesgitläp bolar.

$1'$ we $2'$ dessejikleriň ýollarynyň tapawudy:

$$\delta = DE + DF: \; DE = a \sin\theta; \quad DF = a \sin\theta; \quad \delta = 2a \sin\theta \qquad (4)$$

Bu ýerde a - altyn kristalyň hemişeligi.

Elektronyň difraksiýasy üçin Wulfuň - Breggiň kanunyna görä:

$$2a \sin\theta = n\lambda \qquad (7)$$

Bu ýerde n - difraksiýa sebäpli depginiň iň uly güýçlenmeleriniň tertibi. Meseläniň şertine görä, $n = 1$; θ - burçuň kiçi bahalarynda $tg\theta \approx \theta$ almak mümkin. Onda (7) formula aşakdaky görnüşi alar:

$$a = \frac{\lambda}{2\theta} = \frac{\lambda \ell}{r} \qquad (8)$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$a = \frac{0{,}2 \cdot 7 \cdot 10^{-12}}{3{,}4 \cdot 10^{-3}} = 0{,}41 \cdot 10^{-9} m = 0{,}41 nm$$ deň bolar.

3-nji mesele. Kinetik energiýasy $T = 0{,}6\,keW$ deň bolan we X - okuň ugry boýunça hereket edýän elektronyň koordinatasynyň kesgitsizligini tapmaly. Elektronyň impulsynyň kesgitsizligi onuň öz impulsynyň 10 %-ne deň.

Çözülişi. Elektronyň koordinatasynyň kesgitsizligi Geýzenbergiň kesgitsizlikler gatnaşygy arkaly kesgitlenilýär.

$$\Delta x \cdot \Delta P_x \geq \hbar \qquad (1)$$

Ilki elektronyň kinetik energiýasy bilen dynçlyk energiýasyny deňeşdirip, onuň nusgawy ýa-da relýatiwistik bölejikdigini anyklamaly. Elektronyň dynçlyk energiýasy $E_0 = m_0 c^2 = 0{,}51 MeW$ kinetik energiýasy $T = 0{,}0006\,MeW$ deňeşdirmeden $T << E_0$ şerti kanagatlandyrýandygyny alarys. Diýmek, berlen ýagdaýda elektrona nusgawy bölejik hökmünde seretmek mümkin. Şoňa görä, elektronyň impulsy

$$P = \sqrt{2m_0 T} \qquad (2)$$

formula arkaly kesgitlenilip bilner.

Meseläniň şertine görä, elektronyň impulsynyň kesgitsizligi

$$\Delta P = 0.1P \quad \text{ýa-da} \quad \Delta P = 0.1\sqrt{2m_0 T} \qquad (3)$$

(1) we (2) formulalardan elektronyň koordinatasynyň kesgitsizligi üçin

$$\Delta x = \frac{h}{0.1\sqrt{2m_0 T}} \qquad (4)$$

aňlatmany alarys.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup hasaplasak,

$$\Delta x = \frac{1.05 \cdot 10^{-34}}{0.1\sqrt{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 600}} = 79\,pm \quad \text{bolar.}$$

4-nji mesele. Wodorod atomy $\Delta t = 10^{-8} S$ dowamynda oýandyrylan halda bolup bilýär. Berlen hal üçin energiýanyň kesgitsizligini tapmaly.

Çözülişi. Energiýanyň kesgitsizligi Geýzenbergiň kesgitsizlikler gatnaşygyndan tapylýar.

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar \qquad (1)$$

Bu ýerde deňsizligi deňlik bilen çalşyp,

$$\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t} \qquad (2) \text{ alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup hasaplasak,

$$\Delta E = \frac{1{,}05 \cdot 10}{10} = 1{,}05 \cdot 10^{-34} J = 0{,}66 \cdot 10^{-15} eW \qquad \text{bolar.}$$

5-nji mesele. Tükeniksiz beýik diwarly ini ℓ-deň bolan gönüburçly potensial çukurdaky bölejigiň esasy haly

$\left(\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \sin \frac{\pi}{\ell} \cdot x\right)$ tolkun funksiýasy bilen aňladylýar.

Bölejigiň potensial çukuryň diwaryna golaý $\Delta\ell = 0{,}01\ell$ aralykda $(0 \leq x \leq \Delta\ell)$ we potensial çukuryň ortasynda $\Delta\ell$ aralykda $\frac{\ell}{2} - \frac{\Delta\ell}{2} \leq x \leq \frac{\ell}{2} + \frac{\Delta\ell}{2}$ bolmak ähtimallygyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Potensial çukurdaky bölejigiň x we $x+dx$ aralykda bolmak ähtimallygy

$$dw = |\psi(x)|^2 dx \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

1) Bölejigiň potensial çukuryň *0*-dan *0,01* ℓ-e çenli aralygynda bolmak ähtimallygy

$$W = \frac{2}{\ell}\int_0^{0.01\ell} \sin^2\frac{\pi}{\ell}x dx \qquad (2)$$

integraldan peýdalanylyp kesgitlenilýär.

Meseläniň şertine görä, x, $0 \le x \le 0.01\ell$ aralykda üýtgeýär, bu bolsa $\pi x/\ell << 1$ şerti kanagatlandyrýar. Bu ýagdaýda

$$\sin^2\frac{\pi}{\ell}x \approx \left(\frac{\pi}{\ell}x\right)^2 \qquad (3)$$

özgertmeden peýdalanmak amatlydyr. Onda (2) integtraly

$$W = \frac{2}{\ell}\int_0^{0.01\ell}\left(\frac{\pi}{\ell}x\right)^2 dx = \frac{2\pi^2}{\ell^3}\int_0^{0.01\ell} x^2 dx \qquad (4)$$

görnüşde ýazmak bolar.

Integraly çözüp, ululyklaryň san bahasyny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$W = \frac{2}{3}\pi^2 \cdot 10^{-6} = 6.6 \cdot 10^{-6} \qquad \text{bolar.}$$

2) Bölejigiň potensial çukuryň ortasynda $\Delta\ell$ kiçi aralykda bolmak ähtimallygyny integral ulanmazdan kesgitlemek mümkin. Sebäbi tolkun funksiýasynyň modulynyň kwadraty özüniň iň uly bahasynyň golaýynda $(\Delta\ell = 0{,}01\ell)$ kiçi aralykda görnetin üýtgemeýär. Şoňa

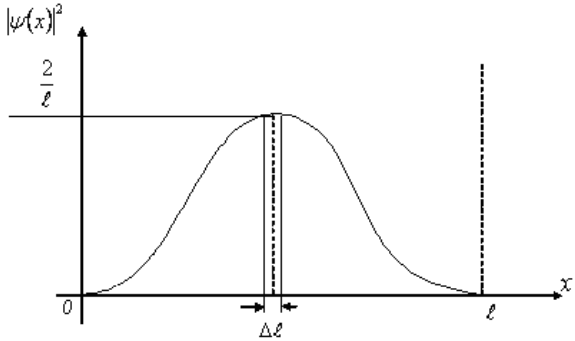
görä, bölejigiň potensial çukuryň ortasynda bolmak ähtimallygyny aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$W = \left|\psi\left(\frac{\ell}{2}\right)\right|^2 \Delta\ell \qquad \text{ýa-da} \qquad W = \frac{2}{\ell}\left(\sin\frac{\pi}{\ell}\frac{\ell}{2}\right)^2 \Delta\ell \qquad (5)$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup hasaplasak,

$$W = \frac{2}{\ell}\left(\sin\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot 0{,}01\ell = 0{,}02 \qquad \text{deň bolar.}$$

Alnan netijeleriň esasynda grafik gursak, 2.3-nji suratdaky ýaly bolar.



2.3-nji surat

6-njy mesele. Tükeniksiz beýik diwarly, ini $\ell = 0{,}2nm$ bolan çukuryň içindäki oýandyrylan haldaky elektronyň $(n = 4)$ çukuryň diwaryndan $x\left(0 \le x \le \frac{l}{4}\right)$ aralykda bolmak ähtimallygyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Potensial çukurdaky bölejigiň $x_1 < x < x_2$ aralykda bolmak ähtimallygy

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \left|\psi_n(x)\right|^2 dx \qquad (1)$$

formula arkaly tapylýar. Bu ýerde

$$\psi_n(x)=\sqrt{\frac{2}{\ell}}\sin\frac{n\pi}{\ell}x \qquad (n=1,2,3,....) \qquad (2)$$

Berlen hala degişli normirlenen hususy tolkun funksiýa. Potensial çukuryň içinde oýandyrylan $(n=4)$ haldaky elektronyň hususy tolkun funksiýasy

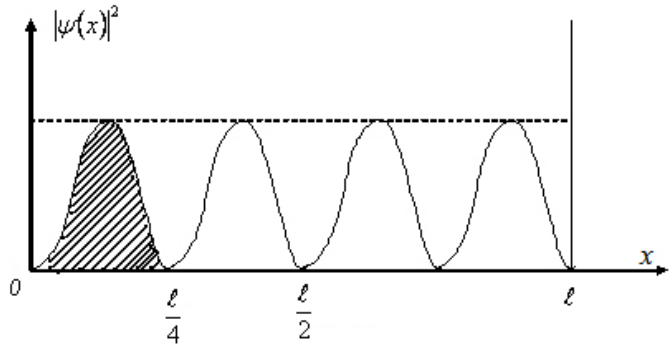
$$\psi_4(x)=\sqrt{\frac{2}{\ell}}\sin\frac{4\pi}{\ell}x \qquad (3) \text{ deň.}$$

Bu funksiýanyň grafigi 2.4-nji suratda şekillendirilýär.

$$\sin^2\frac{4\pi}{\ell}x=\frac{1}{2}\left(1-\cos\frac{8\pi}{\ell}x\right) \qquad (4)$$

Özgertmeden peýdalanyp, (3) aňlatmany (1) ornuna goýup, integralyň çägini

($x_1=0$ we $x_2=\frac{\ell}{4}$) bellemek bilen



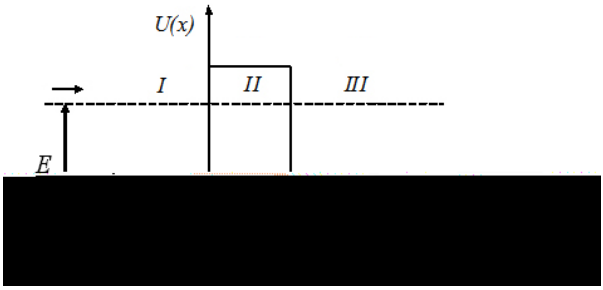
2.4-nji surat.

$$W=\frac{1}{\ell}\left[\int_0^{\ell/4}dx-\int_0^{\ell/4}\cos\frac{8\pi}{\ell}xdx\right] \qquad (5) \text{ alarys.}$$

(5) integrirläp hasaplama geçirsek,

$$W=\frac{1}{\ell}\left[\frac{\ell}{4}-\frac{\ell}{4\pi}\sin\frac{8\pi}{l}x\int_{0}^{\ell/4}\right]=\frac{1}{4}-\frac{1}{4\pi}\left(\sin 2\pi-\sin 0\right)=0{,}25.$$

7-nji mesele. Energiýasy $E=4{,}9\,eW$ bolan elektron x-okunyň ugry boýunça hereket edýär. Elektronyň hereket edýän ugruna perpendikulýar ýerleşdirilen potensial päsgelçiligiň beýikligi $U(x)=5eW$. (2.5-nji surat) elektronyň potensial päsgelçiliginden geçmek ähtimallygy $W=0.2$ deň bolsa, onuň galyňlygyny tapmaly.



2.5-nji surat.

Çözülişi. Bölejigiň potensial päsgelçilikden geçmek ähtimallygy öz fiziki manysy boýunça päsgelçiligiň durulyk koeffisiýenti düşünjesine gabat gelýär. Şoňa görä, elektronyň potensial päsgelçilikden geçmek ähtimallygyny päsgelçiligiň durulyk koeffisiýenti arkaly kesgitlemek mümkin

$$W\approx D=exp\left[-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m(U-E)d}\right] \qquad (1)$$

bu ýerde m - elektronyň massasy. (1) aňlatmany potensirläp,

de Broýl tolkun uzynlygy $\lambda_b = 1.28\,pm$ deň bolupdyr. Bölejigiň massasyny tapmaly.

2.6. Kinetik energiýasy $T = 100\,eW$ deň bolan protonyň de Broýl tolkun uzynlygyny tapmaly.

2.7. $25^0 S$ temperaturada orta kwadratik tizlik bilen hereket edýän α - bölejigiň, neýtronyň we azot molekulasynyň de Broýl tolkun uzynlygyny tapmaly.

2.8. De Broýl tolkun uzynlygy $\lambda_b = 100\,pn$ deň bolan elektronyň, kislorod molekulasynyň we radiusy $r = 0{,}1\,mkm$, dykyzlygy $2000\,kg/m$ bölejigiň kinetik energiýasyny tapmaly.

2.9. $U = 510\,kW$ tizlendiriji potensiallar tapawudyny geçen elektrona relýatiwistik bölejik hökmünde seredip, onuň de Broýl tolkun uzynlygyny tapmaly.

2.10. Elektronyň de Broýl tolkun uzynlygynyň Kompton tolkun uzynlygyna deň bolmagy üçin onuň kinetik energiýasy näçä deň bolmaly?

Geýzenbergiň kesgitsizlikler gatnaşygy

2.11. Absissa okunyň ugry boýunça hereket edýän elektronyň tizliginiň $\Delta\upsilon = 10\frac{m}{s}$. Onuň koordinatasynyň kesgitsizligini tapmaly.

2.12. $T = 0^0 S$ temperaturada ýylylyk hereketinde bolan wodorod molekulasynyň koordinatasynyň kesgitsizligini tapmaly.

2.13. $15\,eW$ kinetik energiýaly elektron, diametri $d = 1\,mkm$ bolan tozanjykda ýerleşen. Elektronyň tizliginiň göräli $\Delta\upsilon / \upsilon$ kesgitsizligini tapmaly.

2.14. Mikrobölejigiň impulsynyň göräli $\Delta P / P$ kesgitsizligi 10%. Elektronyň koordinatasynyň kesgitsizliginiň de Broýl tolkun uzynlygyna gatnaşygyny kesgitlemeli.

2.15. Mikrobölejigiň koordinatasynyň kesgitsizligi onuň de Broýl tolkun uzynlygyna deň. Mikrobölejigiň impulsynyň göräli kesgitsizligini tapmaly.

2.16. Diametri $d = 0{,}3\,nm$ bolan atomdaky elektronyň energiýasynyň kesgitsizligini tapmaly.

2.17. Oýandyrylan haldaky wodorod atomyň energiýasynyň kesgitsizligi $\Delta E = 6.6 \cdot 10^{-9} eW$. Onuň berlen halda bolýan wagtynyň kesgitsizligini tapmaly.

2.18. Koordinatanyň we impulsyň kesgitsizlikler gatnaşygyndan peýdalanyp, wodorod atomyndaky elektronyň eýe bolup bilýän iň kiçi energiýasyny tapmaly. Wodorod atomynyň çyzykly ölçegini $\ell = 0{,}1\,nm$ deň diýip kabul etmeli.

2.19. Ýadrodaky nuklonuň iň kiçi energiýasy $E_{in\,kici} = 10\,MeW$. Koordinatanyň we impulsyň kesgitsizlikler gatnaşygyndan peýdalanyp, ýadronyň çyzykly ölçegini kesgitlemeli.

2.20. Koordinatanyň we impulsyň kesgitsizlikler gatnaşygyndan peýdalanyp, ýadronyň içinde elektronyň bolup bilmejekdigini subut etmeli. Ýadronyň çyzykly ölçegini $\ell = 5\,fm$ deň diýip kabul etmeli.

Mikrobölejigiň ýönekeý hereketleri
Şrýodingeriň deňlemesi

2.21. X-okuň položitel ugruna hereket edýän erkin elektron üçin Şrýodingeriň deňlemesini ýazmaly.

2.22. Wodoroda meňzeş atomdaky elektron üçin Şrýodingeriň deňlemesini ýazmaly.

2.23. Yrgyldynyň süýşmä proporsional $(F = -\beta x)$ güýjüň täsirinde ýüze çykýandygyny hasaba alyp, çyzykly garmoniki ossillýator üçin Şrýodingeriň deňlemesini ýazmaly.

2.24. Wodorod atomyndaky elektronyň esasy haly $\psi = A\,exp\left(-\frac{r}{a_0}\right)$ tolkun funksiýasy bilen aňladylýar. Ähtimallygyň normirleme şertinden peýdalanyp, A- normirleme koeffisiýentini tapmaly. r - elektronyň ýadrodan uzaklygy, a_0 - Boruň birinji orbitasynyň radiusy.

2.25. Bölejigiň tolkun funksiýasy $\psi = A\sin\left(\frac{2\pi x}{\ell}\right)$ görnüşde berlen we $0 \le x \le l$ aralykda kesgitlenen hasap edilýär. Şu şertden peýdalanyp, A normirleme koeffisiýentini tapmaly.

2.26. Bölejigiň energiýa derejelerini aňladýan n - sanyň $3,5,7,\infty$ deň bahalary üçin potensial çukurdaky bölejigiň iki goňşy derejedäki energiýalaryň tapawudynyň $\Delta E_{n+1,n}$ onuň E_n energiýasyna gatnaşygyny kesgitlemeli.

2.27. Esasy hala eýe bolan bölejigiň giňligi ℓ-e deň, tükeniksiz beýik diwarly, birölçegli, gönüburçly potensial

çukuryň x, $\left(0 \le x \le \frac{\ell}{3}\right)$ aralygynda bolmak ähtimallygyny kesgitlemeli.

2.28. Oýandyrylan $(n = 2)$ hala eýe bolan bölejigiň giňligi ℓ-e deň, tükeniksiz beýik diwarly, birölçegli, gönüburçly potensial çukurda ýerleşen. Bölejigiň potensial çukuryň $\frac{3}{8}\ell \le x \le \frac{5}{8}\ell$ aralygynda bolmak ähtimallygyny kesgitlemeli.

2.29. Energiýasy $E = 4\,eW$ bolan elektron X-okuň položitel ugry boýunça hereket edýär. Elektronyň hereket edýän ugruna perpendikulýar, galyňlygy $d = 0{,}1\,nm$ we beýikligi $U = 10\,eW$ barabar bolan potensial päsgelçiligiň durulyk koeffisiýentini tapmaly.

2.30. Galyňlygy $d = 0{,}1\,nm$ deň bolan gönüburçly potensial päsgelçilikden elektronyň geçmek ähtimallygy $W = 0{,}5$ deň. Potensial päsgelçiligiň beýikligi bilen elektronyň energiýasynyň tapawudyny kesgitlemeli.

III BAP
ATOMYŇ GURLUŞY

Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Boruň durnukly hallar baradaky postulaty

$$L = m_e \upsilon_n r_n = n\hbar \qquad (n=1,2,3, ...)$$

Bu ýerde L - elektronyň impulsynyň momenti; m_e - elektronyň massasy; r_n - orbitanyň radiusy; υ_n - elektronyň orbita boýunça hereketiniň tizligi; n - baş kwant sany; $\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-34}\, J \cdot s$ Plankyň hemişeligi.

- Boruň ýygylyklar düzgüni baradaky postulaty

$$h\nu = E_n - E_m$$

Bu ýerde E_n we E_m degişlilikde atomyň şöhlelenmezden (şöhle siňdirmeden) öňki we soňky energiýalary; ν - atomyň şöhlelendirýän fotonynyň ýygylygy.

- n - nji durnukly orbitadaky elektronyň energiýasy

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{me^4}{8h^2\varepsilon_0^2}$$

Bu ýerde e - elektronyň zarýady; ε_0 - elektrik hemişeligi.

- Wodorod atomynyň şöhlelendirýän spektriniň seriýalarynyň ν -ýygylygyny kesgitleýän umumylaşdyrylan formula

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad \text{ýa-da} \qquad \frac{1}{\lambda} = R'\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Bu ýerde $R = cR' = 3{,}29 \cdot 1015\ S^{-1}$ we $R' = 1{,}097 \cdot 10^{7}\ m^{-1}$ Ridbergiň hemişeligi; *m* we *n* bütin sanlar. *m* - spektr çyzyklaryň -seriýanyň tertip sany: *m*= - Laýmanyň seriýasy, *m=2* - Balmeriň seriýasy, *m=3* -Paşeniň seriýasy. Berlen seriýalar üçin *n=m+1; n=m+2; n=m+3* we ş.m.

- Tutuş spektrli rentgen şöhleleriniň gysga tolkunlarynyň çägi

$$\lambda_{in\ kici} = \frac{hc}{|e|U}$$

Bu ýerde *e* - elektronyň zarýady; *U* - rentgen turbajygyna goýlan potensiallar tapawudy; *h* - Plankyň hemişeligi; *c* - elektromagnit tolkunlarynyň wakuumdaky ýaýramak tizligi.

- Häsiýetlendiriji rentgen şöhleleriniň spektr çyzyklarynyň ýygylygy üçin Mozliniň kanuny

$$v = R(z-\sigma)^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Bu ýerde R - Ridbergiň hemişeligi; z - elementiň periodik ulgamyndaky tertip belgisi; σ - ekranlaýjy hemişelik; m we n bütin sanlar; m - rentgen şöhleleriniň spektr çyzyklarynyň seriýasyny kesgitleýän san; n=(m+1,m+2, ...) seriýa degişli aýry-aýry çyzyklary kesgitleýän san.

- K_α - çyzygy üçin ($\sigma = 1$) Mozliniň kanuny

$$v = R(z-\sigma)^2\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{3}{4}R(z-1)^2$$

- K_α - çyzygyň fotonlarynyň energiýasy

$$\varepsilon_{K\alpha} = E_i (z-1)^2$$

Bu ýerde E_i - wodorod atomynyň ionlaşma energiýasy.

- Wodoroda meňzeş atomdaky elektronyň potensial energiýasy

$$U(r) = -\frac{ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

Bu ýerde z - ýadronyň zarýad sany; r - elektronyň ýadrodan ara daşlygy; ε_0 - elektrik hemişeligi.

- Wodoroda meňzeş atomdaky elektronyň doly energiýasy

$$E = -\frac{z^2 e^4 m}{8 n^2 \varepsilon_0^2 h^2} \qquad (n=1,2,3, ...)$$

Bu ýerde h - Plankyň hemişeligi; n - baş kwant sany.

- Elektronyň orbita boýunça hereketiniň impulsynyň momenti we magnit momenti

$$L_e = \hbar\sqrt{\ell(\ell+1)}; \qquad \mu_e = \mu_B\sqrt{\ell(\ell+1)}$$

Bu ýerde ℓ - orbital kwant san; n - baş kwant sanyň berlen bahasynda $\ell = 0,1,2, ...,n-1$ ululyklara eýe bolýar.

$\mu_B = e\hbar / 2m = 0,927.10^{-23} J / Tl$ - Boruň magnetony.

- Elektronyň orbital impulsynyň momentiniň we magnit momentiniň daşky magnit meýdanynyň ugruna proýeksiýasy (OZ - oka gabat gelýär diýip kabul etsek),

$$L_{ez} = \hbar\, m_e \qquad \mu_{ez} = \mu_B\, m_e$$

Bu ýerde m_e - magnit kwant san, ℓ - orbital kwant sanyň berlen bahasynda $m_e = 0, \pm 1, ..., \pm \ell$ bahalara eýe bolýar.

- Elektronyň spini (hususy mehaniki impulsynyň momenti) we spin magnit momenti

$$L_S = \hbar\sqrt{S(S+1)}\ ; \qquad \mu_S = 2\mu_B\sqrt{S(S+1)}$$

- Elektronyň spininiň we spin magnit momentiniň daşky magnit meýdanynyň ugruna proýeksiýasy (OZ- oka gabat gelýär diýsek),

$$L_{SZ} = \hbar m_S \qquad \mu_{SZ} = 2\mu_B m_S$$

Bu ýerde m_e - spin magnit kwant san. Ol diňe $m_S = \pm\frac{1}{2}$ bahalara eýe bolup biler.

- Pauliniň düzgüni

$$Z\ (n,\ \ell, m_e, m_S) = 0 \text{ ýa-da } 1$$

Bu ýerde $Z\ (n,\ \ell, m_e, m_S)$ - dört kwant sanynyň toplumy bilen kesgitlenilýän kwant halda bolup biljek elektronlaryň sany; n - baş kwant san; ℓ - orbital kwant san; m_e - magnit kwant san; m_S - spin kwant san.

- Baş kwant san bilen kesgitlenilýän halda bolup biljek elektronlaryň umumy sany

$$Z(n) = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2\ell+1) = 2n^2$$

Wodorod atomynyň s - halyndaky (esasy hal $n=1$, $\ell=0$, $m_e=0$) elektronynyň hereketi üçin normirlenen tolkun funksiýasy

$$\psi_{(100)}(r)=\frac{1}{\sqrt{\pi a^3}}\exp\left(-\frac{r}{a}\right)$$

Bu ýerde $a=4\pi\varepsilon_0\hbar^2/m\cdot e^2$ - Boruň birinji orbitasynyň radiusyna gabat gelýän hemişelik ululyk.

- Wodorod atomynyň *s* - halyndaky elektronynyň ýadrodan *r* we *r*+*dr* aralykda bolmak ähtimallygy

$$dw=\left|\psi_{(100)}(r)\right|^2 dV=\left|\psi_{(100)}(r)\right|^2 4\pi r^2 dr$$

Mesele çözmegiň mysallary

1-nji mesele. Wodorod atomyndaky elektronyň n-nji orbitasynyň radiusyny, orbita boýunça tizligini, aýlanma ýygylygyny kesgitlemeli we n=1 ýagdaý üçin san bahalaryny hasaplamaly.

Çözülişi. Atomdaky elektron Kulon güýjüniň täsirinde ýadronyň töwereginde merkeze ymtylýan tizlenme bilen hereket edýär. Onda Nýutonyň II kanunynyň esasynda

$$\frac{m_e\upsilon^2 n}{r_n}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0^2 r_n^2} \qquad (1)$$ deňligi ýazmak bolar.

Boruň postulatyna görä, n-nji orbitadaky elektronyň impulsynyň momenti

$$L=m_e\upsilon_n r_n \qquad (2)$$ deňdir.

(1) we (2) deňlemelerden;

$$r_n=\frac{n^2 4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} \qquad (3)$$

(1) we (3) deňlemelerden;

$$\upsilon_n = \frac{e^2}{4\pi n\hbar\varepsilon_0} \quad (4)$$

Elektronyň orbita boýunça aýlanma ýygylygy

$$f_n = \frac{\upsilon_n}{2\pi r_n}$$ (5) arkaly kesgitlenilip bilner.

(3) formulada n-den beýleki ululyklaryň ählisi hemişelik ululyk, şoňa görä, ony aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$r_n = n^2 a_0$ (6) bu ýerde $a_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}$ (7) Boruň birinji orbitasynyň radiusyny aňladýar. Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$r_1 = a_0 = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 1{,}05 \cdot 10^{-34}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(1{,}6 \cdot 10^{-19}\right)^2} = 5{,}29 \cdot 10^{-11} m$$

bolar. (6) peýdalanyp (4) we (5) aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\upsilon_n = \frac{\hbar}{n m_e a_0} \quad (8) \qquad f_n = \frac{\hbar}{2\pi m_e a_0^2 n^3} \quad (9)$$

n=1 üçin υ_1 - iň we f_1-iň bahalaryny kesgitlesek,

$$\upsilon_1 = \frac{1{,}05 \cdot 10^{-31}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 5{,}29 \cdot 10^{-11}} = 2{,}18 \cdot 10^6 m/s$$

$$f_n = \frac{2{,}18 \cdot 10^6}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5{,}29 \cdot 10^{-11}} = 6{,}5 \cdot 10^{15} s^{-1}$$

deň bolar.

2-nji mesele. Wodorod atomynyň ionlaşma energiýasyny kesgitlemeli we şonuň esasynda Laýmanyň

seriýasynyň iň uly tolkun uzynlykly fotonynyň energiýasyny tapmaly.

Çözülişi. 1. Wodorod atomynyň ionlaşma energiýasy *m=1* we $n = \infty$ deň bolan ýagdaýda

$$E_i = h\nu = hR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär. Bu ýerde $R = 3{,}29 \cdot 10^{15} s^{-1}$ Ridbergiň hemişeligi.

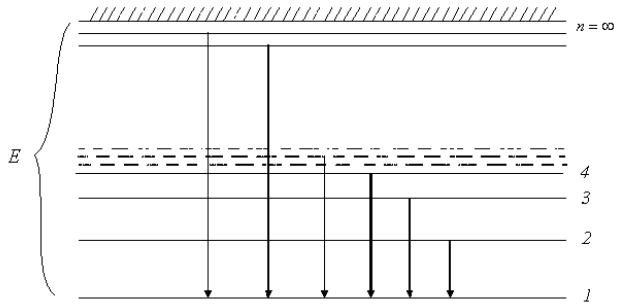
San bahasyny kesgitlesek,

$E_i = 6{,}625 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}29 \cdot 10^{15} = 21{,}8 \cdot 10^{-19} J = 13{,}6\ eW$ deň bolar.

2. Laýmanyň seriýasynda şöhlelenýän fotonlaryň energiýasy

$$E = E_i\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$ (2) formula arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde E_i - wodorod atomynyň ionlaşma energiýasy.



3.1-nji surat

Laýmanyň seriýasynda iň uly tolkun uzynlykly foton elektron ikinji energetik derejeden birinji energetik derejä (esasy hala) geçende ýüze çykýar (3.1-nji suratda şekillendirilen), onda (2) formula aşakdaky görnüşi alar:

$$E = E_i\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{3}{4}E_i.$$ San bahasy E=10,2 eW

3-nji mesele. Rentgen turbajygynyň şöhlelendirýän tutuş spektrleri şöhleleriniň gysga tolkunlarynyň çäk bahasy bilen K_{λ_a} - çyzygynyň tolkun uzynlygynyň tapawady $\Delta\lambda = \lambda_{in\ kici} - \lambda_\alpha = 76\,pm$. Eger rentgen turbajygynyň anody misden (z=26) bolsa, oňa goýlan potensiallar tapawudyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Tutuş spektrli rentgen şöhleleriniň gysga tolkunlarynyň çägi

$$\lambda_{in\ kici} = \frac{ch}{eu}$$ (1) formula arkaly kesgitlenilýär.

K_{λ_a} - çyzygyň tolkun uzynlygy Mozliniň kanuny arkaly kesgitlenilýär.

$$\lambda_a = \frac{4}{3R'(z-1)^2}$$

Meseläniň şertine görä, $$\lambda_{in\,kici} = \frac{4}{3R'(z-1)^2} - \Delta\lambda$$

(1)we (3) formulalardan potensiallaryň tapawudy üçin

$$U = \frac{ch}{e\left(\frac{4}{3R'(z-1)^2} - \Delta\lambda\right)}$$ (4) aňlatmany alarys.

(4) aňlatmada ululyklaryň san bahasyny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$U = \frac{3 \cdot 10^{8} \cdot 6{,}625 \cdot 10^{-34}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\left(\frac{4}{3 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{7} \cdot (28)^{2}} - 7{,}6 \cdot 10^{-11}\right)} = 15{,}45 \cdot 10^{3} W$$

bolar.

4-nji mesele. Wanadiý antikatodly rentgen turbajygynyň şöhlelendirýän çyzykly spektriniň K_{α} - çyzygynyň tolkun uzynlygyny we energiýasyny kesgitlemeli (z=23).

Çözülişi. 1. K_{α} - çyzygyň tolkun uzynlygy Mozliniň kanuny arkaly kesgitlenilýär.

$$\lambda_{a} = \frac{4}{3R'(z-1)^{2}} \qquad (1)$$

(1) formula girýän ululyklaryň san bahasyny ornuna goýsak,

$$\lambda_{a} = \frac{4}{3 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{7} \cdot (22)^{2}} = 0{,}01 \cdot 10^{-7} m = 10^{-9} m$$

2. K_{α} - çyzygyň energiýasy

$E_{K_{\alpha}} = E_{i}(z-1)^{2}$ (2) formuladan peýdalanyp tapylýar.

$E_{i} = 13{,}6 eW$ wodorod atomynyň ionlaşma energiýasy.

(2) formulada E_i-iň we z-iň bahalaryny ornuna goýsak,

$$E_{K_{\alpha}} = 13{,}6 \cdot (22)^{2} = 6582{,}4\, eW = 6{,}6k\, eW$$ deň bolar.

5-nji mesele. Wodorod atomynyň *1s* haldaky elektronynyň normirlenen ψ - tolkun funksiýasy

$\psi_{100}(r)=\left(\frac{1}{\sqrt{\pi a^3}}\right)\exp\left(-\frac{r}{a}\right)$ görnüşde berlen. Elektronyň *r=0,05a* sferanyň çäginde bolmak ähtimallygyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Wodorod atomyndaky elektronyň *1s* halyny aňladýan ψ - tolkun funksiýasy sferik simmetrik bolmagyna görä, (diňe *r*-e bagly üýtgeýär) onuň ýadrodan *r=0,05a* aralykda bolmak ähtimallygy ähli ugurlar boýunça birmeňzeşdir.

$$dw=\left|\psi_{100}(r)\right|^2\cdot dV \qquad (1)$$

ähtimallygyň dykyzlygynyň ähli ugurlarda birmeňzeş bolmak şerti, dV - göwrüm elementini r - radiusly we dr - galyňlykly sferik gatlagyň göwrümi hökmünde aňlatmaga mümkinçilik berýär.

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

(2) aňlatmadan peýdalanyp, (1) - ni aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$dw=\left|\frac{1}{\sqrt{\pi a^3}}\exp\left(-\frac{r}{a}\right)\right|^2\cdot 4\pi r^2 dr=\left(4/a^3\right)\exp\left(-2\frac{r}{a}\right)r^2 dr$$

(3)

Integralyň çägini r_1=0 - dan r_2=0,05 - e çenli belläp,

$$W=\frac{4}{a^3}\int_{r_1}^{r_2} r^2\exp\left(-2\frac{r}{a}\right)dr \qquad (4)$$

r-iň has kiçi bolmagyna görä (r_{max}=0,05; a=53 pm)

$\exp\left(-2\frac{r}{a}\right)$ - ni Makleronyň hataryna dargadyp, integrirlemek amatlydyr.

$$\exp\left(-2\frac{r}{a}\right)\approx 1-\frac{2r}{a}+\frac{1}{2!}\left(\frac{2r}{a}\right)^2-\ldots \qquad (5)$$

(5)-iň birinji iki agzasy bilen çäklenip, (4) ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$W=\frac{4}{a^3}\int_0^{0,05a} r^2\left(1-\frac{2r}{a}\right)dr=\frac{4}{a^3}\left[\int_0^{0,05a} r^2dr-\frac{2}{a}\int_0^{0,05a} r^3dr\right]=\frac{4}{a^3}\left[\left.\frac{r^3}{3}\right|_0^{0,05a}-\left.\frac{2}{a}\frac{r^4}{4}\right|_0^{0,05a}\right]=1{,}54\cdot 10^{-4}$$

bolar.

6-njy mesele. Oýandyrylan (d-halda) wodorod atomyndaky elektronyň impulsynyň momentini we impulsynyň momentiniň daşky magnit meýdanynyň ugruna proýeksiýasynyň iň uly bahasyny kesgitlemeli. Eger-de elektron d-haldan s-hala geçse, onuň orbital hereketiniň magnit momentiniň näçe üýtgejegini tapmaly.

Çözülişi. 1. elektronyň *d* - haly $\ell=2$ orbital kwant san bilen häsiýetlendirilýär, onuň impulsynyň momenti

$$L_1=\hbar\sqrt{\ell\left(\ell+1\right)} \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

2. Elektronyň impulsynyň momentiniň daşky magnit meýdanynyň ugruna proýeksiýasynyň iň uly bahasy

$$\left(L\right)_z=\hbar\left(m_e\right)_{iň\ uly} \qquad (2)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde m_e - magnit kwant san, onuň iň uly bahasy $(m_e)_{iň\ uly}=1$ barabar.

3. Elektronyň orbita boýunça hereketi bilen baglanyşykly magnit momenti

$$\mu_S = 2\mu_B\sqrt{\ell(\ell+1)} \quad (3)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde $\mu_B = 0{,}927\cdot 10^{-23}\dfrac{J}{T\ell}$ - Boruň magnetony; ℓ - orbital kwant san; s - esasy hal üçin; ℓ *=0, d* - oýandyrylan hal üçin ℓ *=2*. elektron *d* - haldan s - hala geçende, onuň magnit momentiniň üýtgemesi

$$\Delta\mu = (\mu_e)_d - (\mu_e)_S = -\mu_B\sqrt{6} \quad (4)$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde minus alamaty elektronyň magnit momentiniň kiçelýändigini aňladýar.

(1), (2) we (4) formulalara giryän ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$L_e = 1{,}05\cdot 10^{-34}\sqrt{6} = 2{,}57\cdot 10^{-34}\,J\cdot s$$

$$[(L_{ez})]_{in\,uly} = 1{,}05\cdot 10^{-34}\cdot 2 = 2{,}1\cdot 10^{-34}\,J\cdot s$$

$$\Delta\mu_e = -0{,}927\cdot 10^{-23}\sqrt{6} = -2{,}27\cdot 10^{-23}\,\frac{J}{Tl}$$ alarys.

Rezerfordyň-Boruň atom modeli
Balmeriň umumylaşdyrylan formulasy
Meseleler

3.1. Wodorod atomyndaky elektronyň üçünji we dördünji orbitalarynyň radiusyny kesgitlemeli.

3.2. Wodorod atomynyň ikinji orbitasyndaky elektronyň tizligini we aýlaw ýygylygyny kesgitlemeli.

3.3. Wodorod atomynyň birinji orbitasyndaky elektronyň potensial, kinetik we doly energiýasyny kesgitlemeli.

3.4. Wodorod atomynyň elektronynyň orbita boýunça tizligi $7{,}34.10^5$ *m/s*. Onuň haýsy orbitada hereket edýändigini tapmaly.

3.5. Wodorod atomynyň birinji we ikinji töwerek orbitalary üçin Kulon özara dartyşma güýjüni hem-de elektrik meýdanynyň güýjenmesini kesgitlemeli.

3.6. Wodorod atomynyň birinji we ikinji orbitalary üçin elektronyň merkeze ymtylýan tizlenmesini kesgitlemeli.

3.7. Wodorod atomynda elektron üçünji energetik derejeden ikinji energetik derejä geçende şöhlelendirýän fotonynyň energiýasyny kesgitlemeli.

3.8. Balmeriň seriýasynda spektr çyzyklarynyň iň kiçi we iň uly energiýalaryny kesgitlemeli.

3.9. Paşeniň seriýasynda ikinji spektr çyzyga degişli tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

3.10. Laýmanyň seriýasynda ilkinji üç spektr çyzygynyň tolkun uzynlygyny tapmaly.

3.11. Wodorod atomy baş kwant sanynyň $n=4$ deň bahasy bilen aňladylýan oýandyrylan haldan esasy hala

geçende ýüze çykmak mümkinçiligi bolan spektr çyzyklaryny kesgitlemeli.

3.12. Wodorod atomynyň ionlaşma energiýasyny we ionlaşma potensialyny kesgitlemeli.

3.13. Wodorod atomynyň ionlaşma energiýasynyň esasynda onuň ikinji oýandyrylma potensialyny tapmaly.

3.14. Geliniň He^{+} ionynyň ikinji oýandyrylan halyndan birinjä geçende şöhlelendirýän fotonynyň tolkun uzynlygyny tapmaly.

3.15. Geliniň He^{+} we litiniň Li^{++} doly ionlaşma energiýasyny we ionlaşma potensialyny tapmaly.

3.16. Esasy haldaky wodorod atomy tolkun uzynlygy $\lambda = 97nm$ bolan kwanty özüne siňdirip, oýandyrylan hala geçýär. Oýandyrylan wodorod atomyndaky elektronyň orbitasynyň radiusyny tapmaly.

Rentgen şöhlelenmesi. Mozliniň kanuny

3.17. U=60 kW naprýaženiýede işleýän rentgen turbajygynyň şöhlelendirýän tutuş spektrli rentgen şöhleleriniň iň kiçi tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

3.18. Tutuş spektrli rentgen şöhleleriniň iň kiçi tolkun uzynlygy $\lambda_{iň\,kici} = 2$ nm deň. Rentgen turbajygynyň anodyna urulýan elektronlaryň tizligini tapmaly.

3.19. Rentgen turbajygynyň anodyna urulýan elektronlaryň tizligi $\upsilon = 0{,}8c$ deň. Onuň şöhlelendirýän tutuş spektrli rentgen şöhleleriniň iň kiçi tolkun uzynlygyny tapmaly.

3.20. Rentgen turbajygyna goýulýan naprýaženiýe 32 kW kiçeldilende, onuň şöhlelendirýän tutuş spektrli rentgen

şöhleleriniň tolkun uzynlygy iki esse ulalan. Onuň gysga tolkunlarynyň çägini tapmaly.

3.21. Rentgen turbajygyna goýlan naprýaženiýe iki esse artdyrylanda, onuň tutuş spektrli tolkun uzynlygy $\Delta\lambda = 50$ pm üýtgeýän bolsa, gysga tolkunlarynyň çägini tapmaly.

3.22. Rentgen şöhlelenmesiniň K_α - çyzygynyň tolkun uzynlygy $\lambda = 72$ pm deň. Rentgen turbajygynyň anodynyň maddasynyň elementleriň periodiki ulgamynda näçenji elemente gabat gelýändigini kesgitlemeli.

3.23. Mis anodly rentgen turbajygyna nähili iň kiçi potensiallar tapawudy goýlanda onuň K_α seriýasynyň çyzyklary ýüze çykar?

3.24. Wolfram atomynda elektron M gatlakdan L gatlaga geçende şöhlelendirýän fotonynyň energiýasyny tapmaly. Wolfram üçin ekranlaýjy hemişelik $\sigma = 5{,}63$.

3.25. Antikatody demirden, kümüşden, molibdenden, tantaldan, wolframdan we platinadan bolan rentgen turbajyklarynyň şöhlelendirýän K_α seriýasynyň iň uly tolkun uzynlyklaryny kesgitlemeli. K_α seriýa üçin ekranlaýjy hemişelik $\sigma = 1$ deň.

3.26. Margens çaýylan antikatodly rentgen turbajygynyň şöhlelendirýän çyzykly spektriniň K_α çyzygyna degişli fotonyň energiýasyny kesgitlemeli.

Atomyň gurluşynyň kwant nazaryýeti

3.27. Wodorod atomynda elektronyň 1s halyny aňladýan normirlenen tolkun funksiýasy

$\psi_{100}(r) = \left(1/\sqrt{\pi a^3}\right)\exp\left(-r/a\right)$ görnüşde berlen (a - san taýdan Boruň birinji orbitasyna deň bolan hemişelik ululyk). Elektronyň ýadrodan r we $r+dr$ aralykda bolmak ähtimallygyny kesgitlemeli.

3.28. Wodorod atomynda elektronyň esasy haly $\psi(r) = C\exp\left(-r/a\right)$ tolkun funksiýasy bilen aňladylýar. Elektronyň $r_1 + \Delta r$ we $r_2 + \Delta r$ sferik gatlaklarda bolmak ähtimallyklarynyň gatnaşygyny kesgitlemeli. $\Delta r = 0{,}01a, r_1 = 0{,}5a, r_2 = 1{,}5a$ deň diýip kabul etmeli. a - Boruň birinji orbitasynyň radiusy.

3.29. Wodorod atomynda 2s haly aňladýan tolkun funksiýasy $\psi_{200}(r) = \left(1/4\sqrt{2\pi}\right)\cdot\left(2-r\right)\exp\left(-r/a\right)$ görnüşde berlen. Elektronyň ýadronyň töwereginde iň uly ähtimallyk bilen tapyljak r_1 aralygy kesgitlemeli.

3.30. Atomyň s we p hallardaky elektronynyň orbital hereketiniň impulsynyň momentini tapmaly.

3.31. Atomyň *f* haldaky elektronynyň orbital hereketiniň impulsynyň momentiniň we onuň daşky magnit meýdanynyň ugruna proýeksiýasynyň iň uly bahalaryny kesgitlemeli.

3.32. Elektronyň orbital hereketiniň impulsynyň momenti $L_e = 2{,}57\cdot 10^{-34}\, J\cdot s$. Elektronyň orbital hereketiniň esasynda ýüze çykýan magnit momentini tapmaly.

3.33. Elektronyň spin magnit momentini we onuň daşky magnit meýdanynyň ugruna proýeksiýasyny kesgitlemeli.

3.34. Atomyň L we O gatlaklarynda s, p, d, f we g hallarda bolup biljek elektronlarynyň iň uly umumy sanyny tapmaly.

3.35. Bor, uglerod we natriý atomlaryň elektronlarynyň elektron gatlaklarynyň doldurylyşynyny ýazmaly.

IV BAP

GATY JISIMLERDE KWANT HADYSALARY

Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Nusgawy nazaryýet boýunça himiki taýdan ýönekeý (birmeňzeş atomlardan düzülen) gaty jisimleriň molýar içki energiýasy

$$U_{\mu} = 3RT$$

Bu ýerde *R=8,31 J/mol K* - uniwersal gaz hemişeligi; *T* - termodinamiki temperatura.

- Himiki taýdan ýönekeý gaty jisimleriň molýar ýylylyk sygymy üçin Dýulongyň we Ptiniň kanuny.

$$C_{\mu} = \frac{dU_{\mu}}{dT} = 3R$$

- Himiki taýdan ýönekeý gaty jisimleriň molýar ýylylyk sygymy üçin Neýmanyň-Koppuň kanuny

$$C_{\mu} = n3R$$

Bu ýerde n - birleşmäniň himiki formulasyna girýän bölejikleriň umumy sany.

- Eýnşteýniň kwant nazaryýeti boýunça kristallik gaty jisimleriň molýar içki energiýasy.

$$U_{\mu} = U_{\mu 0} + 3R\frac{\theta_E}{\exp\left(\theta_E / T\right) - 1}$$

Bu ýerde $U_{\mu 0}$ - molýar içki energiýanyň nolunjy bahasy; $\theta_E = \hbar\omega / k$ - Eýnşteýniň häsiýetli temperaturasy; ω - ossillýatoryň yrgyldysynyň aýlaw ýygylygy; $\hbar$ - Plankyň hemişeligi, *k* - Bolsmanyň hemişeligi.

- Eýnşteýniň kwant nazaryýeti boýunça kristallik gaty jisimleriň molýar ýylylyk sygymy:

$$C_\mu = 3R\left(\frac{\theta_\varepsilon}{T}\right)^2 \frac{\exp\left(\frac{\theta_\varepsilon}{T}\right)}{\left[\exp\left(\frac{\theta_\varepsilon}{T}\right)-1\right]}$$

$T << \theta_\varepsilon$ şerti kanagatlandyrýan temperaturalar üçin

$$C_\mu = 3R\left(\frac{\theta_\varepsilon}{T}\right)\exp\left(-\frac{\theta_\varepsilon}{T}\right)$$

- Debaýyň kwant nazaryýeti boýunça kristallik gaty jisimleriň molýar ýylylyk sygymy:

$$C_\mu = 3R\left[12\left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 \int_0^{\frac{\theta_D}{T}} \frac{x^3 dx}{\exp(x)-1} - \frac{3\left(\frac{\theta_D}{T}\right)}{\exp\left(\frac{\theta_D}{T}-1\right)}\right]$$

$T << \theta_D$ şerti kanagatlandyrýan temperaturalar üçin

$$C_\mu = \frac{12\pi^3}{5} R\left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 \qquad (T << \theta_D \text{ haçan } T/\theta_D < 0{,}1)$$

Bu ýerde $\theta_{D\,iň\,uly} = \hbar\omega_i / k$ -Debaýyň häsiýetli temperaturasy; $\omega_{iň\,uly}$ -ossillýatoryň yrgyldysynyň aýlaw ýygylygynyň iň uly bahasy;

$x = \hbar\omega / kT$ - sadalaşdyrmak üçin girizilen ululyk.

- Fotonyň energiýasy:

$$\varepsilon = \hbar\omega$$

Bu ýerde ω - akustik tolkunlaryň aýlaw ýygylygy; $\hbar$ - Plankyň hemişeligi.

- Fotonyň kwaziimpulsy:

$$P = 2\pi \frac{\hbar}{\lambda}$$

- Energiýanyň kiçi bahalarynda fotonyň topar we faza tizliginiň özara baglanyşygy (biri-birine deň bolýar)

$$U = \upsilon = \frac{E}{P}$$

Bu ýerde E - fotonyň energiýasy; P - fotonyň kwaziimpulsy.

- Kristallik gaty jisimlerde kese we boý tolkunlaryň ýaýrama tizligi

$$\upsilon_b = \sqrt{E_m / \rho} \qquad \upsilon_k = \sqrt{G_m / \rho}$$

Bu ýerde E_m we G_m boý we kese maýyşgaklyk moduly; ρ - jisimiň dykyzlygy.

- Sesiň kristalda ýaýrama tizliginiň orta bahasy.

$$3/\upsilon_{or}^3 = 2/\upsilon_k^3 + 1/\upsilon_b^3$$

- Metaldaky erkin elektron üçin Ferminiň energiýa boýunça paýlanma kanuny

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{h}\right)^{3/2} \frac{\varepsilon^{1/2} d\varepsilon}{\exp\left[(\varepsilon - \varepsilon_f)/kT\right] + 1} \qquad T \neq 0$$

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{h}\right)^{3/2} \varepsilon^{1/2} d\varepsilon \ (\varepsilon < \varepsilon_f) \qquad T=0$$

Bu ýerde $dn(\varepsilon)$ - energiýasy ε we $\varepsilon + d\varepsilon$ aralykda bolan elektronlaryň konsentrasiýasy; m - elektronyň massasy; ε - elektronyň energiýasy; ε_f - Fermininň energetik derejesi.

- T=0 K bolan ýagdaýy üçin fermininň energetik derejesi.

$$\varepsilon_f = \frac{h^2}{2m}\left(3\pi^2 n\right)^{2/3}$$

- Fermininň funksiýasy

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\exp\left[\left(\varepsilon - \varepsilon_f\right)/kT\right] + 1}$$

- Absolýut nol temperaturada metaldaky erkin elektronlaryň energiýasynyň orta bahasy

$$\varepsilon_{orta} = \frac{3}{5}\varepsilon_f(0)$$

- Metallaryň udel elektrik geçirijiligi

$$\chi = \frac{ne^2}{m}\tau \qquad \tau = \frac{\overline{\ell_f}}{\upsilon_f}$$

Bu ýerde n - erkin elektronlaryň konsentrasiýasy; e - elektronyň zarýady; m - elektronyň massasy; τ - relaksasiýa wagty; $\overline{\ell_f}$ - Fermininň energiýasyna eýe bolan elektronyň erkin ýolunyň orta uzynlygy; υ_f - Fermininň energiýasyna eýe bolan elektronyň ýylylyk hereketiniň orta tizligi.

- Togy äkidiji bölejikleriň hereketlenijiligi

$$b = \frac{\upsilon_{Tx}}{E} = \frac{e\tau}{m}$$

Bu ýerde υ_{Tx} - togy äkidiji bölejikleriň ugrukdyrylan hereketiniň tizligi; E - elektrik meýdanynyň güýjenmesi.

- Ýarymgeçirjileriň hususy geçirjiliginiň udel elektrik geçirijiligi

$$\chi = e \cdot n(b_n + b_p) = \chi_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

Bu ýerde n - zarýad äkidijileriň (elektronlaryň we deşikleriň) konsentrasiýasy; b_n we b_p - degişlilikde elektronlaryň we deşikleriň hereketlenijiligi; χ_0 - hemişelik ululyk; $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$ - gadagan zolagyň giňligi; k - Bolsmanyň hemişeligi; T - termodinamiki temperatura.

Mesele çözmegiň mysallary

1-nji mesele. Ýylylyk sygymy üçin Eýnşteýniň kwant nazaryýetinden peýdalanyp, $T=200\ K$ temperaturadaky alýumininiň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymyny kesgitlemeli. Alýuminiý üçin Eýnşteýniň häsiýetli temperaturasyny $\theta_E = 300K$ deň diýip kabul etmeli.

Çözülişi. Udel ýylylyk sygym $C = \frac{C_\mu}{\mu}$ (1) formula arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde C_μ - molýar ýylylyk sygym; μ - molýar massa.

Eýnşteýniň kwant nazaryýetine görä, molýar ýylylyk sygym

$$C_\mu = 3R\left(\frac{\theta_E}{T}\right)^2 \cdot \frac{\exp\left(\frac{\theta_E}{T}\right)}{\left(\exp\left(\frac{\theta_E}{T}-1\right)\right)^2}$$ (2) formula bilen

aňladylýar.

(2) – den C_μ - yň bahasyny (1) - ä goýup,

$$C = \frac{3R}{\mu}\left(\frac{\theta_E}{T}\right)^2 \cdot \frac{\exp\left(\frac{\theta_E}{T}\right)}{\left(\exp\left(\frac{\theta_E}{T}-1\right)\right)^2}$$ (3) alarys.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$C = \frac{38,31}{27\cdot 10^{-3}}\left(\frac{300}{200}\right)^2 \cdot \frac{\exp\left(\frac{300}{200}\right)}{\left(\exp\left(\frac{300}{200}-1\right)\right)^2} = 770 J/kgK$$ bolar.

2-nji mesele. Massasy *m=0,5kg* deň bolan *KCl* kristalynyň temperaturasyny $T_1=2$ *K* *ş*-den $T_2=4$ *K*-e çenli artdyrmak üçin näçe ýylylyk mukdarynyň gerek boljakdygyny tapmaly. *KCl* üçin Debaýyň häsiýetli temperaturasy $\theta_D = 260K$ deň we $T << \theta_D$ şert kanagatlandyrylýar diýip kabul etmeli.

Çözülişi. Kristalyň berlen massasyny T_1-den T_2 temperatura çenli gyzdyrmak üçin zerur bolan ýylylyk mukdary

$$Q = \frac{m}{\mu}\int_{T_1}^{T_2} C_\mu dT$$ (1) integral arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde m - kristalyň massasy; μ - kristalyň molýar massasy; C_μ - kristalyň molýar ýylylyk sygymy.

Kristalyň molýar ýylylyk sygymy Debaýyň nazaryýeti boýunça temperatura bagly bolan çylşyrymly funksiýadyr. Emma $T << \theta$ şerti kanagatlandyrýan ýagdaý üçin

$$C_\mu = \frac{12\pi^3}{5} R \left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3$$ (2) formula arkaly kesgitlemek mümkin. Onda (2)-den C_μ - nyň bahasyny (1)-ä goýup,

$$Q = \frac{12\pi^4}{5}\frac{m}{\mu}\frac{R}{\theta_D^3}\int_{T_1}^{T_2} T^3 dT$$ (3) aňlatmany alarys.

Alnan integraly çözsek,

$$Q = \frac{3\pi^4}{5}\frac{m}{\mu}\frac{R}{\theta_D^3}\left(T_2^4 - T_1^4\right) \quad (4)$$

bolar.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$Q = \frac{3(3{,}14)^4}{5}\frac{0{,}5}{74{,}5\cdot 10^{-3}}\frac{8{,}31}{17{,}6\cdot 10^6}(256-16) = 44{,}43\cdot 10^{-3} J$$

alarys.

3-nji mesele. Absolýut nol temperaturada metalyň (mis) erkin elektronlarynyň eýe bolup biljek iň uly energiýasyny (Ferminiň energetik derejesini) kesgitlemeli. Misiň her bir atomyna bir sany walent elektron degişli diýip kabul etmeli.

Çözülişi. Absolýut nol temperaturada metalyň erkin elektronlarynyň eýe bolup biljek iň uly energiýsy Ferminiň energetik derejesi arkaly kesgitlenilýär.

$$\varepsilon_f = \frac{h^2}{2m}\left(3\pi^2 n\right)^{2/3}$$

Meseläniň şertine görä, her bir atoma bir sany walent elektron degişli, onda elektronlaryň konsentrasiýasy

$$n = \frac{N}{V} = \frac{mN_A}{\mu V} = \rho\frac{N_A}{\mu} \qquad (2)$$

formula arkaly tapylýar.

Bu ýerde ρ - metalyň dykyzlygy; μ - molýar massa; N_A - Awogadronyň sany.

(2) - den *n*-iň bahasyny (1)-e goýup,

$$\varepsilon_f = \frac{h^2}{2m}\left(3\pi^2\rho\frac{N_A}{\mu}\right)^{2/3} \qquad (3)$$

alarys.

Ululyklaryň san bahasyny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\varepsilon_f = \frac{\left(1{,}05\cdot 10^{-34}\right)^2}{2\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}}\left(3\cdot\left(3{,}14\right)^2\cdot 8{,}9\cdot 10^3\,\frac{6{,}62\cdot 10^{23}}{64\cdot 10^{-3}}\right)^{2/3} = 6{,}9eW\,.$$

4-nji mesele. Absolýut nol temperaturadaky $V=3\ sm^3$ göwrümli metalda impulsy P_1-den P_2-ä çenli aralykdaky

bahalara eýe bolan erkin elektronlaryň sanyny kesgitlemeli. Ferminiň energiýasy $\varepsilon_f = 4{,}5eW$ hem-de $P_1 = 0,2P_{iň\,uly}$ we $P_2 = P_{iň\,uly}$ deň diýip kabul etmeli.

Çözülişi. Temperaturasy absolýut nol bolan metaldaky erkin elektronlaryň energiýalary boýunça paýlanmasy Ferminiň paýlanma kanunyna boýun egýär.

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{\hbar}\right)^{3/2} \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot d\varepsilon \qquad (1)$$

Impuls bilen energiýanyň baglanyşygyndan erkin elektronlaryň impulslar boýunça paýlanma kanunyny almak mümkin:

$$\varepsilon = \frac{P^2}{2m}; \qquad d\varepsilon = \frac{P}{m}dP \qquad (2)$$

(2)-den ε -iň we $d\varepsilon$ -iň bahalaryny (1)-de ornuna goýup,

$$dn(P) = \frac{P^2}{\pi^2\hbar^3}dP \qquad (3)$$ alarys.

Impulsy P_1-den P_2-ä çenli aralykda bolan erkin elektronlaryň göwrüm birligindäki sany

$$\Delta n = \frac{1}{\pi^2\hbar^3}\int_{P_1}^{P_2} P^2 dP \qquad (4)$$ integral arkaly tapylýar.

Integralyň çägini $P_1 = 0,2P_{iň\,uly}$ we $P_2 = P_{iň\,uly}$ goýup integrirlesek,

$$\Delta n = \frac{1}{\pi^2 \hbar^3} \int_{0,2P_{iň\,uly}}^{P_{iň\,uly}} P^2 dP = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3\pi^2 \hbar^3} P_{iň\,uly}^3$$

(5) alarys.

Temperaturasy absolýut nola barabar metaldaky erkin elektronlaryň impulsynyň iň uly bahasy Ferminiň energetik derejesi arkaly aňladylýar.

$$P_{iň\,uly} = \sqrt{2m\varepsilon_f} \qquad (6)$$

(6)-dan $P_{in\,uly}$ -yň bahasyny (5)-e goýup,

$$\Delta n = \frac{2 \cdot 10_{-3}}{3\pi^2 \hbar^3} \left(2m\varepsilon_f\right)^{3/2} \qquad \text{(7) alarys.}$$

Metalyň berlen göwrüminde impulsy P_1-den P_2-ä çenli aralykdaky bahalara eýe bolan erkin elektronlaryň sany

$$\Delta N = \Delta n \cdot V = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3\pi^2} \left(\frac{2m\varepsilon_f}{\hbar^2} \right)^{3/2} \cdot V \qquad \text{(8) aňlatma}$$

arkaly kesgitlenilýär.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

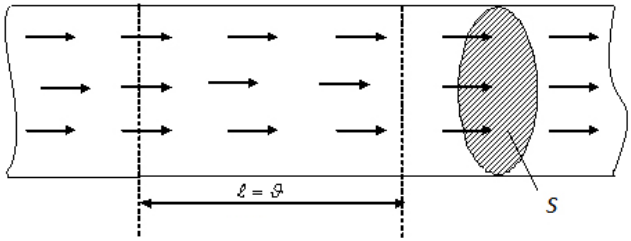
$$\Delta N = \Delta n \cdot V = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 9{,}86} \left(\frac{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1{,}05 \cdot 10^{-34}} \right)^{3/2} \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 2{,}63 \cdot 10^{21}$$

bolar.

5-nji mesele. Kese kesiginiň meýdany $S = 3 \cdot 10^{-5} m^2$ göni metal geçirijiden akýan tok güýjüniň ululygy *I=1A* deň. geçirijidäki erkin elektronlaryň konsentrasiýasy

$n = 4 \cdot 10^{28} m^{-3}$ deň hasap edip, olaryň ugrukdyrylan hereketiniň orta tizligini tapmaly.

Çözülişi. Geçirijiden elektronlaryň ugrukdyrylan hereketiniň orta tizligine san taýdan deň bolan ℓ uzynlygyny bölüp alyp, göwrümini kesgitlesek (4.1-nji surata seret),



4.1-nji surat

$V = \ell S$ bolar.

Bu göwrümdäki erkin elektronlaryň sany

$N = nV = n\ell s$ (2) deň bolar.

Alnan göwrümdäki zarýadlaryň umumy mukdary,

$q = Ne = n\ell se$ (3) deň bolar.

Onda gecirijiden akýan toguň güýji

$$I = \frac{q}{t} = \frac{n\ell se}{t} = \upsilon \cdot n \cdot s \cdot e$$ (4) formula arkaly aňladylýar.

Bu ýerden elektronlaryň ugrukdyrylan herketiniň orta tizligi üçin

$$\upsilon = \frac{I}{n \cdot s \cdot e}$$ (5) aňlatmany alarys.

Hasaplama geçirsek,

$$\upsilon = \frac{2}{4 \cdot 10^{28} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 1{,}04 \cdot 10^{-4} m/s$$ deň bolar.

6-njy mesele. Ýarymgeçiriji kremniniň temperaturasy $T_1 = 273K$ -den $T_2 = 300K$ -e çenli ýokarlandyrylanda, onuň udel geçirijiligi näçe esse artar? Kremniý üçin gadagan zolagyň giňligi $\Delta E = 1{,}1\,eW$ deň diýip hasap etmeli.

Çözülişi. Ýarymgeçirijiniň hususy udel geçirijiligi

$\chi = \chi_0 \exp\left(-\dfrac{\Delta E}{kT}\right)$ (1) formula arkaly kesgitlenilýär.

Bu formulany T_1 we T_2 temperaturalar üçin ýazyp gatnaşdyrsak,

$$N = \frac{\chi_2}{\chi_1} = \frac{\chi_0 \exp(-\Delta E / kT_2)}{\chi_0 \exp(-\Delta E / kT_1)} = \exp\left[\frac{\Delta E}{k}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$ alarys.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$N = \frac{\chi_2}{\chi_1} = \exp\left[\frac{1{,}76 \cdot 10^{-19}}{1{,}38 \cdot 10^{-23}}\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{300}\right)\right] = 4{,}2$$ deň bolar.

Meseleler

Gaty jisimleriň ýylylyk sygymy

4.1. Ýylylyk sygymynyň nusgawy nazaryýetiniň esasynda *NaCl* we *CaCl* – kristallaryň udel ýylylyk sygymlaryny tapmaly.

4.2. Massasy *m=20 g* bolan nikel kristalyny $t_1=0\ S$ -den $t_2=200\ S$ -e çenli gyzdyrylanda onuň içki energiýasynyň üýtgemesini we ýylylyk sygymyny nusgawy nazaryýetiniň esasynda tapmaly.

4.3. Eýnşteýniň kwant nazaryýetiniň esasynda başlangyç temperaturasy $T = \theta / 2$ bolan kristalyň

temperaturasy $\Delta T = 2K$ artdyrylanda onuň içki energiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

4.4. Eýnşteýniň kwant nazaryýetiniň esasynda kümüş kristalynyň atomlarynyň yrgyldy ýygylygyny kesgitlemeli. Eýnşteýniň häsiýetli temperaturasyny $\theta_E = 165K$ deň diýip hasap etmeli.

4.5. Mis kristalty üçin Eýnşteýniň häsiýetli temperaturasy $\theta_E = 316K$. Kristalyň atomlaryna täsir edýän kwazimaýyşgak güýjüň proporsionallyk koeffisiýentini tapmaly.

4.6. Eýnşteýniň we Debaýyň nazaryýetiniň esasynda kristalyň atomlarynyň nolunjy yrgyldysynyň molýar içki energiýasyny kesgitlemeli. Eýnşteýniň we Debaýyň häsiýetli temperaturalary özara deň we $\theta_D = \theta_E = 320K$ diýip kabul etmeli.

4.7. Debaýyň häsiýetli temperaturasy KCl we NaCl kristallar üçin degişlilikde $\theta'_D = 230K$ we $\theta''_D = 280K$ deň. Bu kristallaryň T=40 K temperaturada udel ýylylyk sygymlarynyň gatnaşygyny tapmaly.

4.8. T=20 K temperaturadaky gurşunyň molýar ýylylyk sygymyny kesgitlemeli. Gurşun üçin Debaýyň häsiýetli temperaturasyny $\theta_D = 90K$ deň we $T << \theta_D$ şert kanagatlanmaýar diýip kabul etmeli.

4.9. Debaýyň nazaryýetiniň esasynda altyn kristalyndaky atomlaryň hususy yrgyldylarynyň ýygylyklarynyň iň uly bahasyny tapmaly. Debaýyň häsiýetli temperaturasy $\theta_D = 180K$ deň diýip kabul etmeli.

4.10. Debaýyň iň uly ýygylygyna degişli fononynyň energiýasyny kesgitlemeli. Debaýyň häsiýetli temperaturasy $\theta_D = 250K$ deň diýip kabul etmeli.

4.11. Sesiň kristalda ýaýrama tizliginiň orta bahasy $\upsilon_{or} = 1380$ m/s. Kristalyň berlen haly üçin Debaýyň häsiýetli temperaturasy $\theta_D = 100K$ deň. $\omega = 0{,}1\omega_{in\,uly}$ ýygylyga degişli fononyň kwaziimpulsyny kesgitlemeli. Kristalda sesiň dispersiýasyny hasaba almaly däl.

4.12. Kümüş kristalynda fononlaryň ýaýrama tizliginiň orta bahasyny kesgitlemeli. Kümüşiň boý we kese maýyşgaklyk modullaryny hem-de dykyzlygyny tablisadan almaly.

4.13. Wolframyň berlen haly üçin Debaýyň häsiýetli temperaturasy $\theta_D = 310K$. Fononyň $\nu = 0{,}1\nu_{in\,uly}$ ýygylyga degişli tolkun uzynlygyny kesgitlemeli. Wolframda sesiň ýaýrama tizligini hasaplamaly. Bu ýerde sesiň dispersiýasyny hasaba almaly däl.

Kwant statistikasynyň elementleri

4.14. Absolýut nol temperaturada käbir metal üçin Ferminiň energetik derejesi $\varepsilon_1 = 2$ eW deň. Bu metaldaky erkin elektronlaryň konsentrasiýasyny tapmaly.

4.15. Absolýut nol temperaturadaky alýuminiý we mis üçin Ferminiň energetik derejesi degişlilikde $\varepsilon_{f1} = 11.7$ eW we $\varepsilon_{f2} = 7$ eW. Bu metallaryň her bir atomyna düşýän erkin elektronlaryň sanlarynyň gatnaşygyny tapmaly.

4.16. Temperaturasy T=0 K bolan metaldaky erkin elektronlaryň hereketiniň iň uly tizligini tapmaly. Ferminiň energetik derejesi $\varepsilon_1 = 5$ eW deň diýip kabul etmeli.

4.17. Absolýut nol temperaturada litiý we seziý üçin Ferminiň energetik derejesi degişlilikde $\varepsilon_{f1} = 4{,}72$ eW we $\varepsilon_{f2} = 1{,}53$ eW. Bu metallaryň erkin elektronlarynyň konsentrasiýalarynyň gatnaşygyny tapmaly.

4.18. Absolýut nol temperaturada natriý üçin Ferminiň energetik derejesi $\varepsilon_1 = 3{,}15$ eW. Natriniň her bir atomyna düşýän erkin elektronlaryň sanyny tapmaly.

4.19. Metallardaky elektrik geçirijiligi amala aşyrýan erkin elektronlaryň konsentrasiýasy $n = 5 \cdot 10^{28}\, 1/m^3$. Metalyň temperaturasyny absolýut nola deň hasap edip, onuň erkin elektronlarynyň energiýasynyň orta bahasyny tapmaly.

4.20. Käbir metal üçin erkin elektronlaryň konsentrasiýasy $n = 3 \cdot 10^{28}\, 1/m^3$. Bu metalyň temperaturasy absolýut nola deň diýip kabul edip, onuň Ferminiň energetik derejesindäki elektronynyň tizligini tapmaly.

4.21. Temperaturasy absolýut nola deň bolan käbir metal üçin ferminiň energetik derejesi $\varepsilon_1 = 7$ eW. Onuň erkin elektronlarynyň energiýasynyň orta bahasyny kesgitlemeli.

4.22. Temperaturasy absolýut nola deň metaldaky erkin elektronlaryň kinetik energiýasy $(E_k)_1 = \varepsilon/2$ -den $(E_k)_2 = \varepsilon$ -e çenli aralykda bolan sanynyň kinetik energiýasy $(E_k)_3 = 0$ -

dan $(E_k)_4 = \varepsilon/2$ çenli aralykda bolan sanyna gatnaşygyny tapmaly.

4.23. Temperaturasy absolýut nola deň bolan metaldaky erkin elektronlaryň tizligi $\upsilon_1 = \upsilon_{\text{in uly}}/2$ -den $\upsilon_2 = \upsilon_{\text{in uly}}$ -a çenli aralykda bolan sanynyň tizligi $\upsilon_3 = 0$ - dan $\upsilon_4 = \upsilon_{\text{in uly}}/2$ -ä çenli aralykda bolan sanyna gatnaşygyny kesgitlemeli.

Gaty jisimlerde elektrik geçirijilik

4.24. Kese kesigiň meýdany $S = 0.2sm^2$ deň bolan mis geçrijiden $I = 1\,A$ tok akýan mahaly elektronlaryň ugrukdyrylan hereketiniň orta tizligini tapmaly. Mis üçin erkin elektronlaryň konsentrasiýasy $n = 8{,}4 \cdot 10^{28} m^{-3}$ deň.

4.25. Kümüş geçirijä $E = 2W/sm$ deň elektrik meýdanynyň güýjenmesi täsir edýär. Erkin elektronlaryň konsentrasýasy $n = 5{,}8 \cdot 10^{28} m^{-3}$ deň hasap edip, olaryň hereketiniň orta tizligini tapmaly. Kümşüň udel garşylygy $\rho = 1{,}6 \cdot 10^{-8} Om.m$.

4.26. Temperaturasy $T = 300K$ deň bolan ýarymgeçiriji germaniniň hususy geçrijiligini amala aşyrýan zarýad äkidijiniň konsentrasiýasyny tapmaly. Germaniniň udel garşylygy $\rho = 0{,}47 Om.m$ deň, elektronlaryň we deşijeklerň hereketlendirijiligi degişlilikde $b_n = 0{,}38 m^2/B.s$ we $b_p = 0{,}18 m^2 B.s$.

4.27. Deşijekleriň konsentrasiýasy $n_p = 3 \cdot 10^{20} m^3$ deň bolan p kysymly ýarymgeçiriji germaniniň udel garşylygyny tapmaly. Germaniý üçin deşikleriň we elektronlaryň hereketlenijiligi degişlilikde $b_p = 0{,}18 m^2 B.s$ we $b_p = 0{,}36 m^2 B.s$. Alnan netijäni deşijekleriň we elektronlaryň konsentrasiýasy özara deň hasap edip, n-kysymly ýarymgeçirijiniň udel garşylygy bilen deňlemeli.

4.28. Almaz kristalynyň gadagan zolagynyň giňligi $\Delta E = 6eW$. Onuň siňdirip bilýän ýagtylygynyň uzyn tolkunynyň çägini tapmaly.

4.29. Ýarymgeçiriji germaniniň temperaturasy $T_1 = 273K -$ den $T_2 = 290K -$ e çenli ýokarlandyrylanda onuň elektrik geçirijisi näçe esse artar? Germaniniň gadagan zolagynyň giňligi $\Delta E = 0{,}72 eW$ deň bolýar.

4.30. InSb splawynyň tok geçirijileriniň konsentrasýasynyň $T_1 = 400K$ we $T_1 = 300K$ temperaturalardaky bahalaryň gatnaşygyny tapmaly. InSb splawy üçin gadagan zonanyň giňligi $\Delta E = 0{,}18\, eW$ deň.

V BAP
ATOM ÝADROSYNYŇ WE ELEMENTAR BÖLEJIKLERIŇ FIZIKASY

Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Atom ýadrosynyň belgisi:

$$^{A}_{z}X$$

Bu ýerde X - himiki elementleriň belgisi; ýadronyň zarýadynyň sany (himiki elementlerin periodiki ulgamynda atomyň tertip belgisi; ýadrodaky protonyň sany); A - ýadronuň massalar sany (ýadrodaky nuklonlaryň sany); $N=A-Z$ ýadrodaky neýtronlaryň sany.

- Ýadronyň radiusy

$$r = r_0 A^{1/3}$$

Bu ýerde r_0 - proporsionallyk koeffisiýenti bolup, ähli ýadrolar üçin $r_0 = 1{,}4 \cdot 10^{-15}$ m deň bolan hemişelik ululuk.

- Radioaktiw dargamanyň esasy kanuny

$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

Bu ýerde N_0 - başlangyç ($t=0$ hökmünde kabul edilende) wagt pursatynda dargamadyk ýadrolaryň sany; λ - radioaktiw dargamanyň hemişeligi; N – t wagt pursatynda dargamadyk ýadrolaryň sany.

- Radioaktiw izotopyň ýarymdargama periody

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

Bu düşünjäniň fiziki manysy dargamadyk ýadrolaryň sany iki esse azalýança, geçýän wagt aralygyny aňladýar.

- Kesgitli Δt - wagt aralygynda dargan ýadrolaryň sany

$$\Delta N = N_0 - N = N_0\left[\left(1 - \exp\left(-\lambda \Delta t\right)\right)\right]$$

Eger $\Delta t << T_{1/2}$ şert kanagatlanýan bolsa,

$$\Delta N \approx \lambda N_0 \Delta t$$

Radioaktiw ýadronyň orta ýaşaýyş wagty

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Bu düşünjäniň fiziki manysy dargamadyk ýadrolaryň sany natural logarifmanyň esasyna deň sana azalýança, geçýän wagt aralygyny aňladýar.

- Radioaktiw izotopdaky atomlaryň sany

$$N = \frac{m}{\mu} N_A$$

Bu ýerde m - izotopyň massasy; μ - molýar massa; N_A - Awogadronyň sany.

- Radioaktiw çeşmedäki nuklidleriň aktiwligi

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N; \qquad A = A_0 \exp\left(-\lambda t\right) \qquad A_0 = \lambda N_0$$

Bu A_0 - izotopyň başlangyç aktiwligini aňladýar.

- Radioaktiw çeşmäniň udel aktiwligi

$$a = \frac{A}{m}$$

Bu ýerde m - izotopyň massasy.

- Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň monoenergetik inçe dessesiniň siňdiriji maddadan geçende gowşama kanuny.

a) Ionlaşdyryjy bölejikleriň ýa-da fotonlaryň akymynyň dykyzlygynyň gowşama kanuny

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x)$$

Bu ýerde I_0- siňdiriji madda düşýän ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň akymynyň dykyzlygy; I - x galyňlykly siňdiriji maddadan geçen ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň akymynyň dykyzlygy; μ - gowşamanyň çyzykly koeffisiýenti. Bu koeffisiýent 5.1-nji suratdaky grafikden kesgitlenilýär.

b) Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň intensiwliginiň gowşama kanuny

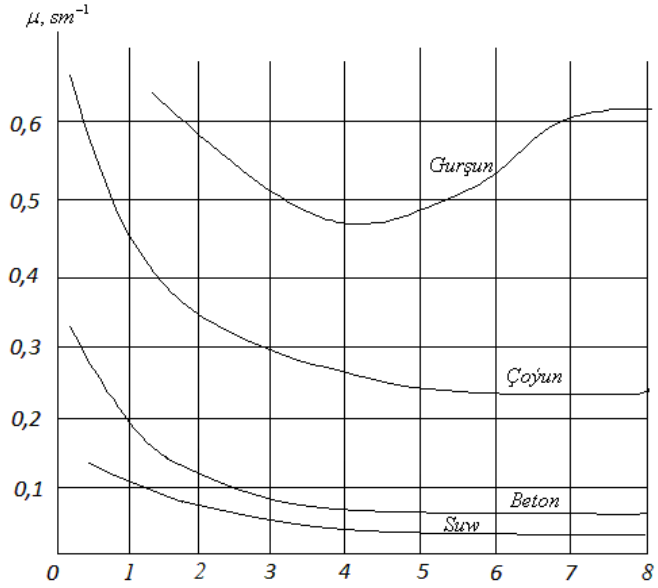
$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x)$$

Bu ýerde I_0- siňdiriji madda düşýän ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň depgini; I - siňdiriji maddanyň x - çuňlugyndaky intensiwlik.

- Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň depgininiň ýarymgowşama galyňlygy

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Bu düşünjäniň fiziki manysy ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň depgininiň iki esse kiçeldýän siňdiriji maddanyň galyňlygyny aňladýar.



5.1-nji surat.

- Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň madda siňen dozasy (mukdary):

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \qquad \text{(ölçeg birligi 1 Greý=1 J/kg)}$$

Bu ýerde ΔE - ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň täsirine sezewar bolan maddanyň kabul eden şöhle energiýasy; Δm - şol maddanyň massasy.

- Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň madda siňen dozasynyň kuwwaty

$$D = \frac{\Delta D}{\Delta m} \qquad \text{(ölçeg birligi Greý/s)}$$

- Fotonly (gamma we rentgen) ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň ekspozisiýa dozasy (elektronlaryň)

ionlaşdyryjy mümkinçiligi doly peýdalanyp, şöhlä tutulan howada elektronlaryň döredýän bir atly ionlaryň ählisiniň elektrik zarýadlarynyň jeminiň şol howanyň massasyna gatnaşygy bilen kesgitlenilýän ululyga ekspozisiýa dozasy diýilýär.

$$Y = \frac{\Delta q}{\Delta m} \qquad \text{(ölçeg birligi Kl / kg)}$$

- Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň ekspozisiýa dozasynyň kuwwaty

$$\dot{Y} = Y / \Delta t \qquad \text{(ölçeg birligi 1 Amper / kg)}$$

- x - galyňlykly goraýjy gatlagy bolan madda düşýän rentgen we γ-şöhlelenmäniň ekspozisiýa dozasy

$$Y = Y_0 \, exp(-\mu, x)$$

Bu ýerde y_0 - goraýjy gatlak ýok mahalyndaky ekspozisiýa dozasy.

- Howada γ- şöhleleriniň nokatlanç çeşmesinden ℓ-aralykda ýerleşen madda Δt-dowamynda düşýän şöhlelenmäniň ekspozisiýa dozasy

$$Y = \frac{\dot{Y}}{\ell} \Delta t$$

Bu ýerde $\dot{Y}$- çeşmeden uzynlyk birligindäki aralykda ýerleşen nokatdaky ekspozisiýa dozasynyň kuwwaty.

- Relýatiwistik mehanikanyň kanunlaryna görä, özara baglanyşykly bölejikler ulgamynyň dynçlyk massasy ol bölejikleriň erkin haldaky dynçlyk massalarynyň jeminden kiçidir. Bu tapawuda massa ýetmezi diýilýär.

$$\Delta m = (m_1 + m_2 + ... + m_n) - m$$

- Özara baglanyşykly bölejikler ulgamynyň energiýasy massa ýetmezine göni proporsionaldyr.

$$E_{bag} = c^2 \Delta m$$

Bu ýerde c - ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi

$$c^2 = 9 \cdot 10^{16} \frac{m^2}{s^2} = 9 \cdot 10^{16} \frac{J}{kg} = 931{,}4 \frac{MeW}{m.a.b.}$$

- Atom ýadrosynyň massa defekti ýadronyň düzümine girýän erkin protonlaryň we neýtronlaryň dynçlyk massalarynyň jemi bilen ýadronyň dynçlyk massasynyň tapawudyna deňdir.

Köplenç, massa ýetmezi atomyň massasy arkaly kesgitlenilýär

$$\Delta m = Zm_{{}^1_1H} + (A - Z)m_n - m_a$$

Bu ýerde Z - ýadronyň zarýad sany (ýadrodaky protonlaryň sany); A - ýadronyň massalar sany (ýadrodaky nuklonlaryň sany); $N = A - Z$ - ýadrodaky neýtronlaryň sany; m_p we m_n degişlilikde protonyň we neýtronyň massalary; $m_{ya} = m_a - Zm_e$ - ýadronyň massasy; m_a - atomyň massasy; $m_{{}^1_1H}$ ${}^1_1H$ - wodorodyň atomynyň massasy; m_e - elektronyň massasy.

- Atom ýadrosynyň baglanyşyk energiýasy

$$E_{bag} = \left[Zm_{{}^1_1H} + (A - Z)m_n - m_a\right] c^2$$

- Atom ýadrosynyň udel baglanyşyk energiýasy (her bir nuklona düşýän baglanyşyk energiýa).

$$\varepsilon_{ud.bag.} = \frac{E_{bag}}{A}$$

- Ýadro öwrülmelerinde ulanylýan esasy bölejikleriň belgilenilişi:

p – proton; n - neýtron; d -deýtron; t - trion; α - bölejik; γ - gamma-foton.

- Ýadro öwrülmeleriniň aňladylyşy:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H \quad \text{ýa-da} \quad ^{14}N(\alpha, P)^{17}O$$

Ýadro öwrülmesi gysgaça ýazylanda atomyň tertip belgisi görkezilmeýär. Ol atomyň himiki belgisi boýunça kesgitlenilýär. Ýaýyň öňünde nyşana goýlan ýadronyň belgisi, soňundan bolsa, öwrülme netijesinde öndürilen ýadronyň belgisi ýazylýar. Ýaýyň içinde ilki bombalaýyn bölejigiň belgisi, soňra täze dörän bölejigiň belgisi ýazylýar.

- Ýadro öwrülmede saklanma kanunlary:

a) nuklonlaryň sanynyň saklanma kanuny

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

b) zarýad sanynyň saklanma kanuny

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

g) impulsyň saklanma kanuny

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + \vec{P}_4$$

- Ýadro öwrülmesiniň energiýasy:

$$Q = c^2\left[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)\right] \quad \text{ýa-da}$$

$$Q = (T_1 + T_2) - (T_3 + T_4)$$

Bu ýerde m_1 we m_2 degişlilikde nyşana goýlan ýadronyň we bombalaýyn bölejigiň dynçlyk massalary; m_3 we

m_4 täze öndürilen ýadronyň we bölejigiň dynçlyk massalary; T_1 we T_2 degişlilikde nyşana goýlan ýadronyň we bombalaýyn bölejigiň kinetik energiýalary; T_3 we T_4 öwrülme netijesinde öndürilen ýadronyň we dörän bölejigiň kinetik energiýalary.

Eger $Q > O$ bolsa, energiýa bölünip çykýar, eger $Q < O$ bolsa, energiýa siňdirilýär.

- Relýatiwistik bölejigiň doly energiýasy:

$$E = m_0 c^2 + T$$

Bu ýerde m_0- bölejigiň dynçlyk massasy; $m_0 c^2$- bölejigiň dynçlyk energiýasy; T - bölejigiň kinetik energiýasy.

- Relýatiwistik bölejigiň impulsy:

$$Pc = \sqrt{T(T + 2E_0)}$$

- Bölejikleriň çaknyşmasy üçin inwariant deňleme:

$$E^2 - P^2 c^2 = m_0{}^2 c^4$$

Bu ýerde E we P bölejikler ulgamynyň doly energiýasy we impulsy;

m_0 - täze emele gelen bölejigiň dynçlyk massasy.

Mesele çözmegiň mysallary

1-nji mesele. Tebigatda duş gelýän bor elementi göräli atom massalary $A_{r1} = 10{,}013$ we $A_{r2} = 11{,}00$ deň bolan iki izotopyň garyndysyndan ybaratdyr. Eger tebigatdaky boruň göräli atom massasy $A_r = 10{,}811$ deň bolsa, garyndydaky izotoplaryň ω_1 we ω_2 massa ülüşlerini tapmaly.

Çözülişi. Izotopyň massa ülüşleri:

$$\omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \qquad \text{we} \qquad \omega_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \qquad (1)$$

gatnaşyklar arkaly kesgitlenilär. Bu ýerde m_1 we m_2 degişlilikde birinji we ikinji izotopyň massalary.

Garyndynyň molýar massasy

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}} \qquad (2)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

(1)-dan m_1 we m_2 massalary kesgitläp, (2)-de ornuna goýup,

$$\mu = \frac{\mu_1 \mu_2}{\omega_1 \mu_2 + \omega_2 \mu_1} \qquad (3)$$

aňlatmany alarys.

Molýar massanyň göräli atom massa proporsionallygyndan

$$A_r = \frac{A_{r_1} A_{r_2}}{\omega_1 \cdot A_{r_2} + \omega_2 \cdot A_{r_1}} \qquad (4)$$

gatnaşygy ýazyp bileris.

Bu ýerde A_{r_1} we A_{r_2} degişlilikde birinji we ikinji izotopyň göräli atom massalary.

Garyndynyň massa ülüşleriniň $\omega_1 + \omega_2 = 1$ şertinden we (4) gatnaşykdan peýdalanyp, izotoplaryň massa ülüşleri üçin

$$\omega_1 = \frac{A_{r_1} A_{r_2} - A_r A_{r_1}}{A_r \left(A_{r_2} - A_{r_1}\right)}; \qquad \omega_2 = \frac{A_{r_1} A_{r_2} - A_r A_{r_2}}{A_r \left(A_{r_1} - A_{r_2}\right)} \qquad (5)$$

aňlatmany alarys.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\omega_1 = \frac{10{,}013 \cdot 11{,}009 - 10{,}811 \cdot 10{,}013}{10{,}811(11{,}009 - 10{,}013)} = 0{,}184$$

$$\omega_1 = \frac{10{,}013 \cdot 11{,}009 - 10{,}811 \cdot 10{,}009}{10{,}811(11{,}013 - 10{,}009)} = 0{,}816 \quad \text{alarys.}$$

2-nji mesele. Azot ${}^{14}_{7}N$ ýadrosy α bölejigi özüne siňdirip, protony zyňýar. Öwrülişmede emele gelen ýadronyň massalar sanyny we zarýad sanyny tapmaly. Täze emele gelen ýadronyň elementleriniň periodiki ulgamdaky haýsy elemente gabat gelýändigini kesgitlemeli.

Çözülişi. Ýadro öwrülişigi aşakdaky ýaly aňladylýar:

$${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}X + {}^{1}_{1}H$$

Azot ýadrosy α bölejigi özüne siňdirip, täze aralyk ýadro emele getirýär. Aralyk ýadronyň massalar sany 4 birlige, zarýad sany 2 birlige azodyňka görä artýar. Aralyk ýadro az salymdan protony zyňyp, durnukly ýadrony emele getirýär. Täze emele gelen durnukly ýadronyň massalar sany we zarýad sany aralyk ýadronyňkydan bir birlige kemelýär. Netijede, täze emele gelen durnukly ýadronyň massalar sany $A' = A + 4 - 1 = 14 + 4 - 1 = 17$ deň bolýar we zarýad sany $Z' = Z + 2 - 1 = 7 + 2 - 1 = 8$ deň bolar.

Massalar sany 17-ä we zarýad sany 8-e deň bolan ýadro elementleriniň periodik ulgamynda kislorodyň izotopyna gabat gelýär.

3-nji mesele. Radioaktiw radonyň $N_0 = 10^6$ sany atomy $\Delta t = 1$ gije-gündiziň dowamynda dargama sezewar boljak sanyny tapmaly. Radonyň ýarymdargama periody $T_{1/2} = 3{,}82$ gije-gündize deň.

Çözülişi. Radioaktiw izotopynyň kesgitli wagt aralygynda dargan atomlarynyň sany

$$\Delta N = N_0\left(1 - \exp\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\Delta t\right)\right) \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\Delta N = 10\left(1 - \exp\left(-\frac{0{,}693}{3{,}82}\cdot 1\right)\right) = 165000 \quad \text{atom bolar.}$$

4-nji mesele.

Ýoduň $^{131}_{53}I$ radioaktiw izotopynyň ilkinji sekundyň dowamyndaky dargama ähtimallygyny ksegitlemeli. Bu izotopyň ýarymdargama periody $T_{1/2} = 8$ gije-gündize deň.

Çözülişi. Radioaktiw izotopynyň dargama hemişeligi wagt birligindäki dargama ähtimallygyny aňladýar.

$$\lambda = \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \qquad (1)$$

Izotopyň kesgitli wagt aralygyndaky dargama ähtimallygy

$$W = \lambda \cdot \Delta t = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \Delta t$$ (2) formula arkaly tapylýar.

Hasaplama geçirsek, $W = \frac{0{,}693}{8 \cdot 86400} \cdot 1 \approx 10^6$ bolar.

5-nji mesele. Massasy $m = 5 \cdot 10^{-3} g$ deň bolan radonyň başlangyç we $t = 5$ gije-gündizden soňky aktiwliklerini kesgitlemeli. Berlen massadaky ähli atomlary radioaktiw diýip kabul etmeli. Radonyň $^{222}_{86}Ra$ izotopyň ýarymdargama periody $T_{1/2} - 3{,}8$ gije-gündiz.

Çözülişi. 1. Izotopyň başlangyç aktiwligi

$$A_0 = \lambda N_0 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{N_A}{T_{1/2}} \ln 2 \qquad (1)$$

formula arkaly tapylýar. Hasaplama geçirsek,

$$A_0 = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}693}{222 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}8 \cdot 86{,}4 \cdot 10^3} = 2{,}86 \cdot 10^{13} \ Bk \ \text{bolar.}$$

2. Izotopyň t - wagtdan soňky aktiwligi

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = A_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \qquad (2)$$ formula arkaly tapylýar.

Hasaplama geçirsek,

$$A = \frac{2{,}86 \cdot 10^{13}}{2^{5/3} \cdot 8} = \frac{2{,}86}{2{,}49} \cdot 10^{13} = 1{,}15 \cdot 10^{13} \ \text{Bk bolar.}$$

6-njy mesele. Betona gönükdirilen γ-şöhlelenmäniň depgininiň ýarymgowşama galyňlygyny kesgitlemeli. Beton üçin gowşamanyň çyzykly koeffisiýenti $\mu = 0{,}06$ sm^{-1} deň.

Çözülişi. Madda gatlagyndan geçýän γ-şöhlelenmäniň siňdirilmesi fotoeffekt, komptonyň effekti we elektron-pozitron jübütiniň emele gelmek hadysasynyň esasynda ýüze çykýar. Şu hadysalaryň täsirinde γ-şöhlelenmäniň depgini siňdiriji gatlagyň galyňlygyna baglylykda eksponensial kanun boýunça gowşaýar.

$$I = I_0 \exp(-\mu \cdot x) \qquad (1)$$

Şöhlelenmäniň depgininiň ýarymgowşama galyňlygy

$$x_{1/2} = \ln 2 / m \qquad (2)$$ formula arkaly kesgitlenilýär.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{0{,}06} = \frac{0{,}693}{0{,}06} = 11{,}55 \text{ sm}$$ deň bolar.

7-nji mesele. Ekwatorda, deňiz derejesinde kosmiki şöhlelenme zerarly howanyň $V = 1$ sm^3 göwrüminde $\Delta t_1 = 10$ s dowamynda $N = 20$ jübit ion döreýär. Bir ýylyň dowamynda adamyň kabul edýän ekspozisiýa dozasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Adamyň kesgitli wagt aralygynda kabul edýän ekspozisiýa dozasy

$$Y = \dot{Y}\,\Delta t_2 \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär.

Şöhlelenmäniň ekspozisiýa dozasynyň dykyzlygy

$$\dot{Y} = \frac{\Delta q}{\Delta m \cdot \Delta t_1} \qquad (2)$$

formuladan alynýar.

Bir atly zarýadlaryň mukdary,

$$\Delta q = |e|N \qquad (3)$$

deňlikden tapylýar.

Berlen göwrümdäki howanyň massasy

$$\Delta m = \rho V \qquad (4)$$

deňlikden alynýar (ρ - howanyň dykyzlygy).

(2), (3) we (4) aňlatmalardan ululyklaryň bahasyny (1) ornuna goýup,

$$y = \frac{|e|N}{\rho \cdot V \cdot \Delta t_1} \Delta t_2 \qquad (5) \text{ alarys.}$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$y = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 20}{1{,}29 \cdot 10^{-6 \cdot} \cdot 10^{-6}} 3{,}16 \cdot 10^{-7} = 7{,}84 \frac{mkKl}{kg} \quad \text{deň bolar.}$$

8-nji mesele. Uglerod ${}^{14}_{6}C$ - ýadrosynyň massa defektini we baglanyşyk energiýasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. 1. Ýadronyň massa defekti

$$\Delta m = Zm_{{}^{1}_{1}H} + (A - Z)m_n - m_a \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär. Meseläniň şertine görä, $Z = 6$, $A = 14$, $A - Z = 8$ deň. $m_{{}^{1}_{1}H}$, m_n we massalar m.a.b.-däki bahalarynda №10 tablisadan alynýar.

$m_{{}^{1}_{1}H} = 1{,}00783$ m.a.b. , $m_n = 1{,}00867$ m.a.b. , $m_{{}^{14}_{6}C} = 14{,}00324$ m.a.b.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\Delta m = 6.1{,}00783 + 8.1{,}00867 - 14{,}00324 = 0{,}1131 \text{ m.a. b.}$$

alarys

2. Ýadronyň baglanyşyk energiýasy

$E_{bag} = \Delta mc^2$ (2) formula arkaly kesgitlenilýär.

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$E_{bag} = 0{,}1131.931{,}4 = 105{,}34 \ MeW$$ bolar.

9-njy mesele. Geliý ^4_2He ýadrosynyň udel baglanyşyk energiýasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Ýadronyň udel baglanyşyk energiýasy

$$\varepsilon_{ud.bag.} = \frac{E_{bag}}{A} = \frac{c^2}{A}\left[Zm_{^1_1H} + (A - Z)m_n - m_{^1_1H} \right] \qquad (1)$$

formula arkaly kesgitlenilýär. Meseläniň şertine görä, $z = 2$, $A = 4$,

$m_{^1_1H} = 1{,}00783$ m.a.b., $m_n 1{,}00867$ m.a.b., $m_{^4_2H} = 4{,}0026$ m.a.b. San bahalary (1) ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\varepsilon_{ud.bag.} = \frac{931{,}4}{4}(2 \cdot 1600783 + 2 \cdot 1{,}00867 - 4{,}0026) = 7{,}08 \frac{MeW}{nuklon}$$

bolar.

10-nji mesele. Kinetik energiýasy $T_\alpha = 5{,}3 \ MeW$ deň bolan α- bölejik $^9Be\ (\alpha, n)\ ^{12}C$ ýadro öwrülmesini oýandyrýar. Öwrülmede dörän neýtron $T_n = 8{,}5 \ MeW$ kinetik energiýa bilen α- bölejigiň hereketiniň ugruna 90^0 burç boýunça zyňylýar. Ýadro öwrülmesiniň energiýasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Ýadro öwrülmesiniň energiýasyny iki usul bilen kesgitlemek mümkin: 1-nji öwrülmäni önümleriniň kinetik energiýalarynyň jeminden reaksiýany oýandyran bölejigiň kinetik energiýasynyň tapawudy hökmünde, ýagny

$$Q = T_c + T_n - T_\alpha \qquad (1)$$

Bu ýerde ^{12}C - uglerod ýadrosynyň kinetik energiýasy impulsyň saklanma kanunyndan peýdalanyp tapylýar

$$\vec{P}_\alpha = \vec{P}_c + \vec{P}_n \qquad (2)$$

Meseläniň şertine görä,

$$\vec{P}_n \perp \vec{P}_\alpha \quad \text{onda} \quad P_c^2 = P_\alpha^2 + P_n^2 \qquad (3)$$

Bu ýerde P_c, P_α we P_n degişlilikde uglerodyň, α - bölejigiň we neýtronyň impulslary. Impuls bilen kinetik energiýanyň baglanyşygyndan, ýagny $P^2 = 2mT$ peýdalanyp, (3) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$m_c T_c = m_\alpha T_\alpha + m_n T_n \qquad (4)$$

Bu ýerden

$$T_c = \frac{m_\alpha}{m_c} T_\alpha + \frac{m_n}{m_c} T_n \quad (5) \quad \text{alarys.}$$

(5) - den T_c - niň bahasyny (1) -de ornuna goýup,

$$Q = \left(\frac{m_\alpha}{m_c} + 1\right) T_n + \left(\frac{m_\alpha}{m_c} - 1\right) T_\alpha \qquad (6) \quad \text{alarys.}$$

Bölejikleriň massalaryny tablisadan almaly $m_n = 1{,}00867$ m.a.b., $m_\alpha = 4{,}0026$ m.a.b., $m_c = 12{,}0000$ m.a.b.

Ululyklaryň san bahalaryny (6)-da ornuna goýup hasaplasak,

$$Q = -\left(\frac{1{,}00867}{12{,}000} + 1\right) \cdot 8{,}5 + \left(\frac{4{,}0026}{12{,}000} - 1\right) \cdot 5{,}3 = 5{,}7\ MeW$$ bolar.

2-nji usulda bölejikleriň relýatiwistik doly energiýasynyň saklanma kanunyny ulanmak arkaly kesgitlenilýär.

$$E_{Be} + E_{He} = E_c + E_n \qquad (8)$$

Bu ýerde $E = m_0 c^2 + T$ - relýatiwistik doly energiýa; m_0 - bölejigiň dynçlyk massasy. (Ýazgysyny sadalaşdyrmak üçin dynçlyk massanyň indeksindäki nol belgisini ýatda saklap, almak amatly bolýar). Ýadro öwrülmesi oýandyrylmazdan öň ^9Be - ýadrosy dynçlykda bolmagyna görä, ýadro öwrülmesiniň energetik balansynyň deňlemesi

$$m_{Be}c^2 + m_{He}c^2 + T_{He} = m_c c^2 + T_c + m_n c^2 + T_n \qquad (9)$$

görnüşde bolar.

Bu ýerde reaksiýanyň energiýasy

$$Q = T_c + T_n - T_{He} = \left[(m_{Be} + m_{He}) - (m_c + m_n)\right] c^2 \qquad (10)$$

deň bolar.

Formula girýän ýadrolaryň massasyny atomlaryň massalary arkaly aňladyp almaly:

$$m_{Be} - 4m_e + m_{He} - 2m_e - m_c + 6m_e = m_{Be} + m_{He} - m_c \qquad (11)$$

Atom massalarynyň san bahalaryny tablisadan almaly $m_{Be} = 9{,}012119$ m.a.b.; $m_e = 0{,}00055$ m.a.b. elektronyň massasy (11) peýdalanyp, ýadro öwrülmesiniň energiýasy üçin gutarnykly aňlatmany alarys:

$$Q = c^2\left[(m_{Be} + m_{He}) - (m_c + m_n)\right] \qquad (12)$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$Q = 931{,}4\left[(9{,}01219 + 4{,}0026) - (12{,}000 + 1{,}00867\right] = 5{,}7$$

MeW deň bolar.

11-nji mesele. Radioaktiw ^{23}Mg - magniý izotopynyň dynçlykdaky ýadrosy, kinetik energiýasy, $T_e = 0{,}5\ MeW$ deň bolan pozitrony we neýtrinony zyňyp, başga ýadro öwrülýär. Dargamada dörän ýadronyň kinetik enegiýasyny hasaba alman, neýtrinonyň kinetik energiýasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. β^+- dargama aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$^{23}_{12}Mg \rightarrow ^{23}_{11}Na + ^{0}_{1}\beta^+ + ^{0}_{0}\nu$$

Başlangyç ýagdaýda ýadronyň dynçlykda bolandygyny we neýtrinonyň dynçlyk massasynyň ýokdugyny nazarda tutup, energetik balansy üçin aşakdaky aňlatmany alarys:

$$m_{Mg}c^2 = m_{Na}c^2 + m_e c^2 + T_e + T_\nu \qquad (1)$$

Bu ýerden neýtrinonyň kinetik energiýasyny kesgitlesek,

$$T_\nu = c^2(m_{Mg} - m_{Na} - m_e) - T_e \qquad (2)$$

(2) aňlatmadaky ýadrolaryň massalaryny atom massalary arkaly aňladyp alsak,

$$m_{Mg} - 12m_e - (m_{Na} - 11m_e) - m_e = m_{Mg} - m_{Na} - 2m_e \qquad (3)$$

bolar.

(3) -den peýdalanyp, neýtrinonyň kinetik energiýasy üçin deňlemäni alarys:

$$T_\nu = c^2(m_{Mg} - m_{Na} - 2m_e) \qquad (4)$$

Soňky deňlemä giriýän atom massalaryny we elektronyň massasyny tablisadan almaly.

$m_{Mg} = 22{,}99414$ m.a.b., $m_{Na} = 22{,}98977$ m.a.b.,

$m_e = 0{,}00055$ m.a.b.

Ululyklaryň san bahalaryny (4) -de ornuna goýup hasaplasak,

$$T_\nu = 931{,}4$$

$$(22{,}99414 - 22{,}98977 - 2.0{,}00055) - 0{,}5 = 2{,}55\ MeW$$ deň bolar.

12-nji mesele. Kinetik energiýasy $T = 1{,}02\ MeW$ pozitron dynçlykdaky elektrona urlup, annigilýasiýa netijesinde özara deň energiýaly iki sany gamma-foton döreýär. Bu fotonlaryň uçup giden ugurlarynyň arasyndaky burçy tapmaly.

Çözülişi. Elektron-pozitron annigilýasiýasy

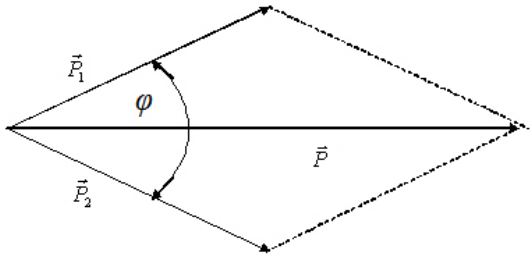
$$e^- + e^+ \to \gamma + \gamma$$ görnüşde aňladylýar.

Meseläniň şertine görä, impulslaryň wektor diagrammasy 10-njy suratdaky görnüşde bolar.

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \qquad (1)$$

$$P_1 = P_2 = \frac{\varepsilon}{c} \qquad (2)$$

Bu ýerde P - pozitronyň impulsy; $P_1 = P_2$ - fotonyň impulsy; ε - fotonyň energiýasy.



5.2-nji surat.

5.2-nji suratdaky diagrammadan peýdalanyp, pozitronyň impulsyny kesgitlesek,

$$P = 2P_1 cos\frac{\varphi}{2} = \frac{2\varepsilon}{c} cos\frac{\varphi}{2} \qquad (3)$$ deň bolar.

Energiýanyň saklanma kanunyna görä, bölejikleriň annigilýasiýasyndan öňki we soňky doly energiýalaryny deňeşdirip,

$$T + 2m_0c^2 = 2\varepsilon \qquad (4)$$ aňlatmany alarys.

Bu ýerde T - pozitronyň kinetik energiýasy; $m_0c^2 = 0{,}51\ MeW$ - pozitronyň (elektronyň) dynçlyk energiýasy. (4)-den 2ε-iň bahasyny (3)-de ornuna goýup alsak,

$$P = \frac{T + 2m_0c^2}{c}\cos\frac{\varphi}{2} \qquad (5)$$ deň bolar.

Elektron-pozitron çaknyşma prosesi üçin inwariant aňlatmadan pozitronyň impulsyny kesgitlesek,

$$P = \frac{1}{c}\sqrt{(T + m_0c^2)^2 - (m_0c^2)^2} \qquad (6)$$ deň bolar.

(5) we (6) deňlemeleri özara deňeşdirip, fotonlaryň uçup giden ugurlarynyň arasyndaky burç üçin aňlatmany alarys.

$$\cos\frac{\varphi}{2}=\frac{1}{\sqrt{1+\frac{2m_0c^2}{T}}} \qquad (7)$$

Ululyklaryň san bahalaryny ornuna goýup, hasaplama geçirsek,

$$\varphi=2\arccos\left(\frac{1}{\sqrt{1+\frac{2\cdot 0{,}51}{1{,}02}}}\right)=2\arccos(0{,}707)=2\cdot 45^0=90^0.$$

13-nji mesele. Tolkun uzynlyklary $\lambda=1{,}65\ pm$ bolan iki sany gamma-foton birleşip, elektron-pozitron jübütini döredýär. Eger elektronyň we pozitronyň energiýalary özara deň bolsa, olaryň kinetik energiýasyny tapmaly.

Çözülişi. Energiýanyň saklanma kanunynyň esasynda

$$\varepsilon_1+\varepsilon_2=E_3+E_4 \qquad (1) \quad \text{alarys.}$$

Bu ýerde $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon$ -bir fotonyň energiýasy; $E_3=E_4=E=T_e+m_0c^2$ - elektronyň (pozitronyň) doly energiýasy. Onda (1) deňlemäni aşakdaky ýaly görnüşde ýazmak bolar:

$$2\varepsilon=2\left(T_e+m_0c^2\right) \qquad (2)$$

Bu ýerden elektronyň (pozitronyň) kinetik energiýasyny kesgitlesek,

$$T = \varepsilon - m_0 c^2 \quad \text{ýa-da} \quad T = \frac{hc}{\lambda} - m_0 c^2 \qquad (3) \quad \text{deň bolar.}$$

Bu ýerde $\varepsilon = hc/\lambda$ - fotonyň energiýasy; $h = 4{,}14 \cdot 10^{-21}\ MeW \cdot s$ - Plankyň hemişeligi; $C = 3 \cdot 10^8\ m/s$ ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi; $m_0 c^2 = 0{,}51\ MeW$ elektronyň (pozitronyň) dynçlyk energiýasy.

Ululyklaryň san bahalaryny ornunda goýup, hasaplama geçirsek,

$$T_e = \frac{4{,}14 \cdot 10^{-21} \cdot 3 \cdot 10^8}{1{,}65 \cdot 10^{12}} - 0{,}51 = 0{,}24\ MeW \quad \text{deň bolar.}$$

Meseleler

Atom ýadrosynyň gurluşy

5.1. Massa ülüşleri degişlilikde $\omega_1 = 0{,}754$ we $\omega_2 = 0{,}246$ deň bolan iki izotopyň garyndysyndan ybarat hloruň göräli atom massasyny kesgitlemeli. Garyndynyň düzümindäki izotoplaryň göräli atom massalary degişlilikde $A_{r_1} = 34{,}966$ we $A_{r_2} = 36{,}966$ deň.

5.2. Deýteriý bilen baýlaşdyrylan wodorodyň göräli atom massasy $A_r = 1{,}122$. Garyndynyň düzümindäki protonyň we deýteriniň massa ülüşlerini kesgitlemeli. Protonyň we deýteriniň göräli atom massalary degişlilikde $A_{r_1} = 1{,}00873$ we $A_{r_2} = 2{,}0141$ deň.

5.3. Uran ^{238}U ýadrosynyň radiusynyň wodorod ýadrosynyň radiusyndan näçe esse tapawutlanýandygyny kesgitlemeli.

5.4. Berilliý atomynyň massasy $m_{Be} = 10{,}01219\ m.a.b.$ deň. Onuň ýadrosynyň massasyny tapmaly.

5.5. Berlen ýadrolardaky nuklonlaryň, protonlaryň we neýtronlaryň sanyny tapmaly. 1. ${}^{3}_{2}He$. 2. ${}^{10}_{5}B$. 3. ${}^{104}_{47}Ag$. 4. ${}^{238}_{92}U$.

5.6. Wodorod izotoplarynyň belgilerini we atlaryny ýazmaly.

5.7. Ýadrodaky protonlar neýtronlara we neýtronlar protonlara çalşyrylanda zerkal ýadrolar alynýar. Eger bu ýagdaý ${}^{3}_{2}He, {}^{9}_{4}Be$, ${}^{15}_{8}O$ ýadrolarda amala aşyrylsa, haýsy elementleriň ýadrolary alnar?

5.8. Berlen ýadrolaryň diametrlerini kesgitlemeli: ${}^{27}_{3}Li$, ${}^{27}_{13}Al$, ${}^{64}_{29}Cu$, ${}^{125}_{50}Sn$, ${}^{216}_{84}Po$.

5.9. Boruň ${}^{10}_{5}B$ iki ýadrosy biri-birine öz ýadrosynyň diametrine deň bolan aralyga çenli ýakynlaşdyrylanda ýüze çykýan grawitasiýa çekişme we elektrik itekleşme güýçlerini hem-de bu güýçleriň gatnaşygyny kesgitlemeli. Ýadronyň massasy we zarýady onuň göwrümi boýunça deňölçegli paýlanan diýip kabul etmeli.

5.10. Uglerod ${}^{14}_{6}C$ izotopynyň bir sany neýtrony protona öwrülende (β^{+}-dargama) haýsy elementiň ýadrosy emele geler?

5.11. Sink ${}^{62}_{30}Zn$ ýadrosy K - gatlakdan bir elektrony tutup, özünden pozitrony zyňýar. Bu öwrülişikde haýsy elementiň ýadrosy emele geler?

5.12. Berilliý ýadrosy ${}^{7}_{4}Be$ K - gatlakdan bir elektrony tutup, özüne siňdirýär. Bu ýadro öwrülişiginde haýsy elementiň ýadrosy döreýär?

5.13. Plutoniý ýadrosy ${}^{238}_{94}Pu$ yzygider 6 gezek α - dargama sezewar bolup, gurşunyň ${}^{214}_{82}Pb$ izotopyna öwrülýär. Bu ýadro öwrülişiginiň yzygiderliligini ýazmaly.

Radioaktiwlik

5.14. Radiniň ${}^{219}_{88}Ra$ we ${}^{226}_{88}Ra$ izotoplaryň dargama hemişeliklerini kesgitlemeli.

5.15. Toriniň ${}^{229}_{20}Th$ izotopynyň bir ýylyň dowamynda başlangyç atomlarynyň sanynyň haýsy böleginiň dargajakdygyny tapmaly.

5.16. Bir ýylyň dowamynda radioaktiw izotopynyň başlangyç mukdary 3 esse azalan bolsa, iki ýylda näçe esse azalar?

5.17. Radioaktiw izotopynyň ýarym dargama periody $T_{1/2} = 24$ sagada deň. Onuň ýadrolarynyň başlangyç sanynyň 1/4 böleginiň dargajak wagtyny kesgitlemeli.

5.18. Radioaktiw nuklidiniň ýarymdargama periody $T_{1/2} = 1$ sagada deň. Onuň orta ýaşaýyş wagtyny kesgitlemeli.

5.19. Izotopyň aktiwligi $t = 24$ sagatda $A_1 = 118$ GBk-den $A_2 = 7{,}4$ GBk-e çenli azalan bolsa, onuň ýarymdargama periody näçe?

5.20. Agaçdan ýasalan gadymy zatlaryň ýaşyny kesgitlemek üçin olardaky radioaktiw izotopyň udel aktiwligi

peýdalanylýar. Gadymy agaç sokynyň düzümindäki uglerod ${}^{14}_{6}C$ izotopynyň udel aktiwligi täze kesilen agajyň udel aktiwliginiň 3/5 bölegine deň bolsa, sokynyň ýaşy näçe?

Radioaktiw ${}^{14}_{6}C$ izotopynyň ýarymdargama periody $T_{1/2} = 5570$ ýyl.

5.21. Radioaktiw nusganyň aktiwligi 250 esse kemelýänçä geçen wagt onuň ýarymdargama periodyndan näçe esse uly?

5.22. Massasy $m_1 = 1$g radiý $\left({}^{226}_{88}Ra\right)$ bilen radioaktiw deňagramlylykda bolan radonyň $\left({}^{222}_{86}Rn\right)$ massasyny tapmaly.

5.23. Aktiwligi m_1g massaly stronsiniň $\left({}^{96}_{38}Sr\right)$ aktiwligine deň bolan radonyň $\left({}^{222}_{86}Rn\right)$ massasyny tapmaly.

Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň mukdar ölçegleriniň elementleri

5.24. Energiýasy $\varepsilon = 0{,}5$ MeW bolan gamma-fotonlaryň akymynyň ince dessesi betona gönükdirilen. Gamma-şöhlelenmäniň depgininiň ýarym gowşama galyňlygyny tapmaly.

5.25. Şöhlelendirýän gamma-fotonlaryň energiýasy $\varepsilon = 1{,}5$ MeW deň bolan çeşme suwuň içinde ýerleşdirilen. Suwdan çykanda gamma-şöhlelenmäniň depgini $K = 100$ esse kiçelen bolsa, çeşmäniň näçe çuňlukda ýerleşdirilendigini kesgitlemeli.

5.26. Gamma-şöhlelenmäniň ince dessesi $x = 5$ sm galyňlykly gurşun gatlagyndan geçende, onuň depgini $K = 14$

esse kiçelipdir. Gamma-fotonlaryň energiýasyny we ýarymgowşama galyňlygyny kesgitlemeli.

5.27. Çoýnuň käbir galyňlygy gamma-şöhlelenmäniň depginini $K_1 = 9$ esse kiçeldýär. Çoýnuň galyňlygyna deň bolan gurşun gatlagy bu şöhlelenmäniň depginini näçe esse kiçelder?

5.28. Ekspozisiýa dozasy $y = 258\,mkKl/kg$ deň bolan rentgen şöhlelenmesiniň täsirinde kadaly şertdäki howanyň haýsy bölegi ionlaşar?

5.29. Kosmiki şöhleleriň täsirinde deňiz derejesindäki howanyň $V = 1\,\text{sm}^3$ göwrüminde $\Delta t_1 = 60\,\text{s}$ dowamynda $N = 120$ jübit ion döreýär. Bir gije-gündiziň dowamynda adamyň kabul edýän şöhlelenmesiniň ekspozisiýa dozasyny kesgitlemeli.

5.30. Gamma-şöhlelenmäniň $(\varepsilon = 2MeW)$ çeşmesinden käbir aralykda ýerleşen nokatda döreýän ekspozisiýa dozasynyň kuwwaty $\dot{Y} = 0{,}86 \cdot 10^{-3}\ A/kg$. Ekspozisiýa dozasynyň kuwwatyny rugsat edilýän $\dot{Y} = 0{,}86 \cdot 10^{-9}\ A/kg$ derejä getirmek üçin zerur bolan gurşun gatlagynyň galyňlygyny tapmaly. (5.1-nji surat)

5.31. Gamma-şöhlelenmäniň nokatlanç çeşmesinden $r_1 = 0{,}4m$ aralykda ýerleşen nokatda döreýän ekspozisiýa dozasynyň kuwwaty $y = 4{,}3 \cdot 10^{-9}\,\text{A}/kg$. Eger rugsat edilýän ekspozisiýa dozasy $y = 5{,}6mkKl/kg$ deň bolsa, çeşmeden $r_2 = 6m$ aralykda adam näçe wagtyň dowamynda bolup biler? Howanyň siňdirýän gamma-şöhlelenmesini hasaba almaly däl.

Atom ýadrolarynyň massa ýetmezi we baglanyşyk energiýasy

5.32. ${}_{1}^{3}H$ we ${}_{2}^{3}H$ - ýadrolaryň baglanyşyk energiýalaryny tapmaly.

5.33. ${}_{13}^{27}Al$ ýadronyň baglanyşyk energiýasyny tapmaly.

5.34. ${}_{8}^{16}O$ ýadronyň baglanyşyk energiýasyny tapmaly.

5.35. Agyr wodorodyň massa ýetmezini we baglanyşyk energiýasyny kesgitlemeli.

5.36. Erkin protonlardan we neýtronlardan ${}_{2}^{4}He$ - geliý ýadrosynyň $m = 1\,\text{g}$ massasy alnanda bölünip çykýan energiýany tapmaly.

5.37. $\Delta m = 3\,\text{mg}$ massa ýetmezi näçe elektron –Wolt energiýa döreder?

5.38. Uglerod $\left({}_{6}^{12}C\right)$ ýadrosyny özara deň üç bölege bölmek üçin zerur bolan energiýany kesgitlemeli.

5.39. Azot $\left({}_{7}N\right)$ ýadrosynyň bir neýtronyny goparmak üçin näçe energiýanyň zerurdygyny kesgitlemeli.

5.40. Kislorodyň $\left({}_{8}^{18}O\right)$, ftoruň $\left({}_{9}^{19}F\right)$ ýadrolarynyň baglanyşyk energiýalary degişlilikde $E_1 = 139{,}8 MeW$ we $E_2 = 147{,}8 MeW$. Ftoruň ýadrosyndan bir protony goparyp aýyrmak üçin zerur bolan energiýany tapmaly.

5.41. Ýadrosy üç protondan we iki neýtrondan ybarat bolan atomyň massasyny kesgitlemeli. Ýadronyň baglanyşyk energiýasy $E = 26{,}3\ MeW$ deň.

Ýadro öwrülmeleri

5.42. Berlen yadro öwrülmesinde

$$^{14}_{6}C + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + X$$

näbelli bölejigiň zarýad sanyny we massalar sanyny tapyp, belgisini kesgitlemeli.

5.43. Berlen ýadro öwrülmeleriniň energiýalaryny kesgitlemeli.

$$^{9}Be(d,n)^{10}B, \quad ^{6}Li(d,\alpha)^{4}He, \quad ^{44}Ca(P,d)^{41}K.$$

5.44. $^{9}Be(n,\gamma)^{10}Be$ ýadro öwrülmesiniň energiýasyny kesgitlemeli. ^{9}Be we ^{10}Be ýadrolaryň baglanyşyk energiýalary degişlilikde $E_1 = 58{,}16\ MeW$ we $E_2 = 64{,}98\ MeW$.

5.45. $^{14}C(d,\alpha)^{11}B$ ýadro öwrülmesiniň netijesinde täze emele gelen ýadronyň we bölejigiň kinetik energiýalarynyň jemini tapmaly. Başlangyç ýagdaýda ^{14}C - ýadro dynçlykda we deýteriniň kinetik energiýasy $T = 1{,}5\ MeW$ deň diýip kabul etmeli.

5.46. Uran $^{235}_{92}U$ izotopynyň ýadrosy neýtrony özüne siňdirip, iki bölege bölünýär we iki sany neýtrony boşadýar. Onuň böleklerinin biri $^{140}_{54}Xe$ deň bolsa, beýlekisiniň zarýad sanyny we massalar sanyny tapyp, belgisini kesgitlemeli.

5.47. Uran $^{235}_{92}U$ izotopynyň bir ýadrosy bölünende $Q = 200\ MeW$ deň bolan energiýa boşaýar. Bu energiýa onuň dynçlyk energiýasynyň haýsy bölegine deň?

5.48. Massasy $m = 1g$ deň bolan uranyň $({}^{235}_{92}U)$ ähli ýadrolary darganda, bölünip çykýan energiýany tapmaly.

5.49. Poloniý ${}^{210}_{84}P$- ýadrosynyň α- dargama energiýasyny kesgitlemeli.

5.50. Uglerod ${}^{14}_{6}C$ ýadrosynyň β^-- dargama energiýasyny kesgitlemeli.

5.51. Uglerod ${}^{12}_{6}C$ ýadrosynyň β^+- dargama energiýasyny kesgitlemeli.

Elementar bölejikler

5.52. Neýtron özünden elektrony we antineýtrinony zyňyp, protona öwrülýär. Öwrülme netijesinde dörän bölejikleriň kinetik energiýalarynyň jemini tapmaly. Neýtronyň kinetik energiýasyny we antineýtrinonyň dynçlyk massasyny hasaba almaly däl.

5.53. Agyr ýadronyň täsir meýdanyndaky energiýasy $\varepsilon = 1{,}5\ MeW$ deň bolan gamma-foton elektron-pozitron jübütine öwrülýär. Emele gelen bölejikleriň kinetik energiýalaryny özara deň hasap edip, elektronyň we pozitronyň kinetik energiýalaryny kesgitlemeli.

5.54. Kinetik energiýalary $T_1 = T_2 = 0{,}49\ MeW$ deň bolan elektron bilen pozitron çaknyşyp, annigilýasiýa netijesinde iki sany özara deň gamma-fotona öwrülýär. Fotonyň energiýasyny we tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.

5.55. Dynçlyk massasy $m_0 = 0{,}14526$ m.a.b. deň bolan π^0- mezon dargama zerarly iki sany gamma-fotona öwrülýär. Fotonlaryň energiýasyny tapmaly. π^0- mezonyň kinetik energiýasyny we impulsyny hasaba almaly däl.

5.56. Şol bir kinetik energiýa eýe bolan $(T = 240\ keW)$ elektron bilen pozitron çaknyşyp, annigilýasiýa netijesinde özara deň iki sany gamma-fotona öwrülýär. Fotonlaryň impulsyny tapmaly.

5.57. Kosmiki şöhleleriň arasynda gabat gelýän energiýasy $\varepsilon = 3\ GeW$ bolan mýuonyň ýaşaýyş wagtynyň dowamynda geçýän aralygyny tapmaly. Mýuonyň dynçlyk energiýasy $E_0 = 100\ MeW$ we orta ýaşaýyş wagty $\tau = 2{,}2\ mks$ deň.

5.58. Dynçlykdaky pi-nol-mezon iki sany özara deň gamma-fotona dargaýar. Pi-nol-mezonyň dynçlyk massasy $m_0 = 264{,}1\ m_e$ (m_e-elektronyň dynçlyk massasy) deň diýip kabul edip, gamma-fotonyň energiýasyny tapmaly.

5.59. Dynçlyk massasy $m_0 = 974\ m_e$ bolan (m_e-elektronyň dynçlyk massasy) ka-nol-mezon aşakdaky görnüşde dargaýar:

$$K^0 \to \pi^+ + \pi^-$$

Dargamada dörän pionlaryň dynçlyk massalaryny kesgitlemeli. Dargama pursatyna çenli kaon dynçlykda we emele gelen pionlaryň relýatiwistik massalaryny dynçlyk massalaryndan 1,783 esse uly diýip kabul etmeli.

5.60. Dynçlykdaky ka-plýus-mezon aşakdaky görnüşde dargaýar:

$$K^+ \to \pi^+ + \pi^0$$

(π^+ we π^-)-mezonlaryň massalarynyň tapawudyny hasaba alman energiýasyny kesgitlemeli. Kaonyň dynçlyk massasy elektronyň dynçlyk massasyndan 966,2 esse uly.

5.61. Käbir kinetik energiýa eýe bolan pi-nol-mezon aşakdaky görnüşde dargaýar:

$$\pi^0 \to \gamma + \gamma$$

Emele gelen gamma-fotonlaryň energiýalary degişlilikde ε_1 we ε_2 deň bolsa, olaryň uçup giden ugurlarynyň arasyndaky burçy tapmaly. π^0- mezonyň dynçlyk massasy m_0 diýip kabul etmeli.

MESELELERIŇ JOGAPLARY WE ÇÖZÜLIŞLERI

1.1. $0{,}28\ aJ$; $0{,}361\ aJ$; $0{,}497\ aJ$; $0{,}02\ aJ$.

1.2. $\nu = \dfrac{\varepsilon}{h} = 0{,}05 \cdot 10^{-14}\, s^{-1}$; $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^{-7}\, m$.

1.3. $\lambda = 12{,}4\, fm$.

1.4. $\lambda = 2\ mkm$, infragyzyl.

1.5. $5{,}52 \cdot 10^{-36}\, kg$; $9{,}6 \cdot 10^{-31}\, kg$.

1.6. $\lambda = 1{,}33\, pm$.

1.7. $P = \dfrac{E}{c} = 5{,}33 \cdot 10^{22}\, kg\ m/s$.

1.8. $2{,}2 \cdot 10^{-32}\, kg$; $1{,}99\, fm$; $6{,}625 \cdot 10^{-24}\, kg\ m/s$; $99{,}4\, fJ$; $3{,}31 \cdot 10^{-22}\, kg\ m/s$.

1.9. $\lambda = 73\, pm$.

1.10. $2{,}42\, pm$; $1{,}32\, fm$.

1.11. $A = 2{,}49\ eW$.

1.12. $235 nm$; $262 nm$; $276 nm$; $305 nm$; $631 nm$.

1.13. $\upsilon_{in\ uly} = \sqrt{\dfrac{2(hc - A\lambda)}{m\lambda}} = 840 \dfrac{km}{s}$.

1.14. $\lambda = 213 nm$.

1.15. $6{,}2\ eW$.

1.16. fotoefekt ýüze çykmaýar, sebäbi fotonyň energiýsy $(\varepsilon = 4{,}1\ eW)$ elektronyň çykyş işinden $(A = 4{,}7\ eW)$ kiçi.

1.17. $A = 2{,}3\ eW$.

1.18. $A_2 = A_1 + e(U_1 - U_2) = 4\ eW$.

1.19. $\beta = 0{,}83$; $\vartheta = \beta \cdot c = 2{,}49 Mm/s$.

1.20. $\varepsilon = 1{,}59\ MeW$.

1.21. $16{,}6\ mkPa$; $23{,}1\ mkPa$.

1.22. $37{,}5\ MWt/m^2$.

1.23. $P = \dfrac{N(1+\rho)}{c \cdot s} = 54\ mkPa$.

1.24. $P = I\dfrac{(1+\rho)}{c} nh \dfrac{(1+\rho)}{\lambda \cdot c} = 2{,}25\ mkPa$.

1.25. $P = \dfrac{N(1+\rho)}{4\pi \cdot c \cdot r^2 = 26{,}6} nPa$.

1.26. $n_1 = 9{,}05 \cdot 10^{19}$ foton.

1.27. $10\ Wt/m^2$; $667\ nPa$.

1.28. $P = 28{,}6\ mkPa$.

1.29. $4{,}15 \cdot 10^{18}$; $3nN$.

1.30. $n_0 = \dfrac{P\lambda}{(1+\rho)hc} = 1{,}91 \cdot 10^{13} m^{-3}$; $n_1 = n_0 \cdot C = 5{,}73 \cdot 10^{21} m^{-2} s^{-1}$.

1.31. $648\ K$.

1.32. $I\ kK$

1.33. 4%.

1.34. $5{,}65\ kJ$.

1.35. $E_{(T)} = 5{,}88\ kJ/m^2 s$; $W = E_{(T)} \cdot s \cdot t = 1{,}761{,}76\ kJ$.

1.36. $1{,}19$.

1.37. $0{,}953$.

1.38. $10\ mkm$.

1.39. $3{,}8\ kK$.

1.40. 81 esse we 243 esse kiçelýär.

1.41. $\Delta\lambda_{in\ uly} = 4{,}84\ pm$; $\Delta\lambda_{in\ uly} = 2{,}64\ fm$.

1.42. 120^0 ýa-da 240^0.

1.43. $\Delta\lambda = 1{,}32\ fm$.

1.44. $0{,}224\ MeW$; $0{,}176\ MeW$.

1.45. $\theta = 60^0 40^1$.

1.46. $26{,}7\ pm$.

1.47. $\lambda = 2{,}4\ pm$.

1.48. $\alpha + \theta + \varphi = 90^0$.

1.49. $2{,}43\ pm$; $1{,}6 \cdot 10^{-23}\ kg\ m/s$.

1.50. $41{,}7\ keW$.

xxx

2.1. $727\ pm$; $0{,}396\ pm$.

2.2. $\lambda = \dfrac{h}{R|e|B} = 0{,}197\ pm$.

2.3. $150\ kW$.

2.4. $39\ pm$.

2.5. $1{,}67 \cdot 10^{-27}\ kg$.

2.6. $\lambda_B = \dfrac{hc}{\sqrt{T_k(T_k + 2m_0c^2)}} = 2{,}86\ pm$.

2.7. $\lambda_B = \dfrac{h}{\sqrt{3kmT}} = 73\ pm$; $143\ pm$; $28\ pm$.

2.8. $T_k = \dfrac{h^2}{2m\lambda}$; $150\ eW$; $2{,}58\ meW$; $16{,}4\ peW$.

2.9. $\lambda_B = \dfrac{\hbar c}{\sqrt{eU(eU + 2m_0c^2)}} = 1{,}4\ pm$.

2.10. $T_k = 0{,}212\ MeW$.

2.11. $\Delta x = \dfrac{\hbar}{m\Delta\upsilon_x} = 1{,}15 \cdot 10^{-5} m$.

2.12. $\Delta x \geq \dfrac{\hbar}{\sqrt{2kmT}} \geq 1{,}7 \cdot 10^{-11} m$.

2.13. $\dfrac{\Delta\upsilon}{\upsilon} = 10^{-4}$.

2.14. $\dfrac{\Delta x}{\lambda_B} = 1{,}6$ esse.

2.15. $\dfrac{\Delta P}{P} = 16\%$.

2.16. $\Delta E = \dfrac{2\hbar^2}{md^2} = 1{,}67\ eW$.

2.17. $\Delta t = \dfrac{\hbar}{\Delta E} = 10^{-7} s$.

2.18. $\Delta E_{in\ kici} = \dfrac{2\hbar^2}{ml^2} = 15\ eW$ **.**

2.19. $l = 2{,}9\ fm$.

2.20. $\Delta P \geq \dfrac{h}{e/2}$; $P \geq \Delta P$; $P = \dfrac{1}{c\sqrt{T \cdot (T + 2E_0)}}$;

$$T_k =>> E_0;\ \ P = \Delta P = \frac{T}{c};\ \ T_{in\ kici} = \frac{2hc}{l} = 80\ meW .$$

Bu energiýa ýadrodaky her bir nuklona düşýän (10 MeW) energiýadan has uly, şoňa görä, ýadronyň içinde elektron bolup bilmez.

2.21. $i\hbar \dfrac{\partial\varphi}{\partial t} = -\dfrac{\hbar^2}{2m} \dfrac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}$ **.**

2.22. $\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}\right)\psi = 0$.

2.23. $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{\beta x^2}{2}\right)\psi = 0$.

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

2.25. $A = \sqrt{\frac{2}{e}}$.

2.26. $\frac{\Delta E_{(n+1),n}}{E_n} = \frac{\Delta E_{4,3}}{E_3} = 0{,}78$.

2.27. $W = 0{,}195$.

2.28. $W = 0{,}091$.

2.29. $D = 0{,}1$.

2.30. $U - E = 0{,}454\ eW$.

xxx

3.1. $r_3 = 47{,}7 \cdot 10^{-11} m$; $r_4 = 84{,}8 \cdot 10^{-11} m$.

3.2. $\upsilon_2 = 1{,}09 \cdot 10^6 m/s$; $f_2 = 82{,}2 \cdot 10^{14}\ s^{-1}$.

3.3. $\prod = -27{,}2\ eW$; $T = 13{,}6\ eW$; $E = -13{,}6\ eW$.

3.4. $n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 \hbar \vartheta_n} = 3$.

3.5. $F_1 = 82\ nN$; $E_1 = 512{,}6\ GW/m$; $F_2 = 5{,}13\ nN$; $E_2 = 32\ GW/m$.

3.6. $a_1 = \dfrac{\pi m e^6}{4\varepsilon_0^3 \hbar^4} = 9 \cdot 10^{22}\ m/s^2$;

$a_2 = \dfrac{\pi m e^2}{4\varepsilon_0^3 \hbar^4} = 0{,}56 \cdot 10^{22}\ m/s^2$.

3.7. $\varepsilon = 1{,}89\ eW$.

3.8. $\varepsilon_{iň\ kici} = 1{,}89\ eW$; $\varepsilon_{iň\ uly} = 3{,}14\ eW$.

3.9. $\lambda = 1{,}28\ mkm$.

3.10. $\lambda_1 = 1{,}21 \cdot 10^{-7}\ m$; $\lambda_2 = 1{,}02 \cdot 10^{-7}\ m$; $\lambda_3 = 0{,}97 \cdot 10^{-7}\ m$.

3.11. $121\ nm$; $102\ nm$; $97\ nm$; $654\ nm$; $485\ nm$; $1870\ nm$.

3.12. $E_i = 13{,}6\ eW$; $\varphi_1 = 13{,}6\ W$.

3.13. $\varphi_1 = 10{,}2\ W$.

3.14. $\lambda = 30{,}3\ nm$.

3.15. $E_i = 54{,}4\ eW$; $\varphi_i = 54{,}4\ W$; $E_i = 122{,}4\ eW$; $\varphi_i = 0{,}122\ kW$.

3.16. $r_4 = 84{,}8\ pm$.

3.17. $\lambda_{iň\ kici} \dfrac{ch}{eU} = 20{,}7 \cdot 10^{-12}\ m$.

3.18. $\upsilon = \sqrt{\dfrac{2hc}{m_0 \lambda_{iň\ kici}}} = 14{,}8\ Mm/s$.

3.19. $\lambda_{iň\ kici} = 4{,}34\ pm$.

3.20. $\lambda_{iň\ kici} = 19{,}4\ pm$.

3.21. $\lambda_{iň\ kici} = 0{,}1\ nm$.

3.22. $Z = 42$ -molibden.

3.23. $8\ kW$ **.**

3.24. $\varepsilon = 8{,}88\ keW$ **.**

3.25. $194\ pm$**;** $56{,}3\ pm$**;** $72\ pm$**;** $23{,}4\ pm$**;** $21{,}4\ pm$**;** $19\ pm.$

3.26. $\varepsilon_{k\alpha} = 5{,}9\ keW$ **.**

3.27. $dW = \dfrac{4}{a^3} r^2 \exp\left(-\dfrac{2r}{a}\right)$**.**

3.28. $0{,}76$**;** $5{,}24$**.**

3.29. 0**;** $1{,}5 \cdot 10^{-34}\ J.$

3.30. $\sqrt{12\hbar}$**;** $3 \cdot \hbar$**.**

3.31. $\mu_\alpha = \mu_\beta \sqrt{l(l+1)} = 2{,}27 \cdot 10^{-23}\ J/Tl.$

3.32. $L_s = \hbar\sqrt{s(s+1)} = 0{,}91 \cdot 10^{-34}\ Js$**;** $L_{s,z} = \hbar m_s = 0{,}525 \cdot 10^{-34}\ Js.$

3.33. $\mu_s = 1{,}6 \cdot 10^{-23}\ J/Tl$**;** $\mu_{s,z} = 0{,}927 \cdot 10^{-23}\ J/Tl.$

3.34. $Z = 82$ elektron.

3.35. $1s^2\ 2s^2\ p^1$**;** $1s^2\ 2s^2\ p^2$**;** $1s^2\ 2s^2\ p^6\ 3s^1.$

xxx

4.1. $825\ J/kg\ K$**;** $675\ J/kg\ K.$

4.2. $\Delta U = 1{,}7\ kJ.$

4.3. $36\ J/mol.$

4.4. $\theta_E = 165\ K.$

4.5. $\theta_E = \dfrac{h\nu}{k}$**;** $\nu = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{\beta}{m}}$**;** $\beta = 180\ kg/s^2.$

4.6. $(U_\mu)_E = 4\ kJ/mol$**;** $(U_\mu)_D = 3\ kJ/mol.$

4.7. $\frac{(C_m)_1}{(C_m)_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$; $\left(\frac{\theta''_D}{\theta'_D}\right)^3 = 1{,}4.$

4.8. $C_\mu = \frac{12}{5}\pi^4 R\left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 = 21{,}3 \quad J/mol\ K.$

4.9. $\omega_{iň\ uly} = 2{,}36 \cdot 10^{13} s^{-1}.$

4.10. $\varepsilon = k\theta_D = 3{,}45 \cdot 10^{-21}\ J.$

4.11. $P = 10^{-23}\ N \cdot s.$

4.12. $\upsilon = 1{,}5\ km/s.$

4.13. $\lambda = 4{,}8\ nm.$

4.14. $n = 12{,}8 \cdot 10^{27}\ m^{-3}.$

4.15. $\frac{\rho_2\mu_1}{\rho_1\mu_2}\sqrt{\left(\frac{E_{f_1}}{E_{f_2}}\right)^3} = 3$ esse.

4.16. $\upsilon_{iň\ uly} = \sqrt{\frac{2E_{f_1}}{m}} = 1{,}32\ Mm/s.$

4.17. $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\left(\frac{E_{f_1}}{E_{f_2}}\right)^3} = 5{,}42.$

4.18. $N_э = n_0 V = \frac{\sqrt{(2mE_f)^3}}{3\pi^2\hbar^2}V$; $N_a = \frac{\rho V N_A}{\mu}$.

4.19. $E_{orta} = \frac{3}{5}E = 0{,}14\ eW$; $\frac{N_э}{N_a} = \frac{\mu\sqrt{(2mE_f)^3}}{3\pi^2\hbar^2\rho N_A} = 1.$

4.20. $E_f = \frac{m\upsilon_f^2}{2}$; $\upsilon_f = \frac{\sqrt{h^3(3\pi^2 n)^{2/3}}}{m} = 1{,}1\ Mm/s.$

4.21. $E_{orta} = \frac{3}{5} E_f = 4{,}25\ eW.$

4.22. 1,83 esse.

4.23. 7 esse.

4.24. $\upsilon_e = \frac{I}{n \cdot e \cdot s} = 3{,}7 \cdot 10^{-6}\ m/s.$

4.25. $\upsilon_e = bE = \frac{E}{n \cdot e \cdot \rho} = 1{,}34\ m/s.$

4.26. $n = \frac{1}{\rho \cdot e(b_n + b_\rho)} = 2{,}37 \cdot 10^{11}\ m^{-3}.$

4.27. $\rho_p = \frac{1}{n_p \cdot e \cdot b_p} = 0{,}12\ Om\ m$ **;** $\rho_n = \frac{1}{n_n \cdot e \cdot b_n} = 0{,}05\ Om\ m$ **.**

4.28. $\lambda E = \frac{hc}{\lambda}$ **;** $\lambda = 2{,}07 \cdot 10^{-7}\ m.$

4.29. 2,45 esse.

4.30. 3,67 esse.

xxx

5.1. $A_r = \frac{A_{r_1} \cdot A_{r_2}}{(\omega_1 \cdot A_{r_2} + \omega_2 \cdot A_{r_1})} = 35{,}439.$

5.2. $\omega_1 = 0{,}976$ **;** $\omega_2 = 0{,}204.$

5.3. $\frac{R_U}{R_H} = \sqrt[3]{\frac{A_U}{A_H}} = 6{,}2$ esse.

5.4. 10,01017 m.a.b.

5.5. 1. $A = 3$, $Z = 2$, $N = 1$; 2. $A = 10$, $Z = 5$, $N = 5$; 3. $A = 104$, $Z = 47$, $N = 57$; 4. $A = 238$, $Z = 92$, $N = 146.$

5.6. ${}_1^1H$ - proton, ${}_1^2H$ - deýtron, ${}_1^3H$ - trion.

5.7. ${}_1^3H$ - trion, ${}_3^7Li$ - litiý, ${}_7^{15}N$ - azot.

5.8. $d = 2r_0A^{1/3}$; $d_1 = 5{,}6\ fm$; $d_2 = 8{,}4$;

$d_3 = 11{,}2\ fm$; $d_4 = 14\ fm$; $d_5 = 16{,}8$.

5.9. $F_{graw} = 12{,}65 \cdot 10^{-35}\,N$; $F_{Kl} = 39{,}57\,N$.

5.10. ${}_6^{14}C \to {}_7^{14}X + e^+ + \tilde{\nu}$; ${}_7^{14}X = {}_7^{14}N$ - azot.

5.11. $\beta^- + {}_{30}^{62}Z \to {}_{29}^{62}X \to {}_{28}^{62}X_1 + \beta^+$; ${}_{28}^{62}X_1 = {}_{28}^{62}Ni$ - nikel.

5.12. $\beta^- + {}_4^7Be \to {}_3^7Li$ - litiý.

5.13. ${}_{94}^{238}Pu \to {}_{92}^{234}U \to {}_{90}^{230}Th \to {}_{88}^{226}Ra \to {}_{86}^{222}Rn \to {}_{84}^{218}Po \to {}_{82}^{214}Pb.$

5.14. $\lambda_1 = \dfrac{\ln 2}{T_{1/2}} = 700\ s^{-1}$; $\lambda_2 = 13{,}6 \cdot 10^{-12}\ s^{-1}$.

5.15. $\dfrac{N}{N_0} = 10^{-4}$.

5.16. 9 esse.

5.17. $t = 10{,}5$ sagat.

5.18. $\tau = \dfrac{T_{1/2}}{\ln 2} = 1{,}44$ sagat.

5.19. $T_{1/2} = 6$ sagat.

5.20. $a_2 = \dfrac{3a_1}{5}$; $\Delta t = \dfrac{\ln 5}{3}\dfrac{T_{1/2}}{\ln 2} = 410{,}5$ ýyl.

5.21. $\dfrac{\Delta t}{T_{1/2}} = 8$ esse.

5.22. $m_2 = \dfrac{m_1\mu_2(T_{1/2})_2}{\mu_1(T_{1/2})_1} = 6{,}33 \cdot 10^{-9}\ kg$.

5.23. $m_2 = \dfrac{m_1 \mu_2 (T_{1/2})_2}{\mu_1 (T_{1/2})_1} = 425\ kg.$

5.24. $x_{1/2} = 3{,}46\ sm$**.**

5.25. $x = h = 65{,}8\ sm$**.**

5.26. $X_{1/2} = 1{,}3\ sm$**.**

5.27. $K_2 = K_1^{\frac{\mu_2}{\mu_1}} = 52$ esse.

5.28. $\omega = \dfrac{Y \cdot K \cdot T \cdot \rho}{P \cdot |e|} = 7{,}73 \cdot 10^{-11}$**.**

5.29. $\gamma = \dfrac{n \cdot e \cdot t}{\rho \cdot V \cdot \Delta t} 21{,}4 \cdot 10^{-9}\ Kl/kg$; e-elektronyň zarýady; ρ-howanyň dykyzlygy.

5.30. $X = 0{,}13\ m$**.**

5.31. $T = 4{,}4$ min.

5.32. $E_{bag_1} = 8{,}5\ MeW$**;** $E_{bag_2} = 7\ MeW$**.**

5.33. $E_{bag} = 225\ MeW$**.**

5.34. $\varepsilon_{ud} = 7{,}97\ MeW$ /nuklon.

5.35. $\Delta m = 0{,}0024$ m.a.b.; $E_{bag} = 2{,}23\ MeW$.

5.36. $E = 682 \cdot 10^9\ J.$

5.37. $E = 16{,}9 \cdot 10^9\ eW.$

5.38. $E = 7{,}265\ MeW$**.**

5.39. $E = E_{bag} = \Delta m \cdot c^2 = \left(m_{{}^{13}_{7}N} + m_n + m_{{}^{14}_{7}N}\right) \cdot c^2 = 10{,}6\ MeW$**.**

5.40. $E_2 = E_1 = 8\ MeW$**.**

5.41. $m_{{}^{5}_{3}Li} = 5{,}01258$ m.a.b.

5.42. $Z = 0$; $A = 1$; ${}_0^1 n$ - neýtron.

5.43. 1. $4{,}36\ MeW$, 2. $22{,}4\ MeW$, 3. $-1{,}05\ MeW$.

5.44. $Q = (E_b)_{{}^{10}Be} - (E_b)_{{}^{9}Be} = 6{,}82\ MeW$.

5.45. $T_k = 6{,}7\ MeW$.

5.46. $Z = 38$; $A = 94$; ${}_{38}^{94}Sr$.

5.47. $\dfrac{Q}{E_0} = 0{,}00091.$

5.48. $Q = 0{,}82\ GJ$.

5.49. $Q = 5{,}41\ MeW$.

5.50. $Q = 0{,}156\ MeW$.

5.51. $Q = 2{,}6\ MeW$.

5.52. $T_k (m_n - m_p - m_c)\, c^2 = 0{,}78\ MeW$.

5.53. $T_1 = T_2 \dfrac{\varepsilon}{2} - m_0 c^2 = 0{,}24\ MeW$.

5.54. $\varepsilon = T_k + m_0 c^2 = 1\ MeW$; $\lambda = 1{,}24\ pm.$

5.55. $\varepsilon = 67{,}65\ MeW$.

5.56. $P = 4 \cdot 10^{-22}\ N \cdot s$.

5.57. $\ell = \beta \cdot c \cdot \tau = 660\ m.$

5.58. $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 67{,}7\ MeW$.

5.59. $m_\pi = 273{,}1\ m_e$.

5.60. $(\varepsilon)_\pi = 247{,}5\ MeW$.

5.61. $(m_0 c^2)^2 = (E_1 + E_2)^2 - c^2 (P_1 + P_2)^2$, $\sin\dfrac{\varphi}{2} = \dfrac{m_0 c^2}{2\sqrt{E_1 \cdot E_2}}$.

GOŞMAÇALAR

Matematikadan käbir maglumatlar
Algebranyň we trigonometriýanyň käbir aňlatmalary

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2} - 4ac}{1a}$$

$$x_{1,2} = -\frac{P}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{P}{2}\right)^2 - q}$$

$$z = a + ib \qquad x^* = a - ib$$

$$z = \rho(\cos\varphi + i\sin\varphi)$$

$$z^* = \rho(\cos\varphi - i\sin\varphi)$$

$$z = \rho\exp(i\varphi) \qquad z^* = \rho\exp(-i\varphi)$$

$$|z| = \rho = \sqrt{a^2 + b^2} \qquad zz^* = |z|^2$$

$$\sin(x+y) = \sin x\cos y + \sin y\cos x$$

$$\cos(x+y) = \cos x\cos y - \sin x\sin y$$

$$\sin(x-y) = \sin x\cos y - \sin y\cos x$$

$$\cos(x-y) = \cos x\cos y + \sin x\sin y$$

$$\sin 2x = 2\sin x\cos x$$

$$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$$

$$\sin^2 x = \frac{1}{2}(1 - \cos 2x)$$

$$\cos^2 x = \frac{1}{2}(1 + \cos 2x)$$

$$\sin ax \sin nx = \frac{1}{2}\cos(a-b)x - \frac{1}{2}\cos(a+b)x$$

$$\sin ax \cos bx = \frac{1}{2}\sin(a+b)x + \frac{1}{2}\sin(a-b)x$$

Differensial we integral hasaplama formulalary

$$\frac{d(U\upsilon)}{dx} = \upsilon\frac{dU}{dx} + U\frac{d\upsilon}{dx}$$

$$\frac{d\left(\frac{U}{\upsilon}\right)}{dx} = \frac{\upsilon\frac{dU}{dx} + U\frac{d\upsilon}{dx}}{\upsilon^2}$$

$$\frac{d(x^m)}{dx} = mx^{m-1}$$

$$\frac{d(\exp(x))}{dx} = \exp(x)$$

$$\frac{d(\ell nx)}{dx} = \frac{1}{x}$$

$$\frac{d(a^x)}{dx} = a^x \ell na$$

$$\frac{d(\cos x)}{dx} = -\sin x$$

$$\frac{d(\sin x)}{dx} = \cos x$$

$$\frac{d(\cos x)}{dx} = -\frac{1}{\sin^2 x}$$

$$\frac{d(tgx)}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x}$$

$$\int x^m dx = \frac{1}{m+1} x^{m+1} + c \quad (m \neq 1)$$

Takmynan hasaplamak üçin formulalar

Eger a<<1 onda hasaplamalarda aşakdaky formulalardan peýdalanmaly:

$$\frac{1}{1 \pm a} \approx 1 \pm a; \qquad \frac{1}{\sqrt{1 \pm a}} \approx 1 \pm \frac{1}{2} a$$

$$(1 \pm a)^2 \approx 1 \pm 2a; \qquad \exp(a) \approx 1 + a$$

$$\sqrt{1 \pm a} \approx 1 \pm \frac{1}{2} a; \qquad \ell n(1 \pm a) = a$$

Eger ($\alpha < 5^0$ ýa-da $\alpha < 0{,}1 rad$) we radianlardan aňladylan bolsa
onda

$$\sin\alpha \approx tg\alpha \approx \alpha; \qquad \cos\alpha \approx 1$$

Trigonometrik funksiýalar

Burçlar	Radianlar	sin	cos		
0^0	0	0	1	1,5708	90^0
1	0.0175	0,0175	0,9998	1,5533	89
2	0349	0349	9994	1,5359	88
3	0524	0523	9986	1,5184	87
4	0698	0698	9976	1,5010	86
5	0,0873	0,0872	0,9962	1,4835	85
6	1047	1045	9945	1,4661	84
7	1222	1219	9925	1,4486	83
8	1396	1392	9903	1,4312	82
9	1571	1564	9877	1,4137	81
10	0,1745	0,1736	0,9848	1,3963	80
11	1920	1908	9816	1,3788	79
12	2094	2079	9781	1,3614	78
13	2269	2250	9744	1,3439	77
14	2443	2419	9703	1,3265	76
15	0,2618	0,2588	0,9659	1,3090	75
16	2793	2756	9613	1,2915	74
17	2967	2924	9563	1,2741	73
18	3142	3090	9511	1,2566	72
19	3316	3256	9455	1,2392	71
20	0,3491	0,3420	0,9397	1,2217	70
21	3665	3584	9336	1,2043	69
22	3840	3746	9272	1,1868	68
23	4014	3907	9205	1,1694	67
24	4189	4067	9135	1,1519	66
25	0,4363	0,4226	0,9063	1,1345	65
26	4538	4384	8988	1,1170	64

27	4712	4540	8910	1,0996	63
28	4887	4695	8829	1,0821	62
29	5061	4848	8746	1,0647	61
30	0,5236	0,5000	0,8660	1,0427	60
31	5411	5150	8572	1,0297	59
32	5585	5299	8480	1,0123	58
33	5760	5446	8387	0,9948	57
34	5934	5592	8290	9774	56
35	0,6109	0,5736	0,8192	0,9599	55
36	6283	5878	8090	9425	54
37	6458	6018	7986	9250	53
38	6632	6157	7880	9076	52
39	6807	6293	7771	8901	51
40	0,6981	0,6423	0,7660	0,8727	50
41	7156	6561	7547	8552	49
42	7330	6691	7431	8377	48
43	7505	6820	7314	8203	47
44	7679	6947	7193	8029	46
45	7854	7071	7071	7854	45
		cos	sin	Radianlar	Burçlar

Sanlaryň kwadraty (n^2); kwadrat kökler ($\sqrt{n}$); ters ululyklar ($\frac{1}{n}$); $\frac{\pi n}{180}$ burçlary gradus ölçeginde radianlara geçirmek üçin

n	n^2	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{\pi n}{180}$
1	1	1,000	1,0000	0,0175
2	4	1,414	0,5000	0,0349
3	9	1,732	0,3333	0,0524
4	16	2,000	0,2500	0,0698
5	25	2,236	0,2000	0,0873
6	36	2,449	0,1667	0,1047
7	49	2,646	0,1429	0,1222
8	64	2,828	0,1250	0,1396
9	81	3,000	0,1111	0,1571
10	100	3,162	0,1000	0,1745
11	121	3,317	0,0909	0,1920
12	144	3,464	0,0833	0,2094
13	169	3,606	0,0769	0,2269
14	196	3,742	0,0714	0,2443
15	225	3,837	0,0667	0,2618
16	256	4,000	0,0625	0,2793
17	289	4,123	0,0588	0,2967
18	324	4,243	0,0556	0,3142
19	361	4,359	0,0526	0,3316
20	400	4,472	0,0500	0,3491
21	441	4,583	0,0476	0,3665

n	n^2	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{\pi n}{180}$
22	484	4,690	0,0455	0,3840
23	529	4,796	0,0435	0,4014
24	576	4,899	0,0417	0,4189
25	625	5,000	0,0400	0,4363
26	676	5,099	0,0385	0,4538
27	729	5,196	0,0370	0,4712
28	784	5,292	0,0357	0,4887
29	841	5,385	0,0345	0,5061
30	900	5,477	0,0333	0,5236
31	961	5,568	0,0323	0,5411
32	1024	5,657	0,0313	0,5585
33	1089	5,745	0,0303	0,5760
34	1156	5,831	0,0294	0,5934
35	1225	5,916	0,0286	0,6109
36	1296	6,000	0,0278	0,6283
37	1369	6,083	0,0270	0,6458
38	1444	6,164	0,0263	0,6632
39	1521	6,245	0,0256	0,6807
40	1600	6,325	0,0250	0,6981
41	1681	6,403	0,0244	0,7156
42	1764	6,481	0,0238	0,7330
43	1849	6,557	0,0233	0,7505
44	1936	6,633	0,0227	0,7679
45	2025	6,708	0,0222	0,7854
46	2116	6,782	0,0217	0,8029
47	2209	6,856	0,0213	0,8203
48	2304	6,928	0,0208	0,8378

n	n^2	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{\pi n}{180}$
49	2401	7,000	0,0204	0,8552
50	2500	7,071	0,0200	0,8727
51	2601	7,141	0,0196	0,8901
52	2704	7,211	0,0192	0,9076
53	2809	7,280	0,0189	0,9250
54	2916	7,348	0,0185	0,9425
55	3025	7,416	0,0182	0,9599
56	3136	7,483	0,0179	0,9774
57	3249	7,550	0,0175	0,9948
58	3364	7,616	0,0172	1,0123
59	3481	7,681	0,0169	1,0297
60	3600	7,746	0,0167	1,0472
61	3721	7,810	0,0164	1,0650
62	3844	7,874	0,0161	1,0820
63	3969	7,937	0,0159	1,1000
64	4096	8,000	0,0156	1,1170
65	4225	8,062	0,0154	1,1340
66	4356	8,124	0,0152	1,1520
67	4489	8,185	0,0149	1,1690
68	4624	8,246	0,0147	1,1870
69	4761	8,307	0,0145	1,2040
70	4900	8,367	0,0143	1,2220
71	5041	8,426	0,0141	1,2390
72	5184	8,485	0,0139	1,2570
73	5329	8,544	0,0137	1,2740
74	5476	8,602	0,0135	1,2920
75	5625	8,660	0,0133	1,3090

n	n^2	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{\pi n}{180}$
76	5776	8,718	0,0132	1,3260
77	5929	8,775	0,0130	1,3440
78	6084	8,832	0,0128	1,3610
79	6241	8,888	0,0127	1,3790
80	6400	8,944	0,0125	1,3960
81	6561	9,000	0,123	1,4140
82	6724	9,055	0,0122	1,4310
83	6889	9,110	0,0120	1,4490
84	7056	9,165	0,0119	1,4660
85	7225	9,220	0,0118	1,4840
86	7396	9,274	0,0116	1,501
87	7569	9,327	0,0115	1,518
88	7744	9,381	0,0114	1,536
89	7921	9,434	0,0112	1,5530
90	8100	9,487	0,0111	1,5710
91	8281	9,539	0,0110	1,5880
92	8464	9,592	0,0109	1,6060
93	8649	9,644	0,0108	1,6230
94	8836	9,695	0,0106	1,6410
95	9025	9,747	0,0105	1,6580
96	9216	9,798	0,0104	1,6760
97	9409	9,849	0,0103	1,6930
98	9604	9,899	0,0102	1,7110
99	9801	9,950	0,0101	1,7280
100	10000	10,000	0,0100	1,7450

FIZIKI ULULYKLARYŇ ÖLÇEG BIRLIKLERI BARADA MAGLUMATLAR

Halkara birlikler ulgamynda hususy atlary bolan fiziki ululyklar

Ululyk	**Ölçeg birligi**	
	Ady	**belgisi**
Uzynlyk	Metr	m
Massa	kilogram	kg
Wagt	sekunt	s
Tekiz burç	radian	rad
Jisim burç	steradian	sr
Güýç, agram	nýuton	H
Basyş	paskal	Pa
Zor (mehanik)	paskal	Pa
Maýyşgaklyk moduly	paskal	Pa
Iş, energiýa	joul	J
Kuwwat	watt	Wt
Ýygylyk	gers	Gs
Temperatura	kelwin	K
Ýylylyk mukdary	joul	J
Elektrik zarýady	kulon	KL
Tok güýji	amper	A
Elektrik meýdanynyň potensiýaly, napýazeniýasy	wolt	W
Elektrik sygymy	farada	F
Elektrik garşylygy	om	Om
Elektrik geçirjiligi	simens	Sm
Magnit induksiýasy	tesla	Tl

Ululyk	Ölçeg birligi	
	ady	belgisi
Magnit akymy	weber	Wb
Induktiwlik	genri	Gn
Ýagtylyk güýji	kandela	kd
Ýagtylyk akymy	lýumen	lm
Ýagtylandyryş	lýuks	lýu
Şöhlelenme akymy	watt	Wt
Şölelenmäniň mukdary (dozasy)	greý	Gr
Izotopyň işjeňligi (aktiwligi)	bekkerl	Bk

Fiziki ululyklaryň birliklerniň onluga kratnyý hem-de onlugyň ülüşlerine köpeldilip alynmalarynyň atlandyrylyşy

Ýazylyşy	ady	belgisi	mysal	belgisi
10^{18}	eksa	E	eksametr	Em
10^{15}	peta	P	petagers	PGs
10^{12}	tera	T	terajoul	TJ
10^{9}	giga	G	giganýuton	GN
10^{6}	mega	M	megaom	MOm
10^{3}	kilo	k	kilometr	km
10^{2}	gekto	g	gektowatt	gWt
10^{1}	deka	da	dekalitr	dal
10^{-1}	desi	d	desimetr	dm
10^{-2}	santi	s	santimetr	sm
10^{-3}	milli	m	milliamper	mA

10^{-6}	mikro	mk	mikrowolt	mkW
10^{-9}	nano	n	nanosekunt	ns
10^{-12}	piko	p	pikofarada	pF
10^{-15}	femto	f	femtogram	fg
10^{-18}	atto	a	attokulon	aKl

Latyn elipbiýi

A a	a	N n	en
B b	be	O o	o
C c	se	P p	pe
D d	de	Q q	ku
E e	e	R r	er
F f	ef	S s	es
G g	ge (že)	T t	te
H h	ha (aş)	U u	u
I i	i	V v	we
J j	ýot (ži)	W w	duble-we
K k	ka	X x	iks
L l	el	Y y	igrek
M m	em	Z z	zet

Grek elipbiýi

A, α alfa	I, ι ýota	P, ρ ro
B, β beta	K, χ kappa	Σ, σ sigma
Γ, γ gamma	Λ, λ lýambda	T, τ tau
Δ, δ delta	M, μ mýu	Y, υ ipsilon
E, ε epsilon	N, ν nýu	Φ, φ fi
Z, ξ dzeta	Ξ, ζ ksi	X, x hi
H, η eta	O, o omikron	Ψ, ψ psi
$\Theta, \vartheta, \theta$ teta	Π, π pi	Ω, ω omega

Halkara birlikler ulgamy bilen bir hatarda ulanylmaga hukukly ölçeg birlikleri

Ululyk	ady	belgisi	HU bilen gatnaşygy
massa	tonna	t	$10^3 kg$
	massanyň atom birligi	m.a.b.	$1{,}66 \cdot 10^{-27} kg$
göwrüm	litr	l	$10^{-3} m^3$
tekiz burç	gradus	$...^0$	$1{,}74 \cdot 10^{-2} rad$
	minut	$...'$	$2{,}91 \cdot 10^{-4} rad$
	sekunt	$...''$	$4{,}85 \cdot 10^{-6} rad$
iş, energiýa	elektron-wolt	eW	$1{,}6 \cdot 10^{-19} J$
temperatura	gradus selsiýa	^0S	1^0S 1^0K

Halkara birlikler ulgamy bilen oňa girmeýän ölçeg birlikleriniň özara gatnaşygy

Uzynlyk	1angstrem (A^0) = $10^{-10}\,m$
Wagt	1 gije-gündiz = 86400 s 1 ýyl= 365,25 gile-gündiz = $3{,}16\cdot 10^7\,s$
Tekiz burç	$1^0 = \pi/180 rad$ = $1{,}75\cdot 10^{-2}\,rad$ $1' = \pi/180\cdot 10^{-2}\,rad$ = $2{,}91\cdot 10^{-4}\,rad$ $1'' = \pi/648\cdot 10^{-3}\,rad$ = $4{,}85\cdot 10^{-6}\,rad$
Göwrüm	$1l = 10^{+3}\,m^3$
Massa	$1t = 10^{-3}\,kg$ 1 m.a.b. = $1{,}66\cdot 10^{-27}\,kg$
Güýç	1 kG = 9,81 H
Iş, energiýa	1 kG $\cdot\, m$ = 9,81 J 1 Wt sag = $3{,}6\cdot 10^3$ J 1 eW = $1{,}6\cdot 10^{-19}$ J

Kuwwat	1 at.g = 736 Wt
Basyş	1 mm.sim.süt. =133 Pa 1 bar = 10^5 Pa 1 atm = $1{,}01\cdot 10^5$ Pa
Mehaniki güýjenme (zor)	1 kG/mm^2 = $9{,}81\cdot 10^6$ Pa
Aýlaw ýygylygy	1 aýl/min = 1/60 c^{-1}

Tolkun sany	1 sm^{-1} = 100 m^{-1}
Bölejikleriň göwrüm birligindäki sany	1 sm^{-3} = 10^6 m^{-3}
Ýylylyk (ýylylyk mukdary)	1 kal = 4.19 J 1 kkal = $4.19 \cdot 10^3$ *J*
Dipolyň elektrik momenti	1 D = $3.34 \cdot 10^{30}$ Kl·m
Udel elektrik garşylyk	1 Om mm^2/m=10^{-6} Om m
Magnit induksiýasy	1 Gauss = 10^{-4} Tl
Magnit akymy	1 Mks = 10^{-8} Wb
Magnit meýdanynyň güýjenmesi	1 $\mathcal{E}$ = 79,6 A/m
Ýagtylandyrylyş	1 fot = 10^4 lk
Rentgen we gamma şöhlelenmäniň ekspozisiýalaýyn mukdary (dozasy)	1 R = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ Kl/kg
Rentgen we gamma şöhlelenmäniň ekspozisiýalaýyn mukdarynyň (dozasynyň) kuwwaty	1 R/s = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ A/Kg
Radioaktiw çeşmedäki nuklidiň işjeňligi (aktiwligi)	1 dargama/s = 1 Bk 1Ki = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bk

FIZIKI ULULYKLARYŇ TABLISALARY

Astronomik ululyklar

1-nji tablisa

Kosmiki jisim	**Orta radiusy** ***m***	**Massasy** ***kg***	**Orta dykyzlygy** ***10^3 kg/m^3***	**Öz okunyň daşynda aýlanma periody.** ***gije-gündiz***
Gün	$6{,}95\cdot10^8$	$1{,}97\cdot10^{30}$	1,41	25,4
Ýer.	$6{,}37\cdot10^6$	$5{,}96\cdot10^{24}$	5,52	1,00
Aý.	$1{,}74\cdot10^6$	$7{,}3\cdot10^{22}$	3,30	27,3

Gün ulgamynyň planetalary	**Günden orta uzaklygy** ***10^6 km***	**Günüň daşyndan aýlanma periody** ***ýyllarda***
Merkuriý	57,87	0,241
Wenera	108,50	0,615
Ýer	149,5	1,00
Mars	227,79	1,881
Ýupiter	777,8	11,862
Saturn	1426,1	29,458
Uran	2867,7	84,013
Neptun	4494	164,79
Pluton	9508	248,43

Maddalaryň dykyzlygy

(15-20^{0}C temperaturada) 2-nji tablisa

Gaty jisimler	$10^3 \frac{kg}{m^3}$	**Suwuklyklar**	$10^3 \frac{kg}{m^3}$
Almaz	3,1	Benzol	0,88
Alýuminiý	2,7	Benzin	0,7
Beton	2,2	Gliserin	1,26
Wolfram	19,1	Kastor ýagy	0,9
Gury agaç	0,7	Kerosin	0,8
Galaýy	7,4	Spirt	0,79
Demir (polat çoýun)	7,8	Skipidar	0,87
Grafit	1,6	Efir	0,72
Altyn	19,3	Simap	13,6
Kadmiý	8,65		
Kobalt	8,9	**Gazlar (kadaly şertde)**	$\frac{kg}{m^3}$
Buz	0,916		
Mis	8,9	Azot	1,25
Molibden	10,2	Argon	1,78
Nikel	8,9	Ammiak	0,77
Platina	21,5	Wodorod	0,09
Probka	0,2	Kislorod	1,43
Gurşun	11,3	Kömürturşy gaz	1,98
Kümüş	10,5	Geliý	0,18
Titan	4,5	Metan	0,72
Uran	19,0	Howa	1,29
Farfor	2,3	Hlor	3,21
Sink	7,0		
Aýna	2,7		

Gaty jisimleriň maýyşgaklyk hemişelikleri

(15-20 $^{\circ}$C temperaturada)

3-nji tablisa

Maddalar	Ýunguň moduly 10^9 Pa	Süýşmek moduly 10^9 Pa	Puassonyň koef-ti	Berklik çägi 10^9 Pa	Gysylma koef-ti 10^9 Pa
Alýuminiý	70	26	0,34	0,1	0,014
Mis	130	40	0,34	0,3	0,007
Gurşun	16	5,6	0,44	0,015	0,022
Demir (polat)	200	81	0,29	0,6	0,006
Aýna	60	30	0,25	0,05	0,025
Kümüş	74	27	-	-	-
Wolfram	380	140	-	-	-

Jisimleriň ýylylykda (termiki) giňelme koeffisiýenti

4-nji tablisa

Gaty jisim	Uzynlygyna giňelme koef-ti 10^{-6} K^{-1}	Suwuklyk	Göwrümine giňelme koef-ti 10^{-4} K^{-1}
Alýuminiý	22,9	Gliserin	5,0
Latun	18,9	Kerosin	10,0
Mis	16,7	Suw	1,5
Demir (polat)	11	Simap	1,8
Galaýy	21	Spirt	11,0
Gurşun	29	Efir	17,0
Kümüş	19	Nebit	10,0
Sink	26		
Aýna	8,50		

Gazlaryň hemişelikleri

(kadaly şertde) 5-nji tablisa

Gaz	**Ýylylyk geçirijilik** $\frac{mWt}{m \cdot K}$	**Dinamiki şepbeşik-ler** $mkPa \cdot s$	**Effektiw Diametr** nm	**Wan-der-Waalsyň hemişelikleri**	
				a $\frac{N \cdot m^4}{mol}$	b $\frac{m^3}{mol}10^{-5}$
Azot	24,3	16,6	0,38	0,135	3,86
Argon	16,2	21,5	0,35	0,134	3,22
Wodorod	168,4	8,66	0,28	0,024	2,7
Geliý	142	18,9	0,22	-	-
Kislorod	24,4	19,8	0,36	0,136	3,17
Suw bugy	15,8	8,32	0,30	0,545	3,04
Howa	24,1	17,2	0,35	-	-

Suwuklyklaryň hemişelikleri

(kadaly şertde) 6-njy tablisa

Suwuklyk	**Udel ýylylyk sygymy** $\frac{kJ}{kg \cdot K}$	**Dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti** $mPa \cdot s$	**Üst dartuw koeffisiýenti** mN/m
Aseton	2,16	0,322	23,3
Benzin	2,09	-	
Benzol	-	0,648	28,9
Gliserin	2,39	1480	62
Kerosin	2,1	-	30

Simap	0,138	1,554	$5 \cdot 10^2$
Suw	4,19	1,002	73
Kastor ýagy	1,8	987	-
Maşyn ýagy	1,67	100	-
Spirt	2,39	1,2	22
Sabynly suw ergini($1^\circ c$)	-	-	40

Sesiň ýaýrama tizligi

7-nji tablisa

Madda	m/s	**Madda**	m/s
Agaç	4000	Aýna	5000
Probka	500	Gurşun	1300
Rezin	54	Suw (0° C)	1485
Demir (polat)	5100	Wodorod 0° C)	1286
Howa (0° C)	331.8	Uglerodyň ikili okisi (0° C)	258

Maddalaryň dielektrik syzyjylygy (ε)

8-nji tablisa

Dielektrik		**Dielektrik**	
Suw	81	Slýuda	7,5
Howa	1,006	Spirt	26
Kerosin	2	Aýna	6
Parafin	2	Farfor	5
Polietilen	2,3	Ebonit	3

Geçirijileriň udel garşylygy we termiki koeffisiýenti

9-njy tablisa

Madda	ρ $nOm \cdot m$	α $10^{-3} \cdot K^{-1}$	Madda	ρ $nOm \cdot m$	α $10^{-3} \cdot k^{-1}$
Alýuminiý	26	3,6	Wolfram	50	4,8
Mis	17	4,2	Grafit	3900	80
Nikel	420	0,1	Altyn	20	4,0
Kümüş	16	4,0	Demir	98	4,2
Nihrom	110	0,1	Gurşun	2100	4,0

Spektriň görünýän böleginiň tolkun uzynlyklary

10-njy tablisa

Reňki	Tolkun uzynlygy A^0	Reňki	Tolkun uzynlygy A^0
Melewşe	3800 - 4500	Sary-ýaşyl	5500 - 5750
Gök	4500 - 4800	Sary	5750 - 5850
Mawy	4800 - 5100	Mämişi	5850 - 6200
Ýaşyl	5100 - 5500	Gyzyl	6200 - 7600

Maddalaryň döwme görkezijisi

11-nji tablisa

Almaz 2,42	Buz 1,31
Suw. 1,33	Skipidar (20^0C) 1,47
Gliserin 1,47	Etil spirti 1,36
Daş duzy. 1,54	Aýna 1,5
Kwars. 1,54	Kükürtturşy uglerod 1,63

Metallardan elektronlaryň çykyş işi (eW)

12-nji tablisa

Wolfram 4,5	Nikel 5,0
Demir. 4,74	Platina 5,29
Altyn 4,68	Simap 4,52
Kaliý 2,0	Rubidiý 2,13
Litiý 2,4	Kümüş 4,74
Magniý 3,46	Tantal 4,07
Mis 4,47	Seziý 1,97
Molibden 4,2	Sink 4,0
Natriý 2,3	

Käbir elementar bölejikleriň massasy we energiýasy

13-nji tablisa

Bölejik	**Massasy**		**Energiýasy**	
	Kg	**m.a.b**	**J**	**MeW**
Elektron	$9{,}11\cdot10^{-31}$	0,00055	$8{,}18\cdot10^{-14}$	0,511
Proton	$1{,}672\cdot10^{-27}$	1,00728	$1{,}5\cdot10^{-10}$	938
Neýtron	$1{,}675\cdot10^{-27}$	1,00867	$1{,}5\cdot10^{-10}$	939
Deýton	$3{,}35\cdot10^{-27}$	2,01355	$3{,}0\cdot10^{-10}$	1876
α - bölejik	$6{,}64\cdot10^{-27}$	4,00149	$4{,}5\cdot10^{-10}$	3733

Käbir radioaktiw maddalaryň ýarymdargama periody

14-nji tablisa

Aktiniý	10-gije-gündiz	Radon	3,5 gije-gündiz
Ýod	8-gije-gündiz	Stronsiý	28 ýyl
Iridiý	75-gije-gündiz	Toriý	$7 \cdot 10^3$ ýyl
Kobalt	3,5 ýyl	Uran	$4{,}5 \cdot 10^8$ ýyl
Magniý	10 min	Uran	$7{,}1 \cdot 10^8$ ýyl
Radiý	10^{-3} s	Fosfor	14,3 gije-gündiz
Radiý	$1{,}62 \cdot 10^3$ ýyl	Natriý	2,6 ýyl
Poloniý	138-gije-gündiz	Toriý	$1{,}39 \cdot 10^{11}$ ýyl

Käbir izotoplaryň massalary (massanyň atom birligi)

15-nji tablisa

Element	Izotop	Massa	Element	Izotop	Massa
Neýtron	n	1,000367	Berilliý	^7Be	7,01693
Wodorod	^1H	1,00783		^9Be	9,01219
	^2H	2,01410		^{10}Be	10,01354
	^3H	3,01605	Bor	^9B	9,01333
Geliý	^3He	3,01603		^{10}B	10,01294
	^4He	4,00260		^{11}B	11,00931
Litiý	^2Li	6,01513	Natriý	^{22}Na	21,99444
	^7Li	7,01601		^{23}Na	22,98977
Uglerod	^{10}C	10,00168	Magniý	^{23}Mg	22,99414
	^{12}C	12,00000	Alýuminiý	^{10}Be	10,01354

	^{13}C	13,00335	Kremniý	^{31}Si	30,97535
	^{14}C	14,00324	Fosfor	^{31}P	30,97376
Azot	^{13}N	13,00574	Kaliý	^{41}K	40,696184
	^{14}N	14,00307	Kalsiý	^{44}Ca	43,95549
	^{15}N	15,00011	Gurşun	^{206}Pb	205,97446
Kislorod	^{16}O	15,99491	Poloniý	^{210}Po	209,98297
	^{17}O	16,99913	Ftor	^{19}F	18,99840
	^{18}O	17,9916	Elektron		0,00055

D.I.Mendeleýewiň himiki elementleriň periodik sistemasy

Periodlar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H 1 1,00794 Wodorod						(H)	2 4,0026 He Geliý		
2	Li 3 6,941 Litiý	Be 4 9,01218 Beriliý	5 10,81 B Bor	6 12,011 C Uglerod	7 14,0067 N Azot	8 15,999 O Kislorod	9 18,998 F Ftor	10 20,17 Ne Neon		
3	Na 11 22,989 Natriý	Mg 12 24,305 Magniý	13 26,981 Al Alýuminiý	14 28,085 Si Kremniý	15 30,974 P Fosfor	16 32,064 S Kükürt	17 35,453 Cl Hlor	18 39,948 Ar Argon		
4	K 19 39,098 Kaliý	Ca 20 40,078 Kalsiý	Sc 21 44,956 Skandiý	Ti 22 47,90 Titan	V 23 50,94 Wanadiý	Cr 24 51,996 Hrom	Mn 25 54,938 Marganes	Fe 26 55,847 Demir	Co 27 58,933 Kobalt	Ni 28 58,70 Nikel
	29 63,546 Cu Mis	30 65,38 Zn Sink	31 69,72 Ga Galliý	32 72,59 Ge Germaniý	33 74,922 As Mysýak	34 78,96 Se Selen	35 79,904 Br Brom	36 83,80 Kr Kripton	E – s elementler	
5	Rb 37 85,468 Rubidiý	Sr 38 87,62 Stronsiý	Y 39 88,906 Ittriý	Zr 40 91,22 Sirkoniý	Nb 41 92,906 Niobiý	Mo 42 95,94 Molibden	Tc 43 98,906 Tehnesiý	Ru 44 101,07 Ruteniý	Rh 45 102,905 Rodiý	Pd 46 106,4 Palladiý
	47 107,868 Ag Kümüş	48 112,41 Cd Kadmiý	49 114,82 In Indiý	50 118,71 Sn Galaýy	51 121,76 Sb Surma	52 127,60 Te Tellur	53 126,904 I Ýod	54 131,30 Xe Ksenon	E – p elementler	
6	Cs 55 132,905 Seziý	Ba 56 137,33 Bariý	La* 57 138,905 Lantan	Hf 72 178,49 Gafniý	Ta 73 180,947 Tantal	W 74 183,85 Wolfram	Re 75 186,207 Reniý	Os 76 190,23 Osmiý	Ir 77 192,22 Iridiý	Pt 78 195,08 Platina
	79 196,966 Au Altyn	80 200,59 Hg Simap	81 204,38 Tl Talliý	82 207,2 Pb Gurşun	83 208,980 Bi Wismut	84 (209) Po Poloniý	85 (210) At Astat	86 (222) Rn Radon	E – d elementler	
7	Fr 87 (223) Fransiý	Ra 88 226,025 Radiý	Ac** 89 (227) Aktiniý	Rf 104 (267) Rezerfordiý	Db 105 (268) Dubniý	Sg 106 (271) Siborgiý	Bh 107 (267) Boriý	Hs 108 (278) Hassiý	Mt 109 (276) Meýtneriý	Ds 110 (282) Darmştadtiý
	111 (280) Rg Rentgeniý	112 (286) Uub Ununbiý	113 (284) Uut Ununtriý	114 (290) Uug Ununkwadiý	115 (287) Uup Ununpentiý	116 (293) Uuh Unungeksiý	117 (?) Uus (Ununseptiý)	118 (293) Uuo Ununoktiý	E – f elementler	

Otnositel atom massasy — Tertip sany — Himiki belgisi — Ady

47 Ag 107,868 Kümüş

*** Lantanoidler**

Ce 58 140,12 Seriý	Pr 59 140,908 Prazeodim	Nd 60 144,24 Neodim	Pm 61 (145) Prometiý	Sm 62 150,4 Samariý	Eu 63 151,96 Ýewropiý	Gd 64 157,25 Gadoliniý	Tb 65 158,925 Terbiý	Dy 66 162,50 Disproziý	Ho 67 164,93 Golmiý	Er 68 167,26 Erbiý	Tm 69 168,934 Tuliý	Yb 70 173,04 Itterbiý	Lu 71 174,967 Lýutesiý

**** Aktinoidler**

Th 90 232,08 Toriý	Pa 91 231,036 Protaktiniý	U 92 238,029 Uran	Np 93 237,048 Neptuniý	Pu 94 (244) Plutoniý	Am 95 (243) Ameristiý	Cm 96 247 Kýuriý	Bk 97 247 Berkliý	Cf 98 251 Kaliforniý	Es 99 254 Eýnşteýniý	Fm 100 257 Fermiý	Md 101 258 Mendelewiý	(No) 102 255 Nobeliý	(Lr) 103 256 Lourensiý

Bellik: 112-118 elementlere degişli maglumatlar gutarnykly däl

Elementar bölejikleriň tablisasy

Bölejikleriň topary				belgisi	Ýaýrady (e)	Massasy *MeW*	Spini	Izospini	Ortaça ýaýyş wagty, s
Özara täsiri geçiriji			Foton	γ	*0*	*0*	*1*	-	*durnukly*
			Grawiton	G	*0*	*0*	*2*	-	*?*
			Aralyk bazonlar	$W^{\pm}$	*1*	*80000*	*1*	-	*?*
				z^{o}	*0*	*90000*	*1*	-	*?*
			Glýuonlar	g	*0*	-	*1*	-	
Leptonlar			Elektron dubleti	l^{-}	*1*	*0,51*	*½*	-	*durnukly*
				v_e	*0*	*<46eW*	*½*	-	*durnukly*
			Mýuon dubleti	μ^{-}	*1*	*105,66*	*½*	-	$2{,}2\cdot10^{-6}$
				v_μ	*0*	*<0,52*	*½*	-	*durnukly*
			Taon dubleti	τ^{-}	*1*	*1784*	*½*	-	$5\cdot10^{-13}$
				v_o	*0*	*<250*	*½*	-	*?*
Adronlar	Mezonlar	"Adaty" bölejikler	Pionlar	$\pi^{\pm}$	*1*	*139,57*	*0*	*1*	$2{,}6\cdot10^{-8}$
				π^{o}	*0*	*134,96*	*0*	*1*	$0{,}8\cdot10^{-16}$
			Eta-mezon	η^{o}	*0*	*548,8*	*0*	-	$0{,}7\cdot10^{-18}$
		Geň bölejikler	Kaonlar	K^{+}	*1*	*493,67*	*0*	*½*	$1{,}24\cdot10^{-8}$
				K^{o}	*0*	*497,7*	*0*	*½*	$10^{10}\div10^{-8}$
		Täsin bölejikler	D - mezonlar	D^{+}	*1*	*1869*	*0*	-	$9\cdot10^{-13}$
				D^{o}	*0*	*1865*	*0*	-	$5\cdot10^{-13}$
			F – mezon	F^{+}	*1*	*2021*	*0*	-	$2\cdot10^{-13}$
	Barionlar	"Adaty" bölejikler	Nuklonlar	P	*1*	*938,28*	*½*	*½*	*durnukly*
				n	*0*	*939,57*	*½*	*½*	*925*
		Geň bölejikler	Lýambda –giperon	Λ^{o}	*0*	*115,6*	*½*	*0*	$2{,}63\cdot10^{-10}$

		Geň bölejikler	Sigma – giperonlar	Σ^+ Σ^o Σ^-	*1* *0* *1*	*1189,4* *1192,5* *1197,3*	½ ½ ½	*1* *1* *1*	$0{,}8\cdot10^{-10}$ $5\cdot10^{-20}$ $1{,}48\cdot10^{-10}$
			Ksi – giperonlar	Ξ^0 Ξ^-	*0* *1*	*1315* *1321,3*	½ ½	*1* *1*	$2{,}9\cdot10^{-10}$ $1{,}64\cdot10^{-10}$
			Omega – giperon	Ω^-	*1*	*1672,5*	$^3/_2$	-	$0{,}8\cdot10^{-10}$
		Täsin bölejikler	Lýambda – se - giperon	Λ^+_s	*1*	*2282*	½	-	10^{-13}

ESASY FIZIKI HEMIŞELIKLER

Erkin gaçmanyň tizlenmesi	$g = 9{,}81 m/s^2$
Grawitasiýa hemişeligi	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} m^3 / s^2$
Awogadro hemişeligi	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} 1/mol$
Uniwersal gaz hemişeligi	$R = 8{,}31 J/\min K$
Bolsmanyň hemişeligi	$K = 1{,}38 \cdot 10^{-23} J/K$
Faradeýiň hemişeligi	$F = 9{,}65 \cdot 10^7 Kl/\min$
Stefanyň-Bolsmanyň hemişeligi	$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$
Winiň süýşmek kanunynyň hemişeligi	$в = 2{,}9 \cdot 10^{-3} m$
Plankyň hemişeligi	$h = 6{,}625 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ $\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-34} J \cdot s$
Ridbergiň hemişeligi	$R = 3{,}29 \cdot 10^{15} s^{-1}$
Ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi	$c = 3 \cdot 10^8 m/s$
Massanyň atom birligi	$1 m.a.b.\ 1{,}66 \cdot 10^{-27} kg$
Elektronyň massasy	$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31} kg$
Elementar zarýad	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} Kl$
Bor boýunça wodorod atomynyň esasy halyndaky elektronyň orbitasynyň radiusy	$a_0 = 5{,}29 \cdot 10^{-11} m$
Elektronyň Kompton boýunça tolkun uzynlygy	$\lambda_k = 2{,}43 \cdot 10^{-12} pm$
Elektrik hemişeligi	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} Ф/m$
Magnit hemişeligi	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} Гн/m$

EDEBIÝAT

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistanda saglygy goraýşy ösdürmegiň ylmy esaslary. A.: TDNG, 2007.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. A.: TDNG, 2007.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Döwlet adam üçindir. A.: TDNG, 2008.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistanyň Beýik Galkynyş eýýamynyň Konstitusyýasy hakynda. A.: TDNG, 2007.
5. Идоров И.Е. Квантовая физика. Основные законы. М.: 2001.
6. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: 1989.
7. Гершензон Е.М. и др. Курс общей физики. Оптика и атомная физика. М.: 1992.
8. Ако ота В. И. и др . Основа современной физики, М.: Просвещение,1981
9. Ataýew A. Atom we ýadro fizikasy. Aşgabat, 2006.
10. Çaryýew A. Fizikanyň esasy kanunlary. Aşgabat, 2004.
11. Волкенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. 2002.
12. Цедрик М.С. Сборник задач по общему курсу физики. 1989.
13. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: «Высшая школа», 1981.
14. Иродов И.Е., Савельев И.В., Замша И.В. Сборник задач по общей физике. 1982.

M A Z M U N Y

Sözbaşy. 7

I bap. Şöhlelenmäniň kwant häsiýeti. 9
Fotonlar. 25
Fotoelektrik hadysasy. 26
Ýagtylygyň basyşy 27
Ýylylyk şöhlelenmesi. 29
Komptonyň hadysasy. 30

II bap. Kwant mehanikasynyň elementleri.. 32
Mikrobölejikleriň tolkun häsiýeti 45
Geýzenbergiň kesgitsizlikler gatnaşygy. 46
Mikrobölejikleriň ýönekeý hereketleri. Şrýodeingeriň
deňlemesi 48

III bap. Atomyň gurluşy 50
Rezerfordyň-Boruň atom modeli. Balmeriň umumylaşdyrylan
formulasy 62
Rentgen şöhlelenmesi. Moziliniň kanuny 63
Atomyň gurluşynyň kwant nazaryýeti 64

IV bap. Gaty jisimlerde kwant hadysalary. 66

Gaty jisimleriň ýylylyk sygymy..... 77
Kwant statistikasynyň elementleri 79
Gaty jisimlerde elektrik geçirijilik 81

V bap. Atom ýadrosynyň we elementar bölejikleriň fizikasy 83
Atom ýadrosynyň gurluşy 104
Radioaktiwlik 106
Ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň mukdar ölçegleriniň elementleri 107
Atom ýadrolarynyň massa ýetmezçiligi we baglanyşyk energiýasy 109
Ýadro öwrülmeleri 110
Elementar bölejikler 111
Meseleleriň jogaplary we çözülişleri 115

Goşmaçalar

Matematikadan käbir maglumatlar 127
Fiziki ululyklaryň ölçeg birlikleri barada käbir maglumatlar 136
Fiziki ululyklaryň tablisalary 142
Esasy fiziki hemişelikler 154
Edebiýat 155