

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI



100 YIL



Polvonov S.R., Kanakov Z., Ruzimov Sh. M.
ATOM VA YADRO FIZIKASIDAN
MASALALAR TO'PLAMI

O'zbekiston Respublikasi
Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi

Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy Universiteti

*Mirzo Ulug'bek nomidagi
O'zbekiston Milliy universiteti
100 yilligiga bag'ishlanadi*

S.R.Polvonov, Z.Kanokov, Sh.M.Ruzimov

ATOM VA YADRO FIZIKASIDAN MASALALAR TO'PLAMI

O'quv qo'llanma

Toshkent
«UNIVERSITET»
2017

Ushbu o'quv qo'llanma atom va yadro fizikasi kursining asosiy bo'limlariga oid masalalarni o'z ichiga olgan. Har bir bo'limga tegishli asosiy formulalar, uslubiy ko'rsatmalar va masalalarni yechishga doir misollar keltirilgan.

Qo'llanma oliy o'quv yurtlarida fizika mutaxassisligi bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar, ilmiy xodim-izlanuvchilar hamda o'qituvchilar uchun mo'ljallangan.

Taqrizchilar: f.-m.f.d., prof. X.Iliev.
f.-m.f.n. Ya.A.Saydimov.

Ushbu o'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2015 yil 30 maydagi 191-sonli buyrug'i bilan nashr qilishga tavsiya etildi.

ISBN-978-9943-4586-6-6

MUNDARIJA

So'z boshi	4
I bob. Atom fizikasi	
1-§ Issiqlik nurlanishi.....	5
2-§ Elektromagnit nurlanishning kvant xususiyati.....	18
3-§ Bor atomi.....	34
4-§ Zarrachalarning to'liqin xususiyatlari.....	43
5-§ Spektrlar. Atomlarning elektron qobiqlari.....	56
II bob. Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi	
6-§ Atom yadrosining asosiy xususiyatlari.....	66
7-§ Radioaktivlik.....	73
8-§ Yadro nurlanishlarining modda bilan o'zaro ta'siri.....	85
9-§ Yadro reaksiyalari.....	94
10-§ Elementar zarralar.....	104
Javoblar.....	114
Ilovalar.....	182
Adabiyotlar.....	198

SO‘Z BOSHI

Talabalar fizik jarayon va qonunlarni chuqurroq o‘zlashtirishi uchun, nafaqat bilishi, balki ularni amalda qo‘llay olishi ham kerak. Biror-bir fizik jarayonni amalda o‘rganish va qo‘llash uchun esa, fizik masalalarni yechish usullarini bilishi kerak. Fizikadan masalalar yechish jarayonida talabalarda umumiy nazariy qonuniyatlarni muayyan sharoitda amalda qo‘llay bilish ko‘nikmasi shakllanadi, natijada nazariy olingan bilim yanada mustahkamlanadi. Talaba masala yechish orqali olgan nazariy bilimlarini nafaqat amaliy muammolarni yechishda qo‘llashni o‘rganadi, balki u, shu fanni qanchalik chuqur tushunganligini va uning bilimi quruq yodlashdan iborat emasligini amalda ko‘rsatadi. Bu usul o‘qituvchi uchun talaba bilimini aniqlashda eng samarali usullaridan biri ekanligini ta’kidlash lozim.

Masala yechish uchun, odatda, fizika qonunlarini bilishning o‘zi yetarli emas. Ba’zi hollarda, ma’lum bir guruh masalalarni yechish uchun maxsus usullarni bilish zarur bo‘lsa, boshqa hollarda esa bunday usullar mavjud emas. Bunday holda eng muhimi, ishning muvaffaqiyatli bo‘lishi uchun nazariyani bilishdan tashqari analitik fikrlash qobiliyatiga ham ega bo‘lish kerak.

Shu nuqtai nazardan qaraganda masalaning bu ikki tomoniga seminar mashg‘ulotlarida hamma vaqt ham yetarlicha e’tibor berilmaydi. Hozirda o‘zbek tilidagi adabiyotlar ichida yadro fizikasidan masalalar yechish usullarini o‘rgatuvchi qo‘llanmalar yetarlicha emasligi ushbu qo‘llanmaning yaratilishiga turtki bo‘ldi.

Mazkur qo‘llanma hozirda Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universitetining “Fizika fakulteti”da talabalarga o‘qitilayotgan “Umumiy fizika” kursining “Atom fizikasi” va “Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi” bo‘limlari dasturlari asosida yaratildi. Qo‘llanmaning asosiy maqsadi talabalarda ushbu kurs bo‘yicha mustaqil masalalar yechish usullarini o‘rgatishdan iborat. Qo‘llanmadan seminar mashg‘ulotlar o‘tkazish vaqtida ham foydalanish mumkin.

Qo‘llanmaning har bir bobida masalalarni yechish uchun qonunlar bayon qilinib, formulalar va uslubiy ko‘rsatmalar berilgan. Har bir masalani yechishda olinadigan ifodalari sodda va batafsil keltirib chiqarilgan. Masalalar “oddiydan-murakkabga” tartibida joylashtirilgan. Keltirilgan masalalarning yechimi o‘quvchining fizikaviy qonunlarni tushinib olishiga va ularning fikrlash qobiliyatini rivojlantirishga qaratilgan. Qo‘llanma yakunida esa har bir bobga oid mustaqil yechish uchun masalalar, ularning javoblari, ilovalar va foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati keltirilgan.

O‘zbek tilidagi ushbu qo‘llanma akademik litsey va kasb-hunar kollejlari, universitet va inistitut talabalari hamda o‘qituvchilari uchun mo‘ljallangan.

I bob. ATOM FIZIKASI

1-§. Issiqlik nurlanishi

Asosiy formulalar

• Absolyut qora jismning energetik yorqinligi (yorituvchanligi) - R_e , nurlanayotgan sirtning birlik yuzasi chiqarayotgan issiqlik oqimi - Φ_e bilan o‘lchanadi:

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{1}{S} \frac{dW_e}{dt}, \quad (1.1)$$

Bunda: dW_e -vaqtning dt oralig‘ida S sirt nurlanayotgan energiya.

• Absolyut qora jism energetik yorqinligining spektral zichligi - $r_{\nu T}$ quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$r_{\nu T} = \frac{dR_e}{d\nu}; \quad R_e = \int_0^{\infty} r_{\nu T} d\nu \quad (1.2)$$

Bunda: dR_e - chastotaning ν dan $\nu+d\nu$ gacha bo‘lgan intervaliga to‘g‘ri keluvchi energetik yorqinligi.

• Ixtiyoriy jism bilan shu temperaturadagi absolyut qora jism energetik yorqinligining spektral zichliklari orasidagi munosabat (Kirxgof qonuni):

$$r_{\nu T}^j = a_{\nu T} r_{\nu T}, \quad (1.3)$$

bunda: $a_{\nu T}$ - berilgan jismning monoxromatik yutilish koeffitsienti, ya’ni jism sirtiga tushayotgan chastotasi ν bo‘lgan nurlanish oqimining qancha qismi jism tomonidan yutilishini ko‘rsatuvchi to‘g‘ri kasr. Ayrim adabiyotlarda α bilan belgilanadi va **qoralik darajasi** deb nomlanadi.

• **Stefan-Bolsman qonuni.** Absolyut qora jism sirt birligidan bir sekunda nurlanayotgan energiya yoki shu jismning energetik yorqinligi absolyut temperaturaning to‘rtinchi darajasiga to‘g‘ri proporsional:

$$R_e = \sigma T^4, \quad (1.4)$$

bunda σ - Stefan-Bolsman doimiysi deyiladi va u quyidagiga teng:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{J}{m^2 \cdot s \cdot K^4}.$$

• Agar nur sochayotgan jism absolyut qora bo‘lmasa, u holda uning energetik yorqinligi:

$$R_e^j = \alpha \sigma T^4, \quad (1.5)$$

tenglama orqali aniqlaniladi, bunda α - koeffitsienti doim birdan kichik bo‘lib, u kulrang jismning issiqlik nurlanish koeffitsienti (qoralik darajasi) ham deyiladi. Bu koeffitsient volfram uchun ilovada keltirilgan

- Vinning siljish qonuni (1- qonuni)

$$\lambda_{\max} T = b_1 \quad (1.6)$$

Bunda: $b_1 = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ - Vin birinchi doimiysi: λ_{\max} -maksimal nurlanish energetik yorqinligiga to'g'ri keluvchi to'lqin uzunligi.

- Vinning ikkinchi qonuni:

$$r_{\lambda T_{\max}} = b_2 T^5, \quad (1.7)$$

bunda: $r_{\lambda T_{\max}}$ - absolyut qora jismning monoxromatik maksimal nurlanish intensivligi (maksimal spektral yorqinligi); b_2 – Vinning ikkinchi doimiysi ($b_2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Vt} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-5}$).

- Absolyut qora jism energetik yorqinlik zichligi uchun Plank formulasi:

$$r_{\nu T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}, \quad (1.8)$$

bunda: $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ - Plank doimiysi; k - Bolsman doimiysi; c - yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Ushbu bo'bdagi masalalarni yechish jarayonida quyidagi uslubiy ko'rsatmalarga rioya qilish maqsadga muvofiq:

1. (1.2) formula bo'yicha aniqlanuvchi jism energetik yorqinligining spektral zichligi, $r_{\nu T}$ kattalik bilan bir qatorda, nurlanish energiyasining to'lqin bo'yicha taqsimotini ko'rsatuvchi $r_{\lambda T}$ kattalik bilan ham karakterlanadi va u quyidagi formula orqali ifodalaniladi:

$$r_{\lambda T} = \frac{dR_e}{d\lambda}, \quad (1.9)$$

bu yerda: dR_e - to'lqin uzunligining λ dan $\lambda + d\lambda$ gacha bo'lgan intervaliga to'g'ri keluvchi energetik yorqinlik.

2. Yuqoridagi keltirilgan asosiy (1.4), (1.6), (1.7);3 va (1.8) formulalar faqat absolyut qora jism uchun o'rinlidir.

Fizika fani bo'yicha mavjud adabiyotlarda issiqlik nurlanishini karakterlovchi kattaliklarga nisbatan yagona terminologiya mavjud emas. Masalan, mazkur tushunchalar "energetik yorituvchanlik", "integral yorqinlik", "integral nurlanish qobiliyati" yoki "nurlanishning yig'indi quvvati" kabi terminlar yordamida ham ifodalanadi. Energetik yorituvchanlik adabiyotlarda ikki xil ko'rinishda belgilanadi, ya'ni, R_e (yoki R) va M_e (yoki M). Energetik yorqinlikning spektral zichligi r_λ kattalik ham turlicha nomlanadi, ya'ni absolyut qora jismning spektral nur chiqarish qobiliyati (yoki oddiy nur chiqarish qobiliyati), energetik yorituvchanlikning spektral zichligi. Ba'zi adabiyotlarda r_λ kattalik u_λ (yoki

u_e) deb ham belgilanadi va u issiqlik nurlanish energiyasining hajmiy zichligi deb ham nomlanadi. Ushbu hol o'zbek tilidagi adabiyotlarda ham uchraydi, ya'ni bitta kattalik turli xil nomlanadi. Masalan, energetik yorqinlikni energetik yorituvchanlik deb atash va h.k.

Masalalar yechish uchun namunalalar

1-masala. Absolyut qora jism temperaturasini 100 dan 300°C gacha oshirganda uning to'liq nurlanish quvvati necha marta oshishini toping.

Yechilishi: Jismning nurlanish quvvati quyidagi ifoda bilan aniqlaniladi:

$$N = RS, \quad (1)$$

bu yerda: R – jismning energetik yorqinligi, S – sirtining yuzasi.

Stefan-Bolsman qonuniga binoan jismning energetik yorqinligi quyidagiga teng:

$$R = \sigma T^4. \quad (2)$$

(1) va (2) ifodalardan quyidagi ifodani hosil qilamiz;

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\sigma T_2^4 S}{\sigma T_1^4 S} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4. \quad (3)$$

Ushbu ifodaga kattaliklarning son qiymatlarini, ya'ni $T_1 = 373 \text{ K}$ va $T_2 = 573 \text{ K}$ larni qo'yamiz va hisoblashni bajaramiz:

$$\frac{N_2}{N_1} = 5,6.$$

Demak, nurlanish quvvati 5,6 marta oshadi.

2-masala. Absolyut qora jism temperaturasi 300°C dan 100°C gacha kamaydi. Energiya taqsimotining maksimumiga mos keladigan to'lqin uzunligi qanday va qanchaga o'zgaradi?

Yechilishi: Vin qonuniga asosan energiya taqsimotining maksimumiga yoki maksimal nurlanish intensivligiga (maksimal spektral yorqinligi) mos keladigan λ_{\max} to'lqin uzunligi quyidagiga teng:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}.$$

Bu formulaga asosan quyidagi formulalarni yozamiz:

$$\lambda_{1\max} = \frac{b}{T_1}; \quad \lambda_{2\max} = \frac{b}{T_2};$$

$$\Delta\lambda_{\max} = \frac{b}{T_1} - \frac{b}{T_2} = b \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right);$$

Ushbu ifodaga kattaliklarning son qiymatlarini, ya'ni $T_1 = 1000$ K, $b = 2,89 \cdot 10^{-3}$ m·K va $T_2 = 850$ K larni qo'yamiz va hisoblashlarni bajramiz:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{\max} &= 0,51 \cdot 10^{-6} \\ \lambda_{1\max} &= 2,89 \cdot 10^{-6} \text{ m}; \\ \lambda_{2\max} &= 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}.\end{aligned}$$

Binobarin, to'liq uzunligi 0,51 mkm ga oshgan.

3-masala. Cho'g'lanma elektr lampa nurlanishning maksimum energiyasiga mos keluvchi to'liq uzunligi aniqlansin, Cho'g'lanma lampa tolasining uzunligi $l = 15$ sm va diametri $d = 0,03$ mm. Lampa iste'mol qilayotgan quvvat $R = 10$ Vt. Lampa tolasining yutilish koeffitsienti $\alpha = 0,3$ ga teng bo'lgan kul rang jism kabi nurlanadi. Iste'mol qilinayotgan energiyaning 20%i boshqa jismlarga issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya orqali uzatiladi.

Yechilishi: Vinning birinchi qonuniga asosan

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}. \quad (1)$$

Tola temperaturasini Stefan-Bolsman qonunini qo'llab topamiz, ya'ni:

$$0,8P = \alpha\sigma T^4 \pi dl, \quad (2)$$

bu ifodadan T ni topamiz:

$$T = \sqrt[4]{\frac{0,8P}{\alpha\sigma\pi dl}}. \quad (3)$$

(3) ni (1) ga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$\lambda_{\max} = b \sqrt[4]{\frac{\alpha\sigma\pi dl}{0,8P}}.$$

Kattaliklar qiymatlarini qo'yamiz va λ_{\max} ni aniqlaymiz:

$$\lambda_{\max} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

4-masala. T_0 temperaturali diametri D va issiqlik sig'imi C bo'lgan metall shar nurlanishi oqibatida sovumoqda. Yutilish koeffitsienti - α . Qancha vaqtdan keyin shar temperaturasi T_1 ga teng bo'ladi?

Yechilishi: Sovuganda shar ichki energiyasining o'zgarishi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$dE = -CdT, \quad (1)$$

bu yerda: dT - temperatura o'zgarishi. Ushbu ichki energiya o'zgarishini energetik yorqinlik (yorituvchanlik), shar sirtining yuzasi va vaqt orqali ifodalash mumkin:

$$dE = R'_c S dt = \frac{1}{4} R'_c \pi D^2 dt = \frac{1}{4} \alpha \sigma T^4 \pi D^2 dt \quad (2)$$

(1) va (2) ifodalarning o'ng tomonlarini tenglashtiramiz:

$$-CdT = \frac{1}{4} \alpha \sigma T^4 \pi D^2 dt,$$

yoki

$$-\frac{dT}{T^4} = \frac{\pi \alpha \sigma D^2}{4C}$$

Integrallab, quyidagini olamiz:

$$\frac{1}{3T^3} = \frac{\pi \alpha \sigma D^2}{4C} t + A$$

Bu yerda: A - integrallash doimiysi.

$t = 0$ bo'lganda $T = T_0$:

$$A = \frac{1}{3T_0^3},$$

u holda

$$\frac{1}{3T^3} = \frac{\pi \alpha \sigma D^2}{4C} t + \frac{1}{3T_0^3}$$

Bu yerdan:

$$t = \frac{4C \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_0^3} \right)}{3\pi \alpha \sigma D^3}$$

5-masala. Elektr pechi $R = 500$ Vm quvvat iste'mol qiladi. Diametri 5 sm bo'lgan teshikcha ochiq bo'lganda, uning ichki sirtining temperaturasi 700°C ga teng. Iste'mol qilinadigan quvvatning qancha qismi devorlar orqali sochiladi?

Yechilishi: Pechning o'rnatilgan issiqlik rejimida u har sekundda iste'mol qilayotgan energiya (ya'ni quvvat) R , tashqariga teshik va devorlar orqali nurlanadi. Binobarin:

$$P = \Phi'_e + \Phi'_d \quad (1)$$

bu yerda: Φ'_d, Φ'_e - mos holda teshik va devorlardan chiqayotgan nurlanishlar oqimi. Masalada $\alpha = \Phi'_d / P$ ni topish talab qilinadi. (1) chi ifodani e'tiborga olsak:

$$\alpha = \frac{\Phi'_e}{P} = \frac{P - \Phi'_d}{P} = 1 - \frac{\Phi'_d}{P}. \quad (2)$$

Pechning uncha katta bo'lmagan teshigidagi nurlanishni absolyut qora jismning nurlantishi kabi deb hisoblab, (1,1) formula va Stefan-Bolsman qonuniga asosan:

$$\Phi'_e = R_e S = \sigma T^4 \pi D^2 / 4 \quad (3)$$

(3) ni (2) ga qo'yamiz va quyidagini olamiz:

$$\alpha = 1 - \frac{\pi D^2 \sigma T^4}{4 P}$$

Ushbu formulaga SIda ifodalangan kattaliklarning qiymatlarini qo'yamiz va α ni topamiz:

$$P = 500 \text{ Vt}, d = 0,050 \text{ m}, T = 973 \text{ K}, \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J/(m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4).$$

Natija: $\alpha = 0,8$.

6-masala. Vakuumba volfram tolasi 1A tok bilan 1000° K temperaturagacha cho'g'lantiriladi. Tok kuchi qancha bo'lganda sim 3000°K gacha cho'g'lanadi? Hisoblashda sim osmalarining issiqlik o'tkazishi va atrofdagi jismlarning katta nurlanishlari e'tiborga olinmasin. T_1 va T_2 temperaturalariga mos keluvchi volframning nurlanish koeffitsientlari va solishtirma qarshiliklari quyidagiga teng:

$$\alpha_{T_1} = 0,115, \quad \alpha_{T_2} = 0,334, \quad \rho_1 = 25,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}, \quad \rho_2 = 96,2 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m}.$$

Yechilishi: Qaror topgan temperaturada jism nurlanish uchun:

$$P = \Phi_e, \quad (1)$$

bu yerda: R – volfram tolaning elektr energiya manbaidan iste'mol qiladigan quvvati, Φ_e – tola chiqarayotgan nurlanish oqimi. R quvvatni I va ρ kattalıklar orqali ifodalaymiz:

$$P = I^2 R = I^2 \rho l / S. \quad (2)$$

Φ_e nurlanish oqimini topish uchun, volfram nurlanishi shu temperaturagacha qizdirilgan absolyut qora jism nurlanishidan keskin farq qilishini hisobga olish kerak, ya'ni (1,1) va (1,5) formulalardan foydalanamiz:

$$\Phi_e = R'_e S = \alpha_T \sigma T^4 S. \quad (3)$$

(1)-(3) dan

$$I^2 \rho l = \alpha_T \sigma T^4 S^2$$

Ushbu ifodani T_1 va T_2 temperaturalar uchun yozamiz:

$$I_1^2 \rho_1 l = \alpha_{T_1} \sigma T_1^4 S^2,$$

$$I_2^2 \rho_2 l = \alpha_{T_2} \sigma T_2^4 S^2.$$

Bu ikkala tenglama nisbatini olamiz va undan I_2 ni topamiz

$$I_2 = I_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 \sqrt{\frac{\alpha_{T_2} \rho_1}{\alpha_{T_1} \rho_2}} = 7,9 \text{ A}.$$

Javob: $I_2 = 7,9 \text{ A}$.

7-masala. (1.2) va (1.9) formulalardan kelib chiqqan holda, jism energetik yorqinligining spektral zichligini xarakterlovchi $r_{\lambda T}$ va $r_{\lambda T}$ kattaliklar orasidagi munosabatni toping. $r_{\lambda T}$ kattalik uchun Plank formulasini yozing.

Yechilishi: Nurlanish spektri har bir elementar qismini dv , chastota va $d\lambda$ to'liqin intervallardek xarakterlash mumkin. Sababi ν, λ kattaliklar quyidagi ma'lum munosabat bilan bog'langan:

$$\nu = c / \lambda, \quad (1)$$

unda:

$$\frac{dv}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}. \quad (2)$$

Bu yerdan ko'rinadiki, dv va $d\lambda$ kattaliklar qarama-qarshi ishoraga ega. Bunda dv , $d\lambda$ kattaliklar ishorasi va (1.2), (1.9) formulalarni hisobga olib quyidagini yozamiz:

$$r_{\nu T} dv = -r_{\lambda T} d\lambda. \quad (3)$$

(2) va (3) dan masalaning birinchi savoliga javob topamiz:

$$r_{\lambda T} = -r_{\nu T} \frac{dv}{d\lambda} = r_{\nu T} \frac{c}{\lambda^2}. \quad (4)$$

Plank formulasidagi $r_{\nu T}$ kattalikdan $r_{\lambda T}$ kattalikka o'tish uchun (1) va (4) munosabatlardan foydalanishning o'zi yetarlidir:

$$r_{\lambda T} = \frac{c}{\lambda^2} r_{\nu T} = \frac{c}{\lambda^2} \cdot \frac{2\pi h (c/\lambda)^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda KT} - 1},$$

yoki

$$r_{\lambda T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda KT} - 1}. \quad (5)$$

8-masala. Temperaturasi $T = 2000 \text{ K}$ gacha qizdirilgan volfram tolasining nurlanish maksimumiga mos keluvchi to'liqin uzunligidan 1% ga farq qiluvchi to'liqin uzunligi intervalidagi nurlanish quvvati aniqlansin.

Yechilishi: Volfram tolasi absolyut qora jism hisoblanmaydi. $T = 2000 \text{ K}$ temperaturada volfram uchun yutilish koeffitsienti $\alpha = 0,26$ (ilovadagi 4-jadval).

$\Delta\lambda$ To'liqin intervalidagi nurlanish quvvati:

$$P_{\Delta\lambda} = \sigma r_{\lambda T} \Delta\lambda S, \quad (1)$$

bu yerda: $r_{\lambda T}$ - absolyut qora jismining spektral energetik yorqinligi:

$$r_{\lambda T} = \frac{4\pi^2 c^2 h}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1)} \quad (2)$$

bu yerda: $h = 2\pi h$ - Plank doimiysi. Masala sharti bo'yicha topilgan to'liq uzunlik λ , nurlanish maksimumiga mos keluvchi to'liq uzunlikdir, binobarin:

$$\lambda = \lambda_0 - \frac{b_1}{T} \quad \text{va} \quad \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = 0,02\lambda_0 \quad (3)$$

(1)-(3) tenglamalardan:

$$P_{\Delta\lambda} = \alpha S \frac{8\pi^2 c^2 h T^4}{100 b_1^4 (e^{\frac{2\pi hc}{b_1 K}} - 1)} = \frac{1}{25} \cdot \frac{2\pi^2 c^2 h}{b_1^4} \cdot \frac{1}{(e^{\frac{2\pi hc}{b_1 K}} - 1)} T^4$$

Hisoblashlarni bajarib, quyidagi natijani olamiz:

$$P_{\Delta\lambda} = 4,35 \cdot 10^{-2} \text{ Vt.}$$

Masalalar

1.1. Absolyut qora jism nurlanish energiyasining maksimumi 450 nm to'liq uzunligiga mos keladi. Jismning temperaturasi va energetik yorqinligini aniqlang.

1.2. Absolyut qora jism nurlanish quvvati 34 kVt ga teng. Agar jism sirtining yuzasi 0,6 m² bo'lsa, uning temperaturasini toping.

1.3. Elektr lampasi volfram spiralining diametri 0,3 mm, uzunligi esa 5 sm ga teng. Ushbu lampani 127 V kuchlanishli zanjirga ulanganda, undan o'tgan tokning kuchi 0,31 A ga teng bo'lsa, spiralning temperaturasi nimaga teng bo'ladi? Issiqlik muvozanati vujudga kelganda toladan ajralib chiqayotgan issiqlikning hammasi nurlanishga sarf bo'ladi deb hisoblang. Ushbu temperaturada volfram energetik yorqinligining absolyut qora jismning energetik yorqinligiga nisbati 0,31 ga teng deb olinsin.

1.4. Absolyut qora jism temperaturasi ikki marta oshganligi sababli λ_{\max} kattalik 600 nm ga kamaygan. Jismning boshlang'ich va oxirgi temperaturalarini toping.

1.5. Nurlatish qobiliyati $5,7 \cdot 10^4$ Vt/m² bo'lgan jism issiqlik nurlanishi spektridagi eng katta ehtimollik bilan chiqariladigan to'liq uzunligini aniqlang.

1.6. Qora jismning energetik yorqinligi - R ikki marta ortishi uchun termodinamik haroratni qancha oshirish kerak?

1.7. Absolyut qora jism energetik yorqinligi 3,0 Vt/m². Ushbu jismning maksimal nurlanish qobiliyatiga mos keladigan to'liq uzunligini aniqlang.

1.8. Absolyut qora sirtli, zichligi ρ va radiusi r bo'lgan metall sharcha temperaturasi 0 K ga yaqin holda doimiy tutib turilgan va havosi

so'rib olingan idishga tushirilgan. Agar sharchaning issiqlik sig'imi - C_v , boshlang'ich temperaturasi - T_0 bo'lsa, qancha vaqtdan so'ng uning temperaturasi n marta kamayadi?

1.9. Harorati $T=400$ K, yuzasi $S=2$ sm² bolgan kul sirtidan 5 min da $W=83$ J energiya nurlanadi. Kulni issiqlikdan nurlanish koeffitsienti ϵ ni toping.

1.10. Qora jismning energetik yorqinligini maksimal spektral zichligi $4,16 \cdot 10^{11}$ (Vt/m²)/m bo'lsa, u qanday to'liq nuzunligi λ_m ga mos keladi?

1.11. Plank formulasi yordamida Stefan-Bolsman va Vinning siljish qonunlarini hosil qiling.

1.12. Pechdagi 6,1 sm² o'lchamli teshikdan 1 s da 8,28 kal issiqlik nurlanadigan bo'lsa, pechning temperaturasi qancha? Nurlanishni absolyut qora jismning nurlanishiga yaqin deb hisoblang.

1.13. Quyosh sirt qatlamining harorati 5,3 kK. Quyoshni qora jism deb hisoblab, uning energetik yorqinligini maksimal spektral zichligiga mos keluvchi λ_m to'liq uzunligini aniqlang.

1.14. Quyosh 1 minutda qancha miqdor energiya chiqaradi? Quyosh nurlanishi absolyut qora jism nurlanishiga yaqin deb hisoblang. Quyosh sirtining temperaturasini 5800⁰ K ga teng deb oling.

1.15. Jism yuzasining ΔS qismi Δt vaqtda 2π fazaviy burchakka ΔE energiya nurlantiradi. Bu qismning R energetik yorqinligini toping.

1.16. Quyida keltirilgan a) 3 K, b) 300 K, c) 3000 K, d) 5000 K temperaturalar uchun absolyut qora jismning nurlantirish qobiliyati maksimumiga mos keluvchi to'liq uzunliklari λ_m ni toping. Topilgan to'liq uzunliklari qaysi spektral sohaga mos keladi?

1.17. Agar Quyoshdan Yergacha bo'lgan masofa $1,5 \cdot 10^8$ km, Quyosh radiusi $6,9 \cdot 10^5$ km va Quyosh doimiysi $1,35$ Vt / m² bo'lsa, quyosh sirtidagi temperaturani baholang. Quyoshning nurlanishi absolyut qora jism nurlanishi kabi hisoblansin.

1.18. Quyoshni absolyut qora jism deb hisoblab, Yer yaqinida atmosferadan tashqari intensivligi (bu intensivlik quyosh doimiysi deb ataladi) I ni toping. Quyosh sirti temperaturasi - $T = 5785$ K.

1.19. Yuzasi 0,2 sm² bolgan 2000 K gacha qizdirilgan yuza 1 s da qancha energiya yo'qotadi? Yuzaning yutish qobiliyati - 0,5.

1.20. Harorati 37⁰ C bolgan qora jismning nurlanish maksimumiga mos keluvchi to'liq uzunligi hamda energetik yorqinligini aniqlang.

1.21. Quyoshni maksimal nurlanish qobiliyatiga mos keluvchi to'liq uzunligi -0,5 mkm. Quyosh qora jismday nurlanadi deb hisoblab, uning sirti temperaturasi va nurlanish quvvatini aniqlang.

1.22. Quyoshni qora jism deb hisoblab, Yer yaqinidagi nurlanish intensivligini toping. Quyosh sirtining haroratini 5780 K deb oling.

1.23. Gipotetik jismning nur chiqarish imkoniyati quyidagi funksiya bilan berilgan:

$$r_{\omega} = \begin{cases} 0, & \omega < \omega_1, \\ p, & \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2, \\ 0, & \omega > \omega_2, \end{cases}$$

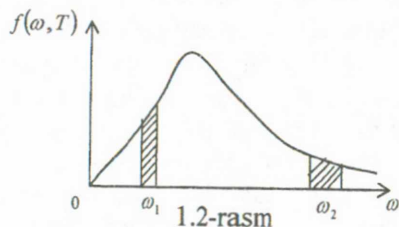
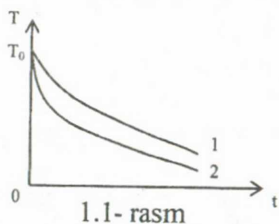
bu yerda: p -o'zgarmas kattalik. Jismning R energetik nurlanishini toping.

1.24. Biror jismning nur chiqarish imkoniyati $r_{\omega} = r_0 \exp(-\alpha\omega)$ qonun bilan ifodalanadi, bu yerda: r_0 va α - o'zgarmas kattaliklar. Jismning R energetik nurlanishini toping.

1.25. Agar jismning nur yutish (chiqarish) imkoniyati ma'lum bo'lsa, uning nur chiqarish (yutish) imkoniyati nimaga teng?

1.26. Kichik chastotalar ($h\nu \ll kT$) sohasida Plank formulasi bilan foydalangan holda Reley-Jins formulasi keltirib chiqaring.

1.27. Ikkita bir xil hajm va o'lchamdagi jismlar T_0 boshlang'ich temperaturagacha qizdirilib, bir-biridan izolatsiyalangan holda vakuumga joylashtirildi. Jismlardan biri shishadan, boshqasi esa grafitdan qilingan. 1.1-rasmda soviyotgan jismlar temperaturasi vaqtga bog'lanishi keltirilgan. Egri chiziqlarning qaysi biri shishaga va grafitga mos kelishini aniqlang.



1.28. Kirxgofning universal funksiyasini ifodalovchi grafikda yuzalari teng ikkita tor maydon ajratib ko'rsatilgan (1.2 - rasm). Absolyut qora jism uchun ko'rsatilgan ω_1 va ω_2 chastotalarda: a) nur chiqarish imkoniyati $r_{\omega T}$; b) energetik $\Delta R_{\omega T}$ nurlanishi bir xilmi?

1.29. Yutilish imkoniyati a ga teng bo'lgan va nurlanish bilan muvozanatda bo'lgan jism yuzasining bir qismiga Φ_{tush} ga teng oqim energiyasi tushadi. Jism yuzasining bir qismidan 2π fazoviy burchak bilan tarqalayotgan nurlanishning: a) yutilish qismiga tushuvchi F_{tush} oqim

energiyasini; b) undan qaytgan Φ_{qayt} oqim energiyasini; v) $\Phi_{\text{to'la}}$ to'liq oqimni aniqlang.

1.30. Temperaturasi T da ushlab turilgan, yopiq qobiq ichiga, boshlang'ich temperaturalari turli xil bo'lgan bir qancha jism kiritilgan. Jismlardan birining yuzasini absolyut ko'zgu deb qarash mumkin. Bunday sistemada issiqlik muvozanati bo'lishi mumkinmi? Agar mumkin bo'lsa, u qanday amalga oshadi?

1.31. Agar Yerga yuz yil davomida quyosh energiyasi kelib tushmasa, uning temperaturasi qancha gradusga pasaygan bo'lar edi? Yerning radiusi $6,4 \cdot 10^6$ m, solishtirma issiqlik sig'imi $200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, zichligi $5500 \text{ kg}/\text{m}^3$, o'rtacha teperatura 300 K, yutilish koeffitsienti 0,8 ga teng qabul qilinsin. Uning temperaturasi qancha vaqtda 27 K ga tushadi?

1.32. Muvozanat issiqlik nurlanish $u(\omega, T)$ spektral hajmiy zichligining ω chastotaga sifat bog'lanishini tasvirlang. Ushbu bog'lanish grafigi yordamida quyidagi hollar uchun egri chiziq ostidagi yuzaning fizik mohiyatini tushuntiring: a) ω_1 dan ω_2 gacha bo'lgan chastota oralig'ida; b) chastotaning barcha oralig'ida.

1.33. Absolyut qora jism temperaturasi $T_1 = 2000 \text{ K}$ ga teng. Ushbu jismni sovutish natijasida maksimal nurlanish qobiliyatiga mos keluvchi to'liq uzunligi $\Delta\lambda = 9 \text{ mkm}$ ga o'zgaragan. Jism qanday T_2 temperaturada sovugan?

1.34. Spektral hajmiy zichligi $u(\omega, T)$ bilan muvozanatda bo'lgan issiqlik nurlanishi yopiq qobiq ichiga joylashtirilgan. Qobiq devorining nur yutish imkoniyati $a_{\omega T}$ ga teng. a) nur chiqarish $r_{\omega T}$ imkoniyatini; b) qobiq devorining R energetik nurlanishini toping.

1.35. Vin formulasi $f(\omega, T) = \omega^3 F(\omega/T)$, yordamida: bu yerda: $F(\omega/T)$ -ixtiyoriy ko'rinishdagi funksiya, a) $f(\omega, T)$ funksiya maksimumiga to'g'ri keluvchi ω_m chastotani T ga proporsionalligini; b) $F(\omega/T)$ egri chiziq maksimumini T^3 ga proporsionalligini; c) absolyut qora jismning R energetik nurlanishini T^4 ga proporsionalligini ko'rsating.

1.36. Kichik tirqishli kovak devori T temperaturani saqlab turibdi. Tirqishdan chiqayotgan nurlanish spektrogram bilan tahlil qilinmoqda. Nurlanishning spektral tarkibini ko'rsatuvchi $\varphi(\lambda, T)$ funksiyaning taxminiy grafigini tuzing. Tirqishning energetik nurlanishi R nimaga teng va u $\varphi(\lambda, T)$ funksiya orqali qanday ifodalanadi?

1.37. T temperatura bilan muvozanatda bo'lgan issiqlik nurlanishining $u(T)$ hajmiy zichlikka bog'liqligini toping.

1.38. Atrof muhit temperaturasi $t_0=23^{\circ}\text{C}$ bo'lganda energiya yutilishiga nisbatan 10 marta ko'p energiya nurlanadigan jism temperaturasi aniqqlang.

1.39. Issiqlik yo'qotish faqat nurlanish evaziga sodir bo'ladi deb hisoblab, atrof muhit temperaturasi $t_0=-17^{\circ}\text{C}$ bo'lganda diametri $d=2\text{ sm}$ bo'lgan sharchani $t=17^{\circ}\text{C}$ temperaturada ushlab turish uchun unga qanday quvvatdagi nurlanish berish kerak? Misning yutish qobilyatini $A_r=0,6$ ga teng deb hisoblang.

1.40. Sharsimon shakldagi yo'ldosh Yer atrofida harakatlanmoqda. Yo'ldoshni absolyut qora jism deb hisoblab, quyidagilarni aniqqlang: 1) agar yo'ldosh hamma vaqt quyosh nuri yorug'ligi ostida bo'lsa, yo'ldoshda qaror topgan temperatura; 2) yo'ldosh sirtining maksimum nur chiqarish qobilyatiga mos keluvchi to'lqin uzunligi.

1.41. Mufel pechi $P=0,5\text{ kVt}$ quvvat iste'mol qiladi. Diametri $d=5\text{ sm}$ ga teng bo'lgan teshikcha ochiq bo'lganda, uning ichki sirtining temperaturasi $T=973\text{ K}$ ga teng bo'lsa, iste'mol qilinadigan quvvatning qancha qismi devorlar orqali sochiladi?

1.42. Radiusi ρ , yuzasi absolyut qora deb hisoblangan, temperaturasi T da saqlab turilgan sharning: a) energetik nurlanishi R ; b) uning to'liq issiqlik oqimi Φ ; c) shardan $r \gg \rho$ masofadagi elektromagnit nurlanish energiyasining u o'rtacha hajmiy zichligini aniqqlang.

1.43. Quyosh $T_c=6 \cdot 10^4\text{ K}$ temperatura bilan absolyut qora jism kabi nurlanadi deb hisoblab, a) Yer atmosferasining yuqori chegarasida Quyosh nurlanishining j_E energiya oqim zichligini; b) bu nurlanishning u hajmiy energiya zichligini aniqqlang.

1.44. Agar Yer Quyosh nurlanishini absolyut qora jism kabi yutsa, uning sirti qanday temperaturagacha qizishini baholang. Yerning o'z o'qi atrofida sutkalik aylanishida uning sirti temperaturasi hamma joyda bir xil deb hisoblang.

1.45. Diametri $0,1\text{ mm}$ bo'lgan volfram tola ikkinchi bir volfram tola bilan ketma-ket ulangan va vakuumga joylashtirilgan. Tolalar elektr toki bilan qizdirilgan. Birinchi tolaning temperaturasi 2000 K , ikkinchi tolaning diametrini aniqqlang.

1.46. Absolyut qora jismning energetik yorqinligi $R=250\text{ kVt/m}^2$. Bu jismning nurlantirish qobiliyati maksimumiga mos keluvchi λ_m to'lqin uzunligi qanday?

1.47. Yopiq idishda molekular konsentratsiyasi n bo'lgan bir atomli ideal gaz bor. Qanday T temperaturada molekular kinetik energiyasi hajmiy zichligi shu temperaturadagi issiqlik muvozanatidagi

nurlanishning u hajmiy energiya zichligiga teng bo'ladi? Molekular konsentratsiyasi $n=2,7 \cdot 10^{25}\text{ 1/m}^3$ bo'lgandagi T temperaturani son qiymat bo'yicha baholang.

1.48. Hajmi V bo'lgan berk kovak T temperaturadagi muvozanat issiqlik nurlanish bilan to'ldirilgan. Nurlanish issiqlik C_v sig'imining temperaturaga bog'lanishini toping.

1.49. Diametri d bo'lgan absolyut qora devorli metall shar havosi so'rib olingan temperaturasi $T=0\text{ K}$ bo'lgan idishga joylashtirildi. Sharning boshlang'ich temperaturasi T_0 ga teng. Sharning yuzasini absolyut qora deb hisoblab, uning temperaturasi T gacha kamayishi uchun ketgan τ vaqtni toping. Shar moddasining zichligi ρ ga va uning issiqlik sig'imi C ga teng.

1.50. Yuzasi 1 sm^2 bo'lgan absolyut qora jism 2400 K temperaturagacha qizdirilganda uning sirtidan 1 s davomida qancha foton chiqishini aniqqlang. Nurlanish kvantining o'rtacha energiyasini $2,75kT$ ga teng deb hisoblang, bu yerda k - Bolsman doimiysi.

1.51. Issiqlik muvozanati uchun oldingi masala sharti bo'yicha, ichki energiyaning idishdagi issiqlik nurlanishining to'liq energiyasiga nisbatini toping.

1.52. Devorlari absolyut ko'zgu bo'lgan havosi so'rib olingan idishda hajmiy energiya zichligi u bo'lgan muvozanatdagi issiqlik nurlanishi bor. Nurlanishning idish devoriga beradigan P bosimini toping.

1.53. Oldingi masala natijalari bo'yicha, gaz temperaturasi $T=300\text{ K}$ bo'lganda uning bosimi shu temperaturadagi muvozanat issiqlik nurlanishi bosimiga teng bo'lsa, gaz molekularining konsentratsiyasini baholang.

1.54. Oldingi masala sharti bo'yicha gaz molekulari orasidagi o'rtacha masofa $\langle r \rangle$ ni baholang va uning molekulari xarakterli o'lchami $a \sim 10^{-10}\text{ m}$ bilan taqqoslang.

1.55. Issiqlik muvozanatidagi bosim $P_0=101\text{ kPa}$ bo'lgandagi T temperaturani baholang.

1.56. Ma'lumki, koinot muvozanatdagi reaktiv nurlanish bilan to'lgan, uning T temperaturasi hozirgi vaqtda 3 K ($2,72548 \pm 0,00057\text{ K}$) ga teng deb baholanmoqda. Bu nurlanishning bosimini baholang. Reliktiv nurlanish bu yuqori darajada izotropikka va absolyut qora jismga xos bo'lgan spektriga ega bo'lgan koinot elektromagnit nurlanishidir. Ushbu

nurlanish Katta portlash nazariyasini tasdiqlovchi asosiy hodisalardan biridir.

1.57. Yopiq qobiqdagi muvozanatda bo'lgan issiqlik nurlanishi hamma mumkin bo'lgan chastotadagi turg'un to'liqlardan iborat. Temperaturasi T bo'lgan nurlanishda qanday P_n ehtimollik bilan energiyasi $\varepsilon_n = n\hbar\omega$ bo'lgan tebranishlar qatnashadi?

1.58. Oldingi 1.56.-masala natijalaridan foydalanib, chastotasi ω bo'lgan turg'un to'liq uchun $\langle \varepsilon_{\omega T} \rangle$ o'rtacha energiya ifodasini toping.

1.59. Plank formulasi uchun yuqori va quyi temperaturalar mezonini shakllantiring va bu temperatura uchun uning chegaraviy ifodasini o'rnatib.

1.60. Devorlari T temperaturani ushlab turuvchi vakuum kovak ichida muvozanatda turgan issiqlik nurlanishi bor. Chastota ω ning normal modasida fotonlar o'rtacha konsentratsiyasi $\langle n_{\omega T} \rangle$ uchun ifoda oling.

1.61. Qanday minimal T temperaturada chastotasi ω bo'lgan fotonlar nurlanishda sezilarli ehtimollik bilan paydo bo'la boshlaydi?

1.62. 1.59 – masala natijasidan foydalanib, hajm birligidagi issiqlik muvozanatida bo'lgan, ω dan $\omega + d\omega$ gacha oraliqdagi chastotalar uchun $dn_{\omega T}$ o'rtacha fotonlar sonini toping.

1.63. Issiqlik sig'imi C_T va boshlang'ich temperaturasi T_0 bo'lgan absolyut qora jism devorlari absolyut ko'zgu bo'lgan V hajmli idishga kiritildi. Boshlang'ich vaqtda idish ichidagi temperatura nolga teng deb hisoblab, jismning temperatura muvozanati o'rnatilgandan keyingi T temperaturasini toping. Soddalik uchun, jism temperaturasining o'zgarishi juda kichik $\Delta T \ll T_0$ deb oling.

2 - §. Elektromagnit nurlanishning kvant xususiyatlari

Asosiy formulalar

- Foton energiyasi:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (2.1)$$

yoki

$$E = \hbar\omega, \quad (2.2)$$

Bunda: h va \hbar - Plank doimiysi,

$$\hbar = \frac{h}{2\pi},$$

ω -nurlanish siklik chastotasi, ν, λ -nurlanishning chastotasi va to'liq uzunligi.

- Foton impulsi:

$$P_a = m_\phi c = \frac{h}{\lambda} \quad (2.3)$$

- Foton massasi:

$$m_\phi = \frac{E}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \quad (2.4)$$

- Qaytarish koeffitsienti ρ bo'lgan sirtga normal tushayotgan yorug'lik bosimi

$$\rho = \frac{E_\phi}{c} (1 + \rho) \quad (2.5)$$

bunda: E_E – sirt birligiga vaqt birlik ichida tushayotgan energiya miqdori bilan o'lchanadigan kattalik, energetik yoritilganlik.

- Rentgen nurlar spektri qisqa to'liq chegarasi λ_{\min} :

$$\lambda_{\min} = \frac{2\pi\hbar c}{eU}, \quad (2.6)$$

bu yerda: e – elektron zaryadi, U – rentgen trubkasiga qo'yilgan potentsiallar farqi, \hbar - Plank doimiysi.

- Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi:

$$h\nu = A + T \quad (2.7)$$

bunda: $h\nu$ - yutilgan foton energiyasi, A – elektronning chiqish ishi, T – uchib chiqayotgan elektronning maksimal kinetik energiyasi.

- Kompton effekti. Erkin elektronlarda rentgen nurlanishning to'liq uzunligining o'zgarishi (2.1.-rasm):

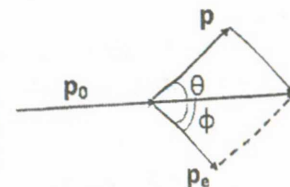
$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) \quad (2.8)$$

bunda: θ – sochilish burchagi, $\frac{h}{m_0c} = \lambda_C$ - kompton to'liq uzunligi ($\lambda_C = 0,00242$ nm). Kompton effekti quyidagi ko'rinishda ham yoziladi:

$$\Delta\lambda = 2 \frac{h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}.$$

(2.9)

Agar fotoeffekt natijasida hosil bo'lgan elektron kinetik energiyasi uning tinchlikdagi energiyasidan juda ham kichik bo'lsa, ya'ni



2.1.-rasm.

$T \ll E_0$, bu yerda: $E_0 = m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV}$, uni klassik zarracha deb hisoblash mumkin.

Ushbu munosabatni quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$\lambda \gg \lambda_c, \quad (2.10)$$

bu yerda: λ - metall sirtiga tushayotgan nurlanishning to'liq uzunligi, λ_s - kompton to'liq uzunligi. Kompton to'liq uzunligi (2.10) shart bajarilsa, elektron klassik zarracha deb hisoblanadi va unga quyidagi formula mos keladi:

$$T = \frac{m_0 v^2}{2} \quad (2.11)$$

Agar ushbu shart bajarilmasa, unda kinetik energiyani hisoblash quyidagi relyativistik formuladan foydalaniladi:

$$T = (m - m_0) c^2 \quad (2.12)$$

yoki

$$T = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (2.13)$$

Kompton to'liq uzunligining qiymati ($\lambda_c = 0,0242 \text{ \AA}$) o'ta qisqa rentgen nurlanishiga, shuningdek, γ - nurlanishga ham mos keladi. Agar fotoeffekt ko'rinadigan to'liqlarda yoki ultrabinafsha nurlar ta'sirida yuz bersa, unda elektronning kinetik energiyasini hisoblashda (2.11) formuladan foydalanish mumkin.

Masalalar yechish uchun namunalari

1-masala. To'liq uzunligi $\lambda = 300 \text{ nm}$ ga teng bo'lgan yorug'lik oqimi $n = 5 \cdot 10^4$ ta yorug'lik fotonlaridan tashkil topgan va ular fotosezgir qatlamga kelib tushmoqda. Fotosezgir qatlamning sezgirligi $k = 4,5 \text{ mA/Vt}$. Ushbu yorug'lik impulsi ta'sirida ajralib chiqqan fotoelektronlar sonini toping.

Yechilishi: Fotoelement sezgirligi deb quyidagi kattalikka aytiladi:

$$k = \frac{J_{\phi}}{P}, \quad (1)$$

bu yerda: J_F - foton, R - yorug'lik oqimining quvvati, n ta kvantdan iborat bo'lgan yorug'lik impulsi energiyasi:

$$E = n h \nu = n h 2\pi \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Ushbu impulsning fotokatod bergan quvvati:

$$P = E / t = \frac{n h 2\pi c}{t \lambda}, \quad (3)$$

bu yerda: t - nurlanish vaqti.

Yorug'lik impulsi katoddan ajratib chiqqan elektronlar zaryadi:

$$q = eN.$$

Bu zaryad quyidagi tokni hosil qiladi:

$$J_{\phi} = \frac{Ne}{t} \quad (4)$$

bu yerda: t - nurlanish vaqti, e - elektron zaryadi.

(3) va (4) dan fotoelement sezgirligini aniqlaymiz, ya'ni

$$k = \frac{Ne \lambda t}{n h c \cdot 2\pi} = \frac{Ne \lambda}{n h \cdot 2\pi c} \quad \text{Bundan:}$$

$$N = \frac{k n h \cdot 2\pi c}{e h}$$

Bu formulaga kattaliklar son qiymatlarini qo'ysak:

$$N = 930.$$

2-masala. Quyosh nurining quyidagi hollardagi bosimini hisoblang:

a) Quyoshdan Yergacha bo'lgan masofada joylashgan qora jism sirtiga; b) hamma nurlarni qaytaruvchi jism sirtiga; v) energiyaning 4 % qaytaruvchi va 6 % yutuvchi shisha sirtiga. Barcha hollarda nurning tushish burchagi nolga teng va Quyosh radiatsiyasining intensivligi $I_0 = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Yechilishi: Qaytarish koeffitsienti ρ bo'lgan sirtga yorug'lik beradigan bosim:

$$p = \frac{I}{c} (1 + \rho)$$

bu yerda: I - yorug'lik oqimining intensivligi; s - yorug'lik tezligi.

$$\text{a) } p_a = \frac{I_0}{c}.$$

$$\text{b) } p_b = 2 \frac{I_0}{c}.$$

v) shisha sirtga bosimini qaytgan va yutilgan nur beradi. Plastikadan o'tib ketgan nur bosim bermaydi.

Binobarin:

$$p_3 = p_1 + p_2$$

Bu yerda: p_1 - qaytgan yorug'lik bosimi, p_2 esa - yutilgan yorug'lik bosimi.

$$p_1 = 2 \frac{I_1}{c}, \quad I_1 = 4 \cdot 10^{-2} I_0$$

va

$$P_2 = \frac{I^2}{c}, \quad I_2 = 6 \cdot 10^{-2} I_0$$

Bu kattaliklarni formulaga qo'yamiz va hisoblashni bajaramiz:

$$P_3 = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}^2$$

yoki

$$P_3 = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{ Pa.}$$

3-masala. Agar rentgen trubkasidagi kuchlanish 2 marta oshgandan keyin uzluksiz rentgen spektrining qisqa to'lqin chegarasining to'lqin uzunligi 0,50 Å ga o'zgarsa, ushbu to'lqin uzunligini toping.

Yechilishi: Uzluksiz rentgen spektri, rentgen trubkasida elektr maydon ta'sirida tezlaltilgan elektronlarning antikatod urilishi (tormozlanishi) natijasida hosil bo'ladi. Uzluksiz rentgen spektrining qisqa to'lqin chegarasi mavjudligi nurlanishning kvant xususiyatidan kelib chiqadi. Haqiqatan ham antikatodga yetib borgan elektron, elektr maydonining zarracha ustida bajargan ishiga son jihatdan teng bo'lgan kinetik energiyaga ega bo'ladi, ya'ni:

$$T = eU \quad (1)$$

bu yerda: e – elektron zaryadi. Elektron antikatod (anod) bilan to'qnashganda uning kinetik energiyasi qisman yoki to'liq $h\nu$ kvant energiyasiga aylanadi. Elektron kinetik energiyasi T to'liq $h\nu$ kvant energiyasiga aylangan holga eng katta chastota (eng kichik to'lqin uzunligi) mos keladi. U holda:

$$T = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad (2)$$

(1) va (2) dan:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

masala shartidan:

$$\lambda'_{\min} = \frac{hc}{eU_1} \quad (3)$$

$$\lambda''_{\min} = \frac{hc}{eU_2} \quad (4)$$

(1) va (4) dan:

$$\frac{\lambda'_{\min}}{\lambda''_{\min}} = \frac{U_2}{U_1} \quad (5)$$

ikkinchi tomonidan $\frac{U_2}{U_1} = 2$.

Ushbu shartni hisobga olsak, (5) tenlamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\lambda'_{\min}}{\lambda''_{\min}} = 2$$

yoki

$$\lambda''_{\min} = \frac{\lambda'_{\min}}{2} \quad (6)$$

To'lqin uzunligi o'zgarishi:

$$\Delta\lambda = \lambda''_{\min} - \lambda'_{\min} \quad (7)$$

(6) ni (7) ga qo'yamiz:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda'_{\min}}{2} - \lambda'_{\min} = -\frac{\lambda'_{\min}}{2}$$

yoki

$$\lambda'_{\min} = -2\Delta\lambda = -2 \cdot 0,5 \text{ \AA} = -1 \text{ \AA}$$

Javob: $\lambda'_{\min} = 1 \text{ \AA}$

4-masala. Metall sirti to'lqin uzunligi $\lambda = 350 \text{ nm}$ bo'lgan yorug'lik nuri bilan nurlantiriladi. To'lqin uzunligi 50 nm ga o'zgartirilganda, ushlab qoluvchi potentsiallar farqini 0,59 V ga o'zgartirishga to'g'ri keldi. Plank doimiysi va yorug'lik tezligini ma'lum deb hisoblab, elektron zaryadini aniqlang.

Yechilishi: Bitta foton va elektron uchun Eynshteyn tenglamasi:

$$h\omega = A + \frac{m\vartheta^2}{2}$$

Elektron kinetik energiyasini, ya'ni $\frac{m\vartheta^2}{2}$ ni eU_y ifoda bilan almashtirish

mumkin. Bu yerda: U_y - fototokni to'liq ushlab qoluvchi katod va anod orasidagi potentsiallar farqi. Masala sharti asosida Eynshteyn tenglamasini 2 marta qo'llaymiz:

$$h \frac{c}{\lambda} - 2\pi = A + eU_y,$$

$$h \frac{c \cdot 2\pi}{\lambda - \Delta\lambda} = A + e(U_y + \Delta U)$$

Ushbu ikki tenglamadan:

$$h \cdot 2\pi c \left(\frac{1}{\lambda - \Delta\lambda} - \frac{1}{\lambda} \right) = e\Delta U$$

va

$$e = \frac{\hbar \cdot 2\pi c}{\Delta U} \left(\frac{1}{\lambda - \Delta\lambda} - \frac{1}{\lambda} \right)$$

Hisoblash natijasi: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Kl}$.

5-masala. Vakuumda harakatlanayotgan erkin elektron fotonni to'liq yutishi va energiya nurlanishi mumkin emasligini ko'rsating?

Yechilishi: Erkin elektron foton yutishi va energiya nurlanishi mumkin emas. Bu xulosa energiya va impuls saqlanish qonunidan kelib chiqadi:

a) Erkin elektron va foton uchun energiya saqlanish qonunini:

$$\hbar\omega = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (1)$$

bu yerda: $\beta = \frac{v}{c}$

Impuls saqlanish qonuni:

$$\frac{\hbar\omega}{c} = \Delta m \bar{v} = \Delta \frac{m_0 \bar{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

yoki

$$\frac{\hbar\omega}{c} = \Delta \frac{m_0 \bar{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Ushbu impulslar vektorlarining yo'nalishlari antiparallel bo'lgani uchun biz oxirgi ifodani tanlaymiz. Oxirgi ifodani quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$\frac{\hbar\omega}{c} = \frac{m_0 \bar{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

yoki

$$\frac{\hbar\omega}{c} = \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (2)$$

(1) va (2) tenglamalarni birgalikda yechib, quyidagi tenglamani olamiz:

$$(1-\beta)(1+\beta)^2 = (1-\beta)^2$$

Tenglamaning yechimlari:

$\beta_1 = 1$ va $\beta_2 = 0$ qiymatlarga teng bo'lib, fizik ma'noga ega emas. Bu erkin elektronda fotoeffekt mumkin emasligini ko'rsatadi;

b) Nurlanayotgan elektron uchun energiyaning saqlanish qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$m_0 c^2 = mc^2 + \hbar\omega$$

Bundan $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} > m_0$ bo'lgani uchun erkin elektronning energiya nurlanishi mumkinligi haqidagi farazning ma'noga ega emasligi kelib chiqadi.

6-masala. Agar fotoeffektning qizil chegarasi 5000 Å ga teng bo'lsa, natriydan elektronlarning chiqish ishini -Ani aniqlang.

Yechilishi: Fotoeffekt yuz berishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\omega \geq \omega_0 = A / \hbar \quad (1)$$

mos holda to'lqin uzunligi uchun yozsak:

$$\lambda \leq \lambda_0 = \frac{2\pi\hbar c}{A} \quad (2)$$

bu yerda: ω_0 chastota yoki λ_0 to'lqin uzunligi fotoeffektning qizil chegarasi. (2) chi tenglamadan chiqish ishini A aniqlaymiz:

$$A = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda_0}$$

yoki

$$A = \frac{hc}{\lambda_0} \quad (3)$$

(3) chi ifodaga Halqaro birliklar sistemasida ifodalangan kattaliklarning son qiymatlarini qo'yamiz va chiqish ishi A ni aniqlaymiz:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}, c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}, \lambda = 5000 \text{Å} = 5 \cdot 10^{-7} \text{m}, A = 3,972 \cdot 10^{-19} \text{Ж}$$

yoki $A = 2,49 \text{eV}$.

7-masala. Litiy sirtiga to'lqin uzunligi $\lambda = 3100 \text{Å}$ bo'lgan monoxromatik yorug'lik tushmoqda. Elektronlar emissiyasini to'xtatish uchun 1,7 V dan kam bo'lmagan tormozlovchi potentsiallar farqini qo'yish kerak. Chiqish ishini va fotoeffektning qizil chegarasini aniqlang.

Yechilishi: Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini yozamiz:

$$h\nu = A + T,$$

yoki

$$\frac{hc}{\lambda} = A + T. \quad (1)$$

Agar elektr maydon eng tez harakatlanuvchi elektronlarni ushlab qolishini hisobga olsak, u holda elektronlar kinetik energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$T = eU. \quad (2)$$

(2) ni (1) ga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz

$$\frac{hc}{\lambda} = A + eU,$$

bu yerdan: A ni topamiz

$$A = \frac{hc}{\lambda} - eU.$$

Ushbu formulaga kirgan kattaliklarni Halqaro birliklar sistemasida ifodalaymiz: $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl, $\lambda = 3100 \text{ \AA} = 3,1 \cdot 10^{-7}$ m. Hisoblashlarni bajaramiz va quyidagi natijani olamiz:

$$A = 3,67 \cdot 10^{-19} \text{ J},$$

yoki

$$A = 2,3 \text{ eV}.$$

Fotoeffekt qizil chegarasini quyidagi ifoda bilan aniqlaymiz:

$$A = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} = 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 5400 \text{ \AA}.$$

8-masala. To'liq uzunligi $0,03 \text{ \AA}$ bo'lgan γ -nurlanish ta'sirida metallardan chiqayotgan elektronlarning maksimal tezligini aniqlang.

Yechilishi: Fotoeffekt uchun Eynshteyng tenglamasi:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + T. \quad (1)$$

Ushbu holda $A \ll T$ bo'lgan uchun:

$$\frac{hc}{\lambda} = T \quad (2)$$

Relyativistik zarrachaning kinetik energiyasi:

$$T = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (3)$$

(3) ni (2) ga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$\frac{hc}{\lambda} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right); \quad \lambda_c = \frac{h}{m_0 c},$$

yoki

$$\frac{\lambda_c}{\lambda} = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right), \quad (4)$$

bu yerda: λ_c - elektron uchun Kompton to'liq uzunligiga bo'lib,

$$\lambda_c = 0,0242 \text{ \AA}$$

$$\beta = \frac{\sqrt{\lambda_c(\lambda_c + 2\lambda)}}{\lambda_c + \lambda} = 0,86.$$

Bu yerdan β ni aniqlaymiz:

$$\beta = \beta c = 0,86 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Javob: $\beta = 2,5 \cdot 10^8$ m/s.

9-masala. Erkin elektronlar mavjud bo'lgan moddaga to'liq uzunligi $\lambda_0 = 0,003$ nm bo'lgan Rentgen nurlanishlari kelib tushmoqda. Fotonlar 60° burchak ostida sochilsa, Kompton tepki elektronlari qanday energiya oladi?

Yechilishi: Energiya saqlanish qonuniga asosan:

$$E_e = \hbar \cdot 2\pi \frac{c}{\lambda_0} - \hbar \cdot 2\pi \frac{c}{\lambda_0 + \Delta\lambda}$$

$$E_e = hc \left(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda_0 + \Delta\lambda} \right) = hc \frac{\Delta\lambda}{(\lambda_0 - \Delta\lambda)\lambda_0}.$$

Kompton effektida to'liq uzunligining o'zgarishi:

$$\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos\theta),$$

bu yerdan $\Delta\lambda$ ni topamiz va (1) ga qo'yamiz:

$$\Delta\lambda = 0,0024 \cdot 0,5 \text{ nm} = 0,0012 \text{ nm}$$

$$E_e = 120 \text{ keV}.$$

Masalalar

2.1. To'liq uzunligi $0,50$ mkm, $2,5 \cdot 10^{-2}$ sm va $0,020 \text{ \AA}$ ga teng bo'lgan fotonlarning impulsini eV/c. (c-yorug'lik tezligi) da hisoblang.

2.2. To'liq uzunligi $0,016 \text{ \AA}$ ga teng bo'lgan fotonning energiyasi, impuls va massasini aniqlang.

2.3. To'liq uzunligi $\lambda = 500$ nm bo'lgan yorug'lik fotonining energiyasiga mos keladigan massani toping.

2.4. To'liq uzunligi $\lambda = 500$ nm bo'lgan foton impulsini toping. Uni xona temperaturasidagi vodorod molekulasini impuls bilan taqqoslang. Vodorod molekulasining massasi $m = 2,35 \cdot 10^{-24}$ g.

2.5. To'liq uzunligi $0,5$ mkm va monoxromatik yorug'likning sirtidan qaytish koeffitsienti $0,8$ teng va u sirtga $1,43$ Pa teng bosim beradi. Sirtga yaqin joydagi fotonlar konsentratsiyasini toping.

2.6. Energiyasi 10 keV bo'lgan fotonning impulsini toping.

2.7. Xona temperaturasidagi vodorod molekulasining tekis harakat kinetik energiyasini to'liq uzunligi $\lambda = 500$ nm bo'lgan foton energiyasi bilan taqqoslang.

2.8. Cho'g'lanma lampa metall chulg'am nurlanishining o'rtacha to'liq uzunligi $\lambda=1200$ nm. Quvvati 200 Vatt bo'lgan lampani vaqt birligidagi nurlangan fotonlari sonini toping.

2.9. Foton qanday energiyaga ega bo'lganda, uning massasi elektronning tinchlikdagi massasiga teng bo'ladi?

2.10. 1) Qizil yorug'lik nuri ($\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$ sm), 2) rentgen nuri ($\lambda = 0,25 \text{ \AA}$) va 3) gamma-nurlar ($\lambda = 1,24 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$), fotonining massasini toping.

2.11. To'liq uzunligi 3800 Å ko'rinadigan yorug'likning binafsha chegarasiga mos keladigan fotonning energiyasi, massasi va impulsini aniqlang.

2.12. Energiyasi 3,0 eV bo'lgan fotonning to'liq uzunligi nimaga teng? Ushbu nurlanish elektromagnit to'liqlarning qaysi turiga tegishligini aniqlang.

2.13. Plank doimiysi qanday fizik ma'noga ega?

2.14. To'liq uzunligi $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ va $\lambda = 0,5 \text{ \AA}$ bo'lgan foton energiyasining elektron voltlardagi qiymatini toping.

2.15. Chastotasi 1 MHz bo'lgan kvant energiyasini toping.

2.16. To'liq uzunligi $\lambda = 0,5$ mkm bo'lgan ko'rinuvchi yorug'lik uchun uning ϵ (eV) energiyasi va p (eV/c) impulsini (bu yerda: c - yorug'likning vakuumdagi tezligi) hisoblang.

2.17. Xona temperaturasi $T = 300$ K dagi vodorod impulsi P ga teng, to'liq uzunligi esa λ ga teng elektromagnit nurlanish hosil qiladi. Bu nurlanish qanday diapozonga tegishli bo'lishini aniqlang.

2.18. Quvvati P bo'lgan yorug'likning izotrop nuqtaviy manbai λ to'liq uzunligidagi yorug'lik chiqaradi. a) manbada r masofadagi fotonlar oqimi zichligi $\langle j \rangle$ ni, b) bu masofadagi fotonlar n konsentratsiyasini aniqlang.

2.19. Spiral cho'g'lanma lampa nurlanishining o'rtacha to'liq uzunligini $\lambda = 1200$ nm deb hisoblab, vaqt birligi ichida chiquvchi N fotonlar sonini toping. Lampaning quvvati - $P = 100$ Vt.

2.20. Agar rentgen nurlar trubkasi $U = 30$ kV kuchlanishda ishlasa, uzluksiz rentgen nurlar spektridagi minimal to'liq uzunligini aniqlang.

2.21. Rentgen nurlari intensivligini 128 marta kamaytirish uchun yarim kuchsizlantiruvchi qatlamdan qanchasi kerak bo'ladi?

2.22. Rentgen trubkasiga $U = 50$ kV kuchlanish berilgan hol uchun, Rentgen spektrining qisqa to'liq chegarasiga mos keluvchi λ_{\min} to'liq uzunligini toping.

2.23. Rentgen trubkasidagi kuchlanish $\eta = 2$ marta ortganda, rentgen spektri qisqa to'liq chegarasiga mos keluvchi to'liq uzunligi $\Delta\lambda = 0,025$ nm ga o'zgardi. Trubkaga berilgan boshlang'ich kuchlanishni toping.

2.24. Agar Rentgen trubkasidagi tezlatuvchi kuchlanish 45000 V bo'lsa, hosil bo'lgan rentgen nurlarining to'liq uzunligini eng kichik qiymati nimaga teng.

2.25. Elektronlar dastasi $U = 50$ kV bo'lgan tezlatuvchi maydondan o'tib, erkin elektronlar buluti tomon yo'naldi. Dastaning tormozlanishida hosil bo'ladigan rentgen nurlanishining qisqa to'liqlik chegarasini aniqlang.

2.26. To'liq uzunligi 0,5 mkm bo'lgan monoxromatik nurlarning parallel dastasi qoraga bo'yalgan sirtga normal tushadi va 10^{-5} Pa bosim hosil qiladi. Fotonlarning oqimi konsentratsiyasi va uning intensivligini (vaqt birligi ichida birlik yuzaga tushayotgan zarralar oqimi) aniqlang.

2.27. Intensivligi $I = 0,70$ Vt/sm² bo'lgan yassi yorug'lik to'liqini sirti absolyut ko'zgu sirtiga ega bo'lgan sharga tomon yo'naltirildi. Shar radiusi $R = 5,0$ sm ga teng. Korpuskulyar tasavvurga asosan yorug'likning sharga beradigan bosim kuchini toping.

2.28. Ideal qaytaruvchi yassi ko'zgu sirtiga yorug'lik to'liqini ko'rsatadigan P bosimini aniqlang. To'liqning tushish burchagi θ ga teng. To'liqdagi u hajmiy energiya zichligi va to'liqning I intensivligi ma'lum deb hisoblang.

2.29. Qaytarish koeffitsienti ρ bo'lgan yassi ko'zgu sirtga yorug'lik beradigan bosimni aniqlang. To'liqdagi energiya hamiy zichligi u ga teng. Quyidagi ikki holni ko'ring: a) to'liqlarning sirtga normal tushishi; b) sirtga θ burchak ostida tushishi.

2.30. Lazerdan $\tau = 0,13$ ms impuls davomiyligida energiyasi $E = 10$ J bo'lgan yorug'lik dastasi nurlanadi. Agar ushbu yorug'lik impulsi diametri $d = 10$ mkm bo'lgan dasta ko'rinishida fokuslansa va qaytarish koeffitsienti $\rho = 0,50$ ga teng bo'lgan sirtga perpendikulyar yo'naltirilsa, uning sirtga beradigan o'rtacha bosimini toping.

2.31. Izotrop nurlanishning hajmiy energiya zichligi u bo'lsa, bu nurlanishning yorug'likni ideal qaytaruvchi yassi ko'zgu ga beradigan P bosimini toping.

2.32. Yassi ko'zguning qismiga normal θ burchak ostida ta'sir qiluvchi yorug'lik dastasining F_n normal va F_t tangensial tashkil etuvchi kuchlarini toping. Ko'zgu sirtidan yorug'likning qaytish koeffitsienti ρ ga, to'liqning hajmiy energiya zichligi u ga, dastaning kesim yuzasi ΔS ga teng.

2.33. Yuqoridagi 2.32-masala javobini quyidagi: a) $\rho=1$; b) $\rho=0$, hollari uchun tahlil qiling.

2.34. To'liq uzunligi 0,25 mkm bo'lgan yorug'lik ta'sirida rux sirtidan chiqayotgan fotoelektronlarning maksimal tezligini aniqlang. Fotoeffekt qizil chegarasi nimaga teng?

2.35. To'liq uzunligi $\lambda=250$ nm bo'lgan monoxromatik nurlanish bilan nurlantirilgan mis elektrodan uchib chiquvchi fotoelektronlarning maksimal tezligini toping. Mis uchun elektronning chiqish ishi $P=4,47$ eV.

2.36. Li, Na, va Cs uchun fotoeffekt qizil chegarasini toping.

2.37. Ba'zi metallar uchun fotoeffekt qizil chegarasi 2750 Å ga teng. Fotoeffektni hosil qiluchi fotonning minimal energiyasi nimaga teng?

2.38. Vakuumda fotoelement yoritilganda hosil bo'luvchi o'tuvchi to'yinish toki $I=3 \cdot 10^{-10}$ A. Fotoelement katodidan bir sekundda urib chiqarilgan elektronlar soni N ni toping.

2.39. Agar kumush uchun elektronning chiqish ishi $A=4,28$ eV bo'lsa, kumush uchun fotoeffekt uzun to'liqinli chegarasiga mos keluvchi to'liqin uzunligi λ ni hisoblang.

2.40. Energiyasi $E=4,9$ eV bo'lgan yorug'lik kvanti, chiqish ishi $A=4,5$ eV bo'lgan metallardan fotoelektronlarni urib chiqardi. Har bir elektron uchib chiqqanida ularning metall sirtiga beradigan maksimal impulsini toping.

2.41. Nikel uchun chiqish ishi $A=4,84$ eV ga teng. Fotoeffekt qizil chegarasiga mos keladigan λ_0 to'liqin uzunligi topilsin.

2.42. Alyuminiy uchun fotoeffekt qizil chegarasiga mos keluvchi to'liqin uzunligi $\lambda_0=332$ nm ga teng. Quyidagilarni toping: a) ushbu metall uchun elektronning A chiqish ishini; b) tormozlanuchi potensial $U=1,00$ V ga teng bo'lgandagi λ to'liqin uzunligini toping.

2.43. Seziyni (Cs) monoxromatik nurlar bilan yoritganda, fotoelektronlarning maksimal tezligi $v_{\max}=5,5 \cdot 10^7$ sm/s. Seziy uchun elektronning chiqish ishi $A=1,89$ eV. Bu elektrodni yoritish uchun qo'llanilgan yorug'likning to'liqin uzunligini hisoblang.

2.44. Yakka temir sharcha to'liqin uzunligi 2000 Å bo'lgan monoxromatik yorug'lik nuri bilan nurlantirilgan. Sharcha fotoelektronlarini yo'qotishi bilan, qanday maksimal potensialga zaryadlanadi?

2.45. Agar fotoelement sirtiga quvvati $1 \mu\text{Vt}$ va to'liqin uzunligi 0,40 mkm bo'lgan yorug'lik oqimi tushgan bo'lsa, unda hosil bo'lgan fototok nimaga teng bo'ladi?

2.46. Energiyasi 4,9 eV bo'lgan yorug'lik kvantlari chiqish ishi 4,5 eV ga teng metallardan urib chiqaradi. Metallardan chiqayotgan har bir elektronning uning sirtiga beradigan maksimal impulsini toping.

2.47. Fotoelektronlarning maksimal tezligi nimaga bog'liq bo'ladi?

2.48. Baryy uchun fotoeffektning qizil chegarasi $\lambda_{\max}=5,5 \cdot 10^{-7}$ m. Baryyli katod to'liqin uzunligi $\lambda_{\max}=4,4 \cdot 10^{-7}$ m bo'lgan yorug'lik bilan yoritilgandagi tormozlanuvchi potensialni toping.

2.49. Boshqa jismlardan uzoqlashtirilgan ruh sharchani to'liqin uzunligi $\lambda=200$ nm bo'lgan ultrabinafsha nurlar bilan nurlantirganda qanday ϕ potensialgacha zaryadlanadi?

2.50. Radiusi $r=1$ sm bo'lgan rux sharchani $\lambda=250$ nm to'liqin uzunlikdagi elektromagnit nurlanish bilan nurlantirilgan. Rux uchun fotoeffekt qizil chegarasini aniqlang. Nurlanish ta'sirida sharchani qancha elektronlar tark etishi mumkin?

2.51. Biror metall uchun fotoeffektning qizil chegarasi 0,6 mkm. Metall 0,4 mkm bo'lgan to'liqin uzunligidagi yorug'lik bilan yoritildi. Metallardan yorug'lik ta'sirida urib chiqarilgan elektronlarni maksimal tezligini aniqlang.

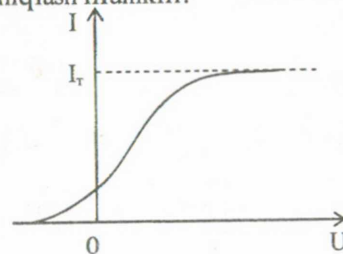
2.52. Agar fotoelektronlar tezligi $2,8 \cdot 10^6$ m/s bo'lsa, nikel plastinaga tushayotgan yorug'lik chastotasini toping.

2.53. Biror metall to'liqin uzunligi 0,22 mkm bo'lgan yorug'lik bilan yoritilganda, to'suvchi potensial 1,14 V. Elektronni bu metallardan chiqish ishini toping.

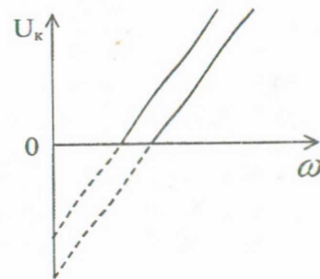
2.54. Nikel uchun chiqish ishi $A=4,84$ eV. Fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi to'liqin uzunligini λ_0 aniqlang.

2.55. Volfram uchun chiqish ishi 4,52 eV, baryy uchun esa 2,50 eV bo'lsa, volfram va baryyda elektronlarning fotoemissiyasi yuz berishi uchun yorug'likning maksimal to'liqin uzunligi qanday bo'lishi kerak?

2.56. Vaqt birligi ichida yorug'lik ta'sirida chiquvchi elektronlar volt-ampere xarakteristikasidan (2.2-rasm) N elektronlar sonini qanday qilib aniqlash mumkin?



2.2-rasm



2.3-rasm

2.57. Vakuumba fotoelementni yorug'lik bilan yoritganda unda hosil bo'luvchi to'yintiruvchi tok $I_n = 0,5 \text{ nA}$. Vaqt birligi ichida katod yuzasini tark etuvchi N fotoelektronlar sonini toping.

2.58. Yorug'lik to'liqini E elektr maydon kuchlanganligining I_n to'yinish tokiga bog'lanishini tasvirlang.

2.59. a) Seziy (chiqish ishi $A = 1,9 \text{ eV}$); b) mis (chiqish ishi $A = 4,5 \text{ eV}$) qizil chegarasi uchun tushuvchi yorug'lik to'liqin uzunligini aniqlang. Bu to'liqin uzunliklari elektromagnit nurlanishning qaysi sohasiga to'g'ri keladi?

2.60. Fotoelektronlarning T_{\max} maksimal kinetik energiyasini yorug'lik chastotasi ω ga bog'lanishini grafik tasvirlang. Elektronning metallardan chiqish ishi A ga teng.

2.61. 2.3. - rasmda U_k tutuvchi kuchlanishning tushuvchi yorug'lik chastotasi ω ga bog'lanishi keltirilgan. Bu to'g'ri chiziqlarning olinishi nimasi bilan bir-biridan farq qiladi? Bu bog'lanish yordamida qanday o'zgarmas fundamental fizik kattaliklarni olish mumkin?

2.62. $\hbar\omega$ energiyali foton tinch turgan erkin elektrondan θ burchak ostida sochildi. Quyidagilarni toping: a) sochilgan fotonlarning to'liqin uzunligining o'zgarishi; b) tepki elektronning qanday burchak ostida uchib chiqishi.

2.63. $0,46 \text{ MeV}$ energiyali foton tinch turgan erkin elektronda $\theta = 120^\circ$ burchak ostida sochildi. Quyidagilarni toping: a) sochilgan fotonlarning to'liqin uzunligini; b) elektronga berilgan energiyani toping.

2.64. Atom $\vartheta \ll c$ tezlik bilan harakatlanayotgan paytda o'z harakat yo'nalishiga θ burchak ostida foton chiqaradi. Foton chastotasining Dopler siljishi nisbiy kattaligini toping.

2.65. Kompton effekti kinematikasi energiya va impulsning saqlanish qonuni bo'yicha aniqlanadi:

$$\begin{cases} \hbar\omega + mc^2 = \hbar\omega' + c\sqrt{p^2 + m_0^2c^2}, \\ \hbar\vec{k} = \hbar\vec{k}' + \vec{p}. \end{cases}$$

Bu tenglamalardagi noma'lumlar sonini toping va quyidagi savolga javob bering: bu sistemaning yagona yechimi bormi?

2.66. Saqlanish qonunlaridan foydalanib, tinch turgan elektron unga tushuvchi fotonni yutishi mumkin emasligini ko'rsating.

2.67. Tushuvchi foton energiyasiga teng bo'luvchi tepki elektron energiyasi jarayon bo'lishi mumkinmi?

2.68. Kompton effektini ko'rsatuvchi fundamental o'zgarmas fizik kattaliklarni ko'rsating. Kombinatsiya yo'li bilan ulardan uzunlik birligini hosil qiling.

2.69. Energiyasi $0,5 \text{ MeV}$ bo'lgan foton erkin elektronda 60° burchak ostida sochildi. Sochilgan fotonning energiyasi, kinetik energiyasi va tepki impulsini toping. Elektronni to'qnashgunga qadar bo'lgan kinetik energiyasini hisobga olmasa ham bo'ladi.

— 2.70. Energiyasi $E_f = 0,5 \text{ MeV}$ bo'lgan foton Kompton sochilishidagi λ to'liqin uzunligi $\Delta\lambda = \alpha\lambda$ ga oshdi, bu yerda $\alpha = 0,25$. Elektronning E_e tepki energiyasini toping.

2.71. Energiyasi $E = 2m_0c^2$ bo'lgan foton tinch turgan elektrondan sochilishda o'z energiyasining yarimini yo'qotdi, bu yerda: m_0 – elektronni tinchlikdagi massasi. Sochilgan foton va tepki elektroni uchish yo'nalishlari orasidagi φ burchakni toping.

2.72. To'liqin uzunligi $\lambda = 700 \text{ nm}$ bo'lgan foton (spektrning ko'rinuvchi sohasi) erkin elektrondan $\theta = \pi/2$ burchak ostida sochildi. Aniqlang: a) bunda foton dastlabki energiyasining qancha qismini yo'qotadi; b) elektron qanday ϑ tezlik oladi.

2.73. To'liqin uzunligi $\lambda = 0,0024 \text{ nm}$ bo'lgan foton elektrondan sochilgandan so'ng teskari tomonga to'g'ri harakatlandi. Fotonning chastotasi sochilganda o'zgarishligi uchun, elektron qanday tezlik bilan harakatlanishi kerak?

2.74. Elektromagnit nurlanishning qanday to'liqin uzunliklari, a) fotoeffektga b) Kompton effektiga xos?

2.75. Energiyasi $\varepsilon = 1,025 \text{ MeV}$ bo'lgan foton tinch turgan erkin elektronda sochilgan. Agar sochilgan foton to'liqin uzunligi Kompton to'liqin uzunligi $\lambda_c = 2,43 \text{ pm}$ ga teng bo'lsa, fotonning sochilish burchagini toping.

2.76. Moddaga tushayotgan nurlanish to'liqin uzunligi $\lambda = 0,003 \text{ nm}$ ga teng. Kompton effektida hosil bo'lgan tepki elektronning tezligi $0,6c$ (c – yorug'likning vakuumdagi tezligi). To'liqin uzunligining o'zgarishi va foton sochilish burchagini aniqlang.

2.77. Kompton chizig'i surilishi va sochilish burchagi θ bilan bog'lanish grafigini chizing. Funksiya $\Delta\lambda(\theta)$ ni kichik burchaklar $\theta \ll 1$ sohasi uchun oling.

2.78. Maksimal Kompton siljishiga qanday θ sochilish burchagi mos keladi? $\Delta\lambda_{\max}$ kattalik: a) elektronda b) protonda, sochilganda nimaga teng bo'ladi.

2.79. To'liq uzunligi elektronning kompton to'liq uzunligi λ_c ga teng bo'lgan kvant nurlanishi qanday ε energiyaga ega bo'ladi?

2.80. Erkin protonda rentgen va γ -nurlanishlarning sochilishida to'liq uzunliklarining maksimal o'zgarishlarini toping.

2.81. Foton tinch turgan protonda sochildi. Sochilgan fotonning energiyasi tepki kinetik energiyasiga teng, sochilgan foton uchishi va tepki protoni orasidagi burchak 90° ga teng. Tushayotgan foton energiyasini toping.

2.82. Tinch turgan erkin elektronda γ -kvant sochilishi natijasida uning to'liq uzunligi ikki marta kattalashgan. Agar sochilish burchagi 60° ga teng bo'lsa, tepki elektronning kinetik energiyasi va impulsini toping.

2.83. Energiyasi $\varepsilon = 1\text{MeV}$ bo'lgan gamma-kvant tinch turgan protonda $\theta = 90^\circ$ burchak ostida sochildi. Aniqlang: a) bunda proton gamma-kvantga qanday E_k energiya beradi; b) toqnashishdan keyin proton qanday ϑ tezlik bilan harakatlanadi.

2.84. To'liq uzunligi $\lambda_0 = 0,71\text{\AA}$ bo'lgan foton elektronda $\theta = 45^\circ$ burchak ostida sochilayotgan bo'lsa, tepki elektron uchun og'ish burchagi φ ni toping (2.1-rasm).

2.85. 2.1-rasmda keltirilgan uchta vektorni bir tekislikda yotishini isbotlang.

3-§. Bor atomi

Asosiy formulalar

- Qo'zg'almas yadroning Kulon maydonida zaryadlangan zarrachalarning sochilish burchagi:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{q_1 q_2}{2bT} \quad (3.1)$$

yoki

$$\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = \frac{2bT}{q_1 q_2} \quad (3.2)$$

bu yerda: q_1 va q_2 - zarrachalar va yadro zaryadi, b - nishon parametri, T - uchib kelayotgan zarrachalarning kinetik energiyasi.

• **Rezerford formulasi.** Boshlang'ich harakat yo'nalishiga nisbati θ burchak ostida va $d\Omega$ elementar fazoviy burchakda sochilayotgan zarrachalarning nisbiy soni:

$$\frac{dN}{N} = n \left(\frac{q_1 q_2}{4T} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}, \quad (3.3)$$

bu yerda: n - folga birlik yuzasidagi yadrolar soni, $d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$

- Borning birinchi postulati (orbitalar stasionarlik sharti):

$$m\dot{\vartheta}r = nh / 2\pi, \quad (3.4)$$

bunda: m - elektron massasi, n - orbitalar tartibi (bosh kvant soni: $n=1, 2, \dots$), ϑ - elektronning radiusi r bo'lgan orbitadagi tezligi, h - Plank doimiysi.

- Borning ikkinchi postulati:

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}, \quad (3.5)$$

bunda: ν - elektronning n -chi orbitadan m -chi orbitaga ($n > m$) o'tganda nurlanish chastotasi, W_n va W_m - ushbu orbitalardagi elektronning energiyasi. Agar $W_n < W_m$ ($n < m$) bo'lsa, foton nurlanadi.

• Vodorod spektriga mos keluvchi chiziqlarning ν chastotasi yoki λ to'liq uzunliklarini topishga imkon beruvchi formula:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (3.6)$$

bunda: c - yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi, R - Ridberg doimiysi, m va n - orbitalar tartibi.

- Vodorodsimon atomlarning nurlanish chastotasi:

$$\nu = RcZ^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (3.7)$$

bunda: Z - element tartib nomeri.

Masalalar yechish uchun namunalari

1-masala. Peshona to'qnashishda, tinch turgan ${}^7\text{Li}$ yadrosiga kinetik energiyasi T_α bo'lgan α -zarra qanday minimal masofaga qadar yaqinlashadi?

Yechilishi: Alfa-zarra va yadro tizimi berk tizim deb qabul qilinsa, zarralarni yaqinlashish jarayonida impuls va energiya saqlanish qonunlari bajariladi. Mazkur hol uchun saqlanish qonunlarini yozamiz:

$$P_\alpha = P_{\alpha+Li}, \quad (1)$$

$$T_\alpha = T_{\alpha+Li} + k \frac{qq_0}{r_{\min}}, \quad (2)$$

bu yerda: q va q_0 - alfa-zarra va litiy atomining zaryadlari. Norelyativistik holda, kinetik energiya bilan impuls orasidagi bog'lanish:

$$T = p^2 / 2m,$$

yoki

$$p = \sqrt{2mT} \quad (3)$$

(3) formulani hisobga olib, (1) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$m_{\alpha} T_{\alpha} = (m_{\alpha} + m_{Ll}) T_{\alpha+Ll},$$

Bu ifodadan $T_{\alpha+Ll}$ kinetik energiyani topamiz va (2) ga qo'yamiz:

$$T_{\alpha} = \frac{m_{\alpha} T_{\alpha}}{m_{\alpha} + m_{Ll}} + k \frac{qq_0}{r_{\min}} \quad (4)$$

(4) ifodadan r_{\min} kattalikni aniqlaymiz:

$$r_{\min} = \frac{qq_0}{T_{\alpha}} \left(1 + \frac{m_{\alpha}}{m_{Ll}}\right).$$

2 - masala. Vodorod atomi to'liqin uzunligi $4,86 \cdot 10^{-7}$ m bo'lgan foton chiqardi. Atomdagi elektron energiyasi qanchaga o'zgaragan?

Yechilishi: Bor postulatiga asosan atom E_n energiyali holatdan energisi E_m bo'lgan holatga o'tganda chiquvchi foton energiyasi:

$$h\nu = E_n - E_m = \Delta E. \quad (1)$$

$\nu = c/\lambda$ ifodani e'tiborga olib, (1) ifodadan atomdagi elektron energiyasi qanchaga o'zgarishini topamiz:

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \approx 4,09 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 2,56 \text{ eV}.$$

3-masala. Vodorod atomidagi birinchi Bor elektron orbitasining radiusini va undagi elektron tezligini toping.

Yechilishi: Yadro atrofida doiraviy orbita bo'ylab harakat qilayotgan elektronga yadro tomonidan Kulon tortishish kuchi ta'sir qilib, u elektronga markazga intilma tezlanish beradi. Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r_n^2} = m \cdot \frac{g_n^2}{r_n}, \quad (1)$$

bu yerda: m – elektron massasi, g_n - elektronning n - chi orbitadagi tezligi, r_n - orbita radiusi. Z – element tartib nomeri bo'lib, u vodorod uchun birga teng. Boring birinchi postulatiga ko'ra, elektron yadro atrofida radiuslari (3.4) munosibatni qanoatlantiradigan muayyan orbitalar bo'yicha harakat qilishi mumkin. (1) va (3.4) tenglamalarni birgalikda yechib, quyidagi ifodalarni olamiz:

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2 n^2}{\pi m e^2}, \quad (2)$$

$$g_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h m}. \quad (3)$$

Bor birinchi orbitasi uchun $n=1$ ekanligini e'tiborga olib, kattaliklarning qiymatlarini (2) va (3) ifodalarga qo'yib, hisoblashlarni bajaramiz va quyidagi qiymatlarni olamiz:

$$r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}; \quad g = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}.$$

4-masala. Balmer seriyasi vodorod spektr chizig'ining eng katta to'liqin uzunligi 656,3 nm. Bu to'liqin uzunligi bo'yicha Layman seriyasidagi eng katta to'liqin uzunligini aniqlang.

Yechilishi: Vodorod atomining nurlanish chatotasi (3.6) ifoda orqali aniqlaniladi. Balmer seriyasi uchun $m=2$. Layman seriyasi uchun esa $m=1$. Har bir seriyadagi eng katta to'liqin uzunlikka $n=m+1$ mos keladi. Balmer va Layman seriyasidagi eng katta to'liqin uzunligi uchun qo'yidagi ifodalarni:

$$\frac{1}{\lambda_1} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{1}{\lambda_2} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right). \quad (2)$$

(1) ni (2) ga bo'lamiz va qo'yidagini olamiz

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{5 \cdot 4}{36 \cdot 3},$$

bu yerdan:

$$\lambda_2 = 1215 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

5-masala. Vodorod atomini monoenergetik elektronlar dastasi bilan nurlanganda, u to'liqin uzunligi 0,1221 mkm bo'lgan yorug'lik chiqaradi. Elektronlar energiyasini hamda elektron bilan to'qnashganda atom qaysi bir uyg'ongan holatga o'tishini aniqlang.

Yechilishi: Chastotalar shartidan:

$$E_n - E_1 = E_k$$

Bu yerda: E_k – vodorod atomini n -chi uyg'ongan holatga o'tkazuvchi elektronlar dastasining energiyasi.

$\lambda = \frac{c}{\nu}$ ifodani qo'llab, uchib kelayotgan elektronlar energiyasini aniqlaymiz:

$$E_{k \min} = \frac{hc}{\lambda} = 10,2 \text{ eV}.$$

Ikkinchi savolga javob berish uchun n kvant sonini hisoblab topishimiz zarur. Asosiy holat energiyasi $E_1 = -E_{\text{uon}} = -13,6 \text{ eV}$ bo'lgani uchun n -chi uyg'ongan holat energiyasi: $E_n = E_1 + E_{k \min} = -3,4 \text{ eV}$. Vodorod atomi uchun Bor nazariyasidan:

$$E_1 = -\frac{me^4}{4\epsilon_0^2 h^2}; E_n = -\frac{me^4}{4\epsilon_0^2 h^2 n^2}.$$

Bu ifodalarning nisbatidan: $E_1/E_n = n^2 = 4$. Demak, $n = 2$, ya'ni birinchi uyg'ongan holat.

6-masala. Vodorod atomi spektri chiziqlarining qanchasi ko'rinadigan nurlar sohasida ($\lambda = 0,4 + 0,76$ mkm) joylashgan bo'ladi? Ushbu chiziqlarning to'lqin uzunligini aniqlang. Bular qanday ranglarga mos keladi?

Yechilishi: Vodorod atomi spektrining to'lqin uzunligi quyidagi formula bo'yicha aniqlaniladi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

bu yerda: $m = 1, 2, 3, \dots$, $n = m + 1; m + 2; \dots$

Ko'rinadigan nurlar sohasida Balmer seriyasining to'rtta chizig'i ($m = 2$, $n = 3, 4, 5, 6$) joylashgan bo'ladi. Ushbu chiziqlar to'lqin uzunliklarini quyidagi ifoda bilan aniqlaymiz:

$$\lambda = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)^{-1},$$

$m = 2$, $n = 3, 4, 5, 6$:

$\lambda_1 \approx 6,56 \cdot 10^{-7}$ m – qizil;

$\lambda_2 \approx 4,86 \cdot 10^{-7}$ m – zangori;

$\lambda_3 \approx 4,34 \cdot 10^{-7}$ m – binafsha;

$\lambda_4 \approx 4,1 \cdot 10^{-7}$ m – binafsha.

Masalalar

3.1. Vodorod atomidagi 1) birinchi uchta Bor elektron orbitalarining radiuslarini, 2) ulardagi elektronlar tezligini toping.

3.2. Vodorod atomidagi yadro bilan elektron orasidagi Kulon va gravitatsion ta'sirlashuv kuchlar nisbatini toping.

3.3. Vodorod atomi yadrosining birinchi va to'rtinchi bor orbitalaridagi elektr maydon kuchlanganligini toping.

3.4. Qo'zg'almas oltin yadrosiga uning markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'ylab, tezligi $v = 1,9 \cdot 10^7$ m/s ga teng bo'lgan α -zarra yaqinlashib kelmoqda. Ushbu zarra yadroga qancha masofagacha yaqinlashishi mumkin?

3.5. J.J. Tomson modeli bo'yicha vodorod atom musbat zaryadlangan shar bo'lib, uning ichida manfiy zaryadga ega bo'lgan nuqtaviy elektron

joylashgan. Klassik nazariya bo'yicha mazkur modeldagi elektronning tebranish chastotasini aniqlang.

3.6. Tomson modeliga asosan vodorod atomining radiusini va undan chiqayotgan yorug'lik to'lqin uzunligini hisoblang. Vodorod atomining ionizatsiya energiyasi $E = 13,6$ eV.

3.7. Vodorod atomining n - chi orbitasidagi elektronning harakatiga mos keluvchi tok zichligini aniqlang.

3.8. Vodorod atomi birinchi Bor orbitasidagi elektronning magnit momentini aniqlang.

3.9. Agar vodorod atomidagi elektron manfiy zaryaga ega bo'lgan μ -mezonga almashtirilsa, mezoatom deb nomlangan tizim hosil bo'ladi. Bor nazariyasidan foydalanib, eng kichik energetik holatdagi mezoatomning radiusini aniqlang. Mezoatomning massasi $m = 1,88 \cdot 10^{-28}$ kg, zaryadi esa elektron zaryadiga teng.

3.10. Asosiy holatdagi vodorod atomi to'lqin uzunligi $\lambda = 121,5$ nm bo'lgan yorug'lik kvantini yutdi. Uyg'ongan vodorod atomidagi elektron orbitasining radiusini r aniqlang.

3.11. Bor nazariyasi atomning nurlanish spektri bilan yutilish spektrlari mos tushishini qanday tushuntiradi?

3.12. Vodorod atomi energiyasi atomning bog'lanish energiyasidan katta bo'lgan fotonni yutishi mumkinmi?

3.13. Agar vodorod atomining elektronlari uchinchi Bor orbitasida joylashgan bo'lsa, u turli energiyali qancha kvantlar chiqaradi?

3.14. Energiyasi $\epsilon = 16,5$ eV bo'lgan foton uyg'onmagan vodorod atomidan elektronni urib chiqardi. Atom yadrosidan uzoqda elektron qanday v tezlikka ega bo'ladi?

3.15. Vodorod atomida elektronni asosiy holatdan ikkinchi uyg'ongan holatga o'tkazish uchun unga qanday minimal energiya berish kerak?

3.16. Vodorod atomi bir energetik sathdan ikkinchi energetik sathga o'tganda uning energiyasi 10,2 eV ga o'zgarsa, atom nurlanayotgan kvant energiyasi nimaga teng bo'ladi?

3.17. Vodorodsimon atomda elektron bosh kvant soni n bo'lgan sathga o'tganda uning orbitasi k marta o'zgargan. Ushbu ion tomondan nurlanayotganni yorug'lik chastotasini aniqlang.

3.18. Vodorod atomi uchun Balmer seriyasi ($n = 2$) ga mos keluvchi maksimal va minimal chastotalarni hisoblang.

3.19. Vodorod atomi uchun Balmerning birinchi uchta seriyasiga mos keluvchi to'lqin uzunliklarini aniqlang. Ridberg doimiysi - $R = 109677,58$ sm^{-1} .

3.20. Vodorod atomining Balmer seriyasi chiziqlaridan birining nurlanish chastotasi $\nu = 6,17 \cdot 10^{14}$ Hz ga teng. Ushbu seriyadagi bir-biriga yaqin bo'lgan ikkita chastotani hisoblang.

3.21. Layman, Pashen, Brekett va Pfundning birinchi uchta seriyasiga mos keluvchi to'liq uzunligini aniqlang.

3.22. Balmer seriyasi chegarasiga mos keluvchi to'liq uzunligini aniqlang.

3.23. Atomar vodorodni to'liq uzunligi 100 nm bo'lgan ultrabinafsha nurlar bilan nurlantirganda qanday spektral chiziqlar paydo bo'lishini aniqlang.

3.24. He^+ va Li^{++} ionlarini ionlashish potensialini toping.

3.25. Boshlang'ich vaziyatda tinch turgan vodorod atomi to'liq uzunligi $\lambda = 121,5$ nm bo'lgan foton nurlanadi. Vodorod atomi qanday tezlikka ega bo'ladi?

3.26. Vodorod atomi foton yutishi natijasida ikkinchi Bor orbitasidagi elektron atomdan $\beta = 6 \cdot 10^5$ m/s tezlik bilan chiqib ketadi. Foton chastotasi nimaga teng?

3.27. Vodorod atomi birinchi Bor orbitasidagi elektronning aylanish davri va burchak tezligini toping.

3.28. Vodorod atomining Balmer seriyasi uchun birinchi uchta spektral chiziqning to'liq uzunligini hisoblang.

3.29. Vodorod atomi uchun ionizatsiya potensialini aniqlang.

3.30. Ko'zga ko'rinadigan nurlar sohasida yotgan vodorod atomi spektr chiziqlarining eng kichik va eng katta to'liq uzunliklarini toping.

3.31. Vodorod atomi birinchi uyg'onish potensialini toping.

3.32. Ba'zi bir vodorodsimon ionlar spektrida bitta seriyaga tegishli to'liq uzunliklari ma'lum bo'lgan uchta spektral chiziq bor, ya'ni: 992, 1085 va 1215 Å. Ushbu seriyaga tegishli yana qanday spektral chiziqlarni aytish mumkin?

3.33. He^+ ioni uchun birinchi Bor orbitasining radiusi va undagi elektronning tezligini toping.

3.34. Massasi m bo'lgan zarracha $U = \frac{kr^2}{2}$ markaziy simetrik potensial maydonida doiraviy orbita bo'ylab harakatlanadi. Borning kvantlashish shartidan foydalanib, zarrachaning ruxsat etilgan energetik sathlarini aniqlang.

3.35. Vodorod atomi nurlanishining Layman, Balmer, Pashen, Breket va Pfund seriyalari o'zaro qoplanadimi? Buni spektrning to'liq uzunliklari shkalasida tasvirlang.

3.36. Bor-Zommerfeldning kvantlashish shartidan foydalanib, uch o'lchovli garmonik ossilyatorning energetik spektrini aniqlang.

3.37. Vodorod atomi uchun tanlash qoidasidan foydalanib, Pashen, Brekett, Pfund seriyalarini hosil qiluvchi kvant o'tishlarni spektri termlar (n_l) orqali ko'rsating.

3.38. Agarda $\nu = 10$ MHz chastotali radioto'liq uchun ionosferaning sindirish ko'rsatkichi $n = 0,90$ bo'lsa, undagi erkin elektronlar konsentratsiyasini toping.

3.39. 1) ikki elektron; 2) ikki proton; 3) elektron va proton orasidagi elektr o'zaro ta'sir kuchining, ular orasidagi gravitatsiya tortishish kuchiga nisbatini toping.

3.40. Elektroniga $F = -kx$ kvazielastik va $G = gx$ ishqalanish kuchlaridan tashqari yorug'lik maydoni ham $e_0 \epsilon_{ox} \cos \omega t$ kuch bilan ta'sir qiladi. Elektronning harakat qonunini toping.

3.41. To'liq uzunligi 4860 Å bo'lgan foton bilan atomni nurlantirganda vodorod atomidagi elektronning kinetik energiyasi qanchaga o'zgaradi?

3.42. Balmer seriyasining chegarasiga mos keluvchi to'liq uzunligini aniqlang.

3.43. Atomning yadroviy tuzilishga ega ekanligini birinchi marta kim va qachon aniqlagan?

3.44. Elektron atomda bir energetik sathdan ikkinchi bir energetik sathga o'tganda chastotasi $4,57 \cdot 10^{14}$ Hz bo'lgan yorug'lik nurlanadi. Atom energiyasi qanchaga kamayadi?

3.45. $\beta = 0,8c$ tezlik bilan harakatlanayotgan elektron qanday impulska ega bo'ladi?

3.46. Qanday hodisalar atomda notekis harakatlanuvchi elektronlar borligini tasdiqlaydi?

3.47. Kinetik energiyasi 8 MeV bo'lgan α -zarra oltin yadrosida 45° burchak ostida sochilgan bo'lsa, uning nishon masofasi nimaga teng?

3.48. Yog' tomchisi bilan o'tkaziladigan Milliken tajribasida kondensator qoplamalari orasidagi masofa 0,016 m, tomchining tushish yoki ko'tarilish balandligi 0,006 m, kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi 4550 V, yog'ning 25° C dagi zichligi 858 kg/m^3 . Tajriba 25° C temperaturada o'tkazilgan bo'lib, bunda havoning yopishqoqligi $\eta = 1,83 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ga teng. Tomchining o'rtacha tushish vaqti (elektr maydoni yo'q bo'lganda) 21,2 s ga teng. Kuzatilgan ko'tarilish vaqti: 46,1; 15,6; 28,0; 13,0; 45,2 va 20,1 s bo'lsa, elektronning zaryadi e ning qiymatini hisoblang.

3.49. Ikkita proton uchun Kulon va gravitatsion ta'sirlashuv kuchlarining nisbatini toping. Ta'sirlashuv masofasi ikkala hol uchun bir xil qiymatga ega.

3.50. Elektron va protonning tinchlikdagi energiyasini hisoblang va ularni million elektronvoltlarda ifodalang.

3.51. Kinetik energiyasi 50000 eV; 500000 eV va 5000000 eV bo'lgan elektron uchun β/c ni hisoblang.

3.52. Televizor trubkasida 80 kV potentsiallar ayirmasida tezlanish olgan elektron uchun m/m_0 ni toping. Bunda m - elektronning tezlanish olgandan keyingi massasi, m_0 - tinchlikdagi massasi.

3.53. Kinetik energiyasi 7,7 MeV bo'lgan α -zarracha uchun m/m_0 ni toping.

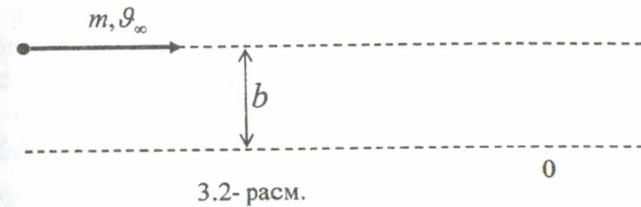
3.54. Kinetik energiyasi 7,7 MeV bo'lgan α - zarracha qo'rg'oshin yadrosi ($Z=82$) bilan to'qnashish parametri $b=0$ bo'lgan holda ta'sirlashsa, uning yadroga yaqinlashish masofasi nimaga teng? Qo'rg'oshin yadrosining massasi α - zarra massasiga qaraganda juda katta bo'lgani uchun, qo'rg'oshin yadrosini qo'zg'almas deb qarang.

3.55. Rezerford tajribasida kumush folgadan sochilayotgan 4,0 MeV energiyali α - zarrachaning θ - sochilish burchagiga mos kelgan b nishon parametrini toping.

3.56. Klassik nazariyasiga ko'ra atomning nurlanish chastotasi $\nu = e / 4(\epsilon_0 \pi^3 r^3 m)^{1/2}$ ekanligini ko'rsating va uni fizik ma'nosini tushuntiring.

3.57. Kinetik energiyasi T bo'lgan α -zarra zaryadi Ze bo'lgan yadroda sochilmoqda. Uchayotgan zarralar trayektoriyasi mo'ljal parametri b bilan xarakterlanadi. Sochilish jarayonida α - zarralar impuls diagrammasini va uning yordamida $|\Delta p|$ impuls orttirishi modulini tasvirlovchi diagrammani chizing.

3.58. Qo'zg'almas Kulon markazidan sochiluvchi massasi m bo'lgan zarraning cheksizlikdagi tezligi β_∞ , mo'ljal parametri esa b ga teng (3.2-rasm). Zarraning maydon markaziga nisbatan E to'liq energiyasi, p impulsi va M_0 impuls momentini yozing. Yuqorida keltirilgan kattaliklardan qaysilari sochilish jarayonida saqlanadi?



3.59. Qo'zg'almas kulon markazidan sochiluvchi zarraning markaz bilan eng yaqin keluvchi r_{\min} masofa, cheksizlikdagi tezligi β_∞ va nishon parametri b ma'lum. Zarraning markaz bilan eng yaqin kelgan paytdagi β_{\min} tezligini toping. Bu natijani β_∞ bilan solishtiring va bunda olingan natijani tushuntiring.

3.60. Oldingi masala sharti bo'yicha zarraning markaz bilan eng yaqin kelgan paytdagi T_{\min} kinetik va U_{\min} potensial energiyalarini toping. Mo'ljal parametri $b=0$ bo'lgan hol uchun, olingan natijalarni talqin qiling.

3.61. Zaryadi Z_1e bo'lgan zarra zaryadi Z_2e bo'lgan qo'zg'almas yadroda sochiladi. Zarraning T_∞ kinetik energiyasi va b mo'ljal parametri ma'lum. Yadro va zarraning eng yaqin kelgan paytdagi zarra markazi va yadro orasidagi r_{\min} masofani aniqlang. $b=0$ bo'lgan hol uchun olingan natijani tahlil qiling. $Z_1 Z_2 e^2 / T$ parametrning fizik ma'nosini tushuntirishing?

3.62. Tinch turgan qo'rg'oshin ($Z=82$) atom yadrosigacha uchib kelgan α -zarra sochilish jarayonida minimal r_{\min} yaqinlashish masofasining tartib kattaligini baholang. Zarraning kinetik energiyasi $T = 1,5 \text{ MeV}$, markaziy to'qnashish (peshona) deb hisoblang.

3.63. φ qo'zg'almas kuch markazida θ burchak yo'nalishida zarra sochilishining $d\sigma(\beta, \varphi)$ effektiv kesimiga ta'rif bering.

3.64. $d\sigma = 2\pi b db$ munosabatga grafik talqin bering. Bu yerda: $d\sigma$ - effektiv kesim, b - markazga uchib keluvchi zarraning nishon parametri.

3.65. Kinetik energiyasi T va zaryadi Z_1e bo'lgan zarra zaryadi Z_2e bo'lgan qo'zg'almas yadroda sochiladi. Fazoviy $d\Omega = 2\pi \sin \theta d\theta$ burchak (Rezerford formulasi) uchun zarra sochilishining $d\sigma(\theta)$ effektiv kesimi tenglamasini toping.

3.66. To'lqin uzunligi $\lambda = 180 \text{ \AA}$ bo'lgan yorug'lik nuri ta'sirida, asosiy holatda joylashgan He^+ ionidan urib chiqarilgan elektronning tezligi nimaga teng?

3.67. Og'ir va yengil vodorodlar uchun quyidagi farqlarini toping: a) asosiy holatdagi elektronlarning bog'lanish energiyasi; b) birinchi uyg'onish potentsiali; c) rezonans chiziqlar to'liq uzunligi.

3.68. Vodorod mezoatomi proton va massasi $m_p = 207m_e$ (m_e – elektronning tichlikdagi massasi) bo'lgan manfiy zaryadlangan mezondan (myuondan) tashkil topgan. Mezoatom uchun quyidagilarni hisoblang: a) asosiy holatda yadro bilan mezon orasidagi masofa; b) bog'lanish energiyasi va asosiy holatdagi mezon kinetik energiyasi; c) mezoatomning ikkinchi uyg'ongan holatdan birinchi uyg'ongan holatga o'tganda chiqaradigan foton to'liq uzunligi.

4 - §. Zarrachalarning to'liq xususiyatlari

Asosiy formulalar

- De Broyl formulasi:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}, \quad (4.1)$$

bunda: λ – impulsi p bo'lgan zarrachaga mos keluvchi to'liq uzunlik, $\hbar = h / 2\pi = 1,06 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Kichik tezliklarda ($\mathcal{G} \ll c$) De Broyl to'liq uzunligi:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_0\mathcal{G}},$$

bunda: m_0 – zarraning tinchlikdagi massasi

Relyativistik hollarda De Broyl to'liq uzunligi:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_0\mathcal{G}} \sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}^2}{c^2}},$$

- Geyzenberg noaniqlik munosibati:

$$\Delta x \Delta p_x \geq 2\pi\hbar, \quad (4.2)$$

bunda: Δx – zarralar koordinatalarining noaniqligi, Δp_x – zarra impulsining x o'qidagi proeksiyasining noaniqligi.

- dV hajimda zarrachaning bo'lish ehtimoli:

$$dP = |\psi|^2 dV, \quad (4.3)$$

bunda: ψ – to'liq funksiyasi, $|\psi|^2$ – ehtimollik zichligi.

- Statsionar holat uchun Shredinger tenglamasi:

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0. \quad (4.4)$$

Bu yerda: ψ – zarra holatini tavsiflovchi to'liq funksiyasi, Δ – Laplas operatori ($\Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}$), E – zarraning to'liq energiyasi, U – uning potentsial energiyasi.

- Cheksiz chuqur, bir o'lchamli, to'g'ri burchakli potentsial o'radajoylashgan zarraning xususiy energiyasi (4.1-rasm),

$$E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2ml} n^2 \quad (n=1,2,3,\dots)$$

bunda: l – o'raning kengligi.

Cheksiz chuqur, bir o'lchamli, to'g'ri burchakli potentsial o'rada joylashgan zarraning xususiy to'liq funksiyasi:

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\left(\frac{\pi nx}{l}\right) \quad (n=1,2,3,\dots), \quad (4.5)$$

($0 < x < l$).

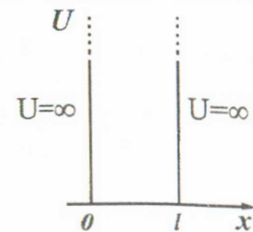
- Cheksiz keng va past ($U < E$) potentsial to'siq chegarasidan De Broyl to'liqining R qaytish koeffitsienti (4.2-rasm):

$$R = \frac{(k_1 - k_2)^2}{(k_1 + k_2)^2}, \quad (4.6)$$

bu yerda: k_1 va k_2 – mos holda I va II sohalaridagi (zarra o'ngdan chapga harakatlanmoqda) to'liq uzunligi λ_1 va λ_2 bo'lgan De Broyl to'liqining to'liq sonlari. Ushbu to'siqdan o'tish ehtimolligi yoki shaffoflik koeffitsienti D quyidagiga teng:

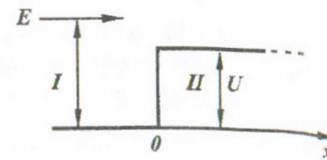
$$D = \frac{4k_1k_2}{(k_1 + k_2)^2}. \quad (4.7)$$

- Zarraning kengligi cheklangan potentsial to'siqdan o'tishi va qaytishi ($E < U$ bo'lgan hol uchun). Zarra chapdan o'nga, ya'ni X o'qning musbat yo'nalishida harakat qilmoqda.



4.1-pasm

bunda: x – koodinata



4.2-pasm

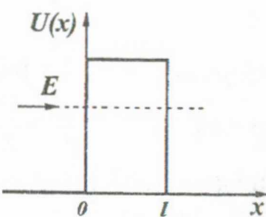
1. Zarraning to'g'ri to'rtburchak shaklidagi potensial to'siqdan o'tish (4.3-rasm) ehtimolligi yoki shaffoflik koeffitsienti:

$$D \approx \exp\left(-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)l}\right), \quad (4.8)$$

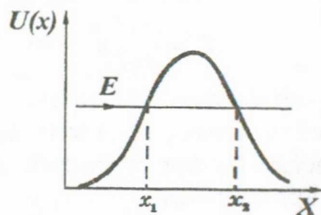
bu yerda: l - potensial to'siq kenligi.

2. Ihtiyoriy shakldagi potensial to'siq (4.4-rasm) zarrachaning o'tish ehtimolligi yoki shaffoflik koeffitsienti:

$$D \approx \exp\left(-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m(U-E)} dx\right). \quad (4.9)$$



4.3-pasm



4.4-pasm

Masalalar yechish uchun namunalar

1-masala. Kinetik energiyasi: 1) 100 keV; 2) 3 MeV bo'lgan elektron uchun De Broyl to'lqin uzunligini toping.

Yechilishi: 1) $T \ll m_0 c^2$ bo'lgani uchun zarrachani klassik deb hisoblash mumkin. Bu yerda: $m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV}$ elektronning tinchlikdagi energiyasi. Demak, ushbu zarracha, ya'ni elektron uchun quyidagi munosibat o'rinalidir:

$$T = \frac{m_0 g^2}{2} = \frac{m^2 g^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}.$$

Bundan:

$$p = \sqrt{2mT}. \quad (1)$$

(1) ifodani (4.1) ga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$\lambda_1 = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}}.$$

Ushbu ifodaga kattaliklarning SI da ifodalangan son qiymatlarini qo'yamiz va quyidagini olamiz:

$$\lambda_1 = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1,23 \text{ \AA}.$$

- 2) ushbu holda zarrachani relyativistik deb hisoblaymiz, chunki $T > m_0 c^2$. Relyativistik zarrachaning impulsi va energiyasi quyidagi ifodalar bilan aniqlaniladi:

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot g = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}. \quad (2)$$

$$T = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right). \quad (3)$$

Bu yerda: m_0 - elektronning tinchlikdagi massasi.

(2) va (3) ifodalardan β kattalikni mustasno qilamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$p = \sqrt{2m_0 T(1 + T/2m_0 c^2)}. \quad (4)$$

(4) ni (4.1) ga qo'yamiz va quyidagini olamiz:

$$\lambda_2 = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 T(1 + T/2m_0 c^2)}} = \frac{\lambda_1}{\sqrt{1 + T/2m_0 c^2}}.$$

Kinetik va tinchlikdagi energiyalar qiymatlarini megaelektronvoltlar orqali ifodalab, hisoblashni bajaramiz va quyidagi qiymatni olamiz:

$$\lambda_2 \approx \lambda_1 / 2 = 0,62 \text{ \AA}.$$

2-masala. Kengligi 2,0 mm bo'lgan to'g'ri burchakli tor diafragma parallel monoenergetik elektronlar dastasi normal tushmoqda. Agar tirqishdan difraksiyon manzara hosil bo'ladigan ekrangacha bo'lgan masofa 50 sm va markaziy difraksiyon maksimum kengligi 80 mkm bo'lsa, elektronlar tezligini aniqlang.

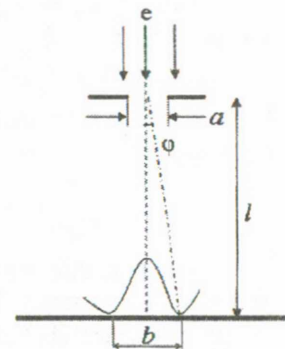
Yechilishi: Elektronlar difraksiyasi bu zarralarning to'lqin xususiyatining natijasi bo'lgani sababli elektronlar tezligini aniqlash uchun De Broyl formulasidan foydalanamiz:

$$g = \frac{2\pi\hbar}{m\lambda}. \quad (1)$$

Markaziy difraksiyon maksimum ikkita birinchi tartibli minimumlar orasida joylashgan deb hisoblaymiz. Bunda a kenglikdagi tirqishdan hosil bo'lgan markaziy difraksiyon maksimum oxiriga (birinchi minimumga) ϕ burchak mos keladi:

$$a \sin \phi = k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (2)$$

bu yerda: k - spektr tartibi bo'lib, birinchi minimum uchun l ga teng. Buni hisobga olib, (1) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:



$$a \sin \phi = \lambda. \quad (3)$$

Rasmga asosan:

$$\sin \phi \approx \operatorname{tg} \phi = b / 2l. \quad (4)$$

Bu ifodani (3) formulaga qo'yamiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\lambda = ab / 2l. \quad (5)$$

(5) ifodani (1) formulaga qo'yamiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$g = \frac{4\pi hl}{mab}.$$

Norelyativistik, ya'ni $v \ll c$ deb faraz qilamiz va quyidagi natijani olamiz:

$$g = 4,4 \cdot 10^6 \text{ m/c}.$$

3-masala. Vodorod atomida elektronning kinetik energiyasi 10 eV atrofida. Noaniqlik munosabatidan foydalanib, atomning chiziqli o'lchamini baholang.

Yechilishi: Geyzenberg noaniqlik munosabati:

$$\Delta x \Delta p_x \geq 2\pi \hbar,$$

bunda: Δx - zarralar koordinatalarining noaniqligi, Δp_x - zarra impulsining x o'qidagi proeksiyasining noaniqligi, \hbar - Plank doimiysi.

$\Delta x \approx r$ - atomning chiziqli o'lchami deb faraz qilamiz va quyidagi ifodani olamiz: $r \approx \hbar / p$.

Kinetik energiyasi T bo'lgan elektronning impulsi: $p = \sqrt{2mT}$.

$\Delta p \approx p$ deb faraz qilib, atomning chiziqli o'lchamini, ya'ni r ni baholaymiz:

$$r = \frac{\hbar}{\sqrt{2mT}}; \quad r = \frac{1,05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-18}}} = 0,62 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

4-masala. Atomning uyg'ongan holatda o'rtacha yashash vaqti 12 ns ga teng. Atom asosiy holatga o'tganda nurlanishining to'lqin uzunligi $\lambda = 12$ mkm bo'lib, ushbu to'lqin uzunlikning minimal noaniqligini hisoblang.

Yechilishi: Nurlanilayotgan fotonning energiyasi quyidagiga teng:

$$E = \frac{hc}{\lambda}.$$

E ni λ bo'yicha differensiallaymiz:

$$dE = -hc \frac{d\lambda}{\lambda^2}, \text{ yoki } \Delta E = -\frac{hc}{\lambda^2} \Delta \lambda. \quad (1)$$

Energiya va vaqt uchun Geyzenberg noaniqlik munosabati:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}.$$

Bundan munosabatdagi ΔE kattalikni quyidagicha ifodalaymiz:

$$\Delta E = \frac{h}{(\Delta t) \cdot 2\pi}, \quad (2)$$

Bu yerda: Δt va ΔE - vaqt va energiya noaniqligi.

(1) va (2) ifodalardan:

$$\frac{hc}{\lambda^2} \Delta \lambda = \frac{h}{\Delta t 2\pi},$$

Bu yerdan:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2 h}{hc \Delta t 2\pi};$$

Bu ifodaga kattaliklar qiymatlarini qo'yamiz va $\Delta \lambda$ quyidagi qiymatini olamiz:

$$\Delta \lambda \approx 6,4 \cdot 10^{-16} \text{ m}.$$

5-masala. Devorlari absolyut o'tkazmaydigan va kengligi l ($0 < x < l$) bo'lgan bir o'lchamli potensial qutida zarracha asosiy holatda ($n=1$) turibdi. Zarrachaning quyidagi sohalarida bo'lish ehtimolligini toping: $0 < x < l/3$ va $l/3 < x < 2l/3$.

Yechilishi: Bir o'lchamli masala uchun zarrachaning topilish ehtimolligi quyidagiga teng:

$$dP = |\psi(x)|^2 dx.$$

Bu yerdan zarrachaning $0 < x < l/3$ sohada topilish ehtimolligini topamiz:

$$P_1 = \int_0^{l/3} |\psi(x)|^2 dx. \quad (1)$$

Zarracha cheksiz chuqur qutida asosiy holatda joylashganligi uchun $n=1$ deb olamiz va (4.5) formula orqali xususiy to'lqin funksiyasiga quyidagi ifodani olamiz:

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right).$$

Ushbu ifodani (1)ga qo'yamiz va quyidagini olamiz

$$P_1 = \frac{2}{l} \int_0^{l/3} \sin^2 \frac{\pi x}{l} \cdot dx.$$

$\sin^2 \alpha = (1 - \cos 2\alpha)/2$ ifodadan foydalanib, integralni hisoblaymiz:

$$P_1 = \frac{1}{l} \left[\int_0^{l/3} dx - \int_0^{l/3} \cos \frac{2\pi x}{l} dx \right] = \frac{1}{l} \left[\frac{l}{3} - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{l} \right] = \frac{1}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4\pi} = 0,195.$$

Zarrachaning $l/3 < x < 2l/3$ sohada bo'lish P_2 ehtimolligini, P_1 ehtimollikni topgan usul bilan aniqlash mumkin. Lekin bu usuldan ham soddaroq usulni qo'llash mumkin. Agar zarracha qutining birinchi, ikkinchi va uchinchi qismlarida bo'lish ehtimolliklari, ya'ni mos holda P_1 , P_2 va P_3 larni qo'shsak, zarrachaning butun quti ichida bo'lish ehtimolligi kelib chiqadi. Bu ehtimollik birga teng, ya'ni muqarrar hodisa. Agar qutining simmetrikligini hisobga olsak, $P_1 = P_3$ ekani kelib chiqadi. Demak, zarrachaning $l/3 < x < 2l/3$ sohada bo'lish ehtimolligi:

$$P_2 = 1 - 2P_1 = 0,61.$$

6-masala. Energiyasi 25 eV bo'lgan elektronlar dastasi o'z yo'lida balandligi 9 eV ga teng potensial to'siqqa uchraydi (3.1-rasm). Ushbu to'siq uchun De Broyl to'lqinlarining qaytish va o'tish koeffitsientlarini aniqlang.

Yechilishi; $W < U$ bo'lgani uchun ushbu potensial to'siqning balandligini past deb hisoblash mumkin. Shuning uchun R qaytish koeffitsientini (4.6) formula yordamida topamiz. Bu formuladagi k_1 va k_2 to'lqin sonlarini quyidagicha topamiz:

$$k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} \quad (2)$$

bu yerda: λ_1 va λ_2 – mos holda I va II sohalardagi De Broyl to'lqin uzunliklari. Ushbu kattaliklarni (4.1) formula yordamida impuls orqali ifodalaymiz:

$$\lambda_1 = \frac{2\pi\hbar}{p_1} \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \frac{2\pi\hbar}{p_2} \quad (4)$$

Ushbu masalada elektronni norelyativistik zarrachalar deb hisoblaymiz, sababi $W < m_0c^2$. I va II sohalarda zarracha kinetik energiyasi mos holda W

va $W-U$ ga teng bo'ladi, bu yerda: U to'siq balandligi. (3) va (4) ifodalarni qo'yidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\lambda_1 = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mW}}, \quad (5)$$

$$\lambda_2 = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2m(W-U)}}. \quad (6)$$

Bu yerdan:

$$k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{2mW}}{\hbar},$$

$$k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} = \frac{\sqrt{2m(W-U)}}{\hbar}.$$

Ushbu k_1 va k_2 qiymatlarini (4.6) formulaga qo'yamiz va qisqartirish amallarini bajaramiz:

$$R = \left(\frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{W} - \sqrt{W-U}}{\sqrt{W} + \sqrt{W-U}} \right)^2 = \left(\frac{5-4}{5+4} \right)^2 = \frac{1}{81}.$$

Ma'lumki:

$$R + D = 1.$$

Bu yerdan quyidagini olamiz:

$$D = 1 - R = 1 - 1/81 = 80/81.$$

Masalalar

4.1. Kinetik energiyasi 1,00 keV bo'lgan elektron va proton uchun De Broyl to'lqin uzunligini hisoblang. Kinetik energiyaning qanday qiymatlarida ularning to'lqin uzunligi 1,00 Å ga teng bo'ladi?

4.2. 1) 1 V va 2) 100 V potensiallar farqini o'tgan elektronlar uchun De Broyl to'lqin uzunliklarini toping.

4.3. Kinetik energiyasi 1) 10 keV; 2) 1 MeV bo'lgan elektronning De Broyl to'lqin uzunligini toping.

4.4. 20°C temperaturada eng katta ehtimolli tezlik bilan harakat qilayotgan vodorod atomining De Broyl to'lqin uzunligi topilsin.

4.5. Impulsi 15,0 keV/c (bu yerda: c - yorug'lik tezligi) ga teng bo'lgan elektronning to'lqin uzunligi 0,5 Å ga teng bo'lishi uchun unga qanday qo'shimcha energiya berish kerak.

4.6. 1) 10^8 sm/sek tezlikda uchayotgan elektron uchun; 2) 300°K temperaturadagi o'rtacha kvadrat tezlikka barobar tezlikda

harakatlanayotgan vodorod atomi uchun; 3) 1 sm/s tezlikda harakatlanayotgan 1 g massali shar uchun De Broyl to'liqin uzunligini toping.

4.7. De Broyl to'liqin uzunligi bilan elektron doiraviy orbitasi uzunligi orasidagi bog'lanishni toping.

4.8. 200 V potentsiallar ayirmasi bilan tezlashtirilgan zaryadli zarracha 0,0202 Å ga teng De Broyl to'liqin uzunligiga ega. Zarracha zaryadi son jihatidan elektron zaryadiga teng bo'lsa, shu zarrachaning massasini toping.

4.9. Energiyasi 1 va 10^6 eV bo'lgan vodorod va simob atomlarining λ_1 va λ_2 De Broyl to'liqin uzunliklarini aniqlang. Ushbu atomlarning 0°C temperaturada o'rtacha kvadratik tezlik bilan harakatlanayotgandagi De Broyl to'liqin uzunliklarini aniqlang.

4.10. De Broyl to'liqin uzunligi 0,06 nm bo'lgan proton va elektronlarning kinetik energiyalari aniqlansin.

4.11. α -zarracha kuchlanganligi 250 E bo'lgan bir jinsli magnit maydonida 0,83 sm radiusli aylana bo'ylab harakat qiladi. Shu α -zarracha uchun De Broyl to'liqin uzunligini toping.

4.12. Elektronning De Broyl to'liqin uzunligi uning Kompton to'liqin uzunligiga teng bo'lgandagi kinetik energiyasini toping.

4.13. Kinetik energiyasi 7,7 MeV bo'lgan α -zarrachaning De Broyl to'liqin uzunligini toping.

4.14. Proton qanday kinetik energiyaga ega bo'lganda uning De Broyl to'liqin uzunligi Kompton to'liqin uzunligiga teng bo'ladi?

4.15. 2 kV potentsiallar farqini o'tgan elektron uchun De Broyl to'liqin uzunligini aniqlang.

4.16. Elektromagnit va De Broyl to'liqinlaridan to'liqin paketi hosil qilingan. Bu paketlardan qaysi biri vakuumda yoyilib ketadi?

4.17. To'liqin paketi guruh tezligining erkin harakatlanayotgan zarraning tezligiga tengligini ko'rsating. Ikkita, ya'ni norelyativistik va relyativistik holni ko'rib chiqing.

4.18. Agar Rentgen trubkasida hosil bo'lgan rentgen nurlanishlar uzluksiz spektrining qisqa to'liqin chegarasi 30 Å bo'lsa, antikatodni bombardimon qilayotgan elektronlarning De Broyl to'liqin uzunligini toping.

4.19. Massasi 1 g va tezligi $\vartheta=10\text{m/s}$ bo'lgan zarraning De Broyl to'liqin uzunligi nimaga teng?

4.20. Protonning kinetik energiyasi uning tinchlikdagi energiyasiga teng. Ushbu proton uchun De Broyl to'liqin uzunligini hisoblang.

4.21. Bir xil tezlikka ega bo'lgan elektron va massasi 0,1 g bo'lgan sharcha uchun De Broyl to'liqin uzunligini aniqlang.

4.22. Xona temperaturasi sharoitida (300°K) kinetik energiyasi $(3/2)\cdot kT$ bo'lgan neytronning tezligi va uning De Broyl to'liqin uzunligi nimaga teng?

4.23. Maksvell taqsimotidan foydalanib, gaz molekularining De Broyl to'liqin uzunliklari bo'yicha taqsimot funksiyasi va eng katta ehtimolli to'liqin uzunligini toping.

4.24. Impulsi p bo'lgan zarrachaga mos kelgan to'liqinlar guruhining bo'shliqda amaliy jihatdan butunlay tarqalib ketish (dispersiyaga uchrash) vaqtini hisoblang.

4.25. 27°C temperaturadagi kislorod molekularining (o'rtacha tezlikdagi) harakatlariga mos keluvchi atomining De Broyl to'liqin uzunligini toping.

4.26. 500 m/s tezlik bilan harakatlanayotgan va massasi 0,015 kg bo'lgan o'q uchun De Broyl to'liqin uzunligini aniqlang.

4.27. Elektron qanday potentsiallar farqini o'tganda uning De Broyl to'liqin uzunligi $\lambda=1,00$ Å ga teng bo'ladi?

4.28. De Broyl to'liqin uzunligi $\lambda=0,001$ nm bo'lgan proton tinch turgan α -zarrada $\pi/2$ burchak ostida elastik sochilgan. Sochilgan protonning De Broyl to'liqin uzunligini λ' aniqlang.

4.29. Metalldagi Bolsman taqsimotiga bo'ysunuvchi elektron gaz uchun o'rtacha De Broyl to'liqin uzunligini toping.

4.30. Kengligi 1,0 mm bo'lgan tor diafragma tezligi $\vartheta=3,65\cdot 10^6$ m/c bo'lgan parallel elektronlar dastasi normal tushmoqda. Tirqishdan 10 sm uzoqlikda joylashgan ekranda hosil bo'lgan difraksion manzaradagi ikkita birinchi tartibli ($k=1$) maksimumlar orasidagi masofani aniqlang.

4.31. Tirqishining kengligi 2,0 mm bo'lgan tor diafragma monoenergetik elektronlar oqimi normal tushmoqda. Agar elektronlar tezligi $1\cdot 10^6$ m/s va markaziy difraksion maksimum kengligi 0,36 mm bo'lsa, tirqishdan ekrangacha bo'lgan masofani aniqlang.

4.32. Kinetik energiyasi 180 eV bo'lgan elektronlar nozik dastasi nikel monokristalli sirtiga normal tushmoqda. Sirtga tushgan normal bilan 55° burchak hosil qilgan yo'nalishda, elektronlar sochilishining to'rtinchi tartibli maksimum kuzatiladi. Ushbu sochilishga mos keladigan tekisliklararo masofani aniqlang.

4.33. Atomning uyg'ongan holatdagi o'rtacha yashash vaqti 10 ns tashkil qiladi. Atomning uyg'ongan holatlari orasidagi o'tishiga mos keladigan ($\lambda=0,7\text{mkm}$) spektral chiziqning tabiiy kengligini hisoblang.

4.34. Massasi $m=1g$ bo'lgan sharcha markazining va elektronning o'rni $\Delta x \approx 10^{-5}$ sm xatolik bilan aniqlangan. Sharcha va elektron $\Delta \varphi_x$ tezliklarining noaniqligini toping.

4.35. Noaniqlik munosabatidan foydalanib, vodorod atomining asosiy holatida elektronning bog'lanish energiyasi va yadrodan qanday masofada turganini baholang.

4.36. Elektron tezligining noaniqligi $\Delta \vartheta = 10$ m/s ni tashkil qiladi. Agar elektron 100 m/s tezlik bilan harakat qilsa, uning koordinatasining noaniqligini toping.

4.37. π^0 -mezonning o'rtacha yashash vaqti $1,6 \cdot 10^{-16}$ s ga teng. π^0 -mezonni qayd qilish uchun mo'ljallangan asbobning energetik ajratish qobiliyati qanday bo'lishi lozim?

4.38. Og'irligi 0,1 kg bo'lgan yuk osilgan mayatnik $\vartheta = 3$ m/s tezlik bilan harakat qilmoqda. Agarda p_x - impulsni o'lchash makismal aniqligi $\Delta P_x = 10^{-6} P_x$ dan oshmasa, bir vaqtda X-koordinatani aniqlashdagi noaniqlik Geyzenberg prinsipiga ko'ra nimaga teng?

4.39. Atom to'lqin uzunligi 0,55 mkm bo'lgan foton nurlandi. Nurlanish 10 ns vaqt davomida sodir bo'lgan. Nurlanish to'lqin uzunligi o'lchanadigan eng kichik xatolikni aniqlang.

4.40. Zarraning topilish ehtimollik zichligi birdan katta, ya'ni $dP/dV = |\psi|^2 > 1$ bo'lishi mumkinmi?

4.41. Zarra kengligi l bo'lgan bir o'lchamli potensial o'rada uyg'ongan holatda joylashgan. Zarraning uchinchi energetik ($n=3$) holatdagi $0 < x < l/2$ intervalida topilish ehtimolligini aniqlang.

4.42. Energiyasi $E = 1 \text{ MeV}$ bo'lgan proton potensial to'siqdan o'tganda uning De Broyl to'lqin uzunligi 1% o'zgargan. Potensial to'siqning balandligini aniqlang.

4.43. Elektron kengligi $1,4 \cdot 10^{-9}$ m bo'lgan cheksiz chuqur bir o'lchamli potensial o'rada joylashgan. Elektronning uchinchi energetik sathdan ikkinchi energetik sathga o'tganda nurlanadigan energiyani aniqlang.

4.44. $E_n = n^2 \frac{h^2}{32mx_0^2}$ ifodadan foydalanib, kengligi 3 Å bo'lgan to'g'ri burchakli potensial o'radagi elektronning uchta sathdagi energiyasini hisoblang va elektron voltlarda ifodalang.

4.45. $E_n = n^2 \frac{h^2}{32mx_0^2}$ ifodadan foydalanib, massasi 1 g bo'lgan zarrani kengligi 1 sm bo'lgan to'g'ri burchakli o'radagi energiya sathlarini

hisoblang. n -ning qanday qiymatida bu zarraning kinetik energiyasi 1 J ga teng bo'ladi? E_n va E_{n+1} qiymatlari oralig'ini joullarda hisoblang.

4.46. X o'qning musbat yo'nalishi bo'ylab ϑ ($\vartheta \ll c$) tezlik bilan harakatlanayotgan erkin elektron uchun Shredinger tenglamasini yozing va bu tenglamani yechib, ψ -funksiyani aniqlang.

4.47. Vilson kamerasi yordamida olingan fotografiyadagi elektron izining kengligi $\Delta x = 10^{-3}$ m ni tashkil etadi. Tezlikni aniqlashdagi noaniqlikni toping.

4.48. Atomda elektronning Bor orbitalari bo'yicha harakatlanishi klassik tassavvuri Geyzenberg noaniqlik munosabatiga zid ekanligini ko'rsating.

4.49. Energiyasi 100 eV bo'lgan elektronning balandligi 64 eV bo'lgan potensial to'siqdan qaytish ehtimolligini aniqlang.

4.50. Erkin harakat qilayotgan zarraning energiyasi ixtiyoriy qiymatlar qabul qilishini ko'rsating.

4.51. Kinetik energiyasi 1 keV bo'lgan elektron x o'qning musbat yo'nalishi bo'yicha harakatlanib, o'z yo'lida potensial energiya sakrab o'zgaradigan potensial to'siqqa uchraydi (4.2-rasm). To'siq balandligi 100 eV. Birinchi sohadan ikkinchi sohaga o'tganda De Broyl to'lqin uzunligi necha marta o'zgaradi.

4.52. Devorlari absolyut shaffof bo'lmagan uch o'lchamli potensial quti ichida zarra joylashgan. Quti qirralari: a_1, a_2, a_3 . Ushbu zarra qabul qiladigan energiya qiymatlarini ko'rsating.

4.53. Bir o'lchamli potensial o'ra kengligi qanday bo'lganda elektron energiyasi diskretligi 300 K temperaturadagi issiqlik harakat energiyasiga teng bo'ladi?

4.54. 100 eV energiyali elektronning balandligi 99,75 eV bo'lgan potensial to'siq orqali o'tish koeffitsientini hisoblang.

4.55. Massasi m bo'lgan zarra bir o'lchamli $U(x)$ potensial maydondagi $\psi(x) = A \exp(-ax^2)$ statsionar holatda. Bu yerda: A va a - doimiyalar. Agar $U(0) = 0$ bo'lsa, zarra energiyasi E va $U(x)$ funksiya ko'rinishini aniqlang.

5 - §. Spektrlar. Atomlarning elektron qobiqlari

Asosiy formulalar

- Atomdagi elektronning holati to'rtta kvant son bilan ifodalanadi:

bosh kvant soni - n ($n=1, 2, 3, \dots$),
 orbital kvant soni - l ($l=0, 1, 2, \dots, n-1$),
 magnit kvant soni - m_l ($m_l=-l, \dots, -1, 0, +1, \dots, +l$),
 spin kvant soni - m_s ($m_s=\pm 1/2$).

Bosh kvant soni n elektronning energetik sathlarini aniqlaydi.

- Pauli prinsipi.** Ushbu prinsipga binoan har bir atomda (yoki biror kvant tizimida) to'rtta kvant soni bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin emas.

- Atomda bosh kvant soni n bir xil bo'lgan elektronlar to'plami elektron qobiqni tashkil qiladi. Elektron qobiqlar ayrim adabiyotlarda elektron qavatlar (yoki qatlamlar) deb ham nomlanadi. Bosh kvant soni n ning qiymatlariga qarab, qobiqlar quyidagicha belgilanadi:

N	1	2	3	4	5	6	7	...
Qobiq	K	L	M	N	O	P	Q	...

- Qobiqlar l orbital kvant soni farq qiluvchi qobiqchalariga bo'linadi. Bir xil n va l larga ega bo'lgan elektronlar to'plami qobiqchalar (ba'zi manbalarda qobiqlar)ni hosil qiladilar. Yuqorida keltirilgan qobiq esa qatlam deyiladi. Qobiqchalar (elektron holatlari) quyidagicha belgilanadi:

L	0	1	2	3	4	...
Qobiqcha	s	p	d	f	g	...

- Har bir qobiqdagi maksimal elektronlar soni quyidagiga teng bo'ladi:

$$N_{\max} = 2n^2. \quad (5.1)$$

- Kimyoviy elementlarning elektron konfiguratsiyasi.** Atom qobiqchalari (yoki qobiqlari) elektronlar bilan to'lib borishi atomning elektron konfiguratsiyasi deb ataladi. Atomning elektron konfiguratsiyasi quyidagicha belgilanadi:

$$nl^N, \quad (5.2)$$

bu yerda: n - bosh kvant soni, l - orbital kvant soni (holat yoki qobicha belgisi), N - qobiqchadagi elektronlar soni. Masalan, uyg'onmagan azot ($Z=7$) atomining elektron konfiguratsiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi: $1s^2 2s^2 2p^3$, ya'ni ushbu atomdagi yetti elektrondan ikkitasi birinchi qobiqning s-qobiqchasini to'ldiradi, ikkitasi esa ikkinchi qobiqning s -

qobiqchasini to'ldiradi, uchta elektron esa ikkinchi qobiq(qatlam)ning to'lmagan p-qobiqchasida(qobig'ida) joylashgan.

- Spektral belgilashlar.** Normal bog'lanishda (LS - bog'lanishda) turlarni quyidagicha belgilashlar qabul qilingan:

$${}^{\nu}L_J, \quad (5.3)$$

bu yerda: $\nu = 2S + 1$ - multipletlik, J - to'liq momentning kvant soni, L va S - atomning natijaviy orbital va xususiy (spin) momentlarining kvant sonlari.

L	0	1	2	3	4	5	6	...
(L):	S	P	D	F	G	H	I	...

- Atomning to'liq mexanik momenti:

$$M_J = \hbar \sqrt{J(J+1)}, \quad (5.4)$$

bu yerda: J - atom natijaviy momentining kvant soni. Atomning natijaviy orbital va xususiy (spin) momentlarining qo'shilishdan to'liq yoki natijaviy mexanik moment hosil bo'lib, uning J kvant soni quyidagi qiymatlardan biriga ega bo'lishi mumkin:

$$J = L + S, \quad L + S - 1, \dots, \quad |L - S|.$$

- Elektronning xususiy magnit va mexanik momentlar nisbati:

$$\mu_s / M_s = -e / m_e.$$

- Atomning magnit momenti:

$$\mu = g \sqrt{J(J+1)} \mu_B, \quad (5.5)$$

bu yerda: μ_B - Bor magnetoni, g - Lande faktori (yoki ko'paytuvchisi) bo'lib, u quyidagiga teng:

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}. \quad (5.6)$$

- Zeemanning normal effektida spektral chiziqlar chastotasining normal siljish (Lorens siljishi) kattaligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta\omega_0 = \frac{eH}{2m_e c}. \quad (5.7)$$

- Mozli qonuniga asosan xarakteristik rentgen nurlanishlar chastotasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\omega = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (5.8)$$

bu yerda: R - Ridberg doimiysi, Z - atom nomeri, n_1 , n_2 va σ - doimiy kattaliklar bo'lib, har xil seriyalar har xil qiymatga ega bo'ladi:

Chiziq	σ	n_1	n_2
K_α	1	1	2

K_β	1	1	3
L_α	7,5	2	3

σ ekranlash domiysi ham deyiladi. Ushbu doimiy ko'rilayotgan seriya uchun n_1 , n_2 va σ domiylar har xil bo'ladi.

• K_α - chiziqlar uchun Mozli qonuni:

$$\omega_{K_\alpha} = \frac{3}{4} R(Z - \sigma)^2. \quad (5.9)$$

Mozli qonuni bo'yicha masalalar yechganda, chastota yoki to'liq uzunliklarni aniqlash formulasida qanday ko'rinishdagi Ridberg doimiysidan keltirilganligiga ham e'tibor berish lozim. Bizga ma'lumki, adabiyotlarda ikki ko'rinishdagi Ridberg doimiysi qo'llanadi, ya'ni: $R = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$ va $R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$. Bu kattaliklar o'zaro quyidagicha bog'langan: $R = 2\pi c R'$. Bu belgilashlar shartli bo'lgani uchun ayrim adabiyotlarda ikkinchi ko'rinishini R deb ham belgilashadi. Yuqorida keltirilgan (5.8) va (5.9) formulalarda birinchi ko'rinish, ya'ni $R = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$ keltirilgan.

Masalalar yechish uchun namunalar

1-masala. $4P$ va $5D$ holatlarda joylashgan atomlarning to'liq mexanik momentining ega bo'lish mumkin bo'lgan qiymatlarini toping.

Yechilishi:

$4P$ holat uchun: $2S+1L_J$, $L=1$, $2S+1=4$ demak, $S=\frac{3}{2}$.

$5D$ holat uchun: $2S+1L_J$, $L=2$, $S=2$.

Demak, to'liq mexanik momentining kvant soni qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlari quyidagilar:

$4P$ holat uchun $J: \frac{5}{2}, \frac{3}{2}, \frac{1}{2}$.

$5D$ holat uchun $J: 4, 3, 2, 1, 0$.

To'liq mexanik momentining miqdori $M_J = \hbar\sqrt{J(J+1)}$ bo'lgani uchun:

$4P$ holat uchun: $\hbar\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2}} = \frac{\hbar\sqrt{3}}{2}$, $\hbar\sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{2}} = \frac{\hbar\sqrt{15}}{2}$, $\hbar\sqrt{\frac{5}{2} \cdot \frac{7}{2}} = \frac{\hbar\sqrt{35}}{2}$.

$5D$ holat uchun: $0, \hbar\sqrt{2}, \hbar\sqrt{6}, \hbar\sqrt{12}, \hbar\sqrt{20}$.

2-masala. Kvant sonlari $S=1$, $L=2$ va Lande faktorii $g=4/3$ bo'lgan holatdagi atom magnit momentining miqdorini aniqlang.

Yechilishi: Atom magnit momenti quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\mu = g\sqrt{J(J+1)}\mu_B, \quad (1)$$

Buni aniqlash uchun biz oldin J ni topishimiz kerak. Buning uchun bizga ma'lum bo'lgan $S=1$, $L=2$ kvant sonlar va $g=4/3$ Lande faktorii qiymatlarini (5.6) ifodaga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$J^2 + J - 12 = 0, \quad (2)$$

bu yerda: $J=3$. Ushbu qiymatni (1) formulaga qo'yamiz va magnit momentining miqdorini aniqlaymiz:

$$\mu = (8/\sqrt{3})\mu_B.$$

3-masala. Atom multipletligi uchga, to'liq mexanik momenti $\hbar\sqrt{20}$ ga teng bo'lgan holatda joylashgan. Bu holatga mos keluvchi to'liq orbital moment kvant soni L nimaga teng?

Yechilishi: Multipletlik $\nu = 2S + 1 = 3$ bo'lganidan $S=1$.

Atomning to'liq mexanik momenti: $M_J = \hbar\sqrt{J(J+1)}$, demak, $J=4$. Demak, to'liq orbital moment kvant soni L quyidagi qiymatlarga teng bo'lishi mumkin: 3, 4, 5.

4-masala. Volfram atomida elektron M -qobiqdan L -qobiqqa o'tgan. Ekranlash doimiysi $\sigma = 5,63$ ga teng bo'lsa, nurlangan foton energiyasini aniqlang.

Yechilishi: Nurlangan foton energiyasini aniqlash uchun Mozli qonunidan foydalanamiz:

$$\nu = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Volfram uchun $Z=74$, kvant sonlar $n_1=2$ va $n_2=3$ ga teng. Nurlangan foton energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = h\nu = hR(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

$$E = 1,415 \cdot 10^{-15} \text{ J},$$

yoki

$$E = 8,846 \cdot 10^3 \text{ eV}.$$

5-masala. Rentgen trubkasining qanday eng kichik U_{min} kuchlanishda misning K_α seriyasi chizig'i paydo bo'ladi?

Yechilishi. Tormozlanishdagi rentgen spektrining λ_{min} qisqa to'liq chegarasi quyidagi formula bilan aniqlaniladi:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad (1)$$

K_{α} - chiziqlar uchun Mozli qonuniga asosan:

$$\omega_{K_{\alpha}} = \frac{3}{4}R(Z - \sigma)^2. \quad (2)$$

Chastota bilan to'liq uzunligi quyidagicha bog'langan:

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}, \quad (3)$$

(2) va (3) formulalardan to'liq uzunligini topamiz:

$$\lambda = \frac{8\pi c}{3R(Z - 1)^2}, \quad (4)$$

(1) va (4) ifodalardan U_{\min} kuchlanishni aniqlaymiz:

$$U_{\min} = \frac{3hR(Z - 1)^2}{8\pi e}. \quad (5)$$

Bu formulaga kattaliklarning son qiymatlarini qo'yamiz va quyidagi qiymatni olamiz: $U_{\min} \approx 8 \text{ kV}$.

6-masala. Atom induksiyasi $B=2,50 \text{ kGs}$ bo'lgan magnit maydonda joylashgan. Quyidagi termlarning to'liq ajralishi kattaligini elektronvoltlarda aniqlang: a) 1D ; b) 3F_4 .

Yechilishi:

a) $\Delta E = \mu_B g B m_j \quad (m_j = 0, \pm 1, \dots, L)$

Mazkur holda 1D term uchun:

$$g = 1 + \frac{2 \cdot 3 + 0 - 2 \cdot 3}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 1,$$

$$\Delta E = \mu_B B m_j \quad (m_j = -2, -1, 0, +1, +2)$$

Shunday qilib, termning to'liq ajralishi:

$$\Delta E = 4\mu_B B$$

$$\Delta E \approx 57,94 \text{ } \mu\text{eV}.$$

b) 3F_4 term uchun

$$g = 1 + \frac{4 \cdot 5 + 1 \cdot 2 - 3 \cdot 4}{2 \cdot 4 \cdot 5} = 1 + \frac{10}{40} = \frac{5}{4}.$$

$$\Delta E = \frac{5}{4} \mu_B B m_j.$$

bu yerda: $m_j = -4$ dan $+4$ gacha

Shunday qilib, termning to'liq ajralishi:

$$\delta E = \frac{5}{4} \mu_B B \cdot 8 = 10 \mu_B B,$$

yoki

$$\delta E = 2gJ\mu_B B.$$

Bu formulaga kattaliklarning son qiymatlarini qo'yamiz va quyidagi qiymatni olamiz: $\delta E = 145 \text{ mkeV}$.

Masalalar

5.1. Atom K, L va M qobiq (qatlam) larida s-, r- va d-elektronlarning maksimal soni qancha bo'lishi mumkin?

5.2. Agar atomning magnit momenti nolga teng ekanligi ma'lum bo'lsa, uning kvant sonlari $S=1/2$ va $L=2$ bo'lgan holatdagi to'liq mexanik momentini toping.

5.3. a) $2p$, b) $4f$, holatlar uchun elektron orbital impuls momentining kvadrati M^2 nimaga teng?

5.4. Vodorod atomining asosiy holatidagi magnit momentini aniqlang.

5.5. 1D holatdagi atomning magnit momentini va uning tashqi magnit maydoni yo'nalishiga mumkin bo'lgan proyeksiyalarini aniqlang.

5.6. Atomdagi qanday guruh elektronlariga a) osti qobiq (qobiqcha); b) qobiqlar deyiladi? Qobiq va qobiqchalarda bo'lish mumkin bo'lgan maksimal elektronlar sonini ko'rsating.

5.7. Bosh kvant soni $n=1, 2, 3, 4, 5$ bo'lgan berk qobiqlarni hosil qiluvchi elektronlar soni nimaga teng bo'ladi?

5.8. Atom holatini xarakterlovchi kvant sonlari L va S: a) 2 va 2, b) 3 va 2, c) 2 va 3, d) 1 va $3/2$ ga teng. L va S ni berilgan qiymatlari uchun J kvant soni qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarini aniqlang.

5.9. Bosh kvant soni $n=3$ ga teng bo'lgan holatdagi elektronga ega bo'lgan vodorod atomi uchun spektral termni yozing.

5.10. Ushbu termlardan qaysilari noto'g'ri yozilgan? 1) 2S_1 2) 2P_1 3) $^3P_{1/2}$ 4) $3P_8$ 5) 5D_0 6) 1F_0 7) $^8F_{13/2}$.

5.11. F-holatning multipletligi beshga teng. Bu holatga mos keluvchi termlarni yozing.

5.12. Ushbu termlar nechta tashkil etuvchidan iborat: a) 1S , b) 2S , c) 2P , d) 3P , e) 4P , f) 5D .

5.13. Quyidagi berilgan qiymatlar uchun spektral term ko'rinishini aniqlang: $g = 6/7$; $S = 1/2$; $J = 5/2$.

5.14. D-term besh tashkil etuvchidan tashkil topgan. Bu termning multipletligi qanday bo'lishi mumkin?

5.15. Ushbu, a) xS_0 , b) xP_2 , c) $^xD_{3/2}$ d) $^xF_{1/2}$, termlarning yo'l qo'yilgan x multipletligini toping.

5.16. Pauli prinsipini qo'llab, atomdagi kvant sonlar bir xil bo'lishi mumkin bo'lgan elektronlarning maksimal soni N_{max} qancha bo'lishini ushbu shartlar uchun aniqlang: 1) n, l, m, m_s ; 2) n, l, m ; 3) n, l ; 4) n .

5.17. To'lgan elektron qobiqning bosh kvant soni $n=3$ ga teng. Ushbu qobiqda kvant sonlari bir xil bo'lgan elektronlar soni N ni ushbu shartlar uchun aniqlang: 1) $m_s = \pm 1/2$; 2) $m=-2$; 3) $m_s = -1/2$ i $m=0$; 4) $m_s = \pm 1/2$ i $l=2$.

5.18. 4P va 5D holatdagi atomlarning to'liq mexanik momenti ega bo'lishi mumkin bo'lgan qiymatlarini toping.

5.19. Quyidagi termlarning mumkin bo'lgan x multipletligi topilsin: a) $^x D_2$; b) $^x P_{3/2}$ v) $^x F_1$.

5.20. Tizim d -elektron va $^2P_{3/2}$ holatdagi atomdan tashkil topgan. Ushbu tizimning mumkin bo'lgan spektral termlarini toping.

5.21. Tanlash qoidasiga binoan quyidagi o'tishlardan qaysi biri taqiqlangan: $^2D_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$, $^2P_1 \rightarrow ^2S_{1/2}$, $^3F_3 \rightarrow ^3P_2$, $^4F_{7/2} \rightarrow ^4D_{5/2}$?

5.22. Quyidagi atomlarning elektron tuzilish formulasi, ya'ni elektron konfiguratsiyasini yozing: 1) bor; 2) uglerod; 3) natriy.

5.23. a) $2s^2$, b) $2p3s$, c) $3p^2$ hollardagi elektron konfiguratsiyalarda qanday termlar bo'lishi mumkin?

5.24. Atomning elektron qobiqlari s -, p -, va d -elektronlardan iborat. Atomni a) maksimal b) minimal to'liq mexanik momentlari uchun term holatlari belgilarini yozing.

5.25. Ikkita ekvivalent d -elektrondan iborat sistema uchun, to'liq mexanik moment M_j ni a) eng kichik, b) eng kata holatlari uchun, yo'l qo'yilgan termlar belgilarini yozing. Bu belgilar qiymatlari nimaga teng?

5.26. Atomning mexanik momenti $M_j = \hbar\sqrt{2}$ ga, magnit momenti nolga, spin kvant soni esa $S=2$ ga teng bo'lgan holatlar uchun, term belgilarini yozing.

5.27. Multipletligi to'rtga teng bo'lgan holatda turgan atomning mexanik momenti $M_j = (\hbar/2)\sqrt{63}$ ga teng. Bu holatni kvant soni L qanday qiymatga ega bo'lishi mumkin?

5.28. Qanday element atomining K , L va M qobiqlari, $4s$ qobiqchasi va $4p$ qobiqchani yarmi to'lgan bo'ladi?

5.29. Atom o'ta to'lgan qobiq va qobiqosti beshta p -elektronlardan iborat. Atomning asosiy termini aniqlang.

5.30. Uglerod atomi $1s^2 2s^2 2p 3d$ elektron konfiguratsiyasida mumkin bo'lgan maksimal to'liq mexanik momentga ega bo'ladi. Bu holatdagi atomning magnit momenti μ (Bor magnetonlarida) nimaga teng bo'ladi?

5.31. Uglerod atomi 6 ta elektronga ega bo'lib, uning asosiy holat elektron konfiguratsiyasi $1s^2 2s^2 2p^2$ ko'rinishda bo'ladi. Bu yerdagi x o'rnida qanday raqam bo'lishini aniqlang.

5.32. Bor atomi 5 ta elektronga ega bo'lib, uning asosiy holat elektron konfiguratsiyasi qanday ko'rinishda bo'ladi?

5.33. Atomdagi elektronlar f va g holatda bo'lganida uning orbital kvant sonlarining qiymatlarini aniqlang.

5.34. Atomning mumkin bo'lgan maksimal to'liq mexanik momentini va unga tegishli bo'lgan spektral termning belgisini toping: a) natriy, valent elektronining bosh kvant soni $n=4$; b) elektron konfiguratsiyasi $1s22p3d$ bo'lganda.

5.35. Atomdagi sathlarning elektronlar bilan "normal" to'lib borish ketma-ketligini buzilishini e'tiborga olgan holda quyidagi inert gazlarda elektronlarning taqsimlanishini ko'rsating: a) He ($Z=2$); b) Ne ($Z=10$); v) Ar ($Z=18$); g) Kr ($Z=36$).

5.36. Quyidagi ishqoriy metallar atomlarining asosiy holati elektron konfiguratsiyasi va termning spektroskopik belgilanishini ko'rsating: a) Li ($Z=3$); b) Na ($Z=11$); v) K ($Z=19$).

5.37. Mendeleyev elementlar davriy sistemasida elektronlari bosh kvant soni $n=2$ bo'lgan qobiqni ketma-ket to'ldirib boradigan ximiyaviy elementlarni ko'rsating. Ular uchun asosiy elektron konfiguratsiyasini yozing

5.38. Atom 1F holatda joylashgan. Ushbu holatga mos keladigan magnit momenti va uning tashqi magnit maydon yo'nalishiga proyeksiyasining qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarini aniqlang.

5.39. Atom induksiyasi $B=1T$ bo'lgan magnit maydonida turibdi. Ushbu: a) 1S , b) 1P , c) 1D , d) $^2D_{5/2}$ termlarni to'la parchalanishi ΔE ni (eV larda) toping.

5.40. Tanlash qoidasi bo'yicha qaysi o'tishlar man qilingan: 1) $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$, 2) $^2S_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$, 3) $^2P_{1/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$, 4) $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$, 5) $^2F_{7/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$, 6) $^2D_{3/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$, 7) $^2F_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$.

5.41. S va P holatlardagi bitta valent elektronli atomlar uchun Lande faktorini aniqlang.

5.42. Shtern va Gerlax tajribasida qo'llanilgan quyidagi holatdagi atomlar dastasining nechta tashkil etuvchiga ajralishini aniqlang: 1) $^2P_{3/2}$; 2) 1D ; 3) 5F_1 .

5.43. Induksiyasi $B=100 T$ ga mos keluvchi normal (Lorents) surilishi $\Delta\omega_0$ (oddiy Zeeman effektida spektral chiziqlar tashkil etuvchilarini surilishi) ni son qiymatini toping.

5.44. Nurlanayotgan atomlar induksiyasi $B=1$ T bo'lgan magnit maydonida turibdi. Ushbu: a) $^1P_1 \rightarrow ^1S_0$ b) $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$ c) $^2P_{1/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$ d) $^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$ e) $^3D_1 \rightarrow ^3P_0$ o'tishlar uchun Zeemanning qo'shni tashkil etuvchilari $\Delta\omega_0$ oralig'ini toping.

5.45. Atom holati ikkita spektral term orqali ifodalanadi. Quyidagi holatlar uchun J kvant sonining qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarini ko'rsating: 1) 2S va 2R ; 2) 3R va 2D ; 3) 3S va 3D . Magnit maydon mavjud bo'lmagan va spin-orbital o'zaro ta'sirni (tabiiy multiplet ajralishini) hisobga olgan holda ushbu holatlar uchun energetik sathlar sxemasini tasvirlang.

5.46. To'lqin uzunligi $\lambda=0,612$ mkm bo'lgan spektral chiziq atomning ikkita singlet termlari orasidagi o'tishlar natijasida hosil bo'lgan. Ushbu chiziqning induksiyasi $B=10,0$ kGs bo'lgan magnit maydonda chetki komponentalari orasidagi $\Delta\lambda$ intervalini aniqlang.

5.47. Quyidagi atomlar uchun Lande faktori topilsin: a) s holatdagi; b) singlet holatdagi.

5.48. Quyidagi termlar uchun Lande faktori topilsin: a) $^6F_{1/2}$; b) $^4D_{1/2}$; v) 5F_2 , g) 5P_1 , d) 3P_0 .

5.49. Magnit maydon kuchlanganligi qanday bo'lganda to'lqin uzunligi 580 nm bo'lgan spektral chiziq ajralishi 0,01% ga yetadi?

5.50. Atom magnit momenti ifodasidan foydalangan holda kuchsiz magnit maydondagi murakkab Zeeman effekti uchun spektral chiziqlarning ajralish formulasini keltirib chiqaring.

5.51. Mozli qonuni yordamida quyidagilarni aniqlang: a) alyuminiy va kobalt K_α - chizig'ining to'lqin uzunligi; b) vanadiy K va L- elektronlarning bog'lanish energiyalarining farqi.

5.52. Agar temir ($Z=26$) K_α - chizig'ining to'lqin uzunligi 193 pm ekanligi ma'lum bo'lsa, mis ($Z=33$) K_α - chiziqning to'lqin uzunligini aniqlang.

5.53. K_α - chiziqning to'lqin uzunligi 250 va 179 pm ga teng bo'lgan qator orasida nechta kimyoviy element mavjud?

5.54. Qanday yengil kimyoviy elementning rentgen nurlar yutilish spektrida K va L lar chetlarining chastotalar farqi $\Delta\omega = 6,85 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$ ga teng bo'ladi?

5.55. Kuchsiz magnit maydonda quyidagi o'tishlar yuzaga keltirgan spektral chiziqlarda Zeemanning qanday effekti kuzatiladi: a) $^1P \rightarrow ^1S$; b) $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$; v) $^3D_1 \rightarrow ^3P_0$; g) $^5I_5 \rightarrow ^5H_4$?

5.56. Induksiyasi $B=3,4$ kGs bo'lgan kuchsiz magnit maydondagi $^2D_3 \rightarrow ^3P_2$ spektral chiziqlarning $\Delta\omega$ to'liq ajralishini hisoblang.

5.57. Agar temir ($Z=26$) K_α - chiziqning to'lqin uzunligi 193 pm ekanligi ma'lum bo'lsa, mis ($Z=33$) K_α - chiziqning to'lqin uzunligini aniqlang.

5.58. Rentgen trubkasiga berilgan kuchlanish $U_1=16$ kV bo'lganda xarakteristik rentgen nurlanishining L-seriyasi vujudga keladi. Nurlanish spektrida K-seriyasi vujudga kelishi uchun U_2 kuchlanish qanday qiymatga ega bo'lishi kerak?

5.59. Mozli qonunidan foydalangan holda volfram ($Z_1=74$) K_α - chizig'ining to'lqin uzunligi temir ($Z_2=26$) K_α - chizig'ining to'lqin uzunligi qancha marta kichik ekanligini aniqlang.

5.60. Nikel ($Z=28$) da yutilishning K-polosasi chegarasiga mos keluvchi λ_K to'lqin uzunligini aniqlang. Ushbu nurlanishlar seriyasi, atomlarning ionizatsiyasi natijasida hosil bo'ladi deb hisoblang.

5.61. Kumush K_α - nurlanishi ta'siri natijasida molibden atomlarining K-qobiqdan chiqqan elektronlarning kinetik energiyasini aniqlang.

5.62. Alyuminiy K_α - nurlanishi bilan uglerodni nurlantirish natijasida bir necha monoenergetik guruhlardan tashkil topgan fotoelektronlar spektri hosil bo'ladi. Kinetik energiyasi 1,21 keV bo'lgan uglerod elektronlarining bog'lanish energiyasini toping.

II bob. Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi

6-§. Atom yadrosining asosiy xususiyatlari

Asosiy formulalar va uslubiy ko'rsatmalar

- Atom yadrosining radiusi:

$$R = 1,4A^{1/3} \phi \quad (6.1)$$

yoki

$$R = 1,4A^{1/3} \cdot 10^{-15} \text{ m} \quad (6.2)$$

bu yerda: A-massa soni bo'lib, u atom yadrosini tashkil etgan neytron va protonlar sonlari yig'indisiga teng, ya'ni $A = Z + N$, bu yerda: Z- protonlar soni yoki yadro zaryad raqami, N-neutronlar soni.

- Yadroning bog'lanish energiyasi:

$$E_{\text{bog}} = c^2 \Delta M \quad (6.3)$$

bu yerda: s-yorug'likning vakuumdagi tezligi, ΔM -massa defekti.

- Massa defekti quyidagiga teng:

$$\Delta M = Zm_p + (A - Z)m_n - M_A \quad (6.4)$$

yoki

$$\Delta M = Zm_H + (A - Z)m_n - M_{\text{am}} \quad (6.5)$$

bu yerda: m_p , m_n , m_H , M_A va M_{am} - mos ravishda proton, neytron, vodorod atomi, yadro va atom massalari.

Bog'lanish energiyasining massa soniga nisbati solishtirma bog'lanish energiyasi teng:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{bog}}}{A} \quad (6.6)$$

yoki

$$\varepsilon = \frac{c^2 \Delta M}{A} \quad (6.7)$$

Hisoblashlar uchun quyidagi formuladan foydalanish qulay:

$$E_{\text{bog}} = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - \Delta \quad (6.8)$$

bu yerda: Δ_H , Δ_n , Δ - vodorod atomi, neytron va ushbu yadroga mos keluvchi atom massa defektlari. Massa defekti, atom massasi (m.a.b. lardagi) bilan massa soni A orasidagi ayirmadir, ya'ni $\Delta = M - A$. Massa defektining massa soniga nisbatiga solishtirma massa defekti deb ataladi, ya'ni:

$$f = \frac{\Delta}{A}$$

Yadro bog'lanish energiyasini aniqlash uchun quyidagi yarim empirik formula yoki Veyszekker formulasiidan foydalanamiz:

$$E_{\text{bog}} = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \xi \frac{(\frac{A}{2} - Z)^2}{A} + \delta \frac{\lambda}{A^{3/4}} \quad (6.9)$$

bu yerda:

$$\delta = \begin{cases} \text{juft - juft yadrolar uchun} & +1 \\ \text{toq - juft yadrolar uchun} & 0 \\ \text{toq - toq yadrolar uchun} & -1 \end{cases}$$

Ushbu (1.9) formuladagi koeffitsientlar qiymati quyidagiga teng: $\alpha = 15,75 \text{ MeV}$; $\beta = 17,8 \text{ MeV}$; $\gamma = 0,71 \text{ MeV}$; $\xi = 94,8 \text{ MeV}$; $\lambda = 34 \text{ MeV}$.

(1.5) ni hisobga olib (1.3) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$E_{\text{bog}} = [Zm_p + (A - Z)m_n - M_{Y_a}]c^2 \quad (6.10)$$

bu yerda: m_p , m_n , va M_{Y_a} - proton, neytron va yadro massalari.

Masalalar to'plami va ma'lumotnomlarda yadro massalari emas, balki neytral atomlarining massasi keltiriladi. Shuning uchun yadro bog'lanish energiyasini (1.6) formuladan foydalanish o'rniga, quyidagi formuladan foydalanish qulay:

$$E_{\text{bog}} = [Zm({}_1^1H) + (A - Z)m_n - M_a]c^2 \quad (6.11)$$

bu yerda: $m({}_1^1H)$ - vodorod atom massasi, M_a - berilgan atom massasi. Yuqoridagi (1.10) va (1.11) formulalar ekvivalent bo'lganligi uchun, elektron massasini m_e belgilab, quyidagini yozish mumkin:

$$Zm({}_1^1H) - M_a = Z(m_p + m_e) - (M_y + Zm_e) = Zm_p - M_y$$

Yuqorida keltirilgan (1.10) va (1.11) formulalar yordamida bog'lanish energiyasini MeV larda topish uchun, ushbu formulalarga jadvaldan olingan massalarning m.a.b. qiymatlarida olinadi va quyidagi koeffitsientiga ko'paytiriladi:

$$c^2 = 931 \text{ MeV/m.a.b.}$$

Masala yechish uchun namunalar

1-masala. Ushbu yadrolar tarkibidagi nuklonlar, proton va neytronlar sonini aniqlang:

$$1) {}_2^4\text{He}, 2) {}_{12}^{12}\text{C}, 3) {}_{11}^{23}\text{Na}, 4) {}_{29}^{63}\text{Cu}, 5) {}_{39}^{89}\text{Y}, 6) {}_{50}^{112}\text{Sn}, 7) {}_{92}^{238}\text{U}$$

Yechilishi: Yadrodagi nuklonlar soni:

$$A = Z + N$$

(1)

Bu yerda: Z- protonlar soni; N-neutronlar soni.

Yadro belgisi: A_ZX (2)

Demak, ${}^4_2\text{He}$ da nuklonlar soni $A=4$, protonlar soni $Z=2$ va neytronlar soni $N=A-Z=4-2=2$. Xuddi shunga o'xshab boshqa yadrolar uchun ham topiladi:

- 1) $A=12$; $Z=6$; $N=6$;
- 2) $A=23$; $Z=11$; $N=12$;
- 3) $A=63$; $Z=29$; $N=34$;
- 4) $A=89$; $Z=39$; $N=50$;
- 5) $A=112$; $Z=50$; $N=62$;
- 6) $A=238$; $Z=92$; $N=146$

2-masala. ${}^{16}_8\text{O}$ izotop yadrosining massasini hisoblang.

Yechilishi: Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$m_A = M_A - Zm_e$$

Jadvalga asosan: $M_A = 15,9949 \text{ m.a.b.}$

$$Zm_e = 8 \cdot 5,4860 \cdot 10^{-4} \text{ m.a.b.} = 43,888 \cdot 10^{-4} \text{ m.a.b.}$$

$$m_A = 15,9949 - 0,0044 = 15,9905 \text{ m.a.b.}$$

Ya'ni bundan, atomning barcha og'irligi amalda yadroga yig'ilganligini ko'rishimiz mumkin.

3-masala. Massasi 4 g bo'lgan tabiiy uranda ${}^{235}\text{U}$ izotopining yadrolar soni qancha?

Yechilishi: Uran ${}^{238}\text{U}$, ${}^{235}\text{U}$ va ${}^{234}\text{U}$ izotoplari tabiiy aralashmasining atom massasi quyidagiga teng:

$$\bar{M} = aM_{238} + bM_{235} + cM_{234} \quad (1)$$

bu yerda: a , b va c - uran izotoplarining tabiiy aralashmasidagi ulushlari. Massasi m kg bo'lgan tabiiy aralashmadagi atomlar soni (binobarin, yadrolar soni ham) $N_0 = m N_A / \bar{M}$ ni tashkil etadi. Bu yerda: N_A - Avogadro soni.

Massasi m kg bo'lgan tabiiy urandagi ${}^{235}\text{U}$ izotopining atomlar sonini quyidagi formula orqali hisoblaymiz:

$$N = \frac{m N_A}{\bar{M}} \cdot a \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

(2) ga (1) ifodani qo'yib, hisoblashlarni bajaramiz:

$$N = \frac{m N_A \cdot a \cdot 10^{-2}}{aM_{238} + bM_{235} + cM_{234}} \approx 7,3 \cdot 10^{19}.$$

4-masala. Yadrodagi nuklonlar konsentratsiyasi, yadro moddasining zichligi va yadrodagi elektr zaryadlarining hajmiy zichligini toping.

Yechilishi: Atom yadrosining radiusi:

$$R = 1,4 \cdot 10^{-15} A^{1/3} \text{ m}$$

ekanligidan yadroning massasi uning hajmiga to'g'ri proporsional, ya'ni ($A \sim R^3$). Binobarin, hamma yadrolar bir xil nuklonlar konsentratsiyasi

$$n = \frac{A}{V} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{A}{(4/3)\pi(1,4 \cdot 10^{-15})^3 A} = 10^{44} \text{ nuklon/m}^3 = 10^{38} \text{ nuklon/sm}^3$$

va bir xil zichlikka ega, ya'ni:

$$\rho = n \cdot m = 10^{44} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \approx 10^{17} \text{ kg/m}^3.$$

bu yerda: m - nuklon massasi.

5-masala. Tabiiy Bor atom massasi 10,811 ga teng. Uning massasi 10,013 va 11,009 bo'lgan ikkita izotopdan tarkib topgan. Ularning foiz miqdorini toping.

Yechilishi: Tenglamalar sistemasini tuzamiz:

$$\begin{cases} 10,013x + 11,009y = 10,811 \\ x + y = 1 \end{cases}$$

bu yerda: x va y mos holda yengil va og'ir izotoplar ulushi. Ushbu tenglamalar sistemasini yechib, quyidagi qiymatlarni olamiz:

$$x = 20\% \text{ (yengil izotop)}$$

$$y = 80\% \text{ (og'ir izotop)}$$

6-masala. Deyteriy va poloniy yadrolarining radiusini baholang.

Yechilishi: Yadro radiusi formulasiga asosan:

$$R = 1,4 \cdot 10^{-15} m \cdot A^{1/3}$$

Deyteriy uchun: $R = 1,8 \cdot 10^{-15} \text{ m.}$

Poloniy uchun: $R = 8,3 \cdot 10^{-15} \text{ m.}$

7-masala. Proton va neytronlardan 1g geliy (${}^4_2\text{He}$) hosil bo'lganda qancha energiya ajraladi?

Yechilishi: Geliy atom yadrosi ikkita proton va ikkita neytrondan tashkil topganligi uchun uning atom massasi $M_{\text{He}} = 4,00337 \text{ m.a.b.}$

Neytronning tinchlikdagi massasi $m_n = 1,00897 \text{ m.a.b.}$

Protonning tinchlikdagi massasi esa $m_p = 1,00758 \text{ m.a.b.}$

Geliy atomi hosil bo'lishdagi massa defekti:

$$\Delta m = 2(m_p + m_n) - M_{\text{He}} = 0,02923 \text{ m.a.b.}$$

Bitta geliy atomining hosil bo'lishidagi ajraladigan energiya:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,44 \frac{\text{MeV}}{\text{m.a.b.}} = 27,126 \text{ MeV.}$$

Massasi 1 g teng bo'lgan geliydagi atomlar soni esa:

$$N = \frac{m}{A_{He}} N_A = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{4} = 1,504 \cdot 10^{23} \text{ (atom).}$$

Binobarin: 1 g geliy hosil bo'lganda ajraladigan energiyani:

$$E = \Delta EN$$

formula bo'yicha hisoblashlar natijasida:

$$E = 40,797 \cdot 10^{23} \text{ MeV} = 65,275 \cdot 10^{10} \text{ J ekanligi kelib chiqadi.}$$

Masalalar

- 6.1. Alyuminiy $^{27}_{13}\text{Al}$ yadrosining bog'lanish energiyasini toping.
- 6.2. Kislorod $^{17}_8\text{O}$ yadrosining solishtirma bog'lanish energiyasini toping.
- 6.3. Veyszekker formulasidan foydalangan holda $^{238}_{92}\text{U}$ va $^{60}_{28}\text{Ni}$ yadrolar uchun solishtirma bog'lanish energiyasini aniqlang.
- 6.4. Bir xil proton va neytronlarga ega, radiusi esa ^{27}Al yadrosidan bir yarim marta kichik bo'lgan yadroning bog'lanish energiyasini toping.
- 6.5. Neytronning kislorod $^{17}_8\text{O}$ yadrosidagi bog'lanish energiyasini toping.
- 6.6. Agar $^{20}_{10}\text{Ne}$, ^4_2He va $^{12}_6\text{C}$ yadrolarning bir nukloniga to'g'ri keluvchi energiyalari 8,03, 7,07 va 7,68 MeV ga teng bo'lsa, ^{20}Ne va ^{12}C yadrolarini ikkita α -zarraga bo'lish uchun kerak bo'lgan energiyani hisoblang.
- 6.7. Yadro moddasining o'rtacha zichligi va yadro hajmining nuklonlar egallagan qismini toping.
- 6.8. Elektronlarni yadrolarda sochilishi yordamida olingan tajriba natijalariga ko'ra, yadro materiyasining zichlik taqsimotini quyidagicha:
 $\rho(r) = \rho_0 [1 + \exp(-(r-R)/a)]^{-1}$, bu yerda: $R = r_0 A^{1/3}$, $a = 0,54$ fermi bo'lsa, yadro materiyasi zichligining qiymati 0,9 ρ_0 dan 0,1 ρ_0 gacha kamayadigan yadrolar sirti qatlamaning qalinligi hamma yadrolar uchun bir xil ekanligini ko'rsating.
- 6.9. ^9Be , ^{19}F va ^{127}I yadrolar uchun solishtirma bog'lanish energiyasini toping.
- 6.10. Ushbu: a) ^8Li yadrosining bog'lanish energiyasi 41,3 MeV; b) ^{11}C yadrosining bir nuklonga to'g'ri keluvchi bog'lanish energiyasi 6,04 MeV bo'lsa, ularning massalarini m.a.b. larida hisoblang.
- 6.11. ^3_2He , ^4_2He , ^7_3Li yadrolarning solishtirma bog'lanish energiyalarini taqqoslang.

6.12. $^{16}_8\text{O}$, $^{27}_{14}\text{Si}$ va $^{60}_{27}\text{Co}$ yadrolarini solishtirma bog'lanish energiyalarini Veyszekkerning yarim emperik formulasidan foydalanib hisoblang.

6.13. $^{12}_6\text{C}$ va $^{16}_8\text{O}$ yadrolaridagi α -zarrachalarning o'rtacha bog'lanish energiyasini aniqlang.

6.14. $^{108}_{47}\text{Ag}$ yadrosining massa defekti, bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasini toping.

6.15. ^{21}Ne yadrosidagi neytron va α -zarralar bog'lanish energiyasini aniqlang.

6.16. $^{24}_{12}\text{Mg}$ yadrosining massa defekti, bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasini toping.

6.17. $^{16}_8\text{O}$ yadrosining massa defekti, bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasini toping.

6.18. Uran ^{235}U yadrosi issiqlik neytronni qamrab olgandagi uyg'onish energiyasi topilsin.

6.19. ^4_2He yadrosini ikkita bir xil bo'laklarga ajratish uchun qanday minimal energiya kerak bo'ladi?

6.20. $^{238}_{92}\text{U}$ va $^{60}_{28}\text{Ni}$ yadrolar uchun solishtirma bog'lanish energiyasini Veyszekker formulasidan foydalangan holda aniqlang.

6.21. ^1_1H , ^4_2He , ^7_3Li , $^{12}_6\text{C}$ yadrolarda neytronning bog'lanish energiyasini aniqlang.

6.22. Yadroda protonlar tekis taqsimlangan deb faraz qilib, yadrodagi protonlar orasidagi E_k Kulon itarishish energiyasini aniqlang. E_k energiyaning A massa soniga va yadro zaryadi Z ga bog'lanishini aniqlang. Yadro radiusi $R = 1,25 A^{1/3}$ fermi.

6.23. Azot $^{14}_7\text{N}$ yadrosi hosil bo'layotganda massaning o'zgarishi $0,2508 \cdot 10^{-17}$ kg teng bo'lsa, azot $^{14}_7\text{N}$ izotopining massasini toping.

6.24. Uchta proton va to'rtta neytrondan tashkil topgan yadroning bog'lanish energiyasi 39,3 MeV ga teng. Bu yadroning massasini toping.

6.25. Geliy ^4_2He yadrosidan neytronni uzib olganda ^3_2He yadrosi hosil bo'ladi. Buning uchun kerak bo'lgan bog'lanish energiyasini toping.

6.26. ^{11}B va ^{11}C "ko'zgu" yadrolarining bog'lanish energiyalari farqi Kulon o'zaro ta'sir energiyasi bilan aniqlanishini ko'rsating.

6.27. ^3_2He va ^3_1H yadrolarini bog'lanish energiyalari farqi Kulon o'zaro ta'sir energiyasi hisobiga bo'ladi deb ^3_2He yadrosi radiusini aniqlang.

6.28. 8_8O yadrosining Kulon o'zaro ta'sir radiusini va $R = r_0 A^{1/3}$ formuladagi r_0 ning qiymatini toping.

6.29. Yadroning asosiy holati uchun xususiy dipol momenti nolga tengligini ko'rsating

6.30. Yadroning elektr kvadrupol momenti faqat uning to'la harakat miqdori momenti $J > \frac{1}{2}$ bo'lgandagina noldan farqli bo'lishini ko'rsating.

6.31. N_2 - molekulasining spektrini o'rganish natijasida azot atomini spini yarim butun son ekanligi topildi. Buni yadroni faqat proton, neytron-dan tuzilgan degan nazariya asosida tushuntirish mumkinligini ko'rsating.

6.32. 4_2He va ${}^{16}_8O$ yadrolarini o'ta mustahkamligini tushuntiring. Bu yadrolarning asosiy holatlari spini va juftligini toping.

6.33. Bir zarrali qobiq modeli asosida tritiy (3_1H) yadrosini asosiy holati spini va juftligini aniqlanag.

6.34. Bir zarrali qobiq modeli asosida tritiy yadrosi asosiy holatining magnit momentini toping.

6.35. 3_2He yadrosi asosiy holatining spinini, juftligini va magnit momentini toping.

6.36. Qobiq modeli asosida ${}^{13}_6C$ va ${}^{13}_7N$ yadrolarining asosiy holat spini va juftligini toping.

6.37. Bir zarrali qobiq modeli asosida ${}^{15}_8O$, ${}^{15}_7N$ yadrolarining asosiy holati juftligi va spinini (J^π) toping.

6.38. Kobalt atomining asosiy ${}^4F_{7/2}$ termi komponenti sakkizta o'ta nozik ajralishdan iborat bo'lsa, ${}^{59}Co$ yadrosining spinini aniqlang.

6.39. 2_1H , 4_2He , 3_1H , 3_2He yadrolarning izotopik spinlarini aniqlang.

6.40. Aksial-simmetrik yadroning energetik sathlari aniq juftlikka ega bo'lishini ko'rsating. Bunda yadroning potentsiali:

$$V(r) = \frac{m\omega^2 r^2}{2} (1 + \beta \cos^2 \theta) \text{ ga teng.}$$

6.41. Nuklonlar (proton, neytron), π -mezon, shuningdek, 9_4Be , ${}^{11}_5B$, ${}^{16}_8O$ yadrolar uchun izotopik spin va uning proyeksiyasining qiymatlarini toping.

6.42. ${}^{85}Rb$ yadrosining tashqi kuzatiladigan kvadrupol momenti 0,7 b ga teng. Agar ${}^{85}Rb$ yadrosining spini $J = 5/2$ ga teng bo'lsa, uning Q_0 xususiy kvadrupol momentini aniqlang.

6.43. Uglerod ${}^{10}C$, ${}^{11}C$, ${}^{12}C$, ${}^{13}C$, ${}^{14}C$ izotoplari yadrolarining asosiy holatdagi izospinlari qiymatlarini aniqlang.

6.44. ${}^{197}Au$ yadrosining deformatsiya parametri β ni toping. Bunda yadroning elektr kvadrupol momenti $Q = 60 \cdot 10^{26} \text{ sm}^2$ ga teng.

6.45. ${}^{222}Re$ va ${}^{228}Th$ yadrolarining deformatsiya parametrlari nisbatini toping. Bu yadrolarning aylanma energiya sathlari mos ravishda: $E(2^+) = 112 \text{ KeV}$ va $E(2^+) = 58 \text{ KeV}$ ga teng.

6.46. ${}^{180}_{72}Hf$ juft-juft yadroni birinchi aylanma energiya sathi $E(2^+) = 93 \text{ KeV}$ ekanligidan foydalanib, deformatsiya parametri β ni aniqlang.

6.47. ${}^{118}_{76}Os$, ${}^{238}_{92}U$ yadrolari uchun elektr kvadrupol momentlari berilgan bo'lsa, ularning deformatsiyalari nisbatini toping:

$$Q \cdot 10^{26} \text{ cm}^2 = 510 ({}^{118}Os)$$

$$Q \cdot 10^{26} \text{ cm}^2 = 1100 ({}^{238}U)$$

6.48. ${}^{175}Lu$ yadrosining Q_0 ichki yoki xususiy kvadrupol momenti $+5.9 \text{ Fm}^2$ ga teng. Bu yadro qanday shaklga ega? Mazkur yadroning deformatsiya parametri nimaga teng?

6.49. Qobiq modelidan foydalanib, bir xil orbital momentga va har xil to'la momentga ega bo'lgan energiya sathlar siljishini orbital momentga bog'lanishini toping

6.50. Ushbu. $|jls m\rangle \equiv |jm\rangle$ holatdagi nuklonning yadrodagi o'tacha magnit momentini toping.

6.51. Yadro magnitoni $\mu_0 = \frac{eh}{2mc}$ birligida nuklonning yadrodagi magnit momenti operatori, $\hat{\mu} = g_l \hat{l} + g_s \hat{s}$, orqali beriladi, bu yerda: proton uchun $g_l = 1$, $g_s = 5,58$ ga teng. neytron uchun $g_l = 0$, $g_s = -3,82$ ga teng. Shulardan foydalanib g_j ni toping.

6.52. Yadroning bir zarrali qobiq modeli, ${}^{17}_8O$ va ${}^{13}_6C$ yadrolarining asosiy holati kvant sonlarini qoniqarli tushuntirib berishini ko'rsating. ${}^{17}_8O$ yadro uchun $J^\pi = (5/2)^-$, magnit momenti $\mu({}^{17}_8O) = -1,89\mu_0$, ${}^{13}_6C$ yadro uchun esa $J^\pi = (1/2)^-$, magnit momenti $\mu({}^{13}_6C) = 0,70\mu_0$.

6.53. Proton-neytron sistemasining 3S_1 holati uchun magnit momentini hisoblang va deytron magnit momentining tajribada kuzatilgan ($\mu = 0,86\mu_0$) qiymati bilan solishtiring.

7-§. Radioaktivlik

Asosiy formulalar va uslubiy ko'rsatmalar

- Radioaktiv parchalanish qonuni:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (7.1)$$

bu yerda: N - radioaktiv elementning t vaqt momentidagi parchalanmagan yadrolar soni, N_0 - radioaktiv elementning dastlabki yadrolar soni, λ - radioaktiv parchalanish doimiysi.

- Yarim parchalanish davri:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ yoki } T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (7.2)$$

Radioaktiv yadroning o'rtacha yashash vaqti:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (7.3)$$

Radioaktiv parchalanish qonunining yarim parchalanish davri orqali ham ifodalash mumkin:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

- Radioaktiv element aktivligi (vaqt birligi ichida parchalangan yadrolar soni).

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (7.4)$$

Radioaktiv element (preparat)ning aktivligini eksponentsial kamayish qonuni:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (7.5)$$

bu yerda: A_0 - radioaktiv elementning boshlang'ich aktivligi.

Xalqaro birliklar sistemasida aktivlikning o'lchov birligi 1 Bekkerel qabul qilingan bo'lib, u son jihatdan 1 sekunddagi 1 parchalanishga teng. Ayrim hollarda aktivlikning Kyuri bilan ifodalanuvchi o'lchov birligi ham ishlatiladi va u Bekkerel o'lchov birligi bilan quyidagicha bog'langan:

$$1 \text{ Ku} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ parcha. /s} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bk,}$$

Parchalanish doimiysi λ_1 bo'lgan A_1 radioizotopning parchalanish doimiysi λ_2 bo'lgan A_2 radioizotopga aylanishida A_2 radioizotop vaqt bo'yicha quyidagicha o'zgaradi:

$$N_2(t) = N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}), \quad (7.6)$$

bu yerda: $N_1(0)$, $t=0$ momentdagi A_1 radioizotopning yadrolar soni.

I. Radioaktivlik hodisasiga taalluqli masalalarni yechishda quyidagi ikki holni farqlash kerak:

a) izolyasiyalangan radioaktiv moddada radioaktiv parchalanish yuz berishini. Bu holda Radioaktiv parchalanish qonuni (2.1) formulasidan foydalaniladi.

Agar masala shartidan radioizotopning Δt -parchalanish vaqti, berilgan radioizotopning T -yarim parchalanish davridan juda kichik ($\Delta t \ll T$) ligi ma'lum bo'lsa, u holda parchalanmagan yadrolar soni N ni Δt vaqt davomida deyarli o'zgarmaydi va uni boshlang'ich yadrolar soni N_0 ga teng deb hisoblash mumkin. U holda parchalangan yadrolar soni ΔN ni ushbu $\Delta N = \lambda N_0 \Delta t$ formula yordamida topish mumkin.

b) biror hosilaviy radioaktiv modda bilan, u hosil bo'lgan boshlang'ich boshqa bir radioaktiv modda bilan aralashmasida parchalanish yuz berayotgan hol. Bu holda esa, hosilaviy modda yadrolar sonining vaqt o'tishi o'zgarish qonuni (2.6) munosabat bilan ifodalanadi.

Ushbu alohida holga e'tibor beraylik: agar boshlang'ich radioaktiv moddaning yarim parchalanish davri T_1 , hosilaviy radioaktiv moddaning yarim parchalanish davri T_2 dan juda katta, ya'ni $T_1 \gg T_2$ bo'lsa, u holda, biror vaqt o'tgandan keyin, bu moddalar orasida radioaktiv muvozanat o'rnatiladi. Bunda, vaqt birligi ichida hosil bo'lgan hosilaviy modda yadrolarning soni parchalangan boshlang'ich modda yadrolarning soniga teng bo'ladi. Natijada har ikkala modda aktivligi bir xil bo'lib qoladi. U holda (2.4) va (2.2) ifodalardan quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

yoki

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 \quad (7.7)$$

Ayrim masalalarni yechishda massasi m bo'lgan radioaktiv modda tarkibidagi atomlar soni N ni topish talab qilinadi. Buning uchun quyidagi munosabatdan foydalanamiz:

$$N = N_A \nu = N_A (m / \mu) \quad (7.8)$$

bu yerda: N_A - Avogadro soni, ν - preparatdagi modda miqdori, μ - izotopning molyar massasi.

Izotopning molyar massasi μ bilan nisbiy atom massasi M_r orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\mu = 10^{-3} M_r \text{ kg/mol} \quad (7.9)$$

(2.8) formula bo'yicha hisoblashlar amalga oshirilganda, har bir izotopning nisbiy atom massasi M_r ga, uning massa soni esa A ga juda ham yaqin bo'ladi. Ya'ni $M_r \approx A$ bo'lganligidan (2.9) ifodani quyidagi ko'rinishda yoza olamiz:

$$\mu \approx 10^{-3} \cdot A \text{ kg/mol}$$

Masala yechish uchun namunalari

1-masala. Parchalanish doimiysi λ bo'lgan radioaktiv yadroning t vaqt oralig'ida parchalanish ehtimolligini toping.

Yechilishi: Radioaktiv parchalanish jarayoni statistik xarakterga ega, ya'ni teng vaqt ichida umumiy atomlarning teng ulushi parchalanadi. Buni shunday tushuntirish mumkin. Agar yetarlicha katta boshlang'ich N_0 yadrolar soniga ega bo'lgan radioaktiv preparat bilan tajriba ko'p marta takrorlansa, unga o dan t gacha vaqt oralig'ida har gal bir xil yadro ulushi $\Delta N/N_0$ parchalanadi. Ushbu kattalik berilgan vaqt oralig'i ichida yadrolar parchalanish ehtimolligi (R) deyiladi:

$$P = \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0}, \quad (1)$$

bu yerda: N - vaqtning t momentida parchalanmay qolgan yadrolar soni. Bu ifodani radioaktiv parchalanishlar qonuni $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ni e'tiborga olib, quyidagicha yozamiz:

$$P = \frac{N_0 - N_0 e^{-\lambda t}}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}$$

Javob: $P = 1 - e^{-\lambda t}$.

2-masala. Aktivligi $A = 1 \text{ kKi}$ bo'lgani ^{60}Co radioizotopining massasini aniqlang. Ushbu aktivlik $t = 10,5$ yildan keyin qancha marta kamayadi.

Yechilishi: Aktivlik bilan radioaktiv element yadrolar soni orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$A = \lambda N \quad (1)$$

(2.8) formulaga asosan radioaktiv yadrolar soni:

$$N = \frac{m}{M} N_A \quad (2)$$

(2) ni (1) ga qo'yamiz:

$$A = \frac{m\lambda}{M} N_A \quad (3)$$

λ va $T_{1/2}$ orasidagi bog'lanish, ya'ni (2.2) formulaga ko'ra:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (4)$$

(4) ni (3) ga qo'yamiz,

$$A = \frac{m N_A}{M} \cdot \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

va m ni topamiz:

$$m = \frac{A M T_{1/2}}{N_A \cdot 0,693} \quad (5)$$

Formulaga masala shartidagi qiymatlarni qo'yib, hisoblashlarni bajaramiz:

$$A = 1 \text{ kKu} = 10^3 \text{ Ku} = 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 10^3 \text{ parcha. /s} = 3,7 \cdot 10^{13} \text{ Bk,}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol, } M = 60 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol, } T_{1/2} = 5,25 \text{ yil} = 16556,4 \cdot 10^4$$

c. Ushbu kattaliklarning qiymatlarini (5) ifodaga qo'yamiz va quyidagi qiymatni olamiz:

$$m = 0,882 \cdot 10^{-3} \text{ kg yoki } m = 0,882 \text{ g.}$$

Endi $t = 10,5$ yilda aktivlikning qancha marta kamayishini aniqlash uchun

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ formuladan foydalanamiz:

$$N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

bundan N_0/N ni topamiz.

$$\frac{N_0}{N} = e^{\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} = e^{\frac{0,693}{T_{1/2}} t} = 4 \text{ marta.}$$

Javob: 4 marta kamayadi.

3-masala. Massasi 1g bo'lgan izolyatsiyalangan ^{226}Ra radioizotopining aktivligi hamda uning aktivligi 10% ga kamayadigan vaqtni aniqlang.

Yechilishi: Aktivlikni quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$A = \lambda N \quad (1)$$

radioizotopdagi yadrolar soni:

$$N = \frac{m}{M} N_A \quad (2)$$

(2) ni (1) ga qo'yamiz va:

$$A = \lambda \frac{m}{M} N_A$$

Bu formulaga son qiymatlarni qo'yib, $T_{1/2} (^{226}\text{Ra}) = 1620$ yil ekanligini topamiz.

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = 1,354 \cdot 10^{-11} \text{ c}^{-1}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol, } M = 226 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol, aktivligini hisoblaymiz.}$$

$$A = 3,61 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1} = 0,975 \text{ Ku}$$

2) $N = N_0 e^{-\lambda t}$ dan

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

yoki $\frac{N_0}{N} = e^{\lambda t}$.

Bu ifodaning logariflasak:

$$\ln \frac{N_0}{N} = \ln e^{\lambda t}$$

Bundan: $\lambda t = \ln \frac{N_0}{N}$

va $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{0,9N_0} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{0,9} = \frac{1}{1,354 \cdot 10^{-11}} \ln \frac{1}{0,9} \approx 243$ yil.

4-masala. Berk idishda massasi $m = 0,1g$ bo'lgan radiy bor. Idishda, 24 soatdan keyin, qancha miqdorda radon yig'iladi? Radiyning yarim parchalanish davri 1600 yil, radonniki esa 3,8 kun.

Yechilishi: Masalani quyidagi formuladan foydalanib yechamiz:

$$N_{Rn} = N_{Ra} \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn} - \lambda_{Ra}} (e^{-\lambda_{Rn} t} - e^{-\lambda_{Ra} t})$$

Radiy atomlari miqdori:

$$N_{Ra} = \frac{m}{A_{Ra}} N_A$$

bu yerda: N_A - Avagadro soni.

Radioaktiv parchalanish doimiylari:

$$\lambda_{Ra} = \frac{\ln 2}{T_1}, \quad \lambda_{Rn} = \frac{\ln 2}{T_2}$$

Binobarin:

$$N_{Rn} = \frac{m N_A}{A_{Ra}} \left[(e^{\ln 2})^{-\frac{t}{T_1}} - (e^{\ln 2})^{-\frac{t}{T_2}} \right] \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Bu formulaga masala shartidagi quyidagi qiymatlarni qo'yamiz:

$$m = 0,1g = 10^{-4} \text{ kg}, \quad t = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}, \quad A_{Ra} = 226 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol},$$

$$N_A = 6,02205 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}, \quad T_1 = 5,05 \cdot 10^4 \text{ s}; \quad T_2 = 3,3 \cdot 10^5 \text{ s}.$$

Hisoblash natijasida quyidagi javobni olamiz:

$$N_{Rn} \approx 32 \cdot 10^{14} \text{ (atom)}.$$

5-masala. Massasi 1 mg bo'lgan seriy-144 radioizotopining qancha yadrosi, a) 1s va b) 1 yil vaqt oraliqlarida parchalanishini aniqlang: Seriyning yarim yemirilish davri 285 kun.

Yechilishi: Masalani Radioaktiv parchalanish qonuni yordami bilan yechamiz.

a) holda $\Delta t = 1c$ vaqt oralig'i radioizotopining yarim parchalanish davridan juda ham kichik, ya'ni $\Delta t \ll T$ bo'lgani uchun, ushbu vaqt oralig'ida yadrolar soni deyarli o'zgarmay qoladi va boshlang'ich yadrolar

soni N_0 ga teng bo'ladi. U holda parchalangan yadrolar soni ΔN ni topish uchun Radioaktiv parchalanish qonunining quyidagi ifodasidan foydalanamiz:

$$-dN = \lambda N dt \quad (1)$$

buni quyidagicha yozamiz.

$$\Delta N = \lambda N_0 \Delta t \quad (2)$$

λ bilan $T_{1/2}$ orasidagi bog'lanish $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ ni hisobga olib, (2) ni quyidagiga

yozamiz:

$$\Delta N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0 \Delta t \quad (3)$$

Boshlang'ich yadrolar (atomlar) sonini quyidagi formula bilan topamiz:

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A \quad (4)$$

(4) va (3) dan quyidagi ifodani olamiz:

$$\Delta N = \frac{\ln 2 \cdot N_A \cdot m \cdot \Delta t}{T_{1/2} \cdot M} \quad (5)$$

Bu formula masala shartidagi $N_A = 6,02205 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $m = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$, $\Delta t = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$, $T_{1/2} = 285 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ c}$, $M = 0,144 \text{ kg/mol}$, $\ln 2 = 0,693$ kattaliklar qiymatlarini Xalqaro birliklar sistemasida ifodalab, hisoblash ishlarini bajaramiz va quyidagi qiymatini olamiz:

$$\Delta N = 1,2 \cdot 10^{11},$$

b) holda Δt va T kattaliklar bir xil tartibda bo'lgani uchun radioaktiv parchalanish qonunining differensial ko'rinishdan foydalanib bo'lmaydi. Shuning uchun masalani yechishda Radioaktiv parchalanish qonunining integral ko'rinishidan foydalanamiz, ya'ni:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Bundan quyidagini olamiz:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (7)$$

(4) ifoda va $T\lambda = \ln 2$ ekanligini hisobga olib (7) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\Delta N = \frac{N_A m}{M} (1 - e^{-(\ln 2)t/T}) \quad (8)$$

va $e^{\ln 2} = 2$ ekanligi hisobga olsak (8), ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\Delta N = \frac{N_A m}{M} (1 - 2^{-t/T}) \quad (9)$$

(9) ifodaga kattaliklarning son qiymatini qo'yib, hisoblashlarni bajaramiz va quyidagi javobni olamiz:

$$\Delta N = 2,5 \cdot 10^{18}.$$

6-masala. Massasi 1 g bo'lgan radiy bilan muvozanatda bo'lgan radonning massasi va hajmini toping.

Yechilishi: Masalani yechish uchun radioaktiv parchalanishning muvozanat shartidan foydalanamiz.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

bundan:

$$N_2 = N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (1)$$

bu yerda: λ_1 va λ_2 lar mos ravishda radiy va radonning parchalanish doimiylari, N_1 va N_2 esa mos ravishda radiy va radon atomlar soni.

Radiy va radon atomlar sonini quyidagicha topamiz:

$$N_1 = \frac{m_1}{M_1} N_A \quad (2)$$

$$N_2 = \frac{m_2}{M_2} N_A \quad (3)$$

(2) va (3) ni (1) ga qo'yamiz va quyidagini olamiz

$$m_2 = \frac{M_2 \lambda_1}{M_1 \lambda_2} m_1 \quad (4)$$

(4) formuladagi Xalqaro birliklar sistemasida ifodalangan $M_1 = 226 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, $M_2 = 222 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, $m_1 = 10^{-3}$ kg, $\lambda_1 = 1,39 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, $\lambda_2 = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ c}^{-1}$ kattaliklarni qo'yib, hisoblashlarni bajaramiz va quyidagini olamiz: $m_2 = 6,5 \cdot 10^{-9}$ kg. Normal sharoitda $222 \cdot 10^{-3}$ kg radon $V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ hajmini egallaydi. U holda izlanayotgan hajm:

$$V = V_0 \frac{m_2}{M_2}$$

Bu formulaga kattaliklar qiymatlarini qo'yamiz va $V = 6,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$ ga teng ekanligini topamiz.

Masalalar

7.1. O'rtacha yashash vaqti τ bo'lgan radioaktiv preparat yadrolari dastlabki miqdorining qanchasi a) $t = 10\tau$ vaqtdan keyin qoladi; b) $t_1 = \tau$ va $t_2 = 2\tau$ vaqat oralig'ida yemiriladi?

7.2 Biror radioaktiv moddaning o'rtacha yashash vaqti $\tau = 1,00$ s. Agar yadroning t parchalashish vaqti: a) 1,0 s, b) 10,0 s, c) 0,100 s bo'lsa, uning parchalanish ehtimolligi R ni topig.

7.3. Radioaktiv yod ^{128}I yadrosini birinchi sutkadagi yemirilish ehtimolligi, ikkinchi sutkadagi yemirilish ehtimolligidan qancha marta katta?

7.4. Parchalanish doimiysi ma'lum deb hisoblab, radioaktiv parchalanish qonunidan kelib chiqqan holda quyidagi kattaliklarni aniqlang: a) radioaktiv yadro parchalanish davri $T_{1/2}$; b) yadroning o'rtacha yashash vaqti τ ; c) $T_{1/2}$ va τ kattaliklar orasidagi bog'lanishlar.

7.5. Preparat tayyorlangandan keyingi ikkinchi hafta davomida radioaktiv fosfor ^{32}P yadrosining qancha qismi yemiriladi?

7.6. Agar 1 sutka davomida 1 mln. radon atomidan 175000 tasi parchalansa, uning yarim parchalanish davri nimaga teng?

7.7. Bir sutkada poloniyning million atomidan qancha qismi parchalanadi?

7.8. Biror radioaktiv pereparatning parchalanish doimiysi $\lambda = 1,44 \cdot 10^{-3}$ soat $^{-1}$. Qancha t vaqtdan keyin uning dastlabki atomlarining 75% miqdori parchalanadi?

7.9. Kobalt yadrosining yarim yemirilishi 71,3 sutka. Bir oyda uning qancha qismi parchalanadi?

7.10. Bir yil davomida radioaktiv elementning 60% i parchalangan bo'lsa, radioaktiv elementning yarim parchalanish davri nimaga teng?

7.11. Agar preparatning aktivligi 7,0 sutka davomida 2,5 marta kamaysa, uning yarim yemirilish davrini toping.

7.12. Bir gramm tritiy ^3H izotopining tarkibidagi yadrolardan qanchasi ushbu izotopning o'rtacha yashash davriga teng bo'lgan vaqtda parchalanadi?

7.13. Kobalt ^{60}Co izotopining solishtirma aktivligini aniqlang.

7.14. Aktivligi $A_0 = 3,7 \cdot 10^{10}$ Bk bo'lgan $^{210}_{84}\text{Po}$ poloniy miqdorini toping.

7.15. Massasi $m = 1$ mkg bo'lgan $^{210}_{84}\text{Po}$ ning aktivligini toping.

7.16. Ampulaga aktivligi $A_0 = 14,8 \cdot 10^9$ Bk bo'lgan radon to'ldirilgan. Ampula to'ldirilgandan qancha t vaqt o'tgandan keyin uning aktivligi : $A(t) = 2,22 \cdot 10^9$ Bk bo'ladi?

7.17. Misr piramidalarida topilgan qadimgi matoning yoshini aniqlash uchun uning takibidagi ^{14}C radionuklid atomlarining konsentratsiyasi aniqlangan va u, bir gramm uglerodda minutiga 9,2 parchalanishga to'g'ri kelgan. Tirik o'simliklarda bu kattalik bir gramm uglerodda minutiga 14,0 parchalanishga to'g'ri keladi. Uglerod-14 radionuklidining yarim parchalanish davri 5730 yil. Mazkur ma'lumotlar asosida matoning yoshini baholang.

7.18. Massasi 1 mg bo'lgan noaktiv stronsiyga qancha milligramm β -aktiv ^{89}Sr stronsiy izotopi qo'shganda preparatning solishtirma aktivligi 1370 Kyuri/g bo'ladi?

7.19. Radioaktiv oltin ^{198}Au yadrosining 4 kun davomidagi yemirilish ehtimolligini, to'rtinchi kundagi yemirilish ehtimolligini toping.

7.20. Radiyning yarim parchalanish davri $T_{1/2}=1602$ yil bo'lsa, uning parchalanish doimiysini toping.

7.21. Biror radioizotopning dastlabki faolligi $1,20 \cdot 10^6$ Bk. Uning yarim yemirilish davrining yarimiga teng vaqt o'tgandan keyingi aktivligi qancha bo'ladi?

7.22. ^{37}Ar radioaktiv preparatining boshlang'ich aktivligi $A_0=100$ mKu. Preparatning quyidagi davrlar o'tgandan keyingi aktivligini aniqlang: a) 1 kun; b) 1000 kun.

7.23. Massasi 1,0 g bo'lgan ^{238}U preparati sekundiga $1,24 \cdot 10^4$ ta α -zarra nurlantiradi. Uning yarim yemirilish davrini toping.

7.24. Sun'iy hosil qilingan $^{90}_{38}\text{Sr}$ radioaktiv izotopining yarim yemirilish davri 28 yil bo'lsa, uning solishtirma aktivligini a_0 toping.

7.25. Uran ^{234}U (yoki UII) uran asosiy ^{238}U (yoki UI) izotopining parchalanish mahsuli hisoblanadi. Agar uran ^{234}U izotopining tabiiy urandagi miqdori 0,0055% bo'lsa, uning yarim parchalanish davrini aniqlang.

7.26. Massasi M bo'lgan erkin tinch turgan atom yadrosi uyg'ongan holatdan asosiy holatga, γ -kvant chiqarib o'tadi. Agar uyg'onish energiyasi $E_{12}=129$ Kev ga (^{191}Ir yadro uchun) teng bo'lsa, gamma-kvant E_γ energiyasi va tepki energiyasini R toping.

7.27. Issiqlik neytronlari oqim zichligi 10^{11} neytron/sm²·s bo'lgan yadro reaktoriga joylashtirilgan ^{59}Co 20 soatdan keyin olinib, mass-spektrometr yordamida o'lchanganda uning tarkibida 3,4% ^{60}Co hosil bo'lganligi aniqlangan. Kobalt yadrosining aktivlashtirish effektiv kesimini toping (^{60}Co uchun $T_{1/2} = 5,28$ yil).

7.28. $^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ ketma-ket yemirilish jarayonida $\lambda_2 N_2(t) = \lambda_1 N_1(t)$ muvozanat sharti (asriy muvozanat) o'rinli ekanini ko'rsating.

7.29. Berk idishda massasi $m = 0,1$ g bo'lgan radiy bor. Idishda 24 soatdan keyin qancha miqdorda radon to'planadi? Radiyning yarim yemirilish davri 1600 yil, radonning yarim yemirilish davri esa 3,8 kun.

7.30. Ichida aktivligi 10 mKu bo'lgan ^{32}P preparati bor ampulaning 1 soatda yutgan energiyasini toping.

7.31. 1 mg ^{210}Po preparatining o'rtacha yashash vaqtida ajratib chiqargan energiyani hisoblang: $E_\alpha = 5,3$ MeV.

7.32. Surma ^{124}Sb radioizotopining hosil bo'lish tezligi $q=10^9$ yadro/s. Yarim yemirilish davri $T=60$ kun bo'lgan ^{124}Te tellur stabil izotopiga aylanadi. ^{124}Te izotopi hosil bo'lgandan to'rt oy vaqt o'tgandan so'ng yig'ilgan ^{124}Te izotop massasini aniqlang.

7.33. Agar talliy izotopining hosil bo'lish tezligi $q=10^{10}$ atom sm³/s bo'lsa, qancha vaqt o'tgandan so'ng, yarim yemirilish davri $T_{1/2}=3,5$ yil va solishtirma aktivligi $n=10$ mkyuri/g ga teng bo'lgan talliy izotopi hosil bo'ladi. Talliyning zichligi - 11,85 g/sm³.

7.34. Toriy $^{232}_{90}\text{Th}$ yadrosi to'rtta α -parchalanish va ikkita β -parchalanishdan keyin qanday izotopga aylanadi?

7.35. Uran $^{238}_{92}\text{U}$ yadrosi uchta α -parchalanish va ikkita β -parchalanishdan keyin qanday izotop hosil bo'ladi?

7.36. ^{222}Rn yadrosidan chiqayotgan α -zarralar uchun Kulon to'siq'ining balandligini aniqlang.

7.37. $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{208}\text{Tl} + \alpha$ yemirilishda hosil bo'ladigan α -zarrachaning va ^{208}Tl yadrosining kinetik energiyalarini toping.

7.38. $^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + ^4\text{He}$ yemirilishda hosil bo'lgan ^{206}Pb yadrosining kinetik energiyasini toping.

7.39. α -yemirilish ehtimolligi bilan α -zarra energiyasi orasidagi bog'lanishni toping. Bunda α -zarraning kinetik energiyasi Kulon potensial to'siq'ining maksimal balandligidan juda kichik deb qarang.

7.40. Nima uchun ko'p hollarda α -yemirilish hosilaviy yadroning asosiy holatida ro'y berishini tushuntiring.

7.41. α -zarrachalar uchun ^{238}Pu yadrosining Kulon to'siq'ini hisoblang.

7.42. ^{32}P yadrosining β -yemirilishida hosil bo'lgan elektronlarning maksimal energiyasini toping.

7.43. Massasi 1 mkg fosfor ^{32}P izotopi 1 sutka davomida qancha β -zarra chiqaradi?

7.44. Yarim yemirilish davri 15 soat bo'lgan 1,0 mkg ^{24}Na radioizotopi qancha β -zarra nurlantiradi?

7.45. Neytronning β -emirilishi natijasida hosil bo'lgan elektronlar β -spektrining yuqori chegarasini aniqlang.

7.46. $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ yemirilishda hosil bo'lgan protonning kinetik energiyasini toping.

7.47. $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ β -yemirilishda hosil bo'lgan $\bar{\nu}_e$ antineytrino spektrini toping. Bunda β -spektrini ma'lum deb oling.

7.48. Uglrod ^{11}C yadrosining pozitron yemirilish energiyasi 0,9 MeV ga teng. Boshlang'ich holatda ^{11}C yadroni tinch holatda deb hisoblab, quyidagilarni: a) uchib chiqayotgan pozitron energiyasi maksimal bo'lganda, hosilaviy yadroning tepki energiyasi hisobiga olgan tezligini; b) hosilaviy yadro tepki energiya olmagandagi neytrino energiyasini aniqlang.

7.49. ^{36}Cl yadrosining β -yemirilishga nisbatan mustahkamligini ko'rsating.

7.50. $A=40$ bo'lgan izobarning massasiga ko'ra bo'lishi mumkin bo'lgan yemirilish turlarini toping.

7.51. ^{27}Si yadrosining β^+ - yemirilishi natijasida hosil bo'lgan pozitronlar spektrining yuqori chegarasini aniqlang.

7.52. $^7_4\text{Be} + e^- \rightarrow ^7_3\text{Li} + \nu_e$ reaksiya natijasida asosiy holatda hosil bo'lgan litiy yadrosini tepki energiyasini toping.

7.53. ^{137}Cs yadrosining γ -yemirilishi natijasida hosil bo'lgan elektronlar maksimal energiyasini toping. Bunda hosila yadro ^{137}Ba qo'zg'algan holatda hosil bo'ladi deb qarang. γ -kvantlar energiyasi $E_\gamma=0,67$ MeV

7.54. Maksimal energiyani a) elektron b) antineytrino olgan hollar uchun tritiy yadrosini β -yemirilish natijasida asosiy holatda hosil bo'lgan ^3He yadrosining kinetik energiyasini aniqlang.

7.55. ^{13}C va ^{13}N izobarlarning massasiga ko'ra pozitronlar spektri yuqori chegarasini aniqlang.

7.56. ^{204}Tl yadrosining β -yemirilishida hosil bo'lgan antineytrino olib ketishi mumkin bo'lgan o'rtacha energiyani toping. Bunda elektronlarning o'rtacha energiyasi $E = \frac{1}{3} E_{\text{max}}$.

7.57. Berilliy ^7Be atomida K-qamrashda hosilaviy yadro asosiy holatda va atom tepki energiyasi 57 eV ga teng bo'lsa, yemirilishda ajralgan energiyani aniqlang.

7.58. Yerdagi barcha argon, kaliy-40 elementini (E-qamrash) elektron qamrash yo'li bilan hosil bo'lgan deb, Yerning yoshi yuqori chegarasini toping. Hozirgi kunda argonning 300 atomiga, ^{40}K ning bitta atomi to'g'ri keladi.

7.59. μ -mezon yemirilish β -spektri yuqori chegarasini toping.

7.60. Intensivligi 10^{12} neytron/sm²·s bo'lgan issiq neytronlar izotrop oqimi yordamida 1 mg oltinni $t=1$ soat davomida nurlantirilganda hosil bo'ladigan induksiyalagan aktivlikni toping. Bunda izotrop neytronlar

oqimining induksiyalagan aktivligi, parallel neytronlar oqimining kiritilgan aktivligiga nisbatan ikki baravar ortiq bo'lishini hisobga oling.

7.61. Indiy ^{115}In yadrosining izotopi yadro reaktorlarida issiqlik neytronlarini qayd qilgich sifatida qo'llaniladi. Agarda massasi $3 \cdot 10^{-4}$ g bo'lgan indiyning yupqa qatlami 5 soat mobaynida izotrop neytronlar oqimi bilan nurlantirilishi natijasida olingan preparatning aktivligi 70,6 mkKu bo'lsa, izotrop neytronlar oqimining kattaligini toping.

7.62. Izotrop oqim intensivligi 10^{12} neytron/sm²·s bo'lgan issiq neytronlar bilan 10 kun davomida nurlantirilgan, massasi 1 mg oltin yupqa qatlamidan 1 kunda chiqayotgan β zarralarning sonini toping.

7.63. Massasi 5 mg alyuminiy plastinkasi 2 minut davomida intensivligi $5 \cdot 10^7$ neytron/sm²·s bo'lgan issiqlik neytronlari bilan nurlantirilgan bo'lsa, β yemirilish natijasida 3 minut ichida chiqqan elektronlar sonini aniqlang.

7.64. Qisqa yashovchi ^{110}Ag va uzoq yashovchi ^{108}Ag izotoplar kumush plastinkani issiqlik neytronlari oqimi bilan nurlantirish yordamida olingan. Shu izotoplarning aktivliklari nisbatini toping.

7.65. Qalinligi 0,1 mm, yuzasi 20 sm² bo'lgan kumush plastinka intensivligi $5 \cdot 10^7$ neytron/sm²·s bo'lgan issiqlik neytronlarining parallel oqimi bilan 5 minut davomida nurlantirilgan bo'lsa, uning nurlantirish tugagan vaqtdagi aktivligini toping.

8-§. Yadro nurlanishlarining modda bilan o'zaro ta'siri

Asosiy formulalar va uslubiy ko'rsatmalar

• Zaryadlangan og'ir zarralarning moddalarda solishtirma ionizatsion energiya yo'qotishi:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}} = \frac{4\pi n_e Z^2 e^4}{m_e g^2} \left[\ln \frac{2m_e g^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right]. \quad (8.1)$$

Bu yerda: $I \approx (13,5Z) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = (13,5Z) \text{ eV}$ - modda atomlarining o'rtacha ionizatsiya potentsiali: z - zarra zaryadi ($z=1$ (p), $z=2$ (α)), $\beta = g/c$; n_e - moddadagi elektronlar konsentratsiyasi, Z - atom tartib nomeri, g - zarra tezligi, m_e - elektron massasi.

• Hajm birligidagi elektronlar soni, ya'ni konsentratsiyasi:

$$n_e = \frac{Z \rho N_A}{A} \quad (8.2)$$

bu yerda: Z - atomdagi elektronlar soni, ρ -modda zichligi, N_A -Avagadro soni, A -atom massasi

Kinetik energiyasi T bo'lgan zarraning o'rtacha yugurish yo'li uchun empirik formulalar:

- Normal sharoitda α -zarraning havodagi o'rtacha yugurish yo'li:

$$R_\alpha = 0,31T^{3/2} \text{ sm} ; 4 < T < 7 \text{ MeV} \quad (8.3)$$

- Massa soni A bo'lgan moddada α -zarraning o'rtacha yugurish yo'li:

$$R_\alpha = 0,56R_\alpha(\text{sm})A^{1/3} \text{ mg / sm}^2, \quad (8.4)$$

bu yerda: $R_\alpha(\text{cm})$ - shu energiyali α -zarraning havodagi yugurish yo'li.

- Normal sharoitda T -kinetik energiyali protonning havodagi yugurish yo'li:

$$R_p(T) = R_\alpha(4T) - 0,2 \text{ sm}; T > 0,5 \text{ MeV} \quad (8.5)$$

bu yerda: R_α - kinetik energiyasi $4T$ bo'lgan α -zarraning havodagi o'rtacha yugurish yo'li.

- Elektronlarning nurlanishlarga (radiatsiya) solishtirma energiya yo'qotishishi:

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{\text{mur}} = \frac{4r_e^2}{137} nTZ^2 \ln \frac{183}{Z^{1/3}}. \quad (8.6)$$

- Elektronning ionizatsiyaga va nurlanishlarga energiya yo'qotishlarining nisbati:

$$\frac{(dE/dx)_{\text{ion}}}{(dE/dx)_{\text{mur}}} \approx \frac{800}{ZT(\text{MeV})}, \quad (8.7)$$

bu yerda: T - elektronning kinetik energiyasi, r_e - elektron klassik radiusi, n -moddada elektronlar konsentratsiyasi, Z - modda atomining tartib nomeri.

Agar elektron energiyasi, asosan, radiatsion, ya'ni nurlanishga sarf bo'lsa, unda elektron kinetik energiyasi muhitda quyidagi qonun bo'yicha kamayadi:

$$T = T_0 e^{-x/l_p} \quad (8.8)$$

bu yerda: l_p - radiatsion uzunlik bo'lib, bu elektron energiyasining e marta kamayadigan masofa. T_0 - elektron boshlang'ich energiyasi, ya'ni muhitga kelib tushishidan oldingi energiyasi, x - elektronning muhitda bosib o'tgan yo'li.

- Kinetik energiyasi $T(\text{MeV})$ bo'lgan elektronlar o'rtacha yugurish yo'li:

$$R = 0,407T_e^{1,38} (\text{g/sm}^2), 0,15\text{MeV} < T < 0,8\text{MeV} \text{ uchun} \quad (8.9)$$

$$R = 0,542T_e - 0,133 (\text{g/sm}^2), 0,8\text{MeV} < T < 0,3\text{MeV} \text{ uchun} \quad (8.10)$$

Agar elektronning energiya yo'qotishi, asosan, ionizatsion ko'rinishda bo'lsa, u holda ushbu formulalar elektronning har qanday moddadagi yugurishini yaxshi aniqlikda ifodalaydi

- Beta-zarralarning moddada yutilish qonunining formulasi:

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (8.11)$$

bu yerda: N_0 - modda sirtiga tushayotgan beta zarralar soni, N -esa x-qalinlikdagi moddadan o'tgandan keyingi beta-zarralar soni, μ - chiziqli yutilish koeffitsienti. Agar beta-zarralarning moddada yarmi yutilsa, $N(d_{1/2}) = N_0/2$ ifodani yoza olamiz, u holda:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu} \quad (8.12)$$

bu yerda: $d_{1/2}$ - beta zarralar yarim yutilish qatlaminin qalindligi.

Beta-zarralar intensivligining kamayishi qonuni ham yuqorida keltirilgan (3.11) ifodaga o'xshash holda bo'ladi, ya'ni:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (8.13)$$

bu yerda: I_0 - modda sirtiga tushayotgan zarralar intensivligi (yoki oqimi) I -zarralar intensivligining (oqimining) x-qalinlikdagi modda orqali o'tgandan keyingi qiymati.

Massaviy yutilish koeffitsienti:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{22}{T_{\beta \text{max}}^{1/3}}; 0,5 < T_{\beta \text{max}} < 6 \text{ MeV} \quad (8.14)$$

bu yerda: $T_{\beta \text{max}}$ - beta zarralarning MeV lardagi chegaraviy maksimal energiyasi.

- Monoenergetik γ -nurlar ingichka dastasi intensivligining susayish qonuni:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (8.15)$$

$$\mu = \tau + \sigma$$

bu yerda: μ , τ , σ - mos holda chiziqli susayish, yutilish va sochilish koeffitsientlari.

- Yutilgan nurlanish dozasi:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (8.16)$$

bu yerda: dE - o'rtacha yutilgan energiya, dm - elementar hajmdagi modda massasi.

- Ekspozitsion doza:

$$D_E = \frac{dQ}{dm} \quad (8.17)$$

bu yerda: dQ - elementar hajmdagi havoda hosil bo'ladigan bir xil ishorali ionlarning zaryadlar yig'indisi.

- Yutilgan nurlanishning doza quvvati:

$$P = \frac{dD}{dt} \quad (8.18)$$

bu yerda: dD - nurlanish dozasi.

- Rentgen va gamma-nurlanishlarning ekspozitsion doza quvvati:

$$P_E = \frac{dD_E}{dt} \quad (8.19)$$

Ekspozitsion doza quvvati, Amper taqsim kilogramlarda (A/kg) ifodalanadi

Masala yechish uchun namunalar

1-masala. Radioaktiv ^{32}P preparati chiqarayotgan β -zarralarning havo, alyuminiy va qo'rg'oshin uchun yarim yutilish qatlami qalinligini hisoblang.

Yechilishi: Beta-zarralar modda orqali o'tganda quyidagi qonun bo'yicha yutiladi:

$$N = N_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

bu yerda: N_0 - moddaga tushayotgan β -zarralar soni, N - qalinligi d bo'lgan qatlamdan o'tgan β -zarralar soni. Beta-zarralar oqimi moddaning d qalinligidan o'tgandan keyin $N = N_0/2$ ga teng bo'ladi. Buni (1) ga qo'yamiz

$$N_0/2 = N_0 e^{-\mu d/2}$$

yoki

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu d/2}$$

Bu ifodani logarifmlab, qidirilayotgan yarim yutilish qatlaminin qalinligini aniqlaymiz:

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu \quad (2)$$

Beta-zarralar energiyasi $T_{\beta\max} = 1,71$ MeV bo'lgani uchun (3.14) formula yordamida μ_{havo} , μ_{Al} va μ_{Pb} koeffitsientlarni aniqlaymiz va (2) dan:

$$d_{1/2}(\text{havo}) = 50 \text{ sm},$$

$$d_{1/2}(\text{Al}) = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ sm},$$

$$d_{1/2}(\text{Pb}) = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ sm},$$

ekanligini topamiz.

2-masala. Kosmik nurlar ta'sirida dengiz sathida 1 sm^3 havoda 1 min vaqt davomida 120 ta ion jufti hosil bo'lsa, bir sutkada inson oladigan ekspozitsion dozani aniqlang.

Yechilishi: Inson t vaqt davomida oladigan ekspozitsion doza quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$D_E = P_E t \quad (1)$$

bu yerda: D_E - ekspozitsion doza, P_E - ekspozitsion doza quvvati. Bu yerda: ekspozitsion doza quvvati:

$$P_E = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot \Delta t} \quad (2)$$

Bu yerda: ΔQ - massasi Δm bo'lgan havoda Δt vaqt davomida hosil bo'lgan zaryadlar yig'indisi. U holda (2) ni (1) ga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$D_E = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot \Delta t} t \quad (3)$$

Bu yerda havo massasi quyidagiga teng bo'ladi:

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

ΔV hajmida hosil bo'ladigan zaryadlar yig'indisi bir xil ishorali barcha ionlarning zaryadini e elementar zaryadli ionlar soniga ko'paytmasiga teng:

$$\Delta Q = |e| N \quad (5)$$

(4) va (5) ifodalarni hisobga olsak, (3) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$D_E = \frac{|e| \cdot N \cdot t}{\rho \Delta V \cdot \Delta t} \quad (6)$$

Formuladagi kattaliklarni XB tizimi birliklaridagi $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cl}$, $N = 120$, $t = 24 \cdot 3600 \text{ s}$, $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$, $\Delta V = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, $\Delta t = 60 \text{ s}$ qiymatlaridan ekspozitsion dozani hisoblaymiz:

$$D_3 = 21,4 \text{ nCl/kg}$$

3-masala. Og'ir zaryadli zarralarning moddadagi sm^2 larda ifodalangan yugurish yo'li yutuvchi moddaga bog'liq emasligini ko'rsating. Ushbu xulosaning ta'sir etish chegaralarini ko'rsating.

Yechilishi: Og'ir zaryadli zarralar moddadan o'tganda ular hamma energiyasini, asosan, yutuvchi modda atomlarini ionizatsiyalashga va uyg'otishga sarflaydi (ionizatsiya yo'qotishlar). Zaryadi Z_1 va tezligi g bo'lgan zarraning ionizatsiya yo'qotishlari quyidagiga teng:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right) = \frac{4\pi e^4 z_1^2}{m g^2} ZNB,$$

Bu yerda: Z - yutuvchi moddaning atom raqami (protonlar soni), $N-1 \text{ sm}^3$ hajmdagi atomlar soni, B - moddaning ionizatsiya potensialiga kuchsiz bog'langan tormozlanish koeffitsienti. Bu bog'lanishni e'tiborga olmagan holda, E_1 energiyali zarraning yugurish yo'lini topamiz:

$$R = \int_0^{E_1} \frac{dE}{-\left(\frac{dE}{dx}\right)} \cong \frac{f(E)}{ZN} = \frac{f(E)}{ZN_A \rho} A$$

Bu yerda: N_A - Avagadro soni, $f(E)$ zarraning xususiyatlariga bog'liq va yutuvchi moddaga bog'liq bo'lmagan kattalik. Yengil va o'rtacha yutgichlar uchun $Z/A = 1/2$, va $R \cdot \rho = R(\text{g}/\text{sm}^2)$. Demak, bunday yutuvchi moddalar uchun $R \cdot \rho$ ko'paytmani taxminan doimiy kattalik deb hisoblasa bo'ladi.

4-masala. Fotoemulsiyadagi zarralar izining oxiri nima uchun kengayishini tushuntiring.

Yechilishi: Ionizatsiya orqali yo'qotish zarra tezligining kvadratiga teskari proporsional bog'langanligi uchun, fotoemulsiyadagi qora dog'larning zichligi ionizatsiya orqali yo'qotishning o'sishi bilan ortib boradi.

5-masala. Kinetik energiyasi 0,2 MeV bo'lgan alfa - zarra, proton va elektronlarning fotoemulsiyadagi qora izlar zichliklari nisbatlarini taxminiy baholang.

Yechilishi: Norelyativistik zarralar uchun ionizatsion yo'qotishlar nisbatlari quyidagiga teng:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_\alpha : \left(\frac{dE}{dx}\right)_p : \left(\frac{dE}{dx}\right)_e \cong \frac{Z_\alpha^2}{g_\alpha^2} : \frac{1}{g_p^2} : \frac{1}{g_e^2} = 4m_\alpha : m_p : m_e$$

Fotoemulsiyadagi izlarning zichligi, taxminan, ionizatsion yo'qotishlarga proporsional.

Masalalar

8.1. Energiyasi 10 GeV bo'lgan elektron va proton uchun ionizatsion yo'qotishlar nisbatlarini baholang.

8.2. Preparat qalinligi oshganda ham qayd qilinayotgan alfa nurlanishlar intensivligi oshmaydigan radiaktiv ^{238}Ru manba qalinligini aniqlang. Alfa-zarralar energiyasi - 5,5 MeV.

8.3. Elektron va protonning radiatsiya orqali yo'qotishlar nisbatini baholang.

8.4. Alfa - zarraning o'rtacha yugurish yo'li temirda 11 mkm bo'lsa, uning kinetik energiyasini toping.

8.5. Kinetik energiyasi 3,0 MeV bo'lgan protonning qo'rg'oshindagi o'rtacha yugurush yo'lini toping.

8.6. Energiyasi $E_p = 10 \text{ MeV}$ bo'lgan protonning havoda chiziqli yugurishini aniqlang.

8.7. Energiyasi $E_\alpha = 5 \text{ MeV}$ bo'lgan α -zarraning berilliydagi ($A=9$, $\rho=1800 \text{ kg}/\text{m}^3$) massaviy va chiziqli yugurishini toping.

8.8. Agar α -zarraning alyuminiydagi yugurish yo'li 17 mkm bo'lsa, mazkur energiyali α -zarraning qo'rg'oshinda yugurish yo'lini aniqlang.

8.9. Kinetik energiyasi 9,0 MeV bo'lgan α -zarra chiqarayotgan radioaktiv preparatdan 5,0 sm masofada alyuminiy folga joylashtirilgan. Ushbu folganing minimal qalindigi qanday bo'lganda u hamma α -zarralarni ushlab qoladi? Atrof muhitni havo deb hisoblang.

8.10. Energiyasi 10 MeV bo'lgan proton erkin elektrondan 10^{-9} sm masofada uchib o'tmoqda. Elektron qanday energiya oladi? Proton trayektoriyasini to'g'ri chiziqdan iborat deb hisoblang.

8.11. Energiyasi 5,3 MeV bo'lgan poloniy α -zarrasining alyuminiy va qo'rg'oshin orqali o'tgandagi solishtirma ionizatsion energiya yo'qotishini taqqoslang.

8.12. Agar elektronlar havo, alyuminiy va qo'rg'oshin moddalari orqali o'tgan bo'lsa, ionizatsion yo'qotishning radiatsion yo'qotishiga teng bo'lishi uchun ularning kritik energiyasi nimaga teng bo'lishi kerak?

8.13. Energiyasi 100 MeV bo'lgan elektronlar oqimi qalindigi 1 sm bo'lgan qo'rg'oshin plastikaga kelib tushgan. Elektronlarning plastikadan o'tgandan keyingi energiyasini aniqlang.

8.14. $B\rho = 5,0 \text{ kGs}\cdot\text{sm}$ kattalikka ega bo'lgan relyativistik elektronlarning grafidagi o'rtacha yugurish yo'lini aniqlang.

8.15. Kinetik energiyasi 20 MeV bo'lgan elektronning alyuminiydagi solishtirma radiatsion energiya yo'qotishini hisoblang. Elektronning solishtirma radiatsion energiya yo'qotishi qo'rg'oshinda alyuminiydagiga nisbatan qancha marta katta?

8.16. Havoda yugurish yo'li 6 m bo'lgan elektronlar oqimidan himoyalani uchun alyuminiydan tayyorlangan ekran qalinligini aniqlang.

8.17. Gamma-kvantlarning yarim susayish (yutilish) qalindigi 4,50 sm bo'lgan muhitdagi o'rtacha erkin yugurish yo'lini aniqlang.

8.18. Energiyasi 1,6 MeV bo'lgan nozik γ -nurlar dastasi manbaini qanday chuqurlikdagi suvga botirganda uning intensivligi 1000 marta kamayadi?

8.19. Energiyasi 1 MeV bo'lgan gamma-kvantlar oqimini 1000 marta kamaytiruvchi quyidagi yutuvchi moddalarning qalinligini toping: 1) qo'rg'oshin, 2) grafit. Energiyasi 1 MeV bo'lgan gamma-kvantning qo'rg'oshinda oqim kamayishi effektiv kesimi 24 barn.

8.20. Erkin elektronda fotoeffekt bo'la olmasligini ko'rsating.

8.21. Vakuumda gamma-kvant elektron-pozitron juftiga aylanmasligini isbotlang.

8.22. Elektron-pozitron jufti anniglyatsiya jarayonida hosil bo'lgan gamma-kvantlarning soni kamida ikkita bo'lishini ko'rsating.

8.23. Qo'rg'oshin plastinka qalindigi qanday bo'lganda energiyasi 7,0 MeV bo'lgan γ -kvantning elektron-pozitron jufti hosil bo'lish ehtimolligi 0,10 ga teng bo'ladi?

8.24. ^{60}Co yadrosining yemirilishida yadroning uyg'ongan holatiga o'tish energiyalari 1,17 va 1,33 MeV bo'lgan gamma-kvantlarni ketma-ket nurlanishi bilan sodir bo'ladi. Gamma-kvantlar oqimi 10 sm qalinlikdagi qo'rg'oshindan o'tgandan keyingi intensivliklari nisbatini aniqlang. Gamma-kvantlarning yutilish effektiv kesimlari mos holda 21,5 va 18 barn.

8.25. Energiyasi 0,5 MeV gamma-kvantning chiziqli yutilish koeffitsienti qo'rg'oshinda $1,65 \text{ sm}^{-1}$, alyuminiyda $0,223 \text{ sm}^{-1}$ bo'lsa, qo'rg'oshinda fotoelektrik yutilishning effektiv kesimini toping.

8.26. Energiyasi 5 MeV bo'lgan gamma-kvantlar intensivligining kamayishini effektiv kesimi, misda 3,3 va qo'rg'oshinda 14,8 barn. Fotoyutilish effektiv kesimini hisobga olmagan holda, qo'rg'oshin uchun elektron-pozitron jufti hosil bo'lishining effektiv kesimini toping.

8.27. Energiyasi 1 MeV bo'lgan gamma-kvantlar 10 sm qalinlikdagi alyuminiydan o'tganda uning intensivligining 5 marta kamayishi, asosan, kompton effekt tufayli bo'ladi. Gamma-kvant intensivligining kamayishi 10 sm qo'rg'oshindan o'tganda 3000 marta bo'lsa, ularning qo'rg'oshindagi fotoyutilish kesimini toping.

8.28. Ekvator kengligida dengiz sathida kosmik nurlanishlar 1 sm^3 hajmdagi havoda 10 s vaqt davomida o'rtacha 24 ta ionlar juftini hosil qilsa, bir yil davomida inson oladigan ekspozitsion dozani hisoblang.

8.29. Energiyasi 2 MeV bo'lgan nozik gamma-kvantlar dastasi qalindigi 5 sm bo'lgan qo'rg'oshin ekranga normal tushmoqda. Agar ekranga kirish joyida ekspozitsion doza quvvati $0,23 \text{ mKl/(kg}\cdot\text{s)}$ yoki $0,9 \text{ R/s}$ teng bo'lsa, dastaning ekrandan chiqish nuqtasi yaqinida qo'rg'oshindagi yutilgan dozaning quvvatini aniqlang.

8.30. Monoxromatik gamma-nurlarning nuqtaviy manbai qilinligi 3 sm va tashqi radiusi 5 sm bo'lgan qo'rg'oshin sfera markaziga joylashgan.

Manba aktivligi 1 mKku (bitta yemirilishda bitta gamma-kvant chiqadi) va gamma kvantlar energiyasi 0,9 MeV bo'lsa, ekranning tashqi yuzasida sochilmagan gamma-nurlar intensivligini (kvant / $\text{sm}^2\cdot\text{s}$ larda) aniqlang.

8.31. Nuqtaviy manbadan 10 sm masofada ekspozitsion doza quvvati $P_E = 0,2 \text{ R/min}$ ga teng. Manbadan eng kichik qanday masofada nurlanish ekspozitsion dozasi D_e olti soatlik ish kuni davomida chegaraviy ruxsat etilgan $0,02 \text{ R}$ dan oshmaydi? Gamma-nurlanishlarning havodagi yutilishini hisobga olmag.

8.32. Energiyasi 3,9 MeV bo'lgan alfa-zarralar 1 g biologik to'qimada yutilgan dozasi 50 berga teng bo'lsa, yutilgan zarralar sonini toping. Alfa - zarralar uchun sifat koeffitsienti 10 ga teng.

8.33. Aktivligi 50 mKyuri bo'lgan ^{60}Co manbaining nurlanishlar dozasi rentgentlarda hisoblang. Manbagacha bo'lgan masofa 40 sm, ekspozitsiya vaqti esa 6 soatga teng. Agar manbaining dozasi ruxsat etilgan dozadan yuqori (haftada 1 mberdan katta) bo'lsa, qo'rg'oshin himoya ekrani qalinligini aniqlang. Kobalt-60 gamma doimiy $I_\gamma = 13,2$ ($\text{Rentgen}\cdot\text{sm}^2$)/(MKu \cdot soat) ga teng. Kobalt-60 manbaining qo'rg'oshindagi yutilish koeffitsienti esa 1 sm^{-1} .

8.34. Aktivligi $3,10\cdot 10^9$ Bk bo'lgan nuqtaviy manba energiyasi 1,00 MeV bo'lgan γ -kvantlar chiqaradi. Bitta parchalanishga γ -kvantlar chiqishi $\eta = 0,50$. Manbadan 200 sm uzoqlikdagi masofada ekspozitsion doza quvvatini aniqlang. Gamma-nurlarning havodagi yutilishini hisobga olmag.

8.35. Kinetik energiyasi 2 MeV ga teng bo'lgan elektronlarni to'la yutuvchi alyuminiyning minimal qalinligini toping.

8.36. Energiyasi $E_\gamma = 1 \text{ MeV}$ ga teng bo'lgan γ -kvantlar parallel dastasining qo'rg'oshinda ($Z=82$) va alyuminiyda ($Z=13$) a) yarim susayishi qatlamining qalindigi, b) dastani ikki marta susaytiruvchi qo'rg'oshin va alyuminiy massalarini (kg/m^2 da) hisoblang.

8.37. Massasi 10^{-6} g bo'lgan ^{60}Co nuqtaviy manbadan qanday R masofada olti soatlik ish kunida oladigan doza ruxsat etilgan dozaga teng bo'ladi.

9-§. Yadro reaksiyalari

Asosiy formulalar va uslubiy ko'rsatmalar

Yadro reaksiyalarning eng ko'p tarqalgan turiga yengil a -zarra bilan A yadro o'zaro ta'sirlashish natijasida yengil b zarra va B yadro hosil bo'lish jarayoni misol bo'ladi:



yoki qisqacha $A(a,b)B$.

Ushbu ifodadagi a va b zarra sifatida neytron (n), proton (r), alfa-zarra (α), deytion (d) va gamma-kvant (γ) ni olish mumkin.

Barcha yadroviy reaksiyalarda quyidagi saqlanish qonunlari bajariladi:

- massa (yoki energiya) ning saqlanish qonuni;
- elektr va barion zaryadning (massa soni) saqlanish qonuni;
- impulsning saqlanish qonuni;
- spinning saqlanish qonuni.

- Reaksiya energiyasi Q harfi bilan belgilanadi va $E_{01} - E_{02}$ ayirmaga son jihatdan teng, ya'ni:

$$Q = E_{01} - E_{02} = T_2 - T_1 \quad (9.2)$$

Bu yerda: $E_{01} - E_{02}$ - zarralar tinchlikdagi energiyasi, T_1 va T_2 esa kinetik energiyasi. Bu kattaliklarni $A(a,v)B$ reaksiya uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$E_{01} = M_A c^2 + m_a c^2 \quad (9.3)$$

$$E_{02} = M_B c^2 + m_b c^2 \quad (9.4)$$

$$T_1 = T_A + T_a \quad (9.5)$$

$$T_2 = T_B + T_b \quad (9.6)$$

Agar $Q > 0$ bo'lsa, yadro reaksiyasida energiya ajraladi va ekzoenergetik reaksiya deyiladi. Agar $Q < 0$ bo'lsa, yadro reaksiyasida energiya yutiladi va endoenergetik reaksiya deyiladi.

Masalalar yechishda quyidagi formuladan foydalanish qulaydir:

$$Q = c^2 (\sum M_i - \sum M_f) \quad (9.7)$$

Bu yerda: $\sum M_i$ - yadro reaksiyasiga kirishuvchi zarralar massalari yig'indisi;

$\sum M_f$ - hosil bo'lgan zarralar massalari yig'indisi.

Endoenergetik reaksiyalar ostona energiyasi:

$$E_{ost} = \frac{m_a + M_A}{M_A} |Q| \quad (9.8)$$

bu yerda: m_a va M_A - uchib kelayotgan a zarra va nishon yadro massalari, $|Q|$ - reaksiya energiyasining absolyut qiymati. Gamma-kvantlar ta'sirida yuz beradigan, ya'ni fotoyadro reaksiyalar uchun $E_{ost} = |Q|$ bo'ladi.

Yadro reaksiyalari bo'yicha masala yechganda yuqorida sanab o'tilgan saqlanish qonunlaridan foydalaniladi. Elektr zaryadini va barion zaryadini (massa soni A ning) saqlanish qonunlari reaksiyada qatnashuvchilaridan (yoki ular mahsulotlaridan) bittasi noma'lum bo'lgan holda reaksiya tenglamasini to'g'ri yozishga yordam beradi. Energiya va impulsning saqlanish qonunlari esa reaksiya mahsulotlarining kinetik energiyalarini va ularning uchish yo'nalishlarini aniqlashga yordam beradi.

Bombardimon qiluvchi zarra bilan nishon yadroning to'qnashish jarayonida zarraning yadro tomonidan yutilishi, noelastik to'qnashish deb qaraladi.

Yadro reaksiyasi uchun yozilgan energiyani saqlanish qonunida to'liq energiya deb relyativistik energiya tushuniladi, ya'ni, $E = mc^2$. Bu energiya zarralarning tinchlikdagi $m_0 c^2$ energiyalari va ularning T kinetik energiyalari yig'indisiga teng.

Saqlanish qonuniga asosan to'liq relyativistik energiya:

$$\sum m_0 c^2 + \sum T = \sum m_0' c^2 + \sum T', \quad (9.9)$$

bu yerda: $\sum m_0 c^2$ - reaksiyaga kirgan zarralarning tinchlikdagi energiyalari yig'indisi. $\sum T$ - ularning kinetik energiyalari yig'indisi. O'ng tomonda esa reaksiyadan keyingi zarralarga tegishli kattaliklar ko'rsatilgan.

Yadro reaksiyalaridagi (4.7) ifoda bilan aniqlanuvchi Q reaksiya energiyasining kattaligi 10 MeV tartibida bo'ladi. Eng yengil zarraning ${}^1_1\text{N}$ (ya'ni proton) tinchlikdagi energiyasi esa 938 MeV ga teng. Bu yerda: zarralar va yadrolar tezligi hisoblanganda, ularni quyidagi ikki holda norelyativistik (klassik) deb hisoblash mumkin:

1) agar ushbu zarralar sekin harakatlanuvchi zarralar to'qnashishi natijasida yuz bergan yadro reaksiyaning mahsuloti bo'lsa;

2) agar so'z yadro reaksiyalari ostona energiyasini hisoblash to'g'risida borayotgan bo'lsa.

Yadro reaksiyasi energiyasining qiymati, yengil zarralar, elektron va pozitronlarning tinchlikdagi energiyasi (0,511 MeV) dan katta. Shuning uchun, reaksiya mahsuloti tezligi yoki impulslarini topishda quyidagi relyativistik formulalardan foydalanish zarur:

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \vartheta = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (9.10)$$

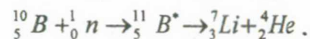
$$T = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (9.11)$$

bu yerda: r - zarra impuls, m_0 - zarraning tinchlikdagi massasi, T - zarra kinetik energiyasi, $\beta = \vartheta / c$, ϑ - zarra tezligi, c - yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi.

Masala yechish uchun namunalar

1-masala. Tinch turgan bor yadrosi bilan o'ta sekin neytronlar o'zaro ta'siri natijasida yuz beradigan quyidagi $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ yadro reaksiyasining Q energiyasini aniqlang.

Yechilishi: $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ yadro reaksiyasi quyidagi mexanizm bo'yicha yuz beradi. Bor $^{10}_5B$ yadrosi sekin 1_0n neytronlarni yutadi (ya'ni o'ziga qo'shib oladi) va oraliq $^{11}_5B$ yadroga aylanadi. Ushbu yadro kuchli qo'zg'algan (uyg'ongan) holatda bo'lgani uchun, o'zidan α -zarra (4_2He) chiqaradi va litiy 7_3Li yadrosiga aylanadi. Ushbu reaksiya jarayonini yoyib yozsak:



Reaksiya energiyasi Q ni (4.7) ifoda yordamida topamiz:

$$Q = c^2 [(m_{^{10}B} + m_n) - (m_{^7Li} + m_{^4He})]$$

Yadrolarning tinchlikdagi massalarini ushbu yadro atomlarining tinchlikdagi massalariga almashtiramiz va jadvaldan olingan atom massalarini oxirgi ifodaga qo'yamiz:

$$Q = 931 \cdot (10,01294 + 1,00867 - 7,01601 - 4,00260) MeV = 2,80 MeV$$

Reaksiya mahsulotlari bo'lgan litiy 7_3Li va α -zarralarning kinetik energiyasini topish uchun (4.11) shaklda yozilgan Relyativistik energiyaning saqlanish qonunini (4.7) hisobga olgan holda yozamiz:

$$\sum T + Q = \sum T' \quad (1)$$

Masala sharhiga ko'ra $\sum T$ kattalikni hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda 7_3Li va 4_2He zarralar kinetik energiyalarining yig'indisi:

$$T_{Li} + T_{He} = Q \quad (2)$$

T_{Li} va T_{He} noma'lumlarni bog'lovchi ikkinchi bir tenglamani tuzish uchun Impulsning saqlanish qonunini qo'llaymiz. Zarralar impulsleri

yig'indisi, reaksiyagacha nolga teng desak, u holda reaksiyadan keyin ham u nolga teng bo'ladi.

$$\vec{P}_{Li} + \vec{P}_{He} = 0 \quad (3)$$

Bu yerdan: impuls modullari uchun:

$$P_{Li} = P_{He} \quad (4)$$

Zarralar impulsleri tenglamalaridan ularning kinetik energiyasi tenglamalariga o'tamiz:

$$T_{Li} = \frac{P_{Li}^2}{2m_{Li}}, \quad T_{He} = \frac{P_{He}^2}{2m_{He}} \quad (5)$$

(4) va (5) dan

$$m_{Li} T_{Li} = m_{He} T_{He} \quad (6)$$

ni hosil qilamiz. (2) va (6) tenglamalarni birgalikda yechib:

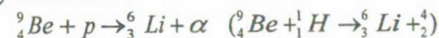
$$T_{Li} = Q m_{He} / (m_{Li} + m_{He})$$

$$T_{He} = Q m_{Li} / (m_{Li} + m_{He})$$

tenglamalarni olamiz va m_{He} va m_{Li} yadro massalar qiymatini butun songa yaxlitlab quyidagilarni topamiz:

$$T_{Li} = 4Q / 11 = 1,02 MeV, \quad T_{He} = 7Q / 11 = 1,78 MeV.$$

2-masala. Proton berilliy yadrosi bilan to'qnashganda quyidagi yadro reaksiyasi yuz beradi:



Reaksiya energiyasini toping.

Yechilishi: Yadro reaksiya energiyasi (4.7) ifodadan:

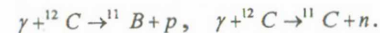
$$\Delta E = c^2 (\sum M_i - \sum M_n)$$

Bizning hol uchun yozsak:

$$\Delta E = c^2 [(m_{Be} + m_p) - (m_{Li} + m_{\alpha})]$$

Atomlar massalari jadvalidan Be, p, Li, α massalarini topib, oxirgi ifodaga qo'yamiz ($c^2 = 931 MeV / m.a.b.$) va quyidagi qiymatni olamiz: $\Delta E = 8,6 MeV$

3-masala. Quyidagi fotoyadro reaksiyasining ostona energiyasini toping:



Yechilishi: Yuqori energiyali γ -kvantlar ta'sirida yuz beradigan yadro reaksiyalariga fotoyadro reaksiya deyiladi. Ushbu reaksiya endoenergetik reaksiya bo'lgani uchun u ostona energiyasiga egadir. (4.8) ifodani fotoyadro reaksiyasi uchun yozamiz:

$$E_{ost} = |Q|$$

(4.7) ifodadan Q ni topamiz:

$$Q = c^2(\sum M_i - \sum M_f) \quad (1)$$

$$\sum M_i = m_c = 12 \text{ m.a.b.}$$

$$\sum M_f = m_b + m_p = (11,00930 + 1,0078) \text{ m.a.b.}$$

Ushbu qiymatlarni (1) ga qo'yamiz.

$$Q = 931 \frac{\text{MeV}}{\text{m.a.b.}} (12 - (11,00930 + 1,00783)) = -15,96 \text{ MeV}$$

Xuddi shunga o'xshash hisoblashlarni ikkinchi reaksiya uchun ham bajaramiz va quyidagini olamiz:

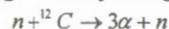
$$Q = -18,72 \text{ MeV}$$

demak,

$$E_{ocm}(\gamma, p) = |Q| = 15,96$$

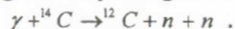
$$E_{ocm}(\gamma, n) = |Q| = 18,72$$

4-masala. Quyidagi reaksiyaning ostona energiyasini toping:



Yechilishi: Atom massalari jadvalidan va (4.7) va (4.8) ifodalaridan foydalanib, $E_{ocm} = 7,8 \text{ MeV}$ ni topamiz.

5-masala. Quyidagi reaksiyaning ostona energiyasini toping:



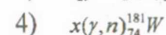
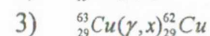
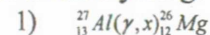
Yechilishi: (4.7) ifoda va ilovadagi neytral atomlar massalari jadvalidan foydalanib, $E_{ocm}(\gamma, 2n) = 18,2 \text{ MeV}$ ni topamiz.

Masalalar

9.1. Deyteriy va tritiyning termoyadroviy birikish reaksiyasida qancha energiya ajraladi?

9.2. Berilgan reaksiya uchun ${}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + x$, x - zarraning tartib raqami Z va massa sonini A aniqlang.

9.3. Fotonlar vujudga keltirgan quyidagi yadro reaksiyalarida noma'lumlar o'rnini to'ldirib yozing:



9.4. ${}^{208}\text{Pb}$ yadrosining quyi sathlari chizmasiga ko'ra 5 - uyg'ongan holatning eng katta ehtimollik bilan yemirilish yo'lini ko'rsating. O'tish multipolini toping.

9.5. ${}^{30}\text{Si}$ yadrosini sathlar chizmasi bo'yicha 0^+ uyg'ongan holatini eng katta ehtimollik bilan yemirilish yo'lini toping va o'tish multipolligini ko'rsating.

9.6. M-massali yadroning $\hbar\omega$ energiyali γ - kvantni yutishi natijasida olgan qo'zg'alish (uyg'onish) energiyasini toping.

9.7. ${}^{57}\text{Fe}$ yadrosini qo'zg'algan holatlarini sath kengliklarini toping va bu holatlarning yemirilishida hosil bo'lgan γ -kvantlarni tinch turgan ${}^{57}\text{Fe}$ yadrosini asosiy va birinchi qo'zg'algan holatlarida rezonans yutilishi mumkin emasligini isbotlang. Bunda qo'zg'algan holatlarning o'rtacha yashash vaqtlari $\tau(5/2) = 0,89 \cdot 10^{-8} \text{ s}$, $\tau(3/2) = 10^{-7} \text{ s}$ ga teng.

9.8. ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ yadro reaksiyasida 3,27 MeV energiya ajralib chiqadi. Agar ${}^2_1\text{H}$ atomning massasi $3,34461 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ bo'lsa, ${}^3_2\text{He}$ atomning massasini aniqlang.

9.9. Issiqlik neytronlari dastasi bo'shliqda 10m masofani o'tganda dastaning intensivligi qanchaga o'zgaradi?

9.10. $A+B \rightarrow 1+2+3+\dots$ reaksiyani ostona energiyasini hisoblang. Bunda V-zarrani laboratoriya sanoq sistemasida tinch turibdi deb qarang.

9.11. Quyidagi fotoyadro reaksiyalar uchun ostona energiyasini toping. $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\text{B} + p$, $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\text{C} + n$.

9.12. ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$ yadro reaksiyasi ekzotermik yoki endotermik reaksiya ekanligini aniqlang. Reaksiya energiyasini aniqlang.

9.13. Nuklidlar massalari jadval qiymatlaridan foydalangan holda quyidagi a) ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$; b) ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$; c) ${}^9\text{Be}(n, \gamma){}^{10}\text{Be}$; d) ${}^{16}\text{O}(d, \alpha){}^{14}\text{N}$.

reaksiyalar energiyasini aniqlang.

9.14. ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He}$ reaksiyaning energiyasini hisoblang.

9.15. ${}^7_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$ reaksiyaning energiyasini hisoblang.

9.16. Quyidagi reaksiyalarning ostona energiyasini toping.

a) $\alpha + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + d$; b) $n + {}^{17}_8\text{O} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + \alpha$.

9.17. $\gamma + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_7\text{N} + n$ fotoyadro reaksiyasining ostona energiyasini hisoblang.

9.18. Tinch turgan ${}^3_1\text{H}$ yadrosi kinetik energiyasi 2,0 MeV bo'lgan protonni qamrab olish natijasida hosil bo'lgan ${}^4_2\text{He}$ yadrosining uyg'onish energiyasini aniqlang.

9.19. ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ yadro reaksiyasida energiya ajraladimi yoki yutiladimi? Reaksiya energiyasini aniqlang.

9.20. ${}^{32}_{16}\text{S} + n \rightarrow {}^{32}_{16}\text{P} + p$ reaksiya uchun neytronning minimal kinetik energiya qiymatini toping. Compound yadroning kinetik energiyasini toping.

9.21. $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$, $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + \gamma$ reaksiyalar uchun protonning ostona energiyasini toping.

9.22. $d + d \rightarrow {}^3_1\text{H} + p$ sintez reaksiyasining energetik chiqishini hisoblang.

9.23. $d + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$ reaksiya uchun reaksiya energiyasini toping.

9.24. Beta-yemirilish siklida ajralib chiqqan energiyani hisoblang:

$$p + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{13}_6\text{N} + \nu_e \qquad p + {}^{14}_6\text{N} \rightarrow {}^{15}_6\text{O} + \nu_e$$

$${}^{13}_6\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + e^+ + \nu_e \qquad {}^{15}_6\text{O} \rightarrow {}^{15}_6\text{N} + e^+ + \nu_e$$

$$p + {}^{13}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_6\text{N} + \nu_e \qquad p + {}^{13}_6\text{N} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He}$$

9.25. Qo'zg'almas litiy nishoniga protonlar kelib tushishi natijasida unda ${}^7_3\text{Li}$ (p, n) ${}^7_4\text{Be}$ turdagi yadro reaksiyasi sodir bo'lgan. Proton kinetik energiyasining qanday qiymatida reaksiya natijasida hosil bo'lgan neytron tinch holatda bo'lishi mumkin?

9.26. Tinch turgan ${}^2_1\text{H}$ yadrosi kinetik energiyasi $T = 1,5$ MeV bo'lgan protonni qamrab oldi. Hosil bo'lgan yadroning uyg'onish energiyasini toping.

9.27. Frederik Jolio-Kyuri alyuminiy (${}^{27}_{13}\text{Al}$) α -zarralar bilan nurlantirilishi natijasida undan neytron chiqib ketgan va β^+ -parchalanishga uchraydigan radioaktiv yadro hosil bo'ladi. Ushbu reaksiyani yozing.

9.28. Protonning fotoemulsiyada o'tgan yo'li bo'yicha topilgan tepki energiyasi 2 MeV va neytron dastasi yo'nalishiga nisbatan sochilish burchagi $Q = 25^\circ$ bo'lsa, birlamchi neytronning energiyasini toping.

9.29. Neytronlarning proton tomonidan qamrab olinishi kesimini, deytronni fotoparchalanish kesimiga nisbatini toping.

9.30. ${}^{16}_8\text{O}$ yadrosi quyi uyg'onan holati ($J^\pi = 0^+, E = 6,1\text{MeV}$) dan asosiy holatiga radiatsion o'tish mumkinmi?

9.31. Berilliy izotopi ${}^8_4\text{Be}$ hosil bo'lishi mumkin bo'lgan bir necha reaksiyani ko'rsating.

9.32. Quyidagi reaksiya ${}^{16}_8\text{O}(n, \alpha){}^{13}_6\text{C}$ yuz berishi uchun, laboratoriya sistemasida neytron qanday minimal energiyaga ega bo'lishi kerak?

9.33. Ushbu ${}^6_3\text{Li}(d, \alpha){}^4_2\text{He}$ reaksiya endotermik reaksiyami, yoki ekzotermik reaksiyami? Zarralarning solishtirma bog'lanish energiyalari berilgan: $M\&B: \varepsilon(d) = 1,11$; $\varepsilon(\alpha) = 7,08$, $\varepsilon({}^6\text{Li}) = 5,33\text{MeV}$.

9.34. ${}^{12}_6\text{C}$ uglerod yadrosini fotoparchalanishi uchun reaksiyaning ostona energiyasini aniqlang.

1) $\gamma + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_6\text{C} + n$,

2) $\gamma + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + p$,

3) $\gamma + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + n + n$.

9.35. Ushbu $p + d \rightarrow p + p + n$ reaksiya yuz berishi uchun protonning minimal energiyasi qanday bo'lishi kerak?

9.36. Energiyasi $T = 10\text{MeV}$ alfa-zarralar ta'sirida, quyidagi reaksiyalar yuz berishi mumkinmi?

1) $\alpha + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + n$

2) $\alpha + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_6\text{N} + d$

9.37. Quyidagi jarayonlar uchun reaksiya energiyasini hisoblang va x-zarrani aniqlang.

1) ${}^{35}_{17}\text{Cl} + X \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + \alpha$; 4) ${}^{23}_{11}\text{Na} + p \rightarrow {}^{20}_{10}\text{Ne} + X$

2) ${}^{10}_5\text{B} + X \rightarrow {}^7_3\text{Li} + \alpha$ 5) ${}^{23}_{11}\text{Na} + d \rightarrow {}^{24}_{12}\text{Mg} + X$

3) ${}^7_3\text{Li} + X \rightarrow {}^7_3\text{Li} + n$ 6) ${}^{23}_{11}\text{Na} + d \rightarrow {}^{24}_{11}\text{Na} + X$

9.38. ${}^{10}_5\text{B}$ yadrosida energiyasi $E = 1,75$ MeV bo'lgan holatni uyg'otish uchun undan noelastik sochilgan deytonning minimal energiyasi qancha bo'lishi kerak?

9.39. Berilgan ${}^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + p$ reaksiyadan quyidagi ikkita hol uchun ostona energiyasini hisoblang:

1) uchib kelayotgan zarra, alfa-zarra;

2) uchib kelayotgan zarra, ${}^{14}_7\text{N}$ yadrosi.

Reaksiya energiyasi $Q = 1,18\text{MeV}$. Olingan natijalarni tushuntiring.

9.40. Quyidagi zarralar ta'siri ostida yuz bergan reaksiya natijasida qanday yadrolar hosil bo'lishi mumkin?

1) energiyasi 10 MeV protonlar bilan ${}^7_3\text{Li}$ nishonga olinganda;

2) energiyasi 10 MeV ${}^7\text{Li}$ yadrolar bilan vodorod nishonga olinganda?

9.41. Litiy yadrosi ${}^7\text{Li}$ sekin neytronni yutadi va gamma-kvant chiqaradi. Gamma-kvant energiyasi nimaga teng?

9.42. Ostona energiyasiga ega bo'lgan neytronlarda boradigan ${}^{12}\text{C}(n,\alpha){}^9\text{Be}$ reaksiyada hosil bo'lgan ${}^9\text{Be}$ yadrosining, laboratoriya sistemasida, kinetik energiyasini aniqlang.

9.43. Litiy ${}^7\text{Li}$ izotopini protonlar bilan bobardimon qilganda ikkita α -zarra hosil bo'ldi. Har bir α -zarraning hosil bo'lgunga qadar energiyasi $T_\alpha=9.15$ MeV ga teng. Bombardimon qiluvchi protonlarning T_p energiyasi qancha?

9.44. Tabiiy bor nishonga olinganda, yarim yemirilish davri 20,4 min va 0,024 s bo'lgan izotoplar hosil bo'lishi kuzatilgan. Qanday izotoplar hosil bo'lgan? Qanday reaksiyalar bu izotoplarning hosil bo'lishiga olib kelgan?

9.45. Tabiiy bor protonlar bilan nishonga olingan. Nishonga olish to'xtagandan so'ng detektor 100 Bk aktivlikni aniqlagan. 40 min vaqt o'tgandan so'ng aktivlik 25 Bk ga tushgan. Aktivlik manbai qanday? Qanday yadro reaksiyasi yuz bergan?

9.46. Energiyasi $T=10$ MeV bo'lgan alfa-zarra ${}^{12}\text{C}$ yadrosi bilan yuzma-yuz elastik to'qnashdi. To'qnashgandan so'ng ${}^{12}\text{C}$ yadrosining laboratoriya sistemasida kinetik energiyasini aniqlang.

9.47. Energiyasi $T_p=5$ MeV protonlar ta'sirida ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaksiyada hosil bo'lgan ${}^7\text{Be}$ yadrolarining maksimal va minimal energiyalarini aniqlang. ($Q=-1,65$ MeV)

9.48. ${}^{12}\text{C}$ yadrosida α -zarralarning $\theta_{noel}=30^\circ$ burchak ostida noelastik sochilish reaksiyasi natijasida yadroning $E_u=4,44$ MeV energiyaga ega bo'lgan holati uyg'ongan. Ushbu noelastik sochilgan α -zarralar energiyasi laboratoriya sanoq tizimida mazkur yadroda $\theta_{el}=45^\circ$ burchak ostida elastik sochilgan α -zarralar energiyasiga teng. Nishonga tushayotgan α -zarralarning T_α^{nash} kinetik energiyasini aniqlang.

9.49. Energiyasi $T=5$ MeV bo'lgan alfa-zarralar tinch holatdagi ${}^7\text{Li}$ yadrosi bilan to'qnashadi. Reaksiya ${}^7\text{Li}(\alpha,n){}^{10}\text{B}$ natijasida hosil bo'lgan neytron va ${}^{10}\text{B}$ yadrosining inersiya markazi sanoq sistemasidagi impulslarini aniqlang.

9.50. ${}^{32}\text{S}(\alpha,p){}^{35}\text{Cl}$ reaksiya yordamida ${}^{35}\text{Cl}$ ning pastki uyg'ongan holatlari (1,219; 1,763; 2,646; 2,694; 3,003; 3,163 MeV) o'rganiladi. Shu holatlardan qaysilari energiyasi 5,0 MeV bo'lgan alfa-zarralar dastasi

ta'sirida o'yg'onadi? Reaksiyada 0° va 90° burchak ostida kuzatilayotgan protonlarning energiyasini aniqlang.

9.51. Impuls diagrammasi yordamida L-sistema bilan M-sistemadagi burchaklar orasidagi bog'lanishni aniqlang.

9.52. Kinetik energiyasi $T_a=5$ MeV bo'lgan proton ${}^1\text{H}$ yadrosiga uchib keladi va unda elastik sochiladi. Agar protonning sochilish burchagi $\theta_b=30^\circ$ bo'lsa, ${}^1\text{H}$ tepki yadrosining T_b kinetik energiyasi va θ_b sochilish burchagini aniqlang.

9.53. Neytronni olishda $t(d,n)\alpha$ reaksiyadan keng foydalaniladi. Energiyasi $T_d=0,2$ MeV deutronlardan foydalanilgan holda, neytron generatordan 90° burchak ostida chiqayotgan neytronlarning energiyasini aniqlang.

9.54. Neytronlarni olishda ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaksiyadan foydalaniladi. Bund proton energiyasi $T_p=5$ MeV. Tajriba o'tkazish uchun energiyasi $T_n=1,75$ MeV neytronlar kerak. Protonlar oqimiga nisbatan qanday burchak ostida shunday energiyali neytronlar chiqadi? Nishondan 10 sm masofada joylashgan, o'lchami 1 sm kollimatorda neytronlar oqimi ajratilsa, energiya bo'yicha chetlashishlar qanday bo'ladi?

9.55. Tushayotgan alfa-zarraning orbital momenti l_α nol bo'lsa, ${}^{27}\text{Al}(\alpha,t){}^{28}\text{Si}$ reaksiyada hosil bo'lgan tritiyning orbital momenti l_t ni aniqlang.

9.56. Protonning orbital harakat miqdori momentlarining qanday qiymatlari uchun quyidagi reaksiya yuz berishi mumkin?
 $p+{}^7\text{Li}\rightarrow{}^8\text{Be}\rightarrow\alpha+\alpha?$

9.57. ${}^8\text{Be}$ yadrosi gamma-kvantni yutadi, buning natijasida yadrodan orbital momenti $l=1$ bo'lgan proton uchib chiqadi. Agarda oxirgi yadro asosiy holatda hosil bo'lsa, gamma-kvantning multipolligini aniqlang.

9.58. Sekin neytronlarni qayd qilish uchun ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$ reaksiyadan foydalaniladi. Alfa-zarra va tepki yadrosining kinetik energiyasi topilsin.

9.59. Kinetik energiyasi 1 MeV bo'lgan proton deutron tamonidan qamrab olinadi. Hosil bo'lgan ${}^3\text{He}$ yadroning uyg'onish energiyasini aniqlang.

9.60. Energiyasi 3 MeV bo'lgan alfa-zarralar ${}^{238}\text{U}$ yadrosining kulon maydonida 150° dan 170° orasida sochilishi effektiv kesimini hisoblang.

9.61. Qalinligi $d=0,1$ mm bo'lgan oltin plastinka, intensivligi $N_0=10^3$ zarra/s bo'lgan alfa-zarralar oqimi bilan nurlantirilayapti. Alfa-zarralar kinetik energiyasi $T=5$ MeV. 170° burchak ostida joylashtirilgan detektorga birlik fazoviy burchakda va birlik vaqtda nechta alfa-zarralar tushmoqda?

9.62. Energiyasi $T=10\text{MeV}$ bo'lgan, kollimatsiyalangan alfa-zarralar oqimi perpendikulyar ravishda qalinligi $1\text{mg}/\text{sm}^2$ bo'lgan mis folgaga tushmoqda. Nishondan 20 sm masofada joylashgan, yuzasi 1 cm^2 detektorda 30^0 burchakga sochilgan zarralar to'la sonidan qanday qismi qayd qilingan?

9.63. Energiyasi $T_R=62\text{MeV}$ bo'lgan protonlar bilan $^{27}\text{Al}(p,d)^{26}\text{Al}$ reaksiya o'rganilganda fazoviy burchagi 90^0 burchak ostida qayd etilgan deytronlar spektrida, energiyalari $T_d=45,3; 44,32; 40,91\text{MeV}$ cho'qqilar kuzatilgan. Qalinligi $5\text{mg}/\text{sm}^2$ bo'lgan nishonga tushgan protonlar umumiy zaryadi $q=2,19\text{mCl}$ bo'lganda, cho'qqilardagi hisoblar soni, mos holda $5180, 1100$ va 4570 ga teng bo'lgan. Shu reaksiyada kuzatilgan ^{26}Al yadrosining uyg'ongan holat energiyalarini aniqlang. Ushbu jarayonlarning differensial kesimini hisoblang.

9.64. Qalinligi $d=1,0\text{ mm}$ bo'lgan mis plastikani 17 MeV energiyali γ -kvantlar bilan nurlantirilganda (γ,n) reaksiyaning chiqishi $\omega = 4,2 \cdot 10^{-4}$ ga teng bo'lsa, reaksiya kesimini toping.

9.65. Nima uchun sekin neytronlar ta'sirida, asosan, (n,n) va (n,γ) turdagi, tez neytronlar ta'sirida esa (n,p) va (n,α) turdagi yadro reaksiyalari yuz berishini tushuntirib bering.

10-§. Elementar zarralar

Asosiy formulalar va uslubiy ko'rsatmalar

Har bir elementar zarra ikki xil kvant sonlar bilan to'liq xarakterlanadi. Birinchisi – bu musbat kattaliklar: massa, yashash vaqti, spin, izotopik spin, unitar spin. Ikkinchisi – bu ham musbat, ham manfiy qiymatlar qabul qiluvchi kattaliklar, zaryadlar, giperzaryadlar, g'alatilik, maftunkorlik, go'zallik va juftliklardir. Bundan tashqari, elementar zarralar bilan bo'ladigan jarayonlarda juftliklarning saqlanish qonunlari o'rinli bo'ladi. Har bir zarra, massasi va spini bir xil bo'lgan, lekin zaryadlarining ishorasi bilan farq qiluvchi antizarrasiga egadir. Elementar zarralarni qo'yidagicha sinflarga ajratish mumkin:

1. Adronlar – kuchli o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi zarralar bo'lib, ular barionlar va mezonlardir. Barion va mezonlar kvarklardan tashkil topgan.

2. Leptonlar – kuchsiz o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi va tarkibiy tuzilishga ega bo'lmagan zarralar.

3. Fotonlar – faqat elektromagnit o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi zarralar.

Hozirgi vaqtda oltita (d, u, s, c, b, t) kvark va oltita ($\bar{d}, \bar{u}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$) antikvark aniqlangan.

Butun spinli zarralarga bozonlar deyiladi va ular Boze-Eynshteyn statistikasiga, yarim butun spinli zarralar fermionlar deyiladi va Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi.

Elementar zarralar bobiga oid asosiy formulalar

- Relyativistik zarralarning to'liq energiyasi va impulsi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$E = m_0 c^2 + T, \quad pc = \sqrt{T(T + 2m_0 c^2)}. \quad (10.1)$$

- Relyativistik zarraning to'la energiyasi:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4, \quad (10.2)$$

bu yerda: T -zarralar kinetik energiya, E va p lar mos holda sistemalarning to'qnashishdan oldingi to'liq energiyalari va impulslari, m_0 - hosil bo'lgan zarralar tinchlikdagi massasi.

- Endoenergetik reaksiya uchun ostona energiyasi:

$$m + M \rightarrow m_1 + m_2 + \dots + m_n \quad (10.3)$$

$$T_{OCR} = \frac{(m_1 + m_2 + \dots)^2 - (m + M)^2}{2M} c^2, \quad (10.4)$$

bu yerda: m, M, m_1, m_2, \dots lar mos holda to'qnashuvchi va hosil bo'lgan zarralarning tinchlikdagi massalari.

- Elementar zarralar kvant sonlari:

Q – elektr zaryadi,

L – lepton zaryadi,

B – barion zaryadi,

T – izotopik spin,

T_Z – izotopik spin proeksiyasi,

S – g'alatilik

Y – giperzaryad, $Y = B + S$.

- Kuchli o'zaro ta'sirlashuvi kvant sonlari orasidagi bog'lanish:

$$Q = T_Z + \frac{Y}{2}. \quad (10.5)$$

Zarralar o'zaro ta'sirlashganida barcha kvant sonlar, yani Q, L, V, S (yoki Y), T va uning proeksiyasi T_Z larining saqlanish qonuni bajariladi.

Masala yechish uchun namunalar

1-masala. Energiyasi 200 MeV bo'lgan π^+ - mezonlar atmosfera orqali o'tayotganda parchalansa, ushbu mezonlarning parchalanishgacha o'tgan o'rtacha yo'lini aniqlang.

Yechilishi: π -mezonlarning havodagi o'rtacha yo'li quyidagiga teng:

$$S = \frac{\beta c \tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{p \tau_0}{m_\pi} \quad (1)$$

Bu yerda: m_π - π - mezonning massasi, p - impuls. (5.2) ifodadan:

$$E = \sqrt{m_\pi^2 c^4 + p^2 c^2} \quad (2)$$

bundan p impulsni topsak:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - m_\pi^2 c^4} \quad (3)$$

(3) ni (1) ga qo'yamiz:

$$S = \frac{\tau_0}{m_\pi c} \sqrt{E^2 - m_\pi^2 c^4} \quad (4)$$

va ushbu $m_\pi c^2 = 139,56 \text{ MeV}$, $\tau_0 = 2,60 \cdot 10^{-8} \text{ s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $E = 200 \text{ MeV}$ qiymatlarni qo'yib, $S = 17,5 \text{ m}$ ekanligini topamiz.

2-masala. Neytral pionning yashash vaqti $8,9 \cdot 10^{-17} \text{ s}$ bo'lsa, uning massasini qanday aniqlik bilan topish mumkin?

Yechilishi: Noaniqlik munosabatining energiya va vaqt uchun munosabatidan:

$$\Delta E \approx \hbar / \tau$$

bu yerda: τ - zarraning yashash vaqti. Massa (yoki energiya) ning o'lchanishdagi aniqligi:

$$\delta = \frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta E}{E} \approx \frac{\hbar}{E \tau}$$

Bu ifodaga son qiymatlarni qo'yib:

$$\delta = \hbar / E \tau = 6 \cdot 10^{-8},$$

natijani olamiz.

3-masala. Har qanday katta energiyaga ega bo'lgan fotonning vakuumda, elektron-pozitron juftiga aylanmasligini isbotlang.

Yechilishi: Ushbu jarayon uchun energiya va impulsning saqlanish qonunlaridan:

$$E_f = 2mc^2, \quad E_f / c = 2m\theta \cos \alpha,$$

quyidagilarga ega bo'lamiz. Bulardan:

$$2mc^2 = 2m\theta c \cos \alpha,$$

yoki

$$c = \theta \cos \alpha$$

bu yerda: $\cos \alpha = \frac{c}{\theta} \leq 1$ bo'lganligi uchun bunday jarayon bo'lishi mumkin emasligi kelib chiqadi.

4-masala. Kinetik energiyasi T_e bo'lgan relyativistik pozitron uchib kelib, tinch turgan elektronga yaqinlashadi va annigilyatsiya sodir bo'ladi. Annigilyatsiya natijasida ikkita bir xil energiyali γ -kvant hosil bo'ladi. Ularning uchib ketish yo'nalishlari orasidagi θ burchakni aniqlang.

Yechilishi: Bir xil energiyali γ -kvant hosil bo'lganda ushbu jarayonning impulslari teng tamonli uchburchakni hosil qiladi (3-rasm). Kosinuslar teoremasi bo'yicha:

$$p_e^2 = 2p_\gamma^2 + 2p_\gamma^2 \cos \theta = 2p_\gamma^2(1 + \cos \theta). \quad (1)$$

Annigilyatsiyadan oldingi va keyingi to'liq energiyalar teng:

$$T_e + 2m_e c^2 = 2E_\gamma = 2p_\gamma c. \quad (2)$$

Relyativistik pozitron kinetik energiya va impuls orasida bog'lanish:

$$p_e^2 = T_e(T_e + 2m_e c^2). \quad (3)$$

(2) formulada p_γ ni va (3) formulalardagi p_e^2 ni (1) formulaga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$T_e(T_e + 2m_e c^2) = (T_e + 2m_e c^2)^2 \frac{1 + \cos \theta}{2}. \quad (4)$$

$1 + \cos \theta = 2 \cos^2(\theta/2)$ ifodani e'tiborga olamiz va (4) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2m_e c^2 / T_e}}.$$

5-masala. Quyidagi jarayonlardan qaysi biri lepton zaryadining saqlanish qonuni bo'yicha taqiqlangan:

- | | |
|---|---|
| 1). $n \rightarrow p + e^- + \nu$ | 4). $p + e^- \rightarrow n + \nu$ |
| 2). $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + e^- + e^+$ | 5). $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$ |
| 3). $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu$ | 6). $K^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$ |

Yechilishi: Har bir jarayoni alohida tekshirib chiqamiz.

1) n va p lar uchun lepton zaryadi 0 ga teng, e^- uchun va ν uchun lepton zaryadi +1 ga teng, demak:

$$0 = 0 + (+1) + (+1).$$

Lepton zaryadi saqlanish qonuni bo'yicha 1) reaksiya taqiqlangan.

$$2) 0 = (-1) + (+1) + (-1)$$

Demak, bu reaksiya ham taqiqlangan. Shu kabi:

$$3) 0 = (+1) + (+1) \text{ ham taqiqlangan.}$$

$$4) 0 + (+1) = 0 + (+1),$$

$$5) (-1) = (-1) + (+1) + (-1) \text{ va}$$

$$6) 0 = (+1) + (-1) \text{ reaksiyalar taqiqlanmagan.}$$

6-masala. Quyida keltirilgan reaksiyalardan qaysi biri g'alatilik kvant sonining saqlanish qonuni bo'yicha taqiqlangan?

$$1) \pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0, \quad 4) \bar{p} + n \rightarrow \Lambda + \bar{\Sigma}^+,$$

$$2) \pi^- + p \rightarrow K^- + \Sigma^+, \quad 5) \Sigma^- + p \rightarrow \Lambda + n,$$

$$3) \bar{p} + p \rightarrow \bar{\Sigma}^0 + \bar{K}^0 + n, \quad 6) \pi^- + n \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^-.$$

Yechilishi: Ushbu zarralar uchun g'alatilik kvant soni S quyidagicha:

K^+ va K^- - mezonlar uchun mos holda +1 va -1 ga,

K^0 va \bar{K}^0 - mezonlar uchun esa mos holda +1 va -1 ga,

p , \bar{p} , n , π^- zarralar uchun $S=0$ ga,

Σ^+ va Σ^- zarralar uchun $S=-1$ ga,

$\bar{\Sigma}^0$ zarra uchun $S=+1$ ga,

Ξ^- zarra uchun $S=-2$ ga,

Λ^0 zarra uchun $S=-1$ ga teng. Bularni hisobga olib, yuqoridagi reaksiyalarni tekshirib chiqamiz:

$$1) 0 + 0 = (-1) + (+1) \text{ ruxsat etilgan;}$$

$$2) 0 + 0 = (-1) + (-1) \text{ ruxsat etilmagan;}$$

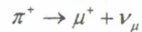
$$3) 0 + 0 = (+1) + (-1) + 0 \text{ ruxsat etilgan;}$$

$$4) 0 + 0 = (-1) + (+1) \text{ ruxsat etilgan;}$$

$$5) (-1) + 0 = (-1) + 0 \text{ ruxsat etilgan;}$$

$$6) 0 + 0 = (-2) + (+1) + (-1) \text{ ruxsat etilmagan.}$$

7-masala. Tinch turgan pion, myuon va neytrinoga parchalanadi:



Neytrino energiyasining, myuon kinetik energiyasiga nisbatini toping.

Yechilishi: Bu yerda: pion va myuonlarning massalarini MeV lardagi qiymatlari mos ravishda 140 va 106 MeV ekanligini hisobga olib, reaksiyada ajraladigan to'liq energiyani aniqlaymiz:

$$\Delta E = (m_\pi - m_\mu) = 140 - 106 = 34 \text{ MeV.}$$

Myuonning tinchlikdagi energiyasi: $E_0 = 106 \text{ MeV}$, neytrinoning tinchlikdagi energiyasi nolga teng deb hisoblaymiz. Tinch turgan pion parchalanishi natijasiga hosil bo'lgan myuon va neytrino impulslarining

qiymatlari bir-biriga teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi bo'lganligi uchun:

$$P_\nu = \frac{E_0}{c}, \quad P_\mu = \frac{1}{c} \sqrt{T_\mu \cdot (2E_0 + \pi_\mu)}$$

bundan,

$$E_\nu = \sqrt{T_\mu \cdot (2E_0 + T_\mu)} \quad (1)$$

ekanligin topamiz.

Energiyaning saqlanish qonunidan:

$$\Delta E - T_\mu = \sqrt{T_\mu (2E_0 + T_\mu)}.$$

Bundan myuonning kinetik energiyasi:

$$T_\mu = \frac{(\Delta E)^2}{2(E_0 + \Delta E)} \quad (2)$$

bu ifodaga kattaliklar son qiymatlarini qo'ysak:

$$T_\mu = 4,1 \text{ MeV.}$$

Bu qiymatni (1) ga qo'yib hisoblashlarni bajarsak,

$$E_\nu = 29,9 \text{ MeV,}$$

yoki

$$E_\nu / T_\mu = 29,9 \text{ MeV} / 4,1 \text{ MeV} = 7,3.$$

Masalalar

10.1. Massasi m va impulsi p bo'lgan relyativistik zarraning T kinetik energiyasini aniqlang.

10.2. Kinetik energiyasi 100 MeV bo'lgan manfiy μ -mezon (yoki myuon) qo'zg'almas elektron bilan peshona elastik to'qnashgan. Elektron olgan tepki energiyani aniqlang.

10.3. Pozitron va tinch turgan elektronning annigilyatsiyasi natijasida bir xir chastotali ikkita γ -kvant hosil bo'lgan va ular $\varphi = 2\pi/3$ burchak ostida har tomonga uchib ketgan. Pozitronning kinetik energiyasi nimaga teng bo'lgan?

10.4. Pion Kompton to'lqin uzunligi bilan yadro kuchlarining ta'sir radiusi orasidagi bog'lanishni aniqlang.

10.5. Ikkita proton orasida ta'sir qiluvchi elektrostatik va gravitatsion kuchlar kattaligini solishtiring.

10.6. To'xtagan Σ^- -giperonning ($\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$) parchalanishida hosil bo'lgan neytronning kinetik energiyasini toping.

10.7. Ushbu $\bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+$ reaksiyada antineytrionning ostona energiyasini toping.

10.8. Kinetik energiyasi T bo'lgan protonlar, tinch turgan vodorod nishonga kelib tushdi. Quyidagi: a) $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$; b) $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$ reaksiyalarni bo'sag'a energiya qiymati T ni toping.

10.9. Ikkilamchi elektronlar izlari (treklari) bo'yicha neytral pionning uchib borayotganida ikkita bir xil fotonga parchalanishi ma'lum bo'ldi. Fotonlarning uchib ketayotgan yo'nalishlari orasidagi burchak 90° ga teng. Pionning kinetik energiyasi va har bir fotonning energiyalarini aniqlang.

10.10. Kinetik energiyasi tinch holat energiyasiga teng bo'lgan π^0 -mezon, teng energiyali ikkita gamma-kvantga parchalanadi. Gamma-kvantlar harakat yo'nalishlari orasidagi burchak qanday bo'ladi?

10.11. K^\pm - mezon parchalanishida hosil bo'lgan π^\pm - mezonlarning kinetik energiyalari yig'indisini aniqlang. Zarralarning tinch holatidagi massalari:

$$m_{K^\pm} = 493,646 \text{ MeV}; \quad m_{\pi^\pm} = 139,658 \text{ MeV}.$$

10.12. Quyidagi kuchli ta'sirlashuv reaksiyalarida hosil bo'lgan x zarralarni aniqlang.

- 1) $\pi^- + p \rightarrow K^- + p + x$;
- 2) $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^0 + x$;
- 3) $p + \bar{p} \rightarrow \Xi^- + \pi + x$

10.13. Kuchli ta'sirlashuvda quyidagi reaksiyalar bo'lishi mumkinmi?

- 1) $\pi^- + p \rightarrow \Xi^- + \kappa^+ + \kappa^-$;
- 2) $\pi^+ + p \rightarrow \Delta^+ + \pi^0$;
- 3) $\kappa^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \bar{n}^0$

10.14. Quyidagi keltirilgan reaksiyalar ichida qaysilari neytrino va antineytrino ta'sirida bo'lishi mumkin, qaysilari man etilgan va nima uchun?

- 1) $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$;
- 2) $\nu_e + n \rightarrow p + \mu^-$;
- 3) $\bar{\nu}_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$.

10.15. π -mezon ($m_\pi = 273,1m_e$), μ -myuon ($m_\mu = 206,8m_e$) va neytrinoga parchalanadi. Myuon va neytrinoning energiya va impulsini toping.

10.16. Agar π^+ -mezonning kinetik energiyasi 100 Mev bo'lsa, u hosil bo'lgan joydan nishongacha bo'lgan 6,0 m masofadagi parchalanish ehtimolligini toping.

10.17. Quyida keltirilgan reaksiyalar ichida qaysi biri g'alatilikning saqlanish qonuni bo'yicha taqiqlangan.

- 1) $\pi^+ + p \rightarrow \Lambda + K^0$; 4) $\bar{p} + n \rightarrow \Lambda + \bar{\Sigma}^-$
- 2) $\pi^- + p \rightarrow K + K^+$; 5) $\Sigma^- + p \rightarrow \Lambda + n$
- 3) $\bar{p} + p \rightarrow \bar{\Sigma}^0 + \bar{K}^0 + n$; 6) $\pi^- + n \rightarrow \Sigma^- + K^+ + K^-$

10.18. To'xtagan myuon parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan elektronning kinetik energiyasi va impulsining maksimal qiymatlarini hisoblang.

10.19. Kvark modeli yordamida quyidagi barionlarni hosil qiling: $\Omega^-, \Lambda^+_c, \Lambda^0_b$.

10.20. $\rho, n, \Lambda, \Sigma^0, \Xi^0, \Omega^-$ barionlarni kvarklar yordamida quring:

10.21. Giperyadrolar, ${}^5_\Lambda \text{He}$ va ${}^6_{\Lambda\Lambda} \text{He}$ asosiy holatlarining spini, juftligi va izospinlarini aniqlang.

10.22. p-p, n-n, p-n ta'sirlashuvlarning kvark diagrammasini chizing.

10.23. Uchta qiymat qabul qiluvchi «Rang» kvant soni kiritilmasa, $\Delta^{++}, \Delta^-, \Omega^-$ zarralarning kvark strukturasi Pauli tamoyiliga zid bo'lishini ko'rsating.

10.24. Kuchli ta'sirlashuv tufayli yuz beradigan reaksiyalarni kvark diagrammasini quring va saqlanish qonunlari bajarilishini tekshiring.

- 1) $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$,
- 2) $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Omega}^- + \Omega^-$,
- 3) $\pi^+ + n \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^+$

10.25. Quyidagi jarayonlar uchun Feynmaning asosiy diagrammalarini chizing:

- 1) Elektronning elektrondan sochilishi,
- 2) Kompton effekti,
- 3) Elektron-pozitron anniglyatsiyasi,
- 4) Yadro Kulon maydonida fotoeffekt,
- 5) Yadro Kulon maydonida elektron-pozitron juftining hosil bo'lishi. Bu jarayonlarda qanday virtual zarralar ishtirok etadi?

10.26. Elektron-pozitron juftining ikki va uch fotonli anniglyatsiyasi kesimlari nisbatini baholang.

10.27. Elektr, barion va lepton zaryadlar saqlanish qonunlari bo'yicha quyidagi reaksiyalardan qaysi biri taqiqlanganligini aniqlang:

1. $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$.
2. $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_e$.
3. $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_e$.
6. $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + e^+$.
7. $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + \mu^+$.
8. $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$.

4. $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$. 9. $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$.

5. $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$.

10.28. Quyidagi keltirilgan adronlarni kuchsiz yemirilishida qaysilari man etilgan va qaysilari ruxsat etilgan?

1) $K^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$,

2) $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$,

3) $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- + e^+ + \nu_e$.

Ruxsat etilgan yemirilishlarning diagrammalarini chizing.

10.29. Quyidagi yemirilishlarning kvark diagrammalarini chizing.

1) $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$,

2) $\pi^0 \rightarrow e^+ + e^-$,

3) $\rho^0(770) \rightarrow e^+ + e^-$,

4) $\eta'(958) \rightarrow 3\pi^0$

Bu yemirilishlarga qanday ta'sirlashuvlar sababchi?

10.30. Quyida keltirilgan K^+ - mezonning to'rt xil parchalanishidan qaysilari yuz berishi mumkin? Ruxsat etilganlari uchun diagrammalar chizing, man etilganlari sababini tushuntiring.

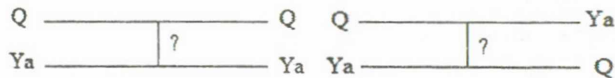
1) $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$;

2) $K^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$;

3) $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \bar{\nu}_e$;

4) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$.

10.31. Quyidagi diagrammalar qizil va yashil kvarklarning ta'sirlashuvining 2 ta variantini ko'rsatadi. Har bir hol qanday ta'sirlashuv oqibatida yuz beradi va bunda qanday virtual zarralar qatnashadi?



10.32. Pozitroniyning (e^+e^-) fazoviy juftligi $(-1)^{L+1}$ bo'lishini ko'rsating, bu yerda: L - pozitron va elektronning nisbiy orbital momenti.

10.33. Agarda $p\bar{p}$ ning nisbiy orbital momenti L bo'lsa, $p\bar{p} \rightarrow 2\pi^0$ reaksiyada hosil bo'lgan 2 ta π^0 -mezonlarning nisbiy orbital momenti qanday qiymatlar qabul qiladi?

10.34. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ parchalanishda juftlikning saqlanmasligini isbotlang.

10.35. Neytrinoning massasi nolga teng bo'lsa, $\pi^0 \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$ yemirilish mumkinmi?

10.36. Nima uchun π^+ - mezonning $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ ko'rinishda yemirilishi $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ yemirilishga nisbatan 10^4 marta sekin sodir bo'ladi? Energiya ajralishi birinchi ko'rinishda ikkinchi ko'rinishga qaraganda juda katta.

10.37. $\eta_c(1S)$ va $J/\psi(1S)$ mezonlarning mos holda zaryad juftligi (+1) va (-1) ga tengligini ko'rsating.

JAVOBLAR

I bob. ATOM FIZIKASI

1-§. Issiqlik nurlanishi

1.1. $T \approx 6422 \text{ K}$; $R \approx 9,6 \cdot 10^7 \text{ Vt/m}^2$.

1.2. $T = 1000 \text{ K}$.

1.3. $T = 2500 \text{ K}$.

1.4. $T_1 = 2420 \text{ K}$, $T_2 = 4840 \text{ K}$.

1.5. $2,9 \cdot 10^6 \text{ m}$.

1.6. 1,19 marta.

1.7. $\lambda_{\max} = 3,4 \text{ mkm}$

1.8. $t = C_v \rho (n^3 - 1) r / 96 T_0^3$.

1.9. 0,953.

1.10. 1,45 mkm.

1.12. $T = 1000^0 \text{ K}$.

1.13. 547 nm.

1.14. $W = 6,5 \cdot 10^{21} \text{ kVt} \cdot \text{soat}$.

1.15. $R = \Delta E / (\Delta S \Delta t)$.

1.16. a) 0,97 mm (mikroto'liq radiodiapozon bilan chegara bo'lgan uzoq infraqizil soha), b) 9700 nm (infraqizil soha), v) 970 nm (yaqin infraqizil soha), g) 580 nm (spektrning ko'zga ko'rinadigan qismi).

1.17. 5800 K.

1.18. $I = \sigma T^4 (r/R)^2 = 1,37 \text{ kVt/m}^2$ (r - Quyosh radiusi, R - Quyoshdan Yergacha bo'lgan masofa).

1.19. 9,1 J.

1.20. $7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; 1602 Vt/m^2 .

1.21. 5780 K; $3,84 \cdot 10^{26} \text{ Vt}$.

1.22. 1360 Vt/m^2 .

1.23. $R = \int_0^{\infty} r_{\omega} d\omega = p(\omega_2 - \omega_1)$.

1.24. $R = \int_0^{\infty} r_{\omega} d\omega = r_0 \int_0^{\infty} \exp(-\alpha\omega) d\omega = r_0 / \alpha$.

1.25. $r_{\omega T} = a_{\omega T} f(\omega, T)$, $a_{\omega T} = r_{\omega T} = 1$, $r_{\omega T} / f(\omega, T)$, bu yerda: $f(\omega, T)$

Kirxgofning universal funksiyasi.

1.27. a) $a_{\omega T} = 0$, $r_{\omega T} = 0$; b) $a_{\omega T} = 1$, $r_{\omega T} = f(\omega, T)$. 1 - egri chiziq shishaga, 2 - egri chiziq grafitga mos keladi.

1.28. a) $r_{\omega T} \neq r_{\omega_2 T}$; b) $\Delta R_{\omega T} = \Delta R_{\omega_2 T}$.

1.29. a) $\Phi_{yut.} = a\Phi_{tush.}$; b) $\Phi_{qayt.} = \Phi_{tush.} - \Phi_{yut.} = (1-a)\Phi_{tush.}$;

c) $\Phi_{to'liq.} = \Phi_{qayt.} - \Phi_{nur.} = (1-a)\Phi_{tush.} + a\Phi_{tush.} = \Phi_{tush.}$; Muvozanat shartda nurlanish sohasining $\Phi_{nur.}$ energiya oqimi uning yutilish energiya oqimi $\Phi_{yut.}$ ga teng. Bundan $\Phi_{to'liq.} = \Phi_{tush.}$

1.30. Ha. Sistemada muvozanat bo'lishi mumkin. Bu holat qaror topgandan keyin absolyut ko'zgu sirtli jism temperaturasi 0 K ga teng bo'ladi, qolgan jismlarning temperaturasi esa T ga teng bo'ladi.

1.31. 0,5 K; ≈ 84 yuz yil.

1.33. $T_2 = \frac{bT_1}{\Delta\lambda T_1 + b} = 290 \text{ K}$.

1.34. a) $r_{\omega T} = a_{\omega T} f(\omega, T) = (c/4)a_{\omega T} u(\omega, T)$; b) $R = \frac{c}{4} \int_0^{\infty} a_{\omega T} u(\omega, T) d\omega$.

1.37. $u(T) = (4/c)\sigma T^4$.

1.38. $T = T_0 \sqrt{\frac{W_{nur.}}{W_{jut}}} = 533 \text{ K}$.

1.39. $P = A\sigma\pi d^2(T^2 - T_0^2) = 0,107 \text{ Vt}$.

1.40. $t = 7^\circ \text{C}$, $\lambda_m = 10,4 \text{ mkm}$.

1.41. $\approx 80\%$.

1.42. a) $R^* = \sigma T^4$; b) $\Phi = \sigma T^4 4\pi\rho^2$; c) $u = \sigma T^4 \rho^2 / (r^2 c)$

1.43. a) $J_E = \sigma T_Q^4 R_Q^2 / R_{orb.}^2$, bu yerda: R_Q va $R_{orb.}$ - mos holda Quyosh va Yer orbitasi radiuslari, $J_E = 1,6 \text{ kVt/m}^2$; b)

$u = J_E / c$, $u \approx 5 \text{ mkJ/m}^3$.

1.44. $T = T_Q \left[\frac{R_Q}{2R_{orb.}} \right]^{1/2}$ bu yerda: T_Q - Quyosh yuzasi temperaturasi;

R_Q va $R_{orb.}$ - mos holda Quyosh va Yer orbitasi radiuslari (1.42.-masalaga qarang). $T \approx 0,9 \cdot 10^6 \text{ K}$.

1.45. 0,063 mm.

1.46. $\lambda_m = b\sqrt{\sigma / R^*} = 2,00 \text{ mkm}$.

1.47. $T = \left[\frac{3nkc}{8\sigma} \right]^{1/3}$. $T \approx 0,9 \cdot 10^6 \text{ K}$.

$$1.48. U = V \int_0^\infty u(\omega, T) d\omega = \frac{4V\sigma T^4}{c}; C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{16V\sigma T^3}{c}.$$

$$1.49. \tau = \frac{c\rho d}{18\sigma} \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_0^3}\right).$$

$$1.50. n = 2,1 \cdot 10^{21}.$$

$$1.51. \frac{U_T}{U} = \frac{C_T T}{uV} = \frac{cV_T}{4\sigma VT^3}.$$

$$1.52. P = \iint \frac{u}{4\pi c} c 2\cos^2 \vartheta \sin \vartheta d\vartheta d\phi = \frac{1}{3} u.$$

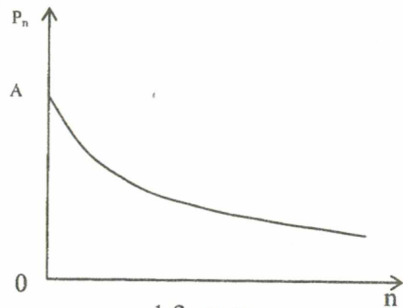
$$1.53. n = 4\sigma T^3 / (3kc), \text{ bu yerda: } k \text{ - Bolsman doimiysi. } n \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}.$$

$$1.54. \langle r \rangle \approx n^{-1/3}, \langle r \rangle \approx 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}, \langle r \rangle \sim 10^5.$$

$$1.55. T = \left[\frac{3cp_0}{4\sigma}\right]^{1/4}, T = 1,4 \cdot 10^5 \text{ K}.$$

$$1.56. P = 4\sigma T^3 / 3c, P \approx 2 \cdot 10^{-14} \text{ Pa}.$$

$$1.57. P_n = \frac{\exp(-n\hbar\omega/kT)}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp(-n\hbar\omega/kT)}, \text{ 1.3 - rasmga qarang.}$$



1.3- rasm.

$$1.58. \langle \varepsilon_{\omega T} \rangle = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n P_n = \frac{\hbar\omega}{\exp(\hbar\omega/kT) - 1} = kT \frac{x}{\exp(x) - 1}.$$

1.59. Yuqori temperatura mezoni $\hbar\omega/kT \ll 1$. Bu shart bajarilganda $f(\omega, T) \approx [\omega/2\pi c]^2 kT$. Quyi temperatura mezoni $\hbar\omega/kT \gg 1$. Bu shart bajarilganda $f(\omega, T) \approx \frac{\hbar\omega^3}{(2\pi c)^2} \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{kT}\right)$. Chegaraviy munosabat: a) \hbar Plank doimiysiga ega emas va shuning uchun klassik xarakterga ega. Chegaraviy munosabat: b) sezilarli kvant xarakterga ega.

$$1.60. u(\omega, T) d\omega = dn_{\omega} < \varepsilon_{\omega T} \rangle = dn_{\omega} \hbar\omega < n_{\omega T} \rangle, \text{ bu yerda:}$$

$$dn_{\omega} = \frac{\omega}{\pi^2 c^3} d\omega \text{ - chastotasi } \omega \text{ dan } \omega + d\omega \text{ gacha chastotaga mos keluvchi hajm birligidagi turg'un to'liqlar soni. Bundan: } \langle n_{\omega T} \rangle = \frac{1}{\exp(\hbar\omega/kT) - 1}.$$

1.61. $T \sim \hbar\omega/k$ da chastotasi ω bo'lgan tebranihlarda o'rtacha fotonlar soni $\langle n_{\omega T} \rangle$ o'n darajasi bir atrofida bo'ladi.

$$1.62. dn_{\omega T} = dn_{\omega} \langle n_{\omega T} \rangle = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{1}{\exp(\hbar\omega/kT) - 1} d\omega.$$

$$1.63. T \approx T_0 - \frac{4V\sigma T_0^4}{cC_T}.$$

2 - §. Elektromagnit nurlanishning kvant xususiyatlari

$$2.1. 2,5 \text{ eV/c}, 5 \text{ eV/c}, 0,6 \text{ eV/c}.$$

$$2.2. 1,15 \cdot 10^{-13} \text{ J}; 1,38 \cdot 10^{-30} \text{ kg}; 4,1 \cdot 10^{-22} \text{ kg}\cdot\text{m/s}.$$

$$2.3. m = h\nu/c^2 = h/c\lambda \approx 0,44 \cdot 10^{-32} \text{ g}.$$

$$2.4. p = h\nu/c = h/\lambda \approx 1,3 \cdot 10^{-22} \text{ g}\cdot\text{sm/s}. \text{ Vodород molekulasini impulsini } p \approx \sqrt{3kTM} \approx 5,4 \cdot 10^{-19} \text{ g}\cdot\text{sm/s}.$$

$$2.5. 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-3}.$$

$$2.6. 5,33 \cdot 10^{-24} \text{ kf}\cdot\text{m/s}.$$

2.7. Spektr ko'rinadigan qismi fotonining energiyasi: $h\nu = hc/\lambda \approx 4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, vodород molekulasining energiyasi: $\sim 3/2kT \approx 6 \cdot 10^{-21} \text{ J}$.

$$2.8. \text{ Fotonlar soni } \approx 1,2 \cdot 10^{21}.$$

$$2.9. 0,511 \text{ MeV}.$$

$$2.10. 1) 3,2 \cdot 10^{-32} \text{ kg}; 2) 8,8 \cdot 10^{-32} \text{ kg}; 3) 1,8 \cdot 10^{30} \text{ kg}.$$

$$2.11. 3,2 \text{ eV}; 5,8 \cdot 10^{-36} \text{ kg}; 1,74 \cdot 10^{-27} \text{ kg}\cdot\text{m/s}.$$

$$2.12. 420 \text{ nm}; \text{ binafsha}.$$

$$2.13. \text{ ta'sir kvanti}.$$

$$2.14. 2,48 \text{ eV}, 24800 \text{ eV}.$$

$$2.15. 6,63 \cdot 10^{-28} \text{ j}.$$

$$2.16. \varepsilon = 2\pi\hbar c/\lambda, \varepsilon \approx 3,8 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,5 \text{ eV}. p = \varepsilon/c, p = 2,5 \text{ eV}.$$

$$2.17. \lambda = 2\pi\hbar/p \sim 2\pi\hbar/(MkT)^{1/2}. \lambda \approx 200 \text{ pm}.$$

$$2.18. \text{ a) } \langle j \rangle = \frac{\lambda P}{8\pi^2 \hbar c r^2}; \text{ b) } n = \frac{\langle j \rangle}{c} = \frac{\lambda P}{8\pi^2 \hbar c^2 r^2}.$$

$$2.19. N = \lambda P/(2\pi^2 \hbar c) N = 0,6 \cdot 10^{21} \text{ c}^{-1}.$$

$$2.20. 41 \text{ pm}.$$

2.21. $n = \ln 128 / \ln 2 = 7$.

2.22. $\lambda_{\min} = 2\pi\hbar c / eU = 0,025 \text{ nm}$.

2.23. $U = 2\pi\hbar c \frac{1-1/\eta}{e\Delta\lambda} = 25 \text{ kV}$.

2.24. $0,276 \text{ \AA}$.

2.25. To'qnashuvchi elektronlar jufti Impulsni saqlanish qonuni bo'yicha tormozlanish jarayonida $\vartheta/2$ ga teng bo'lgan ϑ' tezlik oladi. Bu yerda: ϑ -uchib kelayotgan elektronning tezligi.

$\Delta T = T - T' = mv^2/2 - mv'^2/4 = eU/2$. Bundan $\lambda_{\min} = 4\pi\hbar c / (eU)$.

$\lambda_{\min} = 0,05 \text{ \mu m}$.

2.26. $2,52 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-3}$; $7,56 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

2.27. $F = \pi R^2 I / c = 0,18 \text{ mN}$.

2.28. a) $p = 2u \cos^2 \theta$; b) $p = 2(I/c) \cos^2 \theta$.

2.29. a) $p = (1 + \rho)u$; b) $p = (1 + \rho)u \cos^2 \theta$.

2.30. $\bar{p} = 4(1 + \rho)E / \pi d^2 c \tau \approx 50 \text{ atm}$.

2.31. $d\Omega$ fazofiy burchak ostida tushuvchi to'liq inergiyasining hajmiy zichligi: $du = \frac{u}{4\pi} d\Omega$. Bu to'liqning ko'rsatadigan bosimi:

$dP_{d\Omega} = 2 \frac{u}{4\pi} \cos^2 \vartheta d\Omega$ (2.28-masalaga qarang). Integrallashdan so'ng:

$P = 2 \frac{u}{4\pi} \iint \cos^2 \vartheta \sin \vartheta d\vartheta d\varphi = \frac{1}{3}u$ ni olamiz.

2.32. $F_r = \Delta p_r / \Delta t = (1 - \rho)n\hbar\omega\Delta S \sin \theta = (1 - \rho)u\Delta S \sin \theta$,

$F_n = \Delta p_n / \Delta t = (1 + \rho)u\Delta S \cos \theta$

2.33. a) $\rho = 1$ (ideal qaytaruvchi ko'zgu): $F_r = 0$, $F_n = 2u\Delta S \cos \vartheta$; b)

$\rho = 0$ (absolyut qora jism); $F_r = u\Delta S \sin \vartheta$, $F_n = u\Delta S \cos \vartheta$.

2.34. $6,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$; $\approx 0,33 \text{ mkm}$.

2.35. $\vartheta_{\max} = c \sqrt{\frac{2}{m_0 c^2} \left(\frac{\hbar c}{\lambda} - P \right)} = 527 \text{ km/s}$.

2.36. $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, $5,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, $6,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, $6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

2.37. $4,5 \text{ eV}$.

2.38. $N = I/c = 1,9 \cdot 10^9 \text{ c}^{-1}$.

2.39. $\lambda = \hbar c / P = 290 \text{ nm}$.

2.40. $3,45 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}$.

2.41. $\lambda_q = 2\pi\hbar c / A = 256 \text{ nm}$.

2.42. a) $A = 2\pi\hbar c / \lambda_q = 3,74 \text{ eV}$; b) $\lambda = \frac{\lambda_q}{1 + eU\lambda_q / 2\pi\hbar c} = 262 \text{ nm}$.

2.43. $\lambda = \frac{\hbar c}{m\vartheta_{\max}^2 / 2 + P} = 668 \text{ nm}$.

2.44. $1,6 \text{ V}$.

2.45. $0,32 \text{ mA}$.

2.46. $3,45 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

2.47. yorug'lik chastotasiga.

2.48. $0,56 \text{ V}$.

2.49. $\varphi = \frac{2\pi\hbar c / \lambda - A}{e} = 2,5 \text{ V}$

2.50. $\lambda_q = 310 \text{ nm}$, $N = 6,7 \cdot 10^6$

2.51. $6,04 \cdot 10^5 \text{ m/s}$.

2.52. $6,5 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$.

2.53. $4,5 \text{ eV}$.

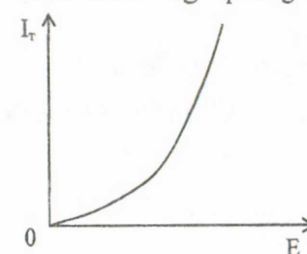
2.54. $\lambda_q = 2\pi\hbar c / A = 256 \text{ nm}$

2.55. 2250 \AA , 4960 \AA .

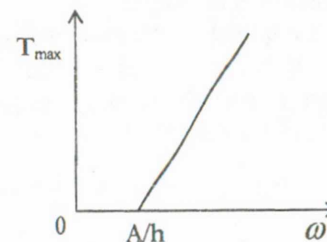
2.56. $N = I_r / e$.

2.57. $N = I_r / e$. $N = 3,1 \cdot 10^9 \text{ c}^{-1}$.

2.58. 2.4.-rasmga qarang.



2.4.-rasm.



2.5.-rasm.

2.59. $\lambda_0 = 2\pi\hbar c / A$: a) $\lambda_0 = 660 \text{ nm}$ (optik spektrning qizil chegarasi); b) $\lambda_0 = 280 \text{ nm}$ (Ultrabinafsha diapazon yaqini).

2.60. 2.5.-rasmga qarang.

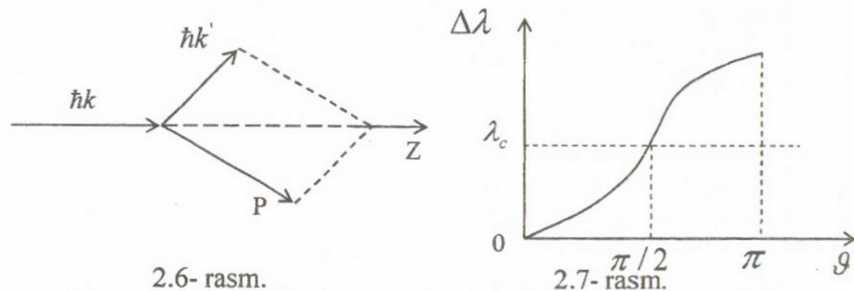
2.61. Turli chiqish ishiga ega bo'lgan turli materiallardan yasalgan fotokatodlar uchun to'g'ri chiziqlar. To'g'ri chiziqlar og'ishining burchak koeffitsientlari \hbar/e nisbatga teng.

2.62. a) $\Delta\lambda = 4\pi \frac{\hbar}{mc} \sin^2 \frac{\theta}{2}$; b) $\text{ctg} \phi = (1 + \hbar\omega / mc^2) \text{tg} \theta / 2$.

2.63. a) $\hbar\omega' = 0,2 \text{ MeV}$; b) $\dot{O} = 0,26 \text{ MeV}$.

2.64. $\frac{\omega' - \omega}{\omega'} \approx \frac{v}{c} \cos \theta$

2.65. Tenglamalarda oltita noma'lum kattalik $p(p, \vartheta, \phi)$ va $k'(k', \theta, \phi)$ bor (2.6.-rasm).



2.6.-rasm.

2.7.-rasm.

2.66. Energiya va impulsning saqlanish qonuni keltirilgan jarayon uchun ushbu tenglamalar sistemasiga olib keladi:

$$\begin{cases} \hbar\omega / c = p, \\ \hbar\omega + m_0c^2 = (p^2c^2 + m_0^2c^4)^{1/2}, \end{cases}$$

Bu esa shartga mos kelmaydi.

2.67. Yo'q (oldingi masala javobiga qarang).

2.68. \hbar, m, c . Uzunlik o'lchov birligini beradigan $\hbar / mc = \lambda_c$ kombinatsiya, m massali zarra uchun Kompton to'liq uzunligini beradi.

2.69. $0,165 \text{ MeV}$; $0,236 \cdot 10^{-21} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

2.70. $E_e = \frac{\alpha}{1+\alpha} E_f = \frac{1}{5} E_f = 0,4 \text{ MeV}$.

2.71. $\phi = \pi / 2$.

2.72.a) $\Delta E / E = \lambda_c / (\lambda + \lambda_c) \approx \lambda_c / \lambda = 0,347 \cdot 10^{-5}$

($\lambda_c = 2\pi\hbar / m_0c = 0,002426$ - elektronning Kompton to'liq uzunligi);

b) $\vartheta = 2\pi\hbar\sqrt{2} / \lambda m_e = 1,47 \text{ km/s}$.

2.73. $\vartheta = \frac{c}{\sqrt{1+\lambda/\lambda_c}} \approx \frac{c}{\sqrt{2}}$, bu yerda: $\lambda_k = \frac{h}{mc} = 0,0024 \text{ m}$ -

elektronning Kompton to'liq uzunligi.

2.74. Agar elektronning metalldan A chiqish ishiga xos kattalik sifatida 1 eV tanlansa, tashqi fotoeffekt qizil chegarasi $\lambda \leq 2\pi\hbar c / A$, bundan fotoeffekt sodir bo'ladigan to'liq uzunligi $\lambda \approx 0,3 \text{ mkm}$ atrofida

(ultrabinafsha nurlanishiga yaqin soha) bo'ladi. Elektronidagi Kompton effektiga xos to'liq uzunligi $\lambda \geq \lambda_c$,

$\lambda \sim 10^{-13} \text{ m}$ (rentgen nurlanishi sohasi).

2.75. $\theta = \arccos\left(\frac{\hbar c}{\lambda_c \varepsilon}\right) = 60^\circ$.

2.76. $\Delta\lambda = 0,00135 \text{ nm}$, $\cos \theta = 1 - \frac{\Delta\lambda m_0 c}{h}$, $\theta = 68^\circ 20'$.

2.77. 2.7- rasmga qarang. $\vartheta \ll 1$ da $\Delta\lambda \approx \lambda_c (\vartheta^2 / 2)$.

2.78. Fotonning orqaga qaytishdagi maksimal Kompton siljishi: $\vartheta = \pi$. a) $\Delta\lambda_{\max} = 4,9 \text{ nm}$; b) $\Delta\lambda_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.

2.79. $\hbar\omega = m_e c^2$. $\hbar\omega = 0,5 \text{ MeV}$ (Yadroning γ -nurlanishi).

2.80. $(\Delta\lambda)_{\max} = 2\lambda_k m_e / m_p = 2,643 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$, bu yerda: λ_k - elektronning Kompton to'liq uzunligi.

2.81. $E_\gamma = 2m_0c^2 = 1,877 \text{ GeV}$, m_0 - protonning tinchlikdagi massasi

2.82. $E_k = 0,5 \text{ MeV}$; $p = 4,7 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

2.83. a) $E_k = (\varepsilon^2 / m_p c^2)(1 - \cos \theta) = 1,07 \text{ keV}$,

b) $\vartheta = c\sqrt{2E_k / m_p c^2} = 1,5 \cdot 10^5 c = 4,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

2.84. $\phi = 67,5^\circ$.

3-§. Bor atomi

3.1. 1) $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $r_2 = 2,12 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $r_3 = 4,47 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; 2) $\vartheta_1 = 2,19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$; $\vartheta_2 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$; $\vartheta_3 = 7,3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$.

3.2. $2,27 \cdot 10^{39}$

3.3. $E_1 = 5,13 \cdot 10^9 \text{ V/sm}$, $E_4 = 32 \cdot 10^7 \text{ V/sm}$.

3.4. $r \approx 3,0 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.

3.5. $v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{ma^3}}$, bu yerda: a - musbat zaryadlangan sfera radiusi,

ya'ni Tomson atomining radiusi, e - elektronning zaryadi va m - elektronning massasi.

3.6. $r \approx 0,16 \text{ nm}$; $\lambda = 0,24 \text{ mkm}$.

3.7. $j = e\vartheta = \frac{enh}{2\pi mr}$.

3.8. $p_m = \frac{eh\varepsilon_0}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$.

3.9. $r = 2,42 \cdot 10^{-13} \text{ m}$.

3.10. 212 pm.

3.13. Uchinchi orbitdan ikkinchisiga, ikkinchidan birinchisiga va uchinchidan birinchiga o'tganda turli energiyali kvantlar chiqadi.

3.14. 1 Mm/s

3.15. 12,1 eV.

3.16. 0,122 mkm.

3.17. Vodorodsimon atomlarning nurlanish chastotasi:

$$\nu = RcZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Orbitalar radiuslari nisbati:

$$\frac{r_n}{r_m} = \frac{n^2}{m^2} = k.$$

bo'lgani uchun

$$\nu = \frac{RcZ^2}{n^2} (1 - k).$$

3.18. $\nu_{\max} = 0,82 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$; $\nu_{\min} = 0,45 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.

3.19. $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$; $H_\alpha = 656,3 \text{ nm}$; $H_\beta = 486,1 \text{ nm}$; $H_\gamma = 434,0$

nm.

3.20. $\nu_1 = 4,57 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; $\nu_2 = 6,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

3.21. $\lambda_L = 121,6 \text{ nm}$; $\lambda_p = 1875,1 \text{ nm}$; $\lambda_B = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ nm} = 4,05 \text{ mkm}$;

$\lambda_{pf} = 7,40 \cdot 10^{-7} \text{ sm} = 7,40 \text{ mkm}$.

3.22. $\lambda = 4 / R \approx 364,7 \text{ nm}$.

3.23. $\lambda_1 = 4 / 3R_H = 121,5682 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 9 / 8R_H = 102,57317 \text{ nm}$,

$\lambda_3 = 36 / 5R_H = 656,46828 \text{ nm}$.

3.24. $V_{He} = 4V_H = 54 \text{ V}$; $V_{Li} = 9V_H = 122 \text{ V}$.

3.25. $g = \frac{h}{m\lambda} = 3,25 \text{ m/s}$.

3.26. $\nu = \frac{cR}{4} + \frac{m_e g^2}{2h} = 1,07 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.

3.27. $T = 1,43 \cdot 10^{-16} \text{ s}$, $\omega = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$.

3.28. $\lambda_1 = 6570 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 4870 \text{ \AA}$, $\lambda_3 = 4340 \text{ \AA}$.

3.29. 13,6 eV.

3.30. $\lambda_1 = 3650 \text{ \AA}$, dan $\lambda_2 = 6560 \text{ \AA}$, gacha.

3.31. 10,2 V.

3.32. 0,116; 0,540 va 1,014 mkm.

3.33. 26,5 pm; $4,36 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

3.34. $E_n = n\hbar\omega$, $\omega = \sqrt{k/m}$, $n=1,2,\dots$

3.36. $E_{n_1, n_2, n_3} = \sum n_i \hbar \omega_i$, $\omega_i = \frac{k}{m_i}$, $n_1, n_2, n_3 = 0, 1, 2, \dots$

3.38. $n_0 = 2,4 \cdot 10^7 \text{ sm}^{-3}$.

3.39. 1) $\frac{F_e}{F_g} = \frac{e^2}{m_e^2 G} = 4,2 \cdot 10^{42}$; 2) $\frac{F_{pp}}{F_g} = \frac{e^2}{m_p^2 G} = 1,24 \cdot 10^{36}$;

3) $\frac{F_{pe}}{F_g} = \frac{e^2}{m_p m_e G} = 2,27 \cdot 10^{39}$.

Bu yerda: G – gravitatsion doimiy. Masala natijasi o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi zarralar orasidagi masofaga bog'liq emas.

3.40. $x = x_0 \cos(\omega t + \phi)$, $x_0 = (e_0 \epsilon_{0x} / m_0) / \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 - 4\beta^2 \omega^2}$,

$\text{tg}\phi = 2\beta\omega / (\omega_0^2 - \omega^2)$, $\beta = g / 2m$, $\omega_0 = \sqrt{k/m_0}$.

3.41. 2,56 eV.

3.42. ~364,7 nm

3.43. E.Rezerford, 1911 y.

3.44. $3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

3.45. $3,64 \cdot 10^{-22} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$

3.46. Gazlar ionizatsiyasi va fotoelektrik effekt

3.47. $2,6 \cdot 10^{-13} \text{ m}$

3.48. $e = 1,684 \cdot 10^{-19} \text{ kl}$

3.49. $1,24 \cdot 10^{36}$

3.50. $m_e = 0,511 \text{ MeV}$, $m_p = 938 \text{ MeV}$.

3.51. 0,412, 0,863, 0,9957.

3.52. 1,156

3.53. 1,00206

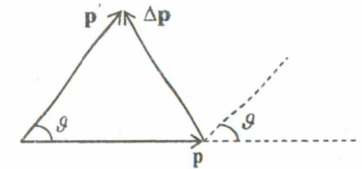
3.54. $3,1 \cdot 10^{-14} \text{ m}$

3.55. $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$.

3.57. 3.1-rasmga qarang.

$|\Delta p| = 2 \left[\frac{2m_\alpha T}{1 + (Tb/Ze^2)^2} \right]^{1/2}$, bu yerda:

m_α , α -zarraning massasi.



3.1- rasm.

3.58. $E = m\vartheta_\infty^2 / 2$, $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, $\mathbf{M}_0 = [\mathbf{r}\mathbf{p}] = m\mathbf{v}_\infty \mathbf{b}\mathbf{n}$, bu yerda: 3.2-rasm tomonga yo'nalgan birlik vektor. Bu yerda: M_0 va E saqlanuvchi kattaliklar.

3.59. $\vartheta_{\min} = \vartheta_\infty (b / r_{\min})$. Markaz zarrani itargan holda $r_{\min} > b$, $\vartheta_{\min} < \vartheta_\infty$. Markaz zarrani tortgan hol uchun: $r_{\min} < b$, $\vartheta_{\min} > \vartheta_\infty$.

$$3.60. \text{ a) } T_{\min} = \frac{mv_{\min}^2}{2} = T_\infty \left(\frac{b}{r_{\min}} \right)^2; \text{ b) } U_{\min} = T_\infty - T_{\min} = T_\infty \left[1 - \left(\frac{b}{r_{\min}} \right)^2 \right].$$

$b=0$ da: $T_{\min} = 0$ va $U_{\min} = T_\infty$.

$$3.61. \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r_{\min}} = T_\infty \left[1 - \left(\frac{b}{r_{\min}} \right)^2 \right] \quad (3.60 - \text{masalaga qarang}). \text{ Bu}$$

tenglamaning yechimi quyidagi natijaga olib keladi.

$$r_{\min} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2T_\infty} + \left[\left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2T_\infty} \right)^2 + b^2 \right]^{1/2}. \quad b=0 \text{ da:}$$

$$r_{\min} = \begin{cases} \frac{Z_1 Z_2 e^2}{T}, & Z_1 Z_2 e^2 > 0 \text{ (zarralarning itarishishi)} \\ 0, & Z_1 Z_2 e^2 < 0 \text{ (zarralarning tortishishi)} \end{cases}$$

$Z_1 Z_2 e^2 / T$ -parametr zaryadlari bir xil ishorali zarralarning peshana to'qnashidagi minimal masofa.

$$3.62. r_{\min} = Z_1 Z_2 e^2 / T = 2Ze^2 / T. \quad r_{\min} = 2 \cdot 10^{-13} \text{ m.}$$

3.63. $d\sigma(\vartheta, \varphi) = d\Phi(\vartheta, \varphi) / j$, bu yerda: $d\Phi(\vartheta, \varphi)$, ϑ, φ - burchaklar yo'nalishidagi $d\Omega$ fazoviy burchak bo'yicha sochilayotgan zarralar oqimi. j -uchayotgan zarralarning oqim zichligi.

$$3.64. d\sigma(\vartheta) = 2\pi b(\vartheta) \left| \frac{db(\vartheta)}{d\vartheta} \right| d\vartheta = 2\pi \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2T} \right)^2 \frac{\sin \vartheta d\vartheta}{4 \sin^4(\vartheta/2)}.$$

$$3.65. 2,3 \cdot 10^6 \text{ m/c.}$$

$$3.66. \text{ a) } E_D - E_H = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ eB; b) } V_D - V_H = 2,8 \text{ MB; v) } \lambda_H - \lambda_D = 0,33 \text{ \AA.}$$

$$3.67. \text{ a) } 2,85 \cdot 10^{-13} \text{ m; b) } 2,53 \text{ keV; c) } \lambda \approx 35 \text{ \AA.}$$

4-§. Zarrachalarning to'liqin xususiyatlari

$$4.1. 0,39 \text{ \AA} \text{ va } 0,0091 \text{ \AA}; 0,15 \text{ keV} \text{ va } 0,082 \text{ eV.}$$

$$4.2. \lambda_1 = 12,3 \text{ \AA}, \lambda_2 = 1,23 \text{ \AA.}$$

$$4.3. 0,122A^0, 0,0087A^0.$$

$$4.4. \lambda = 1,8A^0$$

$$4.5. 0,38 \text{ keV.}$$

4.6. 1) $\lambda = 7,3 \text{ \AA}$; 2) $\lambda = 1,44 \text{ \AA}$; 3) $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ sm}$, ya'ni sharchaning to'liqin xossalari payqab bo'lmaydi.

4.7. Bor birinchi postulatiga asosan: $m\vartheta r = nh / 2\pi$. Bundan: $\lambda / 2\pi r = n$.

$$4.8. m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

4.9. Vodorod uchun: $\lambda_1 = 0,0284 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 0,284 \cdot 10^{-5} \text{ nm}$, $\lambda_3 = 0,151 \text{ nm}$; Simob uchun: $\lambda_1 = 0,002 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$, $\lambda_3 = 0,0107 \text{ nm}$.

$$4.10. E_e = \frac{h^2}{2\lambda^2 m} \approx 6,7 \cdot 10^{-17} \text{ J} = 419 \text{ eV}. \quad E_p \approx 3,7 \cdot 10^{-20} \text{ J} \approx 0,23 \text{ eV.}$$

$$4.11. 0,1 \text{ \AA.}$$

$$4.12. T = m_0 c^2 (\sqrt{1 + 4\pi^2} - 1) = 2,74 \text{ MeV.}$$

$$4.13. 5,18 \cdot 10^{-15} \text{ m.}$$

$$4.14. E_k = E_0 (\sqrt{2} - 1) = 6,23 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 389 \text{ MeV.}$$

$$4.15. 2,75 \cdot 10^{-11} \text{ m.}$$

4.16. De Broyl to'liqinlaridan hosil qilingan paket cho'zilib-yoyilib ketadi. Chunki ushbu to'liqinlar uchun vakuumda ham dispersiya mavjud bo'ladi.

$$4.17. \vartheta_n = \frac{d\omega}{dk} = \frac{dE}{dp} = \frac{d}{dp} \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4} = \vartheta$$

$$4.18. 0,6 \text{ \AA.}$$

$$4.19. \lambda = 6,63 \cdot 10^{-32} \text{ m.}$$

$$4.20. \lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E_0 \sqrt{3}} \approx 7,7 \cdot 10^{-16} \text{ m.}$$

$$4.21. 8,8 \cdot 10^{-35} \text{ m.}$$

$$4.22. \vartheta = 2,72 \cdot 10^3 \text{ m/sek}, \quad \lambda = 1,45A^0$$

$$4.23. f(\lambda) \approx \lambda^{-4} e^{-2\lambda^2/\lambda^2}, \quad \lambda_m = \pi \hbar / \sqrt{mk_A T}.$$

$$4.24. t \approx \frac{p^2}{h \frac{d^2 E}{dp^2}}$$

$$4.25. 4 \cdot 10^{-9} \text{ sm.}$$

$$4.26. 8,8 \cdot 10^{-35} \text{ m.}$$

$$4.27. U = h^2 / 2me\lambda^2 = 0,15 \text{ kV.}$$

$$4.28. \lambda = \sqrt{5/3} \lambda.$$

$$4.29. \bar{\lambda}(v) = \int_0^v \lambda dN / \int_0^v dN, \quad \lambda(\infty) = \int_0^\infty \frac{h}{mv} \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv,$$

yoki $\lambda(\infty) = \frac{h}{mv_b} 4 \int_0^{\infty} te^{-t^2} dt = \frac{h}{mv_b} 4M_1(\infty) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{h}{mv_b}$.

4.30. $x = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

4.31. $x = 75 \text{ sm}$.

4.32. $d = \pi \hbar k / \sqrt{2mT} \cos(\alpha/2) = 0,21 \text{ nm}$, $k = 4$.

4.33. $\Delta\lambda_{\text{sum}} = \frac{\lambda^2}{2\pi r} \cong 5,2 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.

4.34. $\Delta\vartheta_x \cong h/m \cdot \Delta x$. Sharcha uchun $\Delta\vartheta_x \cong 10^{-22} \text{ sm/s}$, elektron uchun $\Delta\vartheta_x \cong 10 \text{ km/s}$. Bu yerdan ko'rinadiki, yuqori aniqlik bilan sharchaning harakati klassik trayektoriya bo'yicha sodir bo'ladi deb aytish mumkin. Elektron uchun esa bunday xulosa qilib bo'lmaydi.

4.35. $E_{\text{bog}} \approx \frac{m_0 e_0^4}{2\hbar^2} = 13,6 \text{ eV}$, $\alpha_0 = \frac{\hbar^2}{m_0 e_0^2} = 0,53 \text{ \AA}$.

4.36. $5,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

4.37. $\Delta E' = h/2\pi t \approx 5,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

4.38. $\Delta x \geq 2,2 \cdot 10^{-27} \text{ m}$.

4.39. $\Delta\lambda \approx 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.

4.40. Yo'q.

4.41. $P = 1/2$.

4.42. $U \approx 2 \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1} E = 20 \text{ keV}$.

4.43. $\Delta E \cong 1 \text{ eV}$.

4.44. $4,18 \text{ eV}$, $16,71 \text{ eV}$, $37,60 \text{ eV}$.

4.45. $5,49 \cdot 10^{-61} \text{ n}^2 \text{ J}$; $1,35 \cdot 10^{30} \text{ J}$; $1,48 \cdot 10^{-30} \text{ J}$.

4.47. $\Delta\vartheta \geq 1,1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

4.48. Atomda elektronning birinchi Bor orbitalari bo'yicha klassik harakatiga oid tassavur ma'noga ega bo'lishi uchun $\Delta r \ll r$ munosabat bajarilishi lozim, bu erda $r = \hbar^2 / me^2$ - ushbu orbita radiusi, Δr - uning elektron o'rnini aniqlashdagi noaniqligi. Unga mos radial impulsning noaniqligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta p \approx \frac{h}{\Delta r} \gg \frac{h}{r} = \frac{2\pi\hbar}{r} = \frac{2\pi me^2}{\hbar},$$

bu elektron impulsi, ya'ni $p = me^2 / \hbar$ dan ham katta bo'ladi. Agar bosh kvant soni juda katta bo'lmasa, mazkur xulosa boshqa orbitalar uchun ham o'rinli bo'ladi.

4.49. $0,0625$.

4.50. $E = \frac{k^2 \hbar^2}{2m_0} = \frac{m_0 g^2}{2}$.

4.51. $\lambda_2 / \lambda_1 = \sqrt{\frac{E_k}{E_k - eU}} \approx 1,05$.

4.52. $E = \frac{\hbar^2}{8m} \left(\frac{n_1^2}{a_1^2} + \frac{n_2^2}{a_2^2} + \frac{n_3^2}{a_3^2} \right)$.

4.53. $l = \hbar \sqrt{\frac{2n+1}{12mkT}} \cong 5,4 \cdot 10^{-9}$

4.54. $0,2$.

4.55. $E = \alpha \hbar^2 / m$, $U(x) = (2\alpha^2 \hbar^2 / m)x^2$.

5-§. Spektrlar. Atomlarning elektron qobiqlari

5.1. Ikkita s-elektron; ikkita s-elektron va oltita r-elektron; ikkita s-elektron, oltita p-elektron va o'nta d-elektron.

5.2. $M = \hbar\sqrt{3/4}$.

5.3. a) $M^2 = 2\hbar^2$; b) $M^2 = 12\hbar^2$.

5.4. $\mu = \sqrt{3}\mu_0$, $\mu_0 = \frac{e_0 \hbar}{2m_0 c}$.

5.5. $\mu = \mu_A \sqrt{6}$: $\mu_z = g\mu_A \dot{\vartheta}_z$; $2\mu_A$, $1\mu_A$, 0 , $-1\mu_A$, $-2\mu_A$.

5.6. Bir xil n va l kvant sonlarga ega bo'lgan elektronlar qobiqchani hosil qiladi. Qobiqchada bo'lish mumkin bo'lgan maksimal elektronlar soni $2(2l+1)$ ga teng; Atomda n bosh kvant soni bir xil bo'lgan elektronlar to'plami elektron qobiq deb ataladi. Qobiqdagi maksimal elektronlar soni

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

5.7. Qobiqdagi maksimal elektronlar soni $N_{\text{max}} = 2n^2$ bo'lgani uchun: 2; 8; 18; 32; 50.

5.8. a) 0, 1, 2, 3, 4; b) va v) 1, 2, 3, 4, 5; g) 1/2, 3/2, 5/2.

5.9. $3S_{1/2}$, $3P_{1/2}$, $3P_{3/2}$, $3D_{3/2}$, $3D_{5/2}$.

5.10. Birinchi, ikkinchi, uchinchi, to'rtinchi va oltinchi.

5.11. 5F_1 , 5F_2 , 5F_3 , 5F_4 , 5F_5 .

5.12. a) va b) bittadan; v) ikkitadan, g) va d) uchtadan, e) beshtadan.

5.13. ${}^2F_{5/2}$.

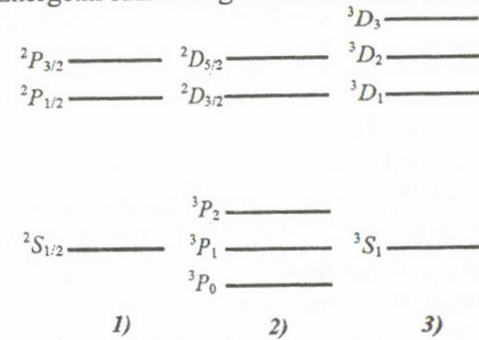
5.14. 5, 6, 7, ...

5.15. a) $x=1$, b) $x=3, 5, 7$, c) $x=2, 4, 6, 8$, d) $x=6, 8$.

5.16. 1) 1; 2) 2; 3) $2(2l+1)$; 4) $2n^2$.

- 5.17. 1) 9; 2) 4; 3) 2; 4) 3; 5) 5.
- 5.18. 4P holat uchun: $\hbar\sqrt{3/4}$, $\hbar\sqrt{15/4}$ va $\hbar\sqrt{35/4}$; 5D holat uchun: 0 , $\hbar\sqrt{2}$, $\hbar\sqrt{6}$, $\hbar\sqrt{12}$, $\hbar\sqrt{20}$.
- 5.19. a) 1, 3, 5, 7, 9; b) 2, 4, 6; v) 5, 7, 9.
- 5.20. 1P_1 , 1D_2 , 1F_3 , ${}^3P_{0,1,2}$, ${}^3D_{1,2,3}$, ${}^3F_{2,3,4}$.
- 5.21. Ikkinchi va uchinchi.
- 5.22. 1) $1s^22s^2p^1$; 2) $1s^22s^2p^2$; 3) $1s^22s^2p^63s^1$.
- 5.23. a) 1S_0 ; b) 1P_1 , 3P_2 , 3P_1 , 3P_0 ; c) 1S_0 , 3P_2 , 3P_1 , 3P_0 , 1D_2 .
- 5.24. a) ${}^4F_{9/2}$; b) ${}^2P_{1/2}$.
- 5.25. a) 3F_4 va 1G_4 , $M_J = \hbar\sqrt{20}$; b) 1S_0 va 3P_0 , $M_J = 0$
- 5.26. 5F_1 .
- 5.27. $M_J = \hbar\sqrt{3/4}$.
- 5.28. As ($Z=33$).
- 5.29. ${}^2P_{3/2}$.
- 5.30. $\mu = (\mu_B/2)\sqrt{125}$.
- 5.31. $X=2$.
- 5.32. $1s^22s^22p$.
- 5.33. $l=3$ va 4 .
- 5.34. a) ${}^2F_{7/2}$, $P_{\max} = \frac{\sqrt{63}}{2}\hbar$; b) 3F_4 , $P_{\max} = 2\sqrt{5}\hbar$.
- 5.35. a) $1s^2$; b) $1s^22s^22p^6$; v) $1s^22s^22p^63s^23p^6$; g) $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^{10}4p^6$.
- 5.36. a) $1s^22s^1$, $2^2S_{1/2}$; b) $1s^22s^22p^63s^1$, $3^2S_{1/2}$; v) $1s^22s^22p^63s^23p^64s^1$, $4^2S_{1/2}$.
- 5.37. $1s^22s$ (${}_3\text{Li}$); $1s^22s^2$ (${}_4\text{Be}$); $1s^22s^22p$ (${}_5\text{B}$); $1s^22s^22p^2$ (${}_6\text{C}$); $1s^22s^22p^3$ (${}_7\text{N}$); $1s^22s^22p^4$ (${}_8\text{O}$); $1s^22s^22p^5$ (${}_9\text{F}$); $1s^22s^22p^6$ (${}_{10}\text{Ne}$).
- 5.38. $\mu_j = 2\sqrt{3}\mu_B$, $\mu_{jz} = 3\mu_B, 2\mu_B, 1\mu_B, 0, -1\mu_B, -1\mu_B, -2\mu_B, -3\mu_B$.
- 5.39. a) $\Delta E=0$, b) $\Delta E=116$ mkeV, c) $\Delta E=232$ mkeV, d) $\Delta E=348$ mkeV.
- 5.40. Ikkinchi, to'rtinchi, beshinchi va yetinchi.
- 5.41. S holatda 2, P holatda $2/3$ va $4/3$.
- 5.42. 1) 4; 2) 5; 3) $g=0$ bo'lgani uchun ajralmaydi.
- 5.43. $\Delta\omega_0 = 0,879 \cdot 10^{11} \text{ c}^{-1}$.
- 5.44. a) va b) $\Delta\omega_0 = 0,88 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$, c) va d) $\Delta\omega_0 = 0,59 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$, e) $\Delta\omega_0 = 0,44 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$.

5.45. 1) 2S term uchun: $J=1/2$; 2P term uchun: $J=1/2, 3/2$; 2) 3P term uchun: $J=0, 1, 2$; 3D term uchun: $J=3/2, 5/2$; 3) 3S term uchun: $J=1$; 3D term uchun: $J=1, 2, 3$. Energetik sathlarning sxemasi rasmda tasvirlangan.



5.46. $\Delta\lambda = \lambda^2 eB / 2\pi mc^2 = 35 \text{ pm}$.

5.47. a) singlet holatdan tashqari, $g=2$; b) $g=1$.

5.48. a) $-2/3$; b) 0 ; v) 1 ; g) $5/2$; d) $0/0$.

5.49. $H = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{4\pi m_e c}{\mu_0 e \lambda} \approx 3 \cdot 10^6 \text{ A/m}$.

5.51. a) Al uchun 843 pm, Co uchun 180 pm; b) $\Delta E=5 \text{ keV}$.

5.52. 154 pm.

5.53. uchta.

5.54. $Z = 1 + 2\sqrt{\Delta\omega / 3R} = 22$, titan.

5.55. a) oddiy; b) murakkab; v) oddiy; g) oddiy (bu yerda ikkala termlar uchun Lande faktori bir xil).

5.56. $\Delta\omega = 2(m_1 g_1 - m_2 g_2)_{\max} \mu_B B / \hbar = 1,0 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$.

5.57. 154 pm.

5.58. $\sigma_K \approx 1$ va $\sigma_L \approx 7$ qiymatlarda $U_2 \approx 76 \text{ kV}$.

5.59. 8,5 marta kichik.

5.60. $\lambda_K = \frac{2\pi\hbar c}{R_e(Z-1)^2}$, bu yerda $R_e = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2}$. Bu kattalikka Ridberg

doimiysi ham deyiladi. Uning qiymati 13,6 eV ga teng. Demak, $\lambda_K \approx 0,13 \text{ nm}$.

5.61. 1,54 keV.

5.62. 0,26 keV.

II bob. Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi

6-§. Atom yadrosining xususiyatlari

6.1. ${}^1_1\text{N}$ uchun $m_{1H} = 1,00783$, ${}^{27}_{13}\text{Al}$ uchun $m_a = 26,98154$, neytron uchun $m_n = 1,00867$. Demak,

$$\Delta m = [13 \cdot 1,00783 + (27 - 13) \cdot 1,00867 - 26,98154] m.a.b.$$

yoki $\Delta m = 0,24163 m.a.b.$

6.2. $\varepsilon = 7,76 \text{ MeV}.$

6.3. Veyszekker formulasidan foydalanib, solishtirma bog'lanish energiyasini topamiz, ya'ni: $\varepsilon({}^{238}_{92}\text{U}) = 7,5 \text{ MeV}$, $\varepsilon({}^{60}_{28}\text{Ni}) = 8,69 \text{ MeV}$.

6.4 ${}^8\text{Be}$, $E_{\text{bog'}} = 56,5 \text{ MeV}$.

6.5. Zarralarning yadrodagi bog'lanish energiyasi deb, ularning yadrodan ajratish uchun sarf qilinadigan energiyaga aytiladi. Agar ${}^{17}_8\text{O}$ yadrosidan bitta ${}^1_0\text{n}$ neytron ajratilsa, elektr zaryadi va nuklonlar soni saqlanish qonuniga binonan ${}^{16}_8\text{O}$ yadrosi hosil bo'ladi. Neytronni ajratish uchun sarf qilinadigan energiya quyidagi formula yordamida topiladi:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

bu yerda Δm - neytron ajralish natijasida sistema massasi o'zgarishi, ya'ni:

$$\Delta m = (m_{16O} + m_n) - m_{17O}$$

yoki

$$\Delta E = c^2 [(m_{16O} + m_n) - m_{17O}]$$

bu yerda m_{16O} , m_{17O} va m_n - mos holda ${}^{16}\text{O}$, ${}^{17}\text{O}$ yadrolar va neytronning tinchlikdagi massalari. Agar ${}^{16}\text{O}$, ${}^{17}\text{O}$ izotoplar yadro massalarini jadvalda keltirilgan atom massalari qiymatlariga almashtirsak, kvadrat qavs ichi o'zgarishligi aniq. U holda hisoblash natijalaridan quyidagi qiymatni olamiz:

$$\Delta E = 931 [(15,99491 + 1,00867) - 16,999131] \text{ MeV} = 4,14 \text{ MeV}.$$

6.6. $E = 20\varepsilon_{Ne} - 2 \cdot 4\varepsilon_\alpha - 12\varepsilon_C = 11,9 \text{ MeV}$, bu yerda ε - yadrodagi nuklonning bog'lanish energiyasi.

6.7. Atom yadrosining o'rtacha radiusi $R = r_0 A^{1/3}$ bo'lsa, yadro materiyasining zichligi quyidagicha topiladi.

$$\rho = \frac{A \cdot m_N}{V_{\text{Я}}} = \frac{A \cdot m_N}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3A \cdot m_N}{4\pi \cdot r_0^3 A} = \frac{3m_N}{4\pi r_0^3}$$

bu ifodaga m_N nuklonning massasi va $r_0 = (1,2 + 1,6) \cdot 10^{-13} \text{ sm}$ qiymatlarini qo'yib, $\rho \approx 2 \cdot 10^{14} \text{ g/sm}^3$ ekanligini topamiz. Nuklonning radiusi $r_N = 0,8 \cdot 10^{-13} \text{ sm}$ ekanligidan foydalansak, bitta nuklonning hajmi

$$V_N = \frac{4}{3}\pi r_N^3$$

Yadroda A ta nuklon bo'lsa, ularning egallagan hajmi:

$$V = AV_N = \frac{4}{3}\pi A r_N^3$$

Yadroning hajmi esa: $V_{\text{Я}} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r_0^3 A$

Demak, nuklonlarning yadro hajmini egallagan qismi

$$\delta = \frac{V}{V_{\text{Я}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r_N^3 A}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A} = \frac{r_N^3}{r_0^3}$$

6.8. Yadro markazidan uni zichligi $0,9 \rho_0$ ga teng qismigacha bo'lgan masofani r desak va zichlik $0,1 \rho_0$ bo'lgan qismigacha masofani $r + x$ desak

$$\rho(r) = 0,9 \rho_0 = \rho_0 \left[1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right) \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\rho(r+x) = 0,1 \rho_0 = \rho_0 \left[1 + \exp\left(\frac{r+x-R}{a}\right) \right]^{-1} \quad (2)$$

Bulardan:

$$0,9 = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

$$0,1 = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r+x-R}{a}\right)}$$

ekanligini topamiz va ularni soddalashtirib mos ravshda

$$e^{\left(\frac{r-R}{a}\right)} = \frac{1}{9}$$

$$e^{\left(\frac{r+x-R}{a}\right)} = 9$$

ko'rinishda yoza olamiz. Bu tenglamalardan,

$$r - R = -a \ln 9$$

$$r + x - R = a \ln 9$$

ekanligi kelib chiqadi. Bundan, $x = 2a \ln 9 \approx 4,4 a$ ga teng ekanligini topamiz.

6.9. $E({}^9\text{Ve}) = 6,38 \text{ MeV}$; $E({}^{19}\text{F}) = 7,37 \text{ MeV}$; $E({}^{127}\text{I}) = 8,43 \text{ MeV}$.

6.10. a) $8,0225 \text{ m.a.b.}$; 6) $10,0135 \text{ m.a.b.}$

6.11. $\varepsilon({}^4_2\text{He}) = 7,07 \text{ MeV}$; $\varepsilon({}^3_2\text{He}) = 2,87 \text{ MeV}$; $\varepsilon({}^7_3\text{Li}) = 5,61 \text{ MeV}$.

Bundan ${}^4_2\text{Ne}$ yadrosining solishtirma bog'lanish energiyasi qolgan qo'shni yengil yadrolarnikidan katta ekanligini ko'ramiz.

6.12. Yadroning solishtirma bog'lanish energiyasi

$$\epsilon = \frac{1}{A} \left[\alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \zeta \frac{(A-Z)^2}{A} + \delta \frac{\lambda}{A^{3/4}} \right]$$

$$\delta = \begin{cases} +1 & \text{juft - juft yadrolar uchun} \\ 0 & \text{toq - juft yadrolar uchun} \\ -1 & \text{toq - toq yadrolar uchun} \end{cases}$$

$$\alpha = 15,75 \text{ MeV}, \quad \beta = 17,8 \text{ MeV}, \quad \gamma = 0,71 \text{ MeV}$$

$$\xi = 94,8 \text{ MeV}, \quad \lambda = 34 \text{ MeV}$$

Yuqoridagi koeffitsientlarning berilgan qiymatlariga ko'ra hisoblangan solishtirma bog'lanish energiyasi:

$$\epsilon({}_8^{16}\text{O}) = 7,8 \text{ MeV}, \quad \epsilon({}_{14}^{27}\text{Si}) = 8,06 \text{ MeV}$$

$$\epsilon({}_{27}^{60}\text{Co}) = 8,27 \text{ MeV}$$

Mos ravishda tajribada aniqlangan massalarning qiymati:
7,98 MeV, 8,23 MeV, 8,75 MeV.

6.13.

$$\epsilon_{\alpha}({}_{6}^{12}\text{C}) = \frac{1}{3} [M({}_{6}^{12}\text{C}) - 3M({}_2^4\text{He})] = 2,45 \text{ MeV}$$

$$\epsilon_{\alpha}({}_8^{16}\text{O}) = \frac{1}{4} [M({}_8^{16}\text{O}) - 4M({}_2^4\text{He})] = 3,8 \text{ MeV}.$$

6.14. $\Delta m = 1,028$ m.a. b.; $E_{\text{bog}} \approx 960$ MeV; $\epsilon \approx 8,9$ MeV.

6.15. 6,76 MeV; 7,34 MeV.

6.16. $\Delta m = 0,213$ m.a. b.; $E_{\text{bog}} \approx 197$ MeV; $\epsilon \approx 8,21$ MeV.

6.17. $\Delta m = 0,13708$ m.a. b.; $E_{\text{bog}} \approx 128$ MeV; $\epsilon = 8$ MeV.

6.18. 6,42 MeV.

6.19. $E_{\text{bog}} = 23,85$ MeV.

6.20. $\epsilon(\text{U}) = 7,5$ MeV; $\epsilon(\text{Ni}) = 8,69$ MeV.

6.21. 2,22 MeV; 20,55 MeV; 7,24 MeV; 18,7 MeV.

6.22. $E_k = \frac{3e^2 Z(Z-1)}{5R} = 0,69Z(Z-1)A^{-1/3} \approx 0,7Z^2 A^{-1/3}$ MeV.

6.23. $m_{\text{ya}} = 2,49 \cdot 10^{-26}$ kg.

6.24. $m_{\text{ya}} = 11,65 \cdot 10^{-27}$ kg.

6.25. $E_{\text{bog}} = 20,25$ MeV.

6.26. ${}^{11}\text{B}$ va ${}^{11}\text{S}$ yadrolarining bog'lanish energiyalari mos ravishda 73,99 MeV va 76,15 MeV. Bu bog'lanish energiyalar farqi 2,76 MeV. Yadroda zaryad bir xil taqsimlangan deb, Kulon o'zaro ta'sir energiyasini taxminan quyidagicha ifodalash mumkin:

$$E = \frac{3e^2}{5R} Z(Z-1)$$

$$E({}_5^{11}\text{B}) = \frac{3e^2}{5r_0 A^{1/3}} 5(5-1) = \frac{12e^2}{r_0 A^{1/3}}$$

$$E({}_6^{11}\text{C}) = \frac{3e^2}{5r_0 A^{1/3}} 6(6-1) = \frac{18e^2}{r_0 A^{1/3}}$$

$$E({}_6^{11}\text{C}) - E({}_5^{11}\text{B}) = \frac{e^2}{r_0 A^{1/3}} (18-12) = \frac{6e^2}{r_0 A^{1/3}} = 3,06 \text{ MeV}$$

6.27. Yuqoridagi (1,18) masala kabi:

$$E({}_2^3\text{H}) = \frac{3e^2}{5r_0 A^{1/3}} 2(2-1) = \frac{6e^2}{5r_0 A^{1/3}}$$

$$E({}_1^3\text{H}) = 0$$

$$E({}_2^3\text{H}) - E({}_1^3\text{H}) = \frac{6e^2}{5r_0 A^{1/3}}$$

Bu energiyani ${}^3_2\text{He}$ va ${}^3_1\text{H}$ yadrolarning bog'lanish energiyalari farqiga tenglab,

$$R = 2,18 \cdot 10^{-13} \text{ sm} \quad \text{va} \quad r_0 = 1,45 \cdot 10^{-13} \text{ sm}$$

qiymatlarni olamiz.

6.28. Yuqoridagi (1.18) va (1.19) masalalarni yechilish usulidan foydalanib, $R = 3,8$ fermi va $r_0 = 1,5$ fermi topamiz.

6.29. Yadro asosiy holatida simmetriya markaziga ega bo'lganligidan, asosiy holatning to'liq funksiyasi aniq juftlikka ega bo'ladi.

Dipol momenti ta'rifiga ko'ra:

$$D = e \int z |\Psi(r)|^2 dV.$$

Bu formuladagi integral osti funksiyalar $|\Psi(r)|^2$ - juft funksiya, z-esa toq, demak, integral ostidagi funksiya toq bo'ladi. Bundan, $D=0$ ekanligi kelib chiqadi.

6.30. Kvadrupol momentining o'rtacha qiymati:

$$Q = e \int (3z^2 - r^2) |\Psi_J|^2 dV$$

Bu yerda Ψ_J - momenti J bo'lgan holatning to'liq funksiyasi.

$$3z^2 - r^2 = \sqrt{\frac{16}{5}} \cdot r^2 \cdot Y_{20}$$

bo'lganligidan $Q \sim \int \Psi^* Y_{20} \Psi_J d\Omega$

bu yerda: Y_{20} - sferik funksiya. Agarda $J+2 = J$ bo'lsa, ushbu integral noldan farqli bo'ladi. Bu faqat $J \geq 1$ bo'lgandagina o'rinni bo'ladi.

6.31. Yadroni elektron-proton modeliga ko'ra azot atomidagi fermi zarrachalarining soni juft bo'lishi kerak (yadroda 14 ta proton, 7 ta elektron va atomning elektron qobiqlarda esa 7 ta elektron bo'ladi). Bunday sistemaning to'la momenti butun son. Yadroni proton-neytron tuzilish nazariyasida bunday ziddiyat kelib chiqmaydi, chunki azot yadrosida 7 ta proton, 7 ta neytron va atomning elektron qabig'ida 7 ta elektron bo'lib, ular hammasining yig'indisi 21 ta fermi zarrachasiga teng. Bu azot atomining spini yarim butun songa teng bo'ladi.

6.32. Yadroni qobiq modeliga ko'ra, yopiq qobiqlarni tashkil etadi, ya'ni: ${}^4_2\text{He}$ uchun $(1S_{1/2})^4$, ${}^{16}_8\text{O}$ uchun $(1S_{1/2})^4 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^4$

Holatning juftligi quyidagiga teng:

$$P = (-1)^{\sum l_i}$$

bu yerda l -qobiqdagi nuklonlarning orbital momenti. Shunday qilib, to'ldirilgan qobiqlarning spini nolga teng bo'ladi. Demak, bundan ikkala yadroning asosiy holati 0^+ - holatda bo'lish mumkinligi kelib chiqadi.

6.33. Bir zarrali qobiq modeliga ko'ra, ${}^3_1\text{N}$ yadrosining asosiy holati $(1S_{1/2})^3$ konfiguratsiyaga mos tushadi, ya'ni to'ldirilgan $(1S_{1/2})^4$ qobiqda proton "teshik"ini hosil qiladi. Binobarin, protonning "teshik" $(1S_{1/2})$, ya'ni $J^P = (1/2)^+$ holatining spin va juftligi, tritiy yadrosi asosiy holatining spin va juftligini aniqlaydi.

6.34. Yuqoridagi 6.33 masaladagi kabi, orbital magnit momentining nolga tengligidan tritiy yadrosining magnit momenti "teshik" holat magnit momenti $(1S_{1/2})$, ya'ni $\mu = \mu_p = 2,79\mu_0$ ga teng. Modelning taqribiylikidan, bu qiymat tajribadagi qiymatidan biroz farq qiladi.

6.35. Bu yadroning kvant sonlari yopiq qobiq $(1S_{1/2})^4$ dagi bitta neytronning bo'sh o'rni (teshik) holatini ifodalovchi kvant sonlar bilan aniqlanadi:

$$J^P = (1/2)^+ \\ \mu = \mu_n = -1,91\mu_0$$

Magnit momentining tajribadan topilgan qiymati $\mu = -2,13\mu_0$ ga teng.

6.36. Yadrolarning asosiy holati konfiguratsiyasi:

$$(1S_{1/2})^4 (1P_{3/2})^4 1P_{1/2}$$

Yadrolarning asosiy holati kvant sonlari oxirgi to'ldirilgan qobiqdan keyingi qobiqda joylashgan nuklonlarning kvant sonlari bilan aniqlanadi. $1P_{1/2}$ holat uchun $l = 1$ ga teng, bundan juftlik $(-1)^l = -1$ ekanligi kelib chiqadi, demak $J^P = (1/2)^-$

6.37. Spin va juftlik to'ldirilgan qobiqdagi bo'sh joy (teshik) kvant sonlari bilan aniqlanadi.

$$(1P_{1/2})^4; \quad J^P = (1/2)^-$$

6.38. 7/2.

6.39. $T({}_1^2\text{H}) = 0$ va $T({}_2^4\text{He}) = 0$ ${}^3\text{H}$ va ${}^3\text{He}$ uchun $T = \frac{1}{2}$ ga teng.

6.40. Juftlikning saqlanish sharti $[\hat{p}, \hat{H}] = 0$, Bu yerda \hat{p} -akslantirish operatori. Masala shartiga ko'ra to'la gamilton operatori:

$$H = T + V(r) = \frac{P^2}{2m} + \frac{m\omega^2 r^2}{2} (1 + \beta \cos^2 \theta)$$

$$\left[P, \frac{P^2}{2m} \right] = 0 \quad \left[P, \frac{m\omega^2 r^2}{2} \right] = 0 \\ \left[P, \cos^2 \theta \right] = 0$$

6.41.

	p	n	π^+	π^-	π^0	${}^9_4\text{Be}$	${}^{11}_5\text{B}$	${}^{16}_8\text{O}$
T	1/2	1/2	1	1	1	1/2	1/2	0
T ₃	+1/2	-1/2	+1	-1	0	-1/2	+1/2	0.

6.42. Laboratoriya sanoq tizimida yadroning tashqi kuzatiladigan elektr kvadrupol momenti Q uning xususiy kvadrupol momenti Q_0 bilan quyidagicha bog'langan:

$$Q = \frac{J(2J-1)}{(J+1)(2J+3)} Q_0,$$

bu yerda J – yadro spini. Bu yerdan:

$$Q_0 = \frac{7/2 \cdot 8}{5/2 \cdot 4} Q = 1,966.$$

6.43. Yadroning asosiy holatidagi I izospinning qiymati izospin proyeksiyasi moduliga teng: $I = |I_z|$. Z proton va N neytronlardan tashkil topgan yadro izospinining proeksiyasi I_z izospin quyidagiga teng:

$$I_z = \sum_{j=1}^A (I_z)_j = \frac{Z - N}{2}$$

Yadroning asosiy holati uchun: $I = |Z - N|/2$.

Yuqorida keltirilgan yadrolar izospin qiymati:

$${}^{10}\text{C} \text{ uchun } I = (6 - 4)/2 = 1,$$

$${}^{11}\text{C} \text{ uchun } I = (6 - 5)/2 = 1/2,$$

$${}^{12}\text{C} \text{ uchun } I = (6 - 6)/2 = 0,$$

$${}^{13}\text{C} \text{ uchun } I = (7 - 6)/2 = 1/2,$$

$${}^{14}\text{C} \text{ uchun } I = (8 - 6)/2 = 1.$$

6.44. Yadroni ellipsoid shaklda, ellipsoidning yarim o'qlari s va a , yadro zaryadini esa ellips bo'ylab tekis taqsimlangan deb, faraz qilamiz va kvadrupol momentni topamiz:

$$Q = \frac{2}{5} Z(c^2 - a^2)$$

Kichik deformatsiyalar uchun

$$\Delta R = c - a = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{5}{4\pi}} R \beta,$$

bu yerda $R = r_0 A^{1/3}$ yadro radiusi.

Bundan, $Q = \frac{4Z}{5} R^2 \frac{\Delta R}{R} = \frac{3Z}{\sqrt{5\pi}} R^2 \beta$ va $\beta = 0,03$.

6.45. Juft-juft yadrolar uchun

$$E = \frac{\hbar}{2I} J(J+1) \quad (1)$$

Yadro inersiya momenti, deformatsiya parametri β bilan quyidagicha bog'langan:

$$I = 3B\beta^2,$$

bu yerda: $B = \frac{3}{8\pi} mAR^3$, m -nuklon massasi, bulardan

$$\beta^2 = \frac{8\pi\hbar^2}{3mAR^2 E(2^+)} \quad (2)$$

$$E(2^+) = \frac{\hbar^2}{2I} 2(2+1) = \frac{3\hbar^2}{I}; \quad R = r_0 A^{1/3}$$

Bularni (2) ga qo'yib,

$$\frac{\beta_{Ra}^2}{\beta_{Th}^2} = \left(\frac{A_{Th}}{A_{Ra}} \right)^{5/2} \left(\frac{E_{Th}(2^+)}{E_{Ra}(2^+)} \right) \cong 1/2$$

hosil qilamiz. Bundan Th yadrosi Ra yadrosiga qaraganda kuchliroq deformatsiyalanganligi kelib chiqadi.

$$6.46. \beta^2 = \frac{8\pi\hbar^2}{3mAR^2 E(2^+)} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{A^{5/2} E(2^+)} = 0,004$$

bu erda $E(2^+)$ KeV larda ifodalangan.

$$\beta^2 \approx 0,004; \beta \approx 0,06.$$

6.47. $Q = \frac{3Z}{\sqrt{5\pi}} R^2 \beta$ formuladan (1.34. masalaga qarang)

$$\beta = \frac{Q\sqrt{5\pi}}{3ZR^2} = \frac{Q\sqrt{5\pi}}{3r_0 Z A^{2/3}};$$

$$\frac{\beta_{os}}{\beta_u} = \left(\frac{510}{1100} \right) \cdot \left(\frac{92}{76} \right) \left(\frac{238}{188} \right)^{2/3} \approx \frac{1}{2}.$$

6.48. Zaryadi Ze bo'lgan tekis zaryadlangan aksial simmetrik ellipsoid uchun xususiy kvadrupol momenti quyidagiga teng:

$$Q_0 = \frac{2Ze(b^2 - a^2)}{5},$$

bu yerda: b - Z simmetriya o'qi bo'yicha yo'nalgan ellipsoid yarim o'qi, a esa X va Y o'qlari bo'yicha yo'nalgan ellipsoid yarim o'qi. Yadro deformatsiya parametri:

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{b^2 - a^2}{\bar{R}^2}$$

bu yerda $\bar{R} = (b+a)/2$ - yadroning o'rta radiusi. U holda:

$$\beta = \frac{5}{4} \frac{Q_0}{Z(r_0 A^{1/3})^2} = \frac{5 \cdot 5,9}{4 \cdot 71 \cdot (1,2 \cdot 175^{1/3})^2} = 0,002.$$

$$6.49. \hat{j} = \hat{l} + \hat{s} = \hat{l} + \frac{\hat{1}}{2}.$$

Shunga ko'ra:

$$j_{\max} = l + \frac{1}{2}, \quad j_{\min} = l - \frac{1}{2};$$

$$\Delta E_{j_{\max}} - \Delta E_{j_{\min}} = \frac{a}{2} [j_{\max}(j_{\max} + 1) - j_{\min}(j_{\min} + 1)] = a(l + \frac{1}{2})$$

6.50. $(\hat{\mu} \hat{j}) \hat{j} = \hat{\mu} (\hat{j})^2$ operatorning o'rtachasini topamiz:

$$\hat{j}^2 / j l s m \rangle = j(j+1) | j m \rangle,$$

$$\text{ga ko'ra } \langle j m | \hat{\mu} | j m \rangle = \frac{1}{j(j+1)} \langle j m | \hat{\mu} \hat{j} | j m \rangle \langle j m | \hat{j} | j m \rangle,$$

$$\langle j m | \hat{j} | j m' \rangle = e_z \langle j m | \hat{j}_z | j m' \rangle = e_z m \delta_{mm'}$$

ekanligini hisobga olsak, magnit momenti operatori

$$\hat{\mu} = \frac{\langle j m | \hat{\mu} \hat{j} | j m \rangle}{j(j+1)} \hat{j} = g_j \hat{j}.$$

Bu yerda: g_j -giromagnit nisbat.

6.51. 6.50 masala yechimiga ko'ra:

$$g_j = \frac{\langle j m | \hat{\mu} \hat{j} | j m \rangle}{j(j+1)},$$

$$(\hat{\mu} \hat{j}) = g_l (\hat{l} \hat{j}) + g_s (\hat{s} \hat{j}) \quad (\hat{j} - \hat{l})^2 = \hat{s}^2 \text{ va } (\hat{j} - \hat{s})^2 = \hat{l}^2,$$

$$\text{ekanligidan: } (\hat{l} \hat{j}) = \frac{1}{2} (\hat{j}^2 + \hat{l}^2 - \hat{s}^2);$$

$$(\hat{s} \hat{j}) = \frac{1}{2} (\hat{j}^2 - \hat{l}^2 + \hat{s}^2)$$

$$(\hat{\mu} \hat{j}) = \frac{g_l}{2} (\hat{j}^2 + \hat{l}^2 - \hat{s}^2) + \frac{g_s}{2} (\hat{j}^2 - \hat{l}^2 + \hat{s}^2)$$

$$g_j = \frac{1}{j(j+1)} \left\{ \frac{1}{2}(g_l + g_s)j(j+1) + \frac{1}{2}(g_l - g_s)[l(l+1) - s(s+1)] \right\}$$

$$g_j = \frac{1}{2}(g_l + g_s) + \frac{1}{2}(g_l - g_s) \frac{l(l+1) - s(s+1)}{j(j+1)}$$

6.52. $^{17}_8\text{O}$ yadrosining asosiy holatiga $(1S_{1/2})^4(1P_{1/2})^8(1P_{3/2})^4 1d_{5/2}$ konfiguratsiya mos keladi, ya'ni to'ldirilgan qobiqdan tashqarida 1 neytron $1d_{5/2}$ holatda bo'lishini ko'ramiz. Bundan $l=2$; $j=l+\frac{1}{2}=\frac{5}{2}$ ni topib quyidagi formuladan g_j ni aniqlaymiz:

$$g_j = \frac{1}{2} \left[g_s - g_s \frac{l(l+1) - \frac{3}{4}}{j(j+1)} \right] = \frac{1}{2} \left[g_s - g_s \frac{2 \cdot 3 - \frac{3}{4}}{\frac{5}{2}(\frac{5}{2}+1)} \right] = \frac{g_s}{2} \left[1 - \frac{6 - \frac{3}{4}}{\frac{35}{4}} \right] =$$

$$= \frac{g_s}{2} \left[1 - \frac{24-3}{35} \right] = \frac{g_s}{70} [35 - 24 + 3] = \frac{g_s \cdot 14}{70} = \frac{g_s}{5}$$

$$\mu(^{17}_8\text{O}) = g_j \cdot j \mu_0 = \frac{g_s}{5} \cdot \frac{5}{2} \mu_0 = \frac{g_s \mu_0}{2} \text{ neytron uchun } g_s = -3,82, \text{ demak,}$$

$$\mu(^{17}_8\text{O}) = -1,91 \mu_0$$

$^{13}_6\text{C}$ yadrosining asosiy holatiga $(1S_{1/2})^4(1P_{1/2})^8 1P_{3/2}$ konfiguratsiya mos keladi, ya'ni to'ldirilgan qobiqdan bo'ladi. Bundan $l=1$, $j=l-\frac{1}{2}=\frac{1}{2}$ topib, g_j ni aniqlaymiz

$$g_j = \frac{1}{2} g_s \left[1 - \frac{l(l+1) - \frac{3}{4}}{j(j+1)} \right] = -\frac{1}{3} g_s$$

$$\mu(^{13}_6\text{C}) g_j \cdot j \cdot \mu_0 = -\frac{1}{3} g_s \cdot \frac{1}{2} \mu_0 = 0,64 \mu_0$$

6.53. $^3\text{S}_1$ holat uchun $l=0$, $S=S_p+S_n=1$, ya'ni parallel. Bundan $^3\text{S}_1$ holatning magnit momenti proton va neytronning magnit momentlari yig'indisiga teng.

$$\mu = \mu_n + \mu_p = 0,88 \mu_0$$

Bu topilgan qiymatni deytronning magnit momentini tajribada o'lgan qiymati bilan solishtirsa, uncha katta bo'lmagan cheklanishni ko'ramiz. Bu cheklanish deytron faqat $^3\text{S}_1$ holatda bo'lmay, balki juda kichik vaqt mobaynida $^3\text{D}_1$ holatda ham bo'lishini ko'rsatadi.

7.1. Radioaktiv yemirilish qonuniga ko'ra $N(t) = N(0) \exp(-t/\tau)$

a) $t = 10\tau$ vaqtdan keyin qolgan yadrolarning hissasi:

$$N(10\tau) = N(0)e^{-10}$$

Bundan:
$$\frac{N(10\tau)}{N(0)} = e^{-10}$$

b) $\Delta t = t_2 - t_1$ vaqt intervalida parchalangan yadrolar uchun:

$$N(t_1) = N(0)e^{-t_1/\tau} = N(0)e^{-1}$$

$$N(t_2) = N(0)e^{-t_2/\tau} = N(0)e^{-2}$$

$$\Delta N = \frac{N(t_1) - N(t_2)}{N(0)} = e^{-1} - e^{-2} = \frac{1}{e} \left(1 - \frac{1}{e} \right) = \frac{e-1}{e^2}$$

7.2. $P = 1 - \exp(-t/\tau)$; a) $P=0,63$; b) $P=0,999955$; c) $P=0,095$.

7.3. t vaqtdagi yadroning yemirilish ehtimolligi:

$$1 - W(t) = 1 - e^{-t/\tau} = 1 - e^{-\lambda t}$$

Bu yerda:
$$W(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\tau = \int_0^{\infty} t(-dW) = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

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

Birinchi sutka uchun:

$$1 - W(1) = 1 - e^{-\lambda}$$

bundan:
$$W(1) = e^{-\lambda}$$

ikkinchi sutka uchun esa:
$$1 - W(2) = 1 - e^{-2\lambda}$$

bundan:
$$W(2) = e^{-2\lambda}$$

Birinchi va ikkinchi sutkalardagi yemirilish ehtimolliklari nisbati:

$$\frac{1 - W(1)}{W(1) - W(2)} = \frac{1 - e^{-\lambda}}{e^{-\lambda} - e^{-2\lambda}} = \frac{1 - e^{-\lambda}}{e^{-\lambda}(1 - e^{-\lambda})} = e^{\lambda} = 1,3$$

7.4. a) $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$; b) $\tau = \frac{1}{\lambda}$; v) $T_{1/2} = \tau \ln 2$.

7.5. Birinchi va ikkinchi haftadagi yemirilish ehtimolliklaridan:

$$W(1) = e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-1}$$

$$W(2) = e^{-\frac{2t}{\tau}}$$

Yemirilgan qismini topamiz:

$$x = W(1) - W(2) = e(1 - e^{-\frac{7}{\tau}})$$

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{14,5 \text{ кчл}}{\ln 2}$$

bundan $x \approx 0,2$ ekanligi kelib chiqadi.

7.6. $\approx 3,3 \cdot 10^5 \text{ s.}$

7.7. $\Delta N = 5000.$

7.8. $t = 37 \text{ сутка.}$

7.9. $1/4$ atrofida.

7.10. $\approx 0,76 \text{ yil.}$

7.11. $5,3 \text{ сутка.}$

7.12. $N' = \frac{m}{M} N_A (1 - \frac{1}{e}) \approx 1,27 \cdot 10^{23}.$

7.13. $40,7 \text{ TBk/g.}$

7.14. $m = \frac{A_0 \cdot \mu \cdot T_{1/2}}{N_A \cdot \ln 2} = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ kg.}$

7.15. $A_0 = 5,3 \cdot 10^{15} \text{ Bk/kg.}$

7.16. $t = 10,4 \text{ сутка.}$

7.17. $t = 3,5 \cdot 10^3 \text{ yil.}$

7.18. $0,05 \text{ mg.}$

7.19. To'rt kun davomidagi yemirilish ehtimolligi:

$$\bar{\alpha} = 1 - \bar{\alpha}^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

Demak, $x = 1 - e^{-\frac{4 \ln 2}{2,7}} = 0,63$

To'rtinchi kundagi yemirilish ehtimolligi esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$x = w(3) - w(4) = e^{-3\lambda} - e^{-4\lambda} = 0,11.$$

7.20. $\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}.$

7.21. $0,85 \cdot 10^6 \text{ Bk.}$

7.22. a) $A \approx 98 \text{ mKu};$ b) $A \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ mKu.}$

7.23. $4,5 \cdot 10^9 \text{ yil.}$

7.24. $a_0 = \frac{A_0}{m} = \frac{N_0 \cdot \lambda}{m} = \frac{N_A \cdot \ln 2}{\mu \cdot T} = 5,3 \cdot 10^{15} \text{ Bk/kg.}$

7.25. Uran ^{234}U va ^{234}U izotoplari radioaktiv muvozanati:

$$\lambda_{234} N_{234} = \lambda_{238} N_{238} \quad (1)$$

Masala shartidan:

$$\frac{N_{234}}{N_{238}} = 5,5 \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

(1) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\lambda_{238}}{\lambda_{234}} = \frac{N_{234}}{N_{238}} \quad (3)$$

$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ ekanligi va (2) nisbatni hisobga olib (3) ni quyidagi

ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{T_{234}}{T_{238}} = \frac{\lambda_{238}}{\lambda_{234}} = \frac{N_{234}}{N_{238}} = 5,5 \cdot 10^{-5}.$$

demak, $\frac{T_{234}}{T_{238}} = 5,5 \cdot 10^{-5},$

bundan $T_{234} = 2,48 \cdot 10^5 \text{ yil}$ ekanligini topamiz.

Bundan ko'rinadiki, uran ^{234}U izotopining yarim parchalanish davri, Yerning yoshidan ($\approx 10^9 \text{ yil}$) ancha kichik ekan. Shunday qilib, ^{238}U va ^{234}U orasidagi radioaktiv muvozanat mavjud bo'ladi degan farazimiz to'g'ri ekan.

7.26. Yadro o'zidan γ -kvant chiqarganda energiya va impuls saqlanish qonunlari bajarilish kerak, ya'ni:

$$E_{12} = E_\gamma + R, \quad (1)$$

$$\frac{E_\gamma}{c} = P_R. \quad (2)$$

Bu yerda E_γ -gamma-kvant energiyasi, R -tepki energiyasi, P_R -tepki impulsi. Relyativistik mexanikada kinetik energiya T va impuls r orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$T(2Mc^2 + T) = p^2 c^2$$

Mazkur hol uchun $T = R$ ekanligini hisobga olib, P_R ya'ni γ -kvant chiqargandan keyingi yadro impulsi:

$$P_R = \frac{1}{c} \sqrt{R(2Mc^2 + R)} \quad (3)$$

(3) ni (2) ga qo'yamiz va quyidagi sistemani hosil qilamiz:

$$E_{12} = E_\gamma + R$$

$$\frac{E_\gamma}{c} = \frac{1}{c} \sqrt{R(2Mc^2 + R)}$$

Bu sistemani E_γ va R ga nisbatan yechamiz va quyidagi ifodalarni olamiz:

$$R = \frac{E_{12}^2}{2(Mc^2 + E_{12})} \approx \frac{E_{12}^2}{2Mc^2},$$

$$E_\gamma = E_{12} - \frac{E_{12}^2}{2Mc^2}.$$

Bu formulalarga: ^{191}Ir uchun:

$$E_{12} = 129 \text{ keV} = 129 \cdot 10^3 \text{ eV}$$

$$Mc^2 = 192,2 \text{ m.a.b}$$

$$931 \frac{\text{MeV}}{\text{m.a.b}} = 178938,2 \text{ MeV} \approx 1,8 \cdot 10^5 \text{ MeV} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ eV}$$

son qiymatlarni qo'yib, $R = 0,0462 \text{ eV}$ ekanligini topamiz.

7.27. $t \ll T_{1/2}$ vaqt moboynda nurlantirib olingan kobalt-60 radioaktiv

izotopining yadrolarining soni:

$$N(t) = n\nu\sigma t = 2\nu_{\text{izotr}} n\sigma t$$

Issqlik neytronlarining izotrop oqimi:

$$\nu_{\text{izotr}} = \frac{P\bar{\nu}}{3}; \bar{\nu} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 2200 \text{ m/s},$$

bu yerda ρ - neytronlar zichligi, $\bar{\nu}$ - o'rtacha tezligi

$$\sigma = \frac{N}{2\nu_{\text{izotr}} t n} = \frac{N \cdot 3\sqrt{mt}}{2np\sqrt{3kT}} \approx 30 \text{ barn}$$

7.28. Ikkita ketma-ket yemirilish jarayoni

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3,$$

bu holda 1 yadrolar soni N_1 ni va 2 yadrolar soni N_2 ning o'zgarishi quyidagi tenglamalar bilan beriladi:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad \frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1$$

Buning ma'nosi 1 va 2-yadrolar soni yemirilish natijasida kamayadi 1-yadrolar yemirilib, 2-yadro hosil bo'lishi natijasida ularning soni ortib boradi.

Bu tenglamalarni integrallaymiz va $N_2(0) = 0$ shartga ko'ra:

$$N_1 = N_1(0)e^{-\lambda_1 t},$$

$$N_2 = \frac{N_1(0)\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

Agar $\lambda_1 \ll \lambda_2, \lambda_3$ bo'lsa,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1}$$

bo'lib, ya'ni $\frac{N_1}{N_2}$ vaqtga bog'liq bo'lmay qoladi. Bu radioaktiv

muvozanat sharti deyiladi. Bundan $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} > 1$ va $N_1\lambda_1 = N_2\lambda_2$ ekanligi kelib chiqadi.

7.29. $N_{Rn} \approx 32 \cdot 10^{14}$ atom.

7.30. $Q \approx \frac{1}{3} E_{\text{max}} \cdot n_e = 0,12 \text{ J}.$

7.31. Ajralgan issqlik miqdori: $Q = E_\alpha n_\alpha = 1,5 \cdot 10^6 \text{ J}.$

7.32. $M = 1,68 \cdot 10^{-6} \text{ g}.$

7.33. $t = 2,9$ yil.

7.34. $^{216}_{84}\text{Po}.$

7.35. $^{226}_{88}\text{Ra}.$

7.36. $29 \text{ MeV}.$

7.37. $\lambda_\alpha = \Delta M \tilde{h}^2 \frac{A-4}{A} = 6,08 \text{ MeV}; E_{\text{yadro}} = \Delta M \tilde{h}^2 \frac{4}{A} = 0,117 \text{ MeV}.$

7.38. $\lambda_{\text{yadro}} = \Delta M \tilde{h}^2 \frac{4}{A} = 0,02 \text{ MeV}.$

7.39. α -yemirilish ehtimolligi α -zarralarning potensial to'siqdan o'tish koeffitsientiga proporsional:

$$\lambda = \frac{\hbar}{m_\alpha R} D; \quad D = \exp\left\{-\frac{2}{\hbar} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{2m_\alpha[U(r)-E]} dr\right\}. \quad (1)$$

Bu yerda R -yadro radiusi, E -esa α -zarraning energiyasi, $U(r)$ -potensial to'siq. D ni qiymatini $E \ll U(r)$ shartdan foydalanib topamiz.

Buning uchun $I = \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{2m_\alpha[U(r)-E]} dr$ integralni ko'rib chiqamiz. $E \sim U(r)$ da

integral ostidagi funksiya nolga yaqin. Integralning quyi chegarasi r_1 ga, potensial o'ra radiusi R ga teng, ya'ni $r_1 = R$. Integralning yuqori chegarasi esa quyidagi shartdan topiladi: yuqori chegarada α -zarraning energiyasi Kulon potensial to'siqiga teng

$$E = U(r) = \frac{2Ze^2}{r_2}$$

bundan

$$r_2 = \frac{2Ze^2}{E}$$

Demak:

$$I = \int_R^{\frac{2Ze^2}{E}} \sqrt{2m_\alpha} \sqrt{\frac{2Ze^2}{r} - E} dr = \sqrt{4m_\alpha Ze^2} \int_R^{\frac{2Ze^2}{E}} \frac{dr}{\sqrt{r}} = + \frac{1}{R/2} \sqrt{4m_\alpha Ze^2} \sqrt{r} \Big|_R^{\frac{2Ze^2}{E}} = + 2\sqrt{4m_\alpha Ze^2} \left(\sqrt{\frac{2Ze^2}{E}} - \sqrt{R}\right) = 4\sqrt{m_\alpha Ze^2} \left(\sqrt{\frac{2Ze^2}{E}} - \sqrt{R}\right)$$

Buni (1) ga qo'ysak:

$$D = \exp\left[-\frac{8}{\hbar} \sqrt{m_\alpha Z e^2} \left(\frac{\sqrt{2Z e^2}}{\sqrt{E}} - \sqrt{R}\right)\right] \approx \exp\left[-\frac{8Z e^2 \sqrt{2m_\alpha}}{\hbar \sqrt{E}}\right] = \exp\left(-\frac{a}{\sqrt{E}}\right)$$

Bu yerda:
$$a = \frac{8Z e^2 \sqrt{m_\alpha}}{\hbar}$$

Bulardan foydalanib, $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ekanligini hisobga olsak, $T_{1/2} = c \exp \frac{a}{\sqrt{E}}$

va $T_{1/2} = \ln c + \frac{a}{\sqrt{E}}$,

ya'ni, Geyger-Nettol qonunini olamiz. Shunday qilib, tajribada topilgan Geyger-Nettol qonuni α -zarralarni potensial to'siqdan o'tish xususiyati bilan bog'liq ekan.

7.40. O'tish energiyasining oshishi bilan parchalanish ehtimolligi tez ortadi. Hosilaviy yadroning uyg'ongan holatiga o'tish ehtimolligi, uning asosiy holatiga o'tishiga qaraganda, bu o'tishlarda alfa-zarra kichik orbital momentni olib ketganligi tufayli kattadir. Shuning uchun alfa yemirilish hosilaviy yadroning asosiy holatida yuz beradi.

7.41.
$$E = \frac{Z_U \cdot Z_\alpha e^2}{(R_\alpha + R_U)} = 27 \text{ MeV.}$$

7.42. $(E_e)_{\max} = M^{\text{atom}}(D)\hbar^2 - \dot{I}^{\text{atom}}(S)\hbar^2 = 1,71 \text{ MeV.}$

7.43. $9,2 \cdot 10^{14}$.

7.44. $1,2 \cdot 10^{15}$.

7.45. $(E_e)_{\max} = (m_n - m_p - m_e)c^2 = 0,78 \text{ MeV.}$

7.46. $P = \sqrt{(E_e + m^2) - m^2} = 1,19 \text{ MeV/c}$ va $E_p = 1,5 \text{ keV.}$

7.47. β -yemirilishning bitta aktidagi hosil bo'lgan elektron va antineytrinning kinetik energiyalari yig'indisi (E_{\max}) (E_{\max}) o'zgaras kattalik bo'lganligi uchun, antineytrino spektri

$$W_{\bar{\nu}}(E) = W_e(E_{\max} - E).$$

Bu yerda W_e -elektronlar spektri. Elektronlarning yadro maydoni bilan kulon o'zaro ta'siri natijasida W_e o'zgaraydi.

7.48. a) $2,83 \cdot 10^4 \text{ m/s}$; b) $E_\gamma = 0,652 \text{ MeV.}$

7.49. Agar:

$$M(A, Z) > M(A, Z \pm 1) + m_e \quad (\beta^- \text{ va } \beta^+ \text{ yemirilish}),$$

$$M(A, Z) + m > M(A, Z - 1) \quad (\text{e-qamrash}).$$

Neytral atomlar massasi uchun:

$$M^{\text{atom}}(A, Z) > M^{\text{atom}}(A, Z + 1) \quad (\beta^- \text{ yemirilish}),$$

$$M^{\text{atom}}(A, Z) > M^{\text{atom}}(A, Z - 1) + 2m \quad (\beta^+ \text{-yemirilish}),$$

$$M^{\text{atom}}(A, Z) > M^{\text{atom}}(A, Z - 1) \quad (\text{e-qamrash}).$$

shartlar bajarilsa (A, Z) , yadro $(A, Z \pm 1)$ izobarga aylanadi, $A=36$ bo'lgan izobar uchun:

$$M^{\text{at}}(^{36}\text{Cl}) = 35,968312 \text{ m.a.b.},$$

$$M^{\text{at}}(^{36}\text{S}) = 35,967091 \text{ m.a.b.},$$

$$M^{\text{at}}(^{36}\text{Ar}) = 35,967548 \text{ m.a.b.}$$

Bu massalarni solishtirib, quyidagi yemirilish reaksiyalari bo'lishini ko'ramiz:



7.50. $^{40}_{19}\text{K} \rightarrow ^{40}_{20}\text{Ca} + e^- + \bar{\nu}_e$, $^{40}_{19}\text{K} + e^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + \nu_e$, $^{40}_{19}\text{K} \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + e^+ + \nu_e$.

Bunda β^+ yemirilish ehtimolligi elektron qamrash (e-qamrash) ehtimolligiga qaraganda kichik.

7.51. $E_{\max}(e^+) = [M^{\text{at}}(^{27}\text{Si}) - M^{\text{at}}(^{27}\text{Al}) - 2m]c^2 = 3,85 \text{ MeV.}$

7.52. $E_\nu + E_\beta = M^{\text{atom}}(^7\text{Be}) - M^{\text{atom}}(^7\text{Li}) = 0,86 \text{ MeV}$

Neytrino energiyasi $E_\nu = P_\nu c$,

^7Li -yadrosini tepki energiyasi esa $(E_\alpha < \Delta M c^2 < M c^2)$ bo'lgani uchun,

$$E_\beta = \frac{P^2}{2M(\text{Li})}$$

$$|\bar{P}_\nu| = |\bar{P}_\beta| = P,$$

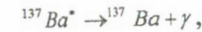
$$E_\beta = \frac{E_\nu^2}{2M(\text{Li})c^2} = E_\nu \frac{E_\nu}{2M(\text{Li})c^2} \ll E_\nu$$

Shuning uchun ketma-ket yaqinlashish usulida hisoblasak, birinchi yaqinlashishda

$$E_\nu^{(1)} = \Delta M c^2 = 0,86 \text{ MeV}; \quad E_\beta^{(1)} = \frac{(\Delta M)^2 c^2}{2M(\text{Li})} = 57 \text{ eV},$$

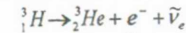
ekanligini topamiz.

7.53. $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137}\text{Ba}^* + e^- + \bar{\nu}_e$,



$$(E_e)_{\max} = M^{\text{atom}}(\text{Cs}) - M^{\text{atom}}(\text{Ba}) - E_\gamma = 0,51 \text{ MeV.}$$

7.54.



$$E_e + E_\nu + E_\beta = [M^{\text{atom}}(^3\text{H}) - M^{\text{atom}}(^3\text{He})]c^2 = 18,6 \text{ keV}$$

a) $|\bar{P}_e| = |P_\beta| = P, \quad P^2 = \frac{E_e(E_e + 2mc^2)}{c^2}$.

Yadroning tepki energiyasi:

$$E_\alpha = \frac{P^2}{2M(^3\text{He})} = \frac{E_e(E_e + 2mc^2)}{2M(^3\text{He})c^2} \ll E_e; \quad E_e \approx 18,6 \text{ keV}$$

$$E_n = 3,46 \text{ эВ}.$$

$$6) \quad |\vec{P}_e| = |\vec{P}_n| = P: \quad E_v = Pc$$

$$E_n = \frac{E_v^2}{2M(^3\text{He})c^2}; \quad E_v \cong 18,6\text{кэВ}, \quad E_n = 0,086\text{эВ}.$$

$$7.55. \quad {}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^6_6\text{C} + e^+ + \nu_e,$$

$$(E_e)_{\text{max}} = M(^{13}\text{N}) - M(^6\text{C}) - 2m = 1,2\text{МэВ}.$$

$$7.56. \quad {}^{204}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^{204}_{82}\text{Pb} + e^- + \bar{\nu}_e,$$

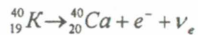
$$(E_e)_{\text{max}} = 0,762 \text{ МэВ}; \quad \bar{E}_{\bar{\nu}_e} = (E_e)_{\text{max}} - \bar{E}_e = 0,48\text{МэВ}.$$

$$7.57. \quad Q = 0,86 \text{ мэВ}.$$

$$7.58. \quad {}^{40}\text{K} \text{ yadrosining } 11\% \text{ e-qamrashda ishtrok etadi}$$



89% ${}^{40}\text{K}$ atomi β^- yemiriladi:



Yerning paydo bo'lganidan keyin o'tgan t vaqtdagi kaliy atomlarining soni:

$$N_K(t) = N_K(0)e^{-\lambda t},$$

bu yerda $\lambda - {}^{40}\text{K}$ yadrosining yemirilish doimiysi.

Argon atomlarining soni

$$N_{Ar}(t) = 0,11[N_K(0) - N_K(t)];$$

$$\frac{N_{Ar}(t)}{N_K(t)} = 0,11(e^{\lambda t} - 1) = 300; \quad \lambda t \cong 8.$$

Bundan: $t \cong 1,4 \cdot 10^{10}$ yil.

$$7.59. \quad \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu, \quad \mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.$$

Inersiya markazi sistemasida, zarralarning impulslari yig'indisi nolga teng:

$$P_e + P_{\nu_e} + P_{\nu_\mu} = 0$$

Elektron yoki pozitron energiyasi quyidagi holda maksimal bo'ladi, ya'ni:

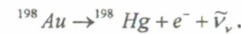
$$p_e = p_{\nu_e} + p_{\nu_\mu} = \frac{1}{c}(E_{\nu_e} + E_{\nu_\mu}).$$

$$\text{Bundan} \quad \sqrt{(E + mc^2)^2 - m^2c^4} = E_{\nu_e} + E_{\nu_\mu} = (m_\mu - m)c^2 - E.$$

$$E = \frac{(m_\mu - m)^2 c^2}{2m_\mu}.$$

$$7.60. \text{ Jadvaldan: } T_{1/2} = 2,7\text{кун}, \quad \sigma_{\text{актн}} = (96 \pm 10) \cdot 10^{-24} \text{ см}^2.$$

Bu holda kechadigan yadro reaksiyalar:



Nurlantirish jarayonida aktiv yadrolarning soni quyidagicha ortadi:

$$N(t) = N_m(1 - e^{-\lambda t}),$$

$$N(t) = \nu n \sigma_{\text{актн}} \tau (1 - e^{-\lambda t}).$$

Bu yerda ν -neytronlar oqimi, $\sigma_{\text{актн}}$ -aktivlanishning effektiv kesimi, n -aktivlashtirilayotgan preparat yadrolarining soni, $\tau = \frac{1}{\lambda}$.

Olingan preparatning aktivligi:

$$J(t) = \lambda N(t) = \lambda \cdot \nu n \sigma \tau (1 - e^{-\lambda t}) = \nu n \sigma \lambda t.$$

Bu holda $\lambda t \ll 1$ bo'lishidan foydalandik. Aktivligi aniqlanayotgan namunadagi atomlar soni:

$$N = \frac{m}{A} N_A,$$

bu yerda N_A - Avogadro soni. Aktivlik esa:

$$j(t) = \frac{2\nu m Z \sigma}{AT_{1/2}} \ln 2 = 17,7\text{мкККи}$$

$$7.61. \quad \nu = \frac{Aj(t)}{2mZ\sigma\lambda t} = \frac{Aj(t)T_{1/2}}{2mZ\sigma\ln 2}$$

$$7.62. \quad n = \frac{\nu n \sigma}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1})(1 - e^{-\lambda t_2}) \cong 2 \cdot 10^{10}$$

$$7.63. \quad n = 7,5 \cdot 10^4.$$

$$7.64. \quad \frac{J_{110}}{J_{108}} = \frac{\nu n_{109} \tau_{109} (1 - e^{-\lambda_{110} t})}{\nu_{107} \sigma_{107} (1 - e^{-\lambda_{108} t})} \cong \frac{\sigma_{109}}{\sigma_{107}} = 2,8$$

$$7.65. \quad J = \lambda_{110} N_{110} + \lambda_{108} N_{108}$$

$$J = \nu n_{109} \sigma_{109} (1 - e^{-\lambda_{110} t}) + \nu n_{107} \sigma_{107} (1 - e^{-\lambda_{108} t}) \cong 0,45\text{мКи}$$

8-§. Yadro nurlanishlarining modda bilan o'zaro ta'siri

8.1. Bu holda ikkala zarra ham relyativistik bo'lgani uchun, ularning ionizatsion yo'qotishlari nisbati quyidagiga teng:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_e : \left(\frac{dE}{dx}\right)_p = \frac{2\pi e^4 zN \left\{ \ln \frac{E_e^2}{2I^2 \sqrt{1 - \beta_e^2}} + \frac{1}{8} \right\}}{4\pi e^4 zN \ln \frac{mc^2}{I^2 (1 - \beta_p^2)}}.$$

Bu yerda I-moddaning ionizatsiya potentsiali bo'lib, u tartib raqami kichik bo'lgan yutuvchi moddalar uchun $I \sim 100$ eV ga teng.

$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta_e^2}} = \frac{E_e}{mc^2} = 2 \cdot 10^4; \quad \frac{1}{\sqrt{1-\beta_p^2}} = \frac{E_p}{m_p c} \approx 10$$

ekanligidan ionizatsion yo'qotishlar nisbatini topamiz:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_e : \left(\frac{dE}{dx}\right)_p \approx 2$$

8.2. Izlanayotgan qalinlik, alfa-zarralarni manba moddasidagi yugurish yo'liga teng. Energiyasi E bo'lgan alfa-zarralarni havodagi yugurish yo'li:

$$R_\alpha(\text{cm}) = 0,318 \cdot E^{2/3} (\text{MeV}).$$

Alfa-zarralarni havodagi yugurish yo'llarini bog'lovchi yarim emperik formuladan foydalanimiz:

$$R(\text{mg} / \text{sm}^2) = 0,56 R_\alpha(\text{sm}) \cdot A^{1/3}$$

Shunday qilib, $R = 3,3 \text{mg} / \text{sm}^2$ ekanligini topamiz.

8.3. Norelyativistik yaqinlashishda a tezlanishga ega zarraning tormozlanish nurlanish intensivligi teng:

$$W = \frac{2}{3} \cdot \frac{e^2 Z^2}{c^3} a^2;$$

$$W_e : W_p = a_e^2 : a_p^2 \approx m_p^2 : m_e^2 = 3 \cdot 10^6$$

Tormozlanish, asosan, yutuvchi modda yadrolarining Kulon maydoni bilan ta'sirlashuvi hisobiga yuz beradi.

8.4. 5,5 MeV.

8.5. 42 mkm.

8.6. Oldin protonlar boshlang'ich tezligida harakatlanayotgan α -zarraning kinetik energiyasini topamiz:

$$\frac{T_p}{T_\alpha} = \frac{m_p v_p^2 / 2}{m_\alpha v_\alpha^2 / 2} = \frac{m_p}{m_\alpha} \approx \frac{1}{4}$$

energiyasi $T_\alpha \approx 40$ MeV bo'lgan α -zarraning havodagi chiziqli yugurishi:

$$R_\alpha = 0,148 \quad T_\alpha^{1,8} = 114 \text{cm}$$

Havoda bir xil boshlang'ich tezlik bilan harakatlanayotgan ikki turdagi zarrachalar uchun chiziqli yugurishlar nisbati:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2$$

bu yerda m_1 va m_2 - zarralar massalari, q_1 va q_2 - esa ularning zaryadlari. Bizning hol uchun:

$$\frac{R_p}{R_\alpha} = \frac{m_p}{m_\alpha} \left(\frac{2e}{e}\right)^2 = 4 \frac{m_p}{m_\alpha} = 4 \cdot \frac{1}{4} = 1$$

Bu yerdan R_p ni topamiz:

$$R_p = R_\alpha = 114 \text{sm}.$$

8.7. Energiyasi 4 dan 9 MeV gacha bo'lgan α -zarralar uchun massaviy yugurish uchun emperik formula:

$$R_{m\alpha} = \sqrt{AE_\alpha^2} \text{ g/m}^2,$$

bu yerda, A-moddaning o'rtacha massasi soni, E_α - α -zarraning MeVlardagi energiyasi.

Bizning hol uchun:

$$R_{m\alpha} = \sqrt{9 \cdot 125} = 33,5 \text{ g/m}^2$$

Chiziqli yugurishni quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$R_m = \rho R$$

Bu yerda ρ -modda zichligi, (kg/m^3). Ushbu formuladan R ni topamiz:

$$R = R_m / \rho = 33,5 \cdot 10^{-3} / 1800 = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 18,5 \text{mkm}$$

8.8. 8 mkm.

8.9. 24 mkm.

8.10. Javob: zaryadlangan zarraning elektronga beradigan energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta E = \frac{2z^2 e^4}{m g^2 b^2} = \frac{M}{m} \frac{z^2 e^4}{M g^2 b^2} = 3,8 \text{ eV},$$

bu yerda M - zarra massasi, g - uning tezligi, ze - uning zaryadi, b - nishon parametri.

$$\mathbf{8.11.} \left(\frac{dE}{dx}\right)_{Al} / \left(\frac{dE}{dx}\right)_{Pb} = 0,844.$$

8.12. Havo uchun: $E_k = 105$ MeV; alyuminiy uchun: $E_k = 62$ MeV; qo'rg'oshin uchun: $E_k = 10$ MeV.

8.13. $E_0 = 100$ MeV energiyada elektronlar energiyasini, asosan, radiatsion yo'qotishga sarflaydi. Elektronlar qalindligi x bo'lgan plastikadan o'tganda ularning energiyasi quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$E = E_0 e^{-x/l_{rad}} = 14,5 \text{ MeV}.$$

8.14. 2,8 mm.

8.15. 2,0 MeV/sm; 19 marta.

8.16. Alyuminiy himoya ekrani qalinligi elektronlarni alyuminiyda yugurish yo'lidan kichik bo'lmasligi kerak. Og'ir zaryadli zarra uchun yugurish yo'li 3.3-masaladagi formulasidan foydalanib, ekran qalinligini hisoblaymiz:

$$R = \frac{f(E)}{ZN_{AP}} A; \quad f(E) = \frac{4\pi e^4 Z_1^2}{mv^2} \cdot B$$

U holda $R=3$ mm ekanligini topamiz.

$$8.17. l = d_{1/2} / \ln 2 = 6,5 \text{ sm.}$$

8.18. 115 sm chuqurlikka botirganda.

8.19. 1 sm^3 hajm birligidagi atomlar soni N va qalinligi X bo'lgan moddadan o'tgan zarralar dastasining intensivligi:

$$I(x) = I(0) \exp(-\sigma N x); \quad x(Pb) = 8,5 \text{ sm.}$$

Energiya 1 MeV bo'lganda gamma-kvant yutilishida asosiy rolni kompton-effekti o'ynaydi. Shuning uchun, grafitni ekvivalent qalinligini quyidagi munosabat orqali topish mumkin:

$$\sigma(Z_1) : \sigma(Z_2) = Z_1 : Z_2$$

$$x(^{12}C) = x(Pb) \frac{\sigma(Pb) \cdot N(Pb)}{\sigma(C) \cdot N(C)} = 40 \text{ sm.}$$

8.20. Bunday jarayon uchun impuls va energiyani saqlanish qonuni quyidagicha yoziladi:

$$h\nu + m_e c^2 = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad \frac{h\nu}{c} = \frac{m_e \beta c}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Bu ifodalardan β uchun tenglama tuzamiz:

$$(1-\beta)(1+\beta) = (1-\beta)^2$$

Bu tenglamani ikkita $\beta_1 = 1$ va $\beta_2 = 0$ ildizi bor. Ikkala yechim ham ma'noga ega emasligidan erkin elektron fotonni yuta olmasligi kelib chiqadi.

8.21. Inersiya markazi sanoq sistemasida elektron pozitron juftining to'la impulsi nolga teng. Lekin gamma-kvantning har qanday sanoq sistemasida impulsi nolga teng emas. Shuning uchun impulsni saqlanish qonuni buziladi va vakuumda gamma-kvant elektron-pozitron juftiga aylana olmaydi.

8.22. Inersiya markazi sanoq sistemasida elektron-pozitron juftining to'la impulsi nolga teng. Impulsning saqlanish qonuni bajarilishi uchun, hosil bo'lgan gamma-kvantlar to'la impulsi nolga teng bo'lishi kerak. Bu shart, albatta, ikkita gamma-kvant hosil bo'lganda bajariladi.

8.23. 3,5 mm.

8.24. Boshlang'ich intensivliklar quyidagiga teng:

$$I_{1,17}(0) = I_{1,33}(0)$$

$$\frac{I_{1,33}(10)}{I_{1,17}(10)} = \exp(\sigma_{1,17} - \sigma_{1,33}) \cdot N \cdot x = 3,2$$

bu yerda, σ -effektiv kesim, N - qo'rg'oshinning hajm birligidagi atomlar soni, X - qalinlik.

8.25. Bu energiyada elektron-pozitron jufti hosil bo'lmaganligi uchun, to'liq effektiv kesim fotoeffekt va kompton effektiv kesimlari yig'indisiga teng.

$$\sigma = \frac{\tau}{N} = \sigma_{komp} + \sigma_{foto}$$

bu yerda, τ -chiziqli yutilish koeffitsienti, N -hajm birligidagi atomlar soni. Kompton effektining kesimlar nisbati quyidagiga teng:

$$\sigma_{komp}(Z_1) : \sigma_{komp}(Z_2) = Z_1 : Z_2$$

Fotoeffekt, asosan (80 %), K -qobiqda yuz beradi va ushbu qobiqdagi fotoeffekt kesimlari nisbati esa:

$$\sigma_{foto}(Z_1) : \sigma_{foto}(Z_2) = Z_1^5 : Z_2^5$$

Ifodadan $\sigma_{foto}(82) = 25,5$ barn ekanligini topamiz.

$$8.26. \sigma_{juft}(Z_1) : \sigma_{juft}(Z_2) = Z_1^2 : Z_2^2$$

$$\sigma_{juft}(82) = 7,5 \text{ barn.}$$

8.27. Masala shartiga asosan:

$$\sigma_{Kompton}(Al) = \frac{\ln 5}{N x}$$

$$\text{va} \quad \sigma_{komp}(Pb) = \sigma_{komp}(Al) \cdot \frac{82}{13}$$

Gamma-kvantlar qo'rg'oshindan o'tganda, ularning intensivligining kamayish qonunini bilgan holda, ularning to'la effektiv kesimini topamiz:

$$\sigma_{foto}(Pb) = \sigma - \sigma_{komp}(Pb) = 6,3 \text{ barn.}$$

8.28. 9,41 mkKl/kg.

$$8.29. P = \alpha \frac{\tau / \rho}{\tau' / \rho'} P_{\text{exp}} e^{-\mu d} = 0,6 \text{ mGr/s yoki } 0,06 \text{ rad/s. Bu yerda } \alpha = 34$$

J/Kl; τ / ρ va τ' / ρ' - mos holda qo'rg'oshinda va havodagi massaviy yutilish koeffitsientlari; μ - qo'rg'oshindagi chiziqli susayish (yutilish) koeffitsienti.

$$8.30. J = 7,4 \cdot 10^2 \text{ kvant/sm}^2 \cdot \text{s.}$$

$$8.31. 6 \text{ m.}$$

$$8.32. 8 \cdot 10^7.$$

$$8.33. \text{Nurlanish dozasi } D = I \cdot \frac{c \cdot t}{R^2} = 16,5 \text{ рентген. Bu yerda } s - \text{aktivlik, } t -$$

vaqt, R - masofa. Qo'rg'oshin himoya ekranining qalinligi 7,5 sm dan kam emas.

$$8.34. P_{ex} = \frac{(\tau / \rho) A \eta E}{\alpha 4 \pi r^2} = 0,40 \text{ nKl}/(\text{kg} \cdot \text{s}), \text{ yoki } 1,55 \text{ mkR}/\text{s}, \text{ bu yerda}$$

$\alpha \approx 34 \text{ J/Kl}$.

8.35. Alyuminiy zichligi $2700 \text{ kg}/\text{m}^3$. Elektronlarning alyuminiyda massaviy yutilishi R_{me} quyidagi emperik formula yordamida topiladi.

Agar $1,0 \leq T_e \leq 2,5 \text{ MeV}$ bo'lsa:

$$R_{me} = 5,43 T_e - 1,60$$

$$R_{me} = 5,43 \cdot 2 - 1,60 = 9,26 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$R_{Al} = R_{me} / \rho_{Al} = 9,26 / 2700 = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,34 \text{ sm}$$

8.36. Chziqli to'liq susayishi koeffitsientlari:

$$\mu_{Pb} = 80 \text{ m}^{-1}, \quad \mu_{Al} = 15 \text{ m}^{-1}:$$

zichliklari esa: $\rho_{Pb} = 11340 \text{ kg}/\text{m}^3, \quad \rho_{Al} = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}:$

a) Yarim susayish qalinligi qo'rg'oshin uchun:

$$d_{1/2} = 0,693 / \mu_{Pb} = 0,693 / 80 \approx 8,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

alyuminiy uchun esa $d_{1/2} = 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. Massaviy susayish koeffitsientlari,

qo'rg'oshin uchun, $\mu_m = \mu / \rho = 80 / 11340 \approx 7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{kg}$, alyuminiy uchun esa $\mu_m = 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{kg}$ ga teng.

b) Dastani ikki marta susaytiruvchi qo'rg'oshindan bo'lgan nishon massasi

$$\mu_{Pb} = \rho_{Pb} d_{1/2} = 11340 \cdot 8,65 \cdot 10^{-3} = 98,7 \text{ kg}/\text{m}^2,$$

alyuminiy uchun esa $\mu_{Al} = 12,4 \text{ kg}/\text{m}^2$ ga teng.

8.37. Massasi 10^{-6} g nuqtaviy ^{60}So manbadagi atomlar miqdori:

$$N = \frac{m}{M} N_A = \frac{1,0 \cdot 10^{-9}}{60} \cdot 6,02 \cdot 10^{26} = 1,0 \cdot 10^{16} \text{ ta atomga teng.}$$

Kobalt aktivligi ($T_{1/2} = 5,27 \text{ y}$):

$$A = \lambda N = \frac{0,693}{5,27 \cdot 3,15 \cdot 10^7} \cdot 1,0 \cdot 10^{16} = 1,13 \text{ mKu}$$

olti soatlik ish kunida chegaraviy ruxsat etilgan doza quvvati:

$$P_R = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ ber}/\text{g}.$$

Nuqtaviy manbadan chiqayotgan γ -kvantlarning havodagi ekspozitsion dozasi K_γ ionizatsion doimiy bilan ifodalanadi. Kolbalt ^{60}So nuqtaviy manba uchun

$$K_\gamma(^{60}\text{Co}) = 12,93 R \cdot \text{sm}^2 / (\text{soat} \cdot \text{mKu})$$

$$P(R) = AK_\gamma / R^2$$

bu yerda P-ekspozitsion doza R/coat

A- γ -manbaning mKu lardagi aktivligi.

R-manbagacha bo'lgan masofa (sm). Ushbu formuladan R ni topamiz:

$$R = \sqrt{AK_\gamma / R_{pg}} = \sqrt{1,13 \cdot 12,93 / 2,8 \cdot 10^{-2}} \approx 72 \text{ sm}.$$

9-§. Yadro reaksiyalari

9.1. Masaladagi reaksiya quyidagicha: $^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$

Ushbu reaksiya energiyasi

$$Q = 931,5 \frac{M_{\Delta B}}{M.a.b} \Delta m$$

$$\Delta m = (m_{2H} + m_{3H}) - (m_{4He} + m_n)$$

Tenglamaga ilovadagi jadvaldan olingan qiymatlarni qo'yamiz va hisoblaymiz: $m_{2H} = 2,015 \text{ m.a.b.}$, $m_{3H} = 3,017 \text{ m.a.b.}$, $m_{4He} = 4,004 \text{ m.a.b.}$, $m_n = 1,009 \text{ m.a.b.}$. U holda $Q = 17,6 \text{ MeV}$.

9.2. Elektr zaryadining saqlanish qonuniga asosan

$$6 + 2 = 8 + Z \text{ yoki } Z = 0.$$

Massa sonining saqlanishidan A ni topamiz $14 + 4 = 17 + A$ yoki $A = 1$ Demak 1_0x zarra, neytron.

9.3. Ushbu masala barion zaryadini (massa soni A) va elektr zaryadining (Z) saqlanish qonunlari yordamida yechiladi:

$$1) \quad ^{27}_{13}\text{Al}(\gamma, x)_{12}^{26}\text{Mg} \text{ yoki } ^{27}_{13}\text{Al}(\gamma, x)_{12}^{26}\text{Mg} + x$$

Massa sonining (A) saqlanish qonunini yozamiz:

$$27 + 0 = 26 + x, \text{ yoki } x = 1.$$

Elektr zaryadining (Z) saqlanish qonunini yozamiz:

$$13 + 0 = 12 + x, \text{ yoki } x = 1, \text{ demak } x = ^1_1\text{H}$$

Boshqalari ham shunga o'xshash yechiladi:

$$2) \quad x = ^{26}_{13}\text{Al}$$

$$3) \quad x = ^1_0n - \text{neytron}$$

$$4) \quad x = ^{182}_{74}\text{W}$$

9.4. Energetik sathlar: asosiy holat uchun to'la moment $J=0$, juftlik $\pi = +1$, ikkinchi sath uchun $J=3$, juftlik $\pi = -1$ va uchinchi sath uchun $J=5$, juftlik $\pi = -1$. $J^\pi = 5^-$ sathdan quyi sathlarga o'tishda juftlikni saqlanish qonuni bajarilishi kerak. Energiya jihatidan $5^- \rightarrow 0^+$ o'tish taqiqlanmagan, bunda $L = 5 - 0 = 5$ nurlanishning to'la momenti, shu kabi $5^- \rightarrow 3^-$ o'tish ham mavjud bo'lib, $L = 5 - 3 = 2$.

Elektr multipol o'tish uchun juftlik o'zgarishi $(-1)^L$ ga teng, magnit multipol o'tish uchun esa $(-1)^{L+1}$ ga teng. $5^- \rightarrow 0^+$ hol uchun E5 multipol o'tish o'rinli, $5^- \rightarrow 3^-$ hol uchun E2 multipol o'tish o'rinli. Lekin EL-

multipol o'tishning ehtimolligi $\left(\frac{R}{\lambda}\right)^{2L}$ ga proporsional, bu yerda $\lambda = \frac{\hbar c}{E_\gamma}$, R-

yadro radiusi, E_γ - nurlanish energiyasi. Yadroda nurlanuvchi kvantlarning energiyasi bir necha million elektronvolt bo'ladi, ya'ni $\lambda > R$. Shuning uchun multipollik (L) qancha katta bo'lsa, o'tish ehtimolligi shuncha kichik bo'ladi. Bundan 5⁻ holatdan 0⁺ holatga o'tish ketma-ket tarzda bo'ladi, ya'ni: E2 (5⁻ → 3⁻) va E3 (3⁻ → 0⁺).

9.5. Yemirilishning 0⁺ → 2⁺ → 0⁺ o'tish yo'li 0⁺ → 1⁺ → 0⁺ o'tishga qaraganda katta ehtimolikka ega, chunki M1 o'tish (0⁺ → 1⁺) ehtimolligi E2 (0⁺ → 2⁺) o'tish ehtimoligidan kichik.

9.6. Energiya va impulsning saqlanish qonuniga ko'ra

$$\begin{cases} Mc^2 + \hbar\omega = Mc^2 + E_\beta + E^* \\ \frac{\hbar\omega}{c} = p \end{cases}$$

bu yerda: E_{YA} - yadroning tepki energiyasi, E^* - uyg'onish energiyasi.

$$E_\beta = \frac{p^2}{2M} = \frac{(\hbar\omega)^2}{2Mc^2}, \quad E^* = \hbar\omega \left(1 - \frac{\hbar\omega}{2Mc^2}\right)$$

9.7. Noaniqlik munosabati $\tau \cdot \Gamma = \hbar$, bundan

$$\Gamma_{\frac{3}{2}} = \frac{\hbar}{\tau \left(\frac{5}{2}\right)} = 0,74 \cdot 10^{-7} \text{ eV}, \quad \Gamma_{\frac{1}{2}} = \frac{\hbar}{\tau \left(\frac{3}{2}\right)} = 0,66 \cdot 10^{-8} \text{ eV}.$$

M - massali yadro γ -kvant chiqarganda olgan tepki energiyasi

$$E_Y = \frac{(\hbar\omega)^2}{2Mc^2} \quad \text{va} \quad E_Y = \hbar\omega = E^* - E_Y$$

$\frac{5}{2}^- \rightarrow \frac{3}{2}^-$ o'tish uchun $E_Y = 136 - 14 = 112 \text{ keV}$ va $E_Y = 0,14 \text{ eV} \gg \Gamma_{\frac{3}{2}}$

$\frac{3}{2}^- \rightarrow \frac{1}{2}^-$ o'tish uchun $E_Y = 14 \text{ keV}$.

$E_{YA} \cong 2 \cdot 10^{-3} \text{ eV} > \Gamma_{\frac{3}{2}}$.

Ikkala holda ham yadroning olgan tepki energiyasi holatlarning sath kengligidan ancha katta, shuning uchun rezonans yutilish sodir bo'lmaydi.

9.8. ${}^2_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^3_2He + {}^1_0n + \Delta E$; $m_{{}^3_2He} = 2m_{{}^2_1H} + m_n - \frac{\Delta E}{c^2} = 5,00841 \cdot 10^{-27}$

kg.

9.9. Issiqlik neytronlarning kinetik energiyasi $E = (3/2)kT$ ga va o'rtacha tezligi $v \approx 2,2 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$ ga teng va $l = 10 \text{ m}$ masofani o'tish vaqti $t = \frac{l}{v}$, bu vaqt ichida yemirilgan neytronlar soni esa $N_0 - N(t)$, yoki ularning nisbiy o'zgarishi teng,

$$\frac{N_0 - N(t)}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} \cong \lambda t = 5 \cdot 10^{-6},$$

demak, bu masofada neytronlar intensivligi deyarli o'zgarmas ekan.

9.10. Reaksiya energiyasi (reaksiya chiqishi):

$$Q = M_i - M_f = m_A + m_B - \sum_{i=1}^N m_i \quad (1)$$

$Q < 0$ bo'lgan hol uchun laboratoriya sanoq sistemasida A zarrachaning minimal kinetik energiyasini, ya'ni ostonaga energiyasini topamiz. Bunda $(\epsilon^2 - p^2)$ ni invariantligidan foydalanamiz, ϵ -zarralarning to'la energiyasi, R-zarralarning to'la impulsi.

Inersiya markazi sistemasida $R=0$. A zarraning minimal energiyasida inersiya markazi sistemasida 1,2,3... zarralarning impulslari nolga teng va

$$\epsilon^2 - p^2 = \left(\sum_{i=1}^N m_i\right)^2 \quad (2)$$

Bu invariant laboratoriya sanoq sistemasida

$$\epsilon^2 - p^2 = (m_A + E_{ost} + m_B)^2 - p_A^2 = (m_A + m_B)^2 + 2m_B E_{ost}. \quad (3)$$

(1) ifodada $Q < 0$ hisobga olib, reaksiya energiyasining absolyut qiymati uchun (1) ifodani qayta yozamiz

$|Q| = -(m_B + m_A) + \sum_i m_i$ va $\left(\sum_i m_i\right)^2 = (m_A + m_B)^2 + 2m_B E_{ost}$ ekanligini hisobga olib:

$$E_{ost} = |Q| \frac{m_A + m_B + \frac{1}{2}|Q|}{m_B} = \frac{1}{2m_B} \left(\sum_i m_i + m_A + m_B\right) \left(\sum_i m_i - m_A - m_B\right)$$

9.11. 9.10-masaladagi ostonaga energiyasi ifodasiga qarang.

$$E_{ost}(\gamma, p) = \frac{1}{2M({}^{12}C)} [M({}^{12}C) + M({}^1B) + M({}^1H)] \cdot [M({}^1B) + M({}^1H) - M({}^{12}C)] = 15,96 \text{ MeV}$$

V.

$$E_{ost}(\gamma, n) = 18,72 \text{ MeV}.$$

Bu yerda: M - neytral atom massasi.

9.12. $Q = -1,64 \text{ MeV}$; endotermik reaksiya

9.13. a) $-1,65 \text{ MeV}$; b) $6,82 \text{ MeV}$; v) $-2,79 \text{ MeV}$; g) $3,11 \text{ MeV}$.

9.14. $17,3 \text{ MeV}$.

9.15. $4,35 \text{ MeV}$.

9.16. a) $18,1 \text{ MeV}$, b) 0 .

9.17. $10,5 \text{ MeV}$.

9.18. $21,3 \text{ MeV}$.

9.19. $Q = 17,6 \text{ MeV}$; ekzotermik reaksiya.

9.20. 9.10 - masala yechimiga ko'ra $(E_n)_{out} = 0,96 \text{ MeV}$.

$$T(^{33}\text{S}) \cong \frac{m_n}{M(^{33}\text{S})} E_n = 0,03 \text{ MeV}.$$

9.21. 9.10 - masala yechimiga ko'ra

$$E_{out} = \frac{|Q|}{2M(^7\text{Li})} [|Q| + 2M(^7\text{Li}) + 2M(^1\text{H})]$$

reaksiyaning 1-kanali uchun reaksiya energiyasi $Q = -17,35 \text{ MeV}$, 2-kanali uchun:

$$Q = -17,25 \text{ MeV}. (E_{out})_1 \cong (E_{out})_2 = 19,6 \text{ MeV}$$

9.22. Reaksiya energiyasi (energetik chiqishi):

$$Q = 2M(^2\text{H}) - M(^1\text{H}) - M(^3\text{H}) \cong 4 \text{ MeV}.$$

9.23. 9.21- masala yechimi kabi $Q = 17,6 \text{ MeV}$.

9.24. Reaksiya tenglamalarini chap va o'ng tomonlarini alohida qo'shib chiqib, umumiy natija sifatida $4p \rightarrow ^4_2\text{He} + 2e^+ + 5\nu_e$ ni topamiz.

Energetik chiqish $Q = 4m_p - m_\alpha - 2m = 26,8 \text{ MeV}$.

9.25. 1,9 MeV.

9.26. $E = Q + 2K/3 = 6,5 \text{ MeV}$.

9.27. $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^1_0n$; $^{30}_{15}\text{P} \rightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + ^0_{+1}e + \nu_e$.

9.28. 9.24 - masala yechimiga ko'ra: $E_p = E_n \cos^2 \Theta = 2,46 \text{ MeV}$.

9.29. Reaksiyalar uchun to'la muvozanat prinsipiga ko'ra, $n + p \rightarrow d + \gamma$ to'g'ri reaksiya kesimini, $\gamma + d \rightarrow n + p$ teskari reaksiya kesimiga nisbati quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{\sigma_{ng} \rightarrow \gamma d}{\sigma_{tes} \rightarrow np} = \frac{P_\gamma^2 (2S_\gamma + 1)(2S_d + 1)}{P_n^2 (2S_n + 1)(2S_p + 1)}$$

bu yerda P_γ, P_n -impuls, S_γ, S_d, S_n, S_p -reaksiyada ishtirok etayotgan zarralarning spinlari:

$$P_\gamma^2 = \left(\frac{\hbar\omega}{c}\right)^2, \quad P_n^2 = 2m_n E_n$$

$$\hbar\omega + M(^2\text{H}) = m_n + M(^1\text{H}) + E_n$$

$$\hbar\omega = E_n + \varepsilon_{bog.}(d), \quad S_n = S_p = \frac{1}{2}, \quad S_d = 1, \quad 2S_\gamma + 1 = 2$$

$$\frac{\sigma_{ng} \rightarrow \gamma d}{\sigma_{tes} \rightarrow np} = \frac{3(E_n + \varepsilon_{bog.})^2}{2 \cdot 2m_n c^2 E_n}$$

9.30. I, spinli holatdan I_2 spinli holatga o'tishda, nurlanish olib ketadigan moment L quyidagi tanlash munosabatini qanoatlantirishi kerak:

$$|I_1 - I_2| \leq L \leq I_1 + I_2$$

Bizning holda $I_1 = I_2 = 0, L = 0$. Demak, γ -kvant nurlanmaydi, chunki uning momentining eng kichik qiymati $L=1$ ga teng.

9.31. Elektr zaryadini saqlanish qonuni va nuklonlar to'la sonining saqlanish qonunidan foydalanib, quyidagi reaksiyalarni yozamiz.

- | | |
|---|--|
| 1. $\alpha + \alpha \rightarrow ^8\text{Be} + \gamma$ | 5. $\gamma + ^{10}\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be} + d$ |
| 2. $d + ^6\text{Li} \rightarrow ^8\text{Be} + \gamma$ | 6. $p + ^{10}\text{B} \rightarrow ^8\text{Be} + ^3\text{He}$ |
| 3. $p + ^7\text{Li} \rightarrow ^8\text{Be} + \gamma$ | 7. $p + ^{11}\text{B} \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha$ |
| 4. $\gamma + ^9\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be} + n$ | 8. $d + ^{10}\text{B} \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha$ |

9.32. Reaksiya yuz berishi uchun zarur minimal energiya, reaksiya ostonasiga teng. Reaksiya energiyasini hisoblaymiz:

$$Q = \Delta(^{16}\text{O}) + \Delta(n) - \Delta(\alpha) - \Delta(^{13}\text{C})$$

Δ -yadro massasi bilan massa soni orasidagi farq, ya'ni massa defekti. Massa defektini ilovadagi izotoplar jadvalidan foydalanib topamiz.

$$\Delta(^{16}\text{O}) = -4,737 \text{ MeV}, \quad \Delta(n) = 8,071 \text{ MeV}, \quad \Delta(\alpha) = 2,424 \text{ MeV}, \quad \Delta(^{13}\text{C}) = 3,125 \text{ MeV},$$

$$Q = 8,071 - 4,737 - 2,424 - 3,125 = -2,215.$$

Norelyativistik yaqinlashishdan foydalanib, ostona energiyasini hisoblaymiz:

$$T_{out} = Q \left(1 + \frac{m_1}{M_1}\right),$$

m_1 -reaksiyadan oldingi zarra massasi, M_1 - nishon yadro massasi.

$$T_{min} = T_{out} = 2,215 \cdot \left(1 + \frac{1}{16}\right) = 2,35 \text{ MeV}.$$

9.33. Quyidagi ifodadan foydalanib, reaksiya energiyasini hisoblaymiz.

$$Q = E_{bog.}(^6\text{Li}) + E_{bog.}(^2\text{H}) - 2E_{bog.}(^4\text{He}) = A(^6\text{Li})\varepsilon(^6\text{Li}) + A(^2\text{H}) \cdot \varepsilon(^2\text{H}) - 2A(^4\text{He}) \cdot \varepsilon(^4\text{He})$$

$$Q = 6 \cdot 5,33 + 2 \cdot 1,11 - 8 \cdot 7,08 = 31,98 + 2,22 - 56,64 = -22,44 \text{ MeV}.$$

demak, bu endotermik reaksiya ekan.

9.34. Ilovadagi izotoplar jadvalida berilgan massalar orqali massa defektini topib, reaksiya energiyalarini hisoblaymiz.

$$Q = \Delta(\gamma) + \Delta(A) - \Delta(B) - \Delta(n)$$

$$\Delta(\gamma) = 0; \quad \Delta(^{12}\text{C}) = 0; \quad \Delta(^{11}\text{C}) = 10,65 \text{ MeV} \quad \Delta(^{11}\text{B}) = 8,668 \text{ MeV};$$

$$\Delta(^{14}\text{C}) = 3,02 \text{ MeV}; \quad \Delta(n) = 8,071 \text{ MeV}; \quad \Delta(^1\text{H}) = 7,289 \text{ MeV}.$$

$$1) \quad Q = 0 - (8,071 + 10,650) = -18,721 \text{ MeV};$$

$$2) \quad Q = 0 - (8,668 + 7,289) = -15,957 \text{ MeV};$$

$$3) \quad Q = 3,02 - (0 + 28,071) = -13,122 \text{ MeV}.$$

Ostona energiyasi: $T_{out} = Q$,

chunki 1+3 reaksiyalarda $m_\alpha = m_\gamma = 0$ va $|Q| \ll 2m_\alpha c^2$.

9.35. Reaksiya energiyasi:

$$Q = \Delta(^1H) + \Delta(^2H) - 2\Delta(^1H) - \Delta(n) = 13,136 - 7,289 - 8,071 = -2,224 \text{ MeV.}$$

$|Q| \ll 2m_p c^2$ bo'lgani uchun, reaksiyani ostona energiyasi ifodasidan foydalanib, protonning minimal energiyasini topamiz:

$$E_{\min} = T_{\text{ocm}} = Q(1 + \frac{m_1}{M_1}) = 2,224 \cdot (1 + 0,5) = 3,34 \text{ MeV.}$$

9.36. Reaksiyalar ostona energiyalarini topamiz:

1) $\alpha + ^7\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{B} + n.$

$$Q = 2,424 + 14,907 - 12,05 - 8,071 = -2,79 \text{ MeV.}$$

$$T_{\text{ost}} = 2,79(1 + 4/7) = 4,38 \text{ MeV.}$$

Reaksiya yuz berishi mumkin, chunki $T = 10 \text{ MeV} > T_{\text{ost}}$.

2) $\alpha + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + d.$

$$Q = 2,424 + 0 - 2,863 - 13,136 = -13,575 \text{ MeV.}$$

$$T_{\text{ost}} = 13,575 \cdot (1 + 4/12) = 18,1 \text{ MeV.}$$

3) Reaksiya yuz bermaydi, chunki $T = 10 \text{ MeV} < T_{\text{ost}}$.

9.37. X-zarrani identifikatsiya qilish uchun elektr zaryadining va nuklonlar to'la sonining saqlanish qonunidan foydalanish kerak.

1	³⁵ Cl	X	³² S	α	$Q = -29,013 + 7,28 - (-26,016 + 2,42) = 1,87 \text{ MeV}$
Z	17	1	16	2	Ekzotermik reaksiya
A	35	1	32	4	$X=p$
2	¹⁰ B	X	⁷ Li	α	$Q = 12,05 + 8,071 - (14,907 + 2,424) = 2,79 \text{ MeV}$
Z	5	0	3	2	Ekzotermik reaksiya
A	10	1	7	4	$X=n$
3	⁷ Li	X	⁷ Be	N	$Q = 14,907 + 7,29 - (15,768 + 8,07) = -1,643 \text{ MeV}$
Z	3	1	4	0	Endotermik reaksiya $X=r$
A	7	1	7	1	$(T_{\text{ost}} = 1,643(1 + 1/7) = 1,88 \text{ MeV})$
4	²³ Na	P	²⁰ Ne	X	$Q = -9,532 + 7,289 - (-7,041 + 2,424) = 2,38 \text{ MeV}$
Z	11	1	10	2	Ekzotermik reaksiya
A	23	1	20	4	$X=\alpha$
5	²³ Na	D	²⁴ Mg	X	$Q = -9,532 + 13,136 - (-13,933 + 8,071) = 9,47 \text{ MeV}$
Z	11	1	12	0	Ekzotermik reaksiya
A	23	2	24	1	$X=n$
6	²³ Na	D	²⁴ Na	X	$Q = -9,532 + 13,136 - (-8,42 + 7,289) = 4,74 \text{ MeV}$
Z	11	1	11	1	Ekzotermik reaksiya
A	23	2	24	1	$X=p$

9.38. Noelastik sochilishda reaksiya energiyasi $Q = -E_{\text{uyg}}$, deutroning minimal energiyasi esa, reaksiya ostona energiyasiga teng: $T_{\min} = T_{\text{ost}}$.

Reaksiya ostona energiyasi ifodasidan foydalanib (chunki, $Q \ll m_d c^2$), quyidagini olamiz:

$$T_{\min} = E_{ydr}(1 + m_1/M_1) = 1,75(1 + 2/10) = 2,1 \text{ MeV.}$$

9.39. Reaksiya ostona energiyasini hisoblaymiz:

1) $T_{\text{ost}} = 1,18(1 + 4/14) = 1,52 \text{ MeV,}$

2) $T_{\text{ost}} = 1,18(1 + 14/4) = 5,31 \text{ MeV.}$

Birinchi holda inersiya markazi harakati juda «sust» $(4/14)Q$, ikkinchi holda esa $(14/4)Q$, shunday qilib, reaksiya ostona energiyasi ikkinchi holda 3,5 barobar katta.

9.40. Elektr zaryadini va nuklonlar to'la sonining saqlanish qonunidan foydalanib, proton bilan ⁷Li yadrosi ta'sirlashuvida mumkin bo'lgan hamma reaksiyalarni yozamiz. Reaksiya energiyasi, reaksiya ostona energiyasi ifodalaridan va yadrolar xarakteristiklari keltirilgan jadvaldan foydalanamiz. Protonlar ta'siridagi reaksiya ostona energiyasini T_{ost} , ⁷Li ta'siridagini T_{ost}^* bilan belgilaymiz. Reaksiya energiyasi va reaksiya ostona energiyasi quyidagi jadvalda keltirilgan:

No	Reaksiya	Q(MeV)	T_{ost} (MeV)	T_{ost}^* (MeV)
1	⁷ Li+p → ⁴ He+ ⁴ He	17,348		
2	⁷ Li+p → ⁸ Be	17,255		
3	⁷ Li+p → n+ ⁷ Be	-1,643	1,88	13,14
4	⁷ Li+p → p+t+ ⁴ He	-2,467	2,82	19,74
5	⁷ Li+p → n+ ³ He+ ⁴ He	-3,230	3,69	25,84
6	⁷ Li+p → ³ He+ ⁵ He	-4,125	4,71	33,00
7	⁷ Li+p → t+ ⁵ Li	-4,434	5,07	35,47
8	⁷ Li+p → d+ ⁶ Li	-5,025	5,74	40,2
9	⁷ Li+p → d+d+ ⁴ He	-6,5	7,43	52
10	⁷ Li+p → p+n+ ⁶ Li	-7,249	8,29	57,99
11	⁷ Li+p → n+p+d+ ⁴ He	-8,724	9,97	69,79
12	⁷ Li+p → p+d+ ⁵ He	-9,619	10,99	76,95

Energiyasi 10 MeV bo'lgan protonlar ta'siri ostida 1+11 reaksiyalar bo'lishi mumkin, ya'ni ¹H, ²H, ³H, ³He, ⁴He, ⁵Li, ⁶Li, ⁷Be, ⁸Be yadrolar hosil bo'ladi. Energiyasi 10 MeV bo'lgan litiy yadrosi ⁷Li ta'siri ostida 1- va 2- reaksiyalar bo'lishi mumkin, ya'ni egzotermik reaksiyalar natijasida ⁴Ne va ⁸Ve yadrolar hosil bo'ladi.

9.41. ⁷Li(n,γ)⁸Li reaksiya sodir bo'ladi. $Q = 2,034 \text{ MeV.}$

Ma'lumki, $|P_\gamma| = |P_\gamma|$; $P_\gamma = E_\gamma / c$; $P_\gamma = (2M_\gamma \cdot E_\gamma)^{1/2}$

va $E_\gamma + E_\gamma = Q$,

bu yerda $R_{\gamma A}$, R_γ -yadro va γ -kvantlar impulslari, $E_{\gamma A}$, E_γ -yadro va γ -kvant energiyasi, u holda,

$$E_\gamma = \frac{E^2 \gamma}{2M_\gamma c^2} \cong \frac{Q}{2M_\gamma c^2} \cong \frac{2,034^2}{2 \cdot 7 \cdot 931,5} \cong 3 \cdot 10^{-4} \text{ MeV.}$$

Gamma-kvant energiyasi $E_\gamma = Q - E_A \cong Q = 2,034 \text{ MeV}$.

9.42. L-sistemasida (laboratoriya sistemasi) ^9Be impulsi \vec{P}_{Be} M-sistemasidagi (inersiya markazi sistemasi) inersiya markazini ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan impulsga teng.

$$\vec{P}_{Be} = \vec{P}_{Be}^{\text{kuchish}}$$

M-sistemasida ^9Be impulsi neytron impulsi bilan quyidagicha bog'langan:

$$\vec{P}_{Be} = \frac{m_{Be}}{m_\alpha + m_{Be}} \vec{P}_n$$

Oxirgi ifodada impulslarni energiya orqali ifoda etamiz va neytron energiyasini reaksiya ostona energiyasi orqali yozamiz.

$$\sqrt{2m_{Be}T_{Be}} = \frac{m_{Be}}{m_\alpha + m_{Be}} \sqrt{2m_n T_n} = \frac{m_{Be}}{m_\alpha + m_{Be}} \sqrt{2m_n |Q| \frac{m_c + M_n}{m_c}}$$

$$m_c + m_n \cong m_{Be} + m_\alpha$$

bo'lishini hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$T_{Be} = \frac{m_n m_{Be}}{m_c (m_\alpha + m_{Be})} |Q|$$

$$T_{Be} = \frac{1 \cdot 9}{12(4+9)} |8,071 - 2,424 - 11,347| = 0,33 \text{ MeV.}$$

9.43. $T_p = 1 \text{ MeV}$.

9.44. Yarim yemirilish davrlari 20,4 min va 0,024 sek ^{11}C va ^{12}Be yadrolarga mos keladi. Ular bir xil zarralar ta'sirida hosil bo'lishi uchun, bu zarralar tritiy yoki alfa-zarralar bo'lishi mumkin.

$$^{11}\text{B}(t,2p)^{12}\text{Be}, \quad ^{11}\text{B}(t,3n)^{11}\text{C}, \quad ^{11}\text{B}(t,2n)^{12}\text{C},$$

$$\text{yoki} \quad ^{11}\text{B}(\alpha,2p)^{12}\text{Be}, \quad ^{11}\text{B}(\alpha,t)^{11}\text{C}.$$

9.45. Aktivlik vaqt bo'yicha quyidagi qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Yarim yemirilish davri ifodasi:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{t \cdot \ln 2}{\ln(A_0/A_1)} = \frac{40 \cdot \ln 2}{\ln(100/25)} = 20 \text{ min.}$$

Bunday yemirilish davriga ^{11}S izotopi ega. Bu izotop quyidagi reaksiyada hosil bo'lgan: $^{11}\text{B}(p,n)^{11}\text{C}$.

9.46. Elastik to'qnashish yuz berganda tepki yadroning kinetik energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$T_C = \frac{4\kappa T_\alpha}{(1+\kappa)^2} \cos^2 \theta_C,$$

bu yerda $k = m_\alpha / m_C$, θ_C -teпки yadro ^{12}C sochilish burchagi. Masala shartiga ko'ra $\theta = 180^\circ$. Tepki yadro kinetik energiyasini topamiz.

$$T_C = \frac{4 \cdot (4/12)10}{(1+(4/12))^2} = 7,5 \text{ MeV.}$$

9.47. Quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$T_{Be} = \frac{m_p m_{Be} T_p}{(m_{Be} + m_n)} \left(\cos \Theta_{Be} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{Be} + \frac{(m_{Be} + m_n)(m_n - m_p)T_p + m_n Q}{m_p m_{Be} T_p}} \right)$$

bu yerda ildiz ostidagi ifoda manfiy bo'lmashligi uchun,

$$\cos^2 \Theta_{Be}^{\max} = \frac{(m_n + m_{Be})[m_n - m_p]T_p + m_n Q}{m_p m_{Be} T_p}$$

shart bajarilishi kerak va:

$$\cos^2 \Theta_{Be}^{\max} = \frac{(1+7) \cdot [1-1] \cdot 5 + 1 \cdot (-1,65)}{1 \cdot 7 \cdot 5} = 0,377$$

Ildiz ostidagi ifoda manfiy bo'lmaydi, agarda $\cos \theta = 0,614$ bo'lsa, ^7Be yadrosini uchib chiqish maksimal burchagi 52° bo'ladi. Shu burchak ostida uchib chiqqan ^7Be yadroning kinetik energiyasi:

$$T_{Be} = \frac{m_p m_{Be} T_p \cos^2 \Theta_{Be}^{\max}}{(m_n + m_{Be})^2} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 0,377}{(1+7)^2} \cong 0,21 \text{ MeV.}$$

Uchib chiqish burchaklari 0° va 52° orasida ^7Be yadrosi kinetik energiyasi ikkita qiymat qabul qiladi. Biri ildiz oldidagi ishora «+» va ikkinchisi «-». Kinetik energiyaning maksimal va minimal energiyalari 0° burchakda bo'ladi.

$$T_{Be}^{\max} = \frac{m_p m_{Be} T_p}{(m_n + m_{Be})^2} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{m_n + m_{Be}}{m_p m_{Be} T_p} [Q m_n + (m_n - m_p) T_p]} \right\}^2$$

$$T_{Be}^{\min} = \frac{m_p m_{Be} T_p}{(m_n + m_{Be})^2} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{m_n + m_{Be}}{m_p m_{Be} T_p} [Q m_n + (m_n - m_p) T_p]} \right\}^2$$

Son qiymatlarini qo'yib,

$$T_{Be}^{\max} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 5}{(1+7)^2} \left\{ 1 + \sqrt{1-0,377} \right\}^2 = 1,75 \text{ MeV}; \quad T_{Be}^{\min} = 0,024 \text{ MeV, olamiz.}$$

Yadro ^7Be maksimal kinetik energiya bilan uchib chiqqanda neytronning uchib chiqish burchagi 180° bo'ladi. minimal energiyaga ega bo'lganda, neytronni uchib chiqish burchagi 0° bo'ladi.

9.48. Elastik sochilishda alfa-zarralar kinetik energiyasi quyidagi ifodadan topiladi:

$$T_\alpha = \frac{1}{(m_\alpha + m_C)^2} \left\{ m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos \Theta_{elas} \pm \sqrt{m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos^2 \Theta_{elas} + (m_\alpha + m_C)(m_C - m_\alpha) T_\alpha} \right\}^2,$$

noelastik sochilish esa:

$$T_\alpha = \frac{1}{(m_\alpha + m_C)^2} \left\{ m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos \Theta_{noelas} \pm \sqrt{m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos^2 \Theta_{noelas} + (m_\alpha + m_C) Q \cdot m_C + (m_C - m_\alpha) T_\alpha} \right\}^2$$

Yuqoridagi ifodalarni tenglashtirib:

$$\begin{aligned} & \cos \Theta_{elas} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{elas} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{M_\alpha^2}} \\ &= \cos \Theta_{noelas} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{noelas} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2} + \frac{m_C + m_\alpha}{m_\alpha^2 T_\alpha} m_C Q} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left(\cos \Theta_{elas} - \cos \Theta_{noelas} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{elas} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2}} \right) - \\ & - \cos^2 \Theta_{elas} - \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2} = \frac{m_C + m_\alpha}{m_\alpha^2 T_\alpha} m_C Q \end{aligned}$$

Masala shartidagi son qiymatlarini qo'yib hisoblaymiz:

$$T_\alpha = \frac{(12+4) \cdot 12}{4^2} (-4,44) = 59,1 \text{ MeV}.$$

9.49. Reaksiya energiyasini hisoblaymiz:

$$Q = (2,424 + 14,907 - 8,071 - 12,050) \text{ MeV} = -2,79 \text{ MeV}$$

neytron va borini ^{10}B inersiya markazi sanoq sistemasida kinetik energiyasini hisoblash uchun quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$T'_n = \frac{M_B}{M_n + M_B} \left(\frac{M_{Li} T_\alpha}{M_\alpha + M_{Li}} + Q \right) = \frac{(p'_n)^2}{2M_n}$$

Inersiya markazi sanoq sistemasida impulsini hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} p'_B = p'_n &= \sqrt{2M_n T'_n} = \frac{1}{c} \sqrt{2M_n c^2 \frac{M_B}{M_n + M_B} \left(\frac{M_{Li} T_\alpha}{M_\alpha + M_{Li}} + Q \right)} \\ &\cong \frac{1}{c} \sqrt{2 \cdot 939,57 \frac{10}{1+10} \cdot \left(\frac{7}{4+7} 5 - 2,79 \right)} = 45,9 \text{ MeV}/c. \end{aligned}$$

9.50. Reaksiya energiyasini topamiz:

$$\begin{aligned} Q &= (\Delta m_\alpha + \Delta m_S - \Delta m_p - \Delta m_{Cl}) \cdot c^2 = \\ &= 2,424 - 26,016 - 7,289 + 29,013 = -1,868 \text{ MeV}. \end{aligned}$$

To'qnashayotgan 2 ta zarra kinetik energiyasi M-sistemada (inersiya markazi koordinat sistemasini) quyidagicha bog'langan

$$T' = \frac{m_S}{m_\alpha + m_S} T_i.$$

Uyg'ongan yadroning maksimal energiyasi:

$$E_{ug'on}^{Max} = T' - |Q| = \frac{32}{36} 5 - 1,868 = 2,58 \text{ MeV}.$$

Ya'ni, uchub kelayotgan zarra energiyasi 5 MeV bo'lganda, faqatgina 1,219, 1,763 holatlar uyg'onadi. 0° va 90° burchaklar ostida uchub chiqayotgan protonlar energiyasi quyidagicha topiladi.

$$\begin{aligned} T_p(0^\circ) &= \frac{m_p m_\alpha T_\alpha}{(m_p + m_{Cl})^2} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{(m_p + m_{Cl})(Q m_{Cl} + (m_{Cl} - m_\alpha) T_\alpha)}{m_p m_\alpha T_\alpha}} \right\}^2 \\ T_p(90^\circ) &= \frac{Q m_{Cl} + (m_{Cl} - m_\alpha) T_\alpha}{m_p + m_{Cl}} \end{aligned}$$

bu yerda reaksiya energiyasi $Q = Q_0 - E_{yug'on}$

$$Q_1 = -3,09 \text{ MeV}, \quad Q_2 = -3,63 \text{ MeV}$$

Son qiymatlarini qo'yib:

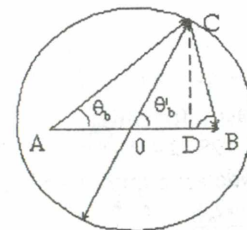
$$T_p(\Theta = 0^\circ, E_{yug'on} = 1,219) =$$

$$= \frac{1 \cdot 4 \cdot 5}{(1+35)^2} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{(1+35)[(-3,09) \cdot 35 + (35-4) \cdot 5]}{1 \cdot 4 \cdot 5}} \right\}^2 = 1,62 \text{ MeV}.$$

Boshqa hollarda ham shunday hisoblanadi.

Uyg'onish energiyasi (MeV)	$T_p(0^\circ)$ (MeV)	$T_p(90^\circ)$ (MeV)
1,219	1,62	1,3
1,763	1,03	0,78

9.51. $(AB) = P_\alpha$ kesma olamiz (rasmga qarang), bu yerda P_α -L-sistemada uchub kelayotgan zarra impulsi. (AB) kesmada O nuqtani olamiz. Bu nuqta kesmani reaksiya mahsulotlari massalariga proporsional ravishda 2 ta bo'lakka bo'ladi:



$$(AO) = \frac{m_b}{(m_b + m_n)} P_\alpha$$

- 1) (AB) kesmani bo'lib turgan 0 nuqtani markaz qilib, M-sistemada reaksiya mahsulotlari impulsilariga teng ($P'_b = P'_a$) radius bilan aylana o'tkazamiz;
- 2) A nuqtadan ixtiyoriy ravishda aylana bilan kesishguncha to'g'ri chiziq o'tkazamiz. (AC) kesma uchib chiqayotgan zarraning L-sistemadagi impulsi \vec{P}_b , θ_b -burchak Λ -sistemada uchib chiqish burchagi, θ_b -M-sistemada uchib chiqish burchagi;
- 3) S nuqtadan (AB) chiziqga CD perpendikulyar tushiramiz. U holda:

$$\operatorname{tg} \theta_b = \frac{CD}{OD}$$

$$CD = (OC) \sin \theta'_b$$

$$OD = (AO) + OC \cos \theta'_b$$

Uchta tenglamani kombinatsiyasidan, olamiz:

$$\operatorname{tg} \theta_b = \frac{\sin \theta'_b}{\frac{AO}{OC} + \cos \theta'_b}$$

$$(OC) = P_a \sqrt{\frac{m_b m_B}{(m_b + m_B) m_a} \left(\frac{Q}{T_a} + \frac{m_A}{m_a + m_A} \right)}$$

va nihoyat burchaklar orasidagi bog'lanish:

$$\operatorname{tg} \theta_b = \frac{\sin \theta'_b}{k_b + \cos \theta'_b}$$

$$k_b = \left(\frac{m_a m_b T_b}{m_B (m_A T_a + Q(m_a + m_A))} \right)^{1/2}$$

9.52. Elastik sochilish uchun $T_a = T_b + T_B$, bu yerda T_a , T_b , T_B -L-sistemasida uchib kelayotgan protonning, sochilgan protonning va sochilgandan keyingi yodrosining kinetik energiyalari. Quyidagi ifodalar o'rinli:

$$T_b = T_a \cos^2 \Theta_b$$

$$T_B = T_a \cos^2 \Theta_b$$

natijada quyidagini olamiz,

$$T_B = T_a - T_a \cos^2 \Theta_b = T_a \sin^2 \Theta_b = 5 \sin^2 30^\circ = 1,25 \text{ MeV}$$

$$\Theta_b = \arccos(\sin \Theta_b) = 60^\circ$$

9.53. Reaksiya energiyasini topamiz:

$$Q = 13,136 + 14,95 - 2,424 - 8,071 = 17,591 \text{ MeV}$$

4.44-masaladagi ifodadan foydalanib quyidagini topamiz:

$$T_n(90^\circ) = \frac{m_a - m_d}{m_a + m_n} T_a + m_a Q = \frac{(4-2) \cdot 0,2 + 4 \cdot 17,591}{4+1} = 14,15 \text{ MeV}$$

9.54. Reaksiya energiyasini hisoblaymiz:

$$Q = 14,907 + 7,289 - 8,071 - 15,768 = -1,643 \text{ MeV}$$

Quyidagi ifodadan foydalanib, olamiz:

$$\Theta_n = \arccos \left(\frac{T_n(m_n + m_{Be}) - T_p(m_{Be} - m_p) - Q m_{Be}}{2\sqrt{m_n m_p T_n T_p}} \right) =$$

$$= \arccos \left(\frac{1,75(1+7) - 5(7-1) + 7 \cdot 1,643}{2\sqrt{1 \cdot 1 \cdot 1,75 \cdot 5}} \right) \cong 139,5^\circ$$

Kollimator bilan qamrab olingan burchaklar oralig'i:

$$139,5^\circ - \arctg(0,5/10) \leq \Theta \leq 139,5^\circ + \arctg(0,5/10)$$

9.48-masaladagi ifodadan foydalanib topamiz:

$$T_n^{\min} \cong 1,73 \text{ MeV}, T_n^{\max} \cong 1,77 \text{ MeV}, \Delta T = T_n^{\max} - T_n^{\min} \cong 40 \text{ keV}$$

9.55. Reaksiya tenglamasini yozamiz: $\alpha + {}^{27}\text{Al} = t + {}^{28}\text{Si}$. Zarralarning spinlari: $J^P: 0^+ \quad 5/2^+ \quad 1/2^+ \quad 0^+$. Kirish kanalida zarralar harakat miqdori momentlari yig'indisi:

$$\vec{J}_i = \vec{s}_\alpha + \vec{J}_{Al} + \vec{l}_\alpha = 5/2$$

Harakat miqdori momentini saqlanish qonuniga asosan:

$$\vec{J}_f = \vec{J}_f = \vec{s}_f + \vec{J}_{Si} + \vec{l}_f$$

Oxirgi ifodadan topiladi:

$$l_f = \frac{5}{2} + \frac{1}{2} = 3, \text{ yoki } 2.$$

Kirish va chiqish kanallarida juftlik:

$$P_i = P_\alpha \cdot P_{Al} (-1)^{l_\alpha} = (+1)(+1)(-1)^0 = +1$$

$$P_f = P_t \cdot P_{Si} (-1)^{l_t} = (+1)(+1)(-1)^{l_t}$$

Juftlikning saqlanish qonuniga asosan:

$$P_f = P_i; \quad (-1)^{l_t} = +1$$

Demak, tritiyning orbital momenti juft son bo'lishi kerak, $l_t = 2$.

9.56. $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha$ reaksiyada qatnashayotgan zarralarning spinlarini yozib chiqamiz: $J^P: 1/2^+ \quad 3/2^- \quad 0^+ \quad 0^+$ Reaksiyadan keyingi, ya'ni oxirgi holatdagi juftlik:

$$P_f = P_\alpha P_\alpha (-1)^{l_\alpha} = (-1)^{l_\alpha}$$

Ikkita bir xil bozonni (α -zarra) to'liq funksiyasi fazoviy aks ettirilganda o'zgaraydi, ya'ni to'liq funksiya bozonlarni o'rni almashtirishga nisbatan simmetrik bo'lishi kerak. Shunga ko'ra, l_α -juft son. Oxirgi holatda sistemaning to'la momenti $J_f = l_\alpha$ va mos ravishda faqat juft sonlarni qabul qiladi. Demak, oraliq yadro ${}^8\text{Be}$ ikkita alfa - zarraga parchalanishi uchun, uning holati musbat juftlikka va spini juft qiymatga ega bo'lishi kerak. Boshlang'ich holatdagi juftlik ham musbat bo'lishi kerak.

$$P_{Be} = (+1) = P_i = P_p \cdot P_L (-1)^{l_p} = (+1)(-1)(-1)^{l_p}$$

Shunday qilib, juftlikning saqlanishi qonuni bajarilishi uchun, uchib kelayotgan protonning orbital momenti toq qiymatlarni qabul qilishi kerak $l_p = 1, 3, \dots$

9.57. Masala shartidan fotoyadro reaksiyasi tenglamasini yozamiz: ${}^8\text{Be} + \gamma \rightarrow {}^8\text{Be}^* \rightarrow {}^7\text{Li} + p$. Reaksiyaning kirish va chiqish kanalidagi zarralarning harakat miqdori momentlari quyidagicha:

$$0^+, L_\gamma, \frac{3}{2}^-, l_p = 1.$$

Fotoyadro reaksiyasidan keyingi, ya'ni oxirgi holat juftligi

$$P_f = P_L \cdot P_p \cdot (-1)^{l_p} = (-1) \cdot (+1) \cdot (-1) = +1$$

Juftlikning saqlanish qonuniga asosan boshlang'ich holat juftligi ham (+1) bo'ladi:

$$P_i = P_f = +1.$$

$$P_i = P_{Be} \cdot P_\gamma \cdot (-1)^{l_\gamma} = (+1) \cdot (-1) \cdot (-1)^{l_\gamma} = +1$$

Oxirgi ifodadan ko'rinadiki:

$$(-1)^{l_\gamma} = -1.$$

Demak, $L_\gamma = 1$ va ${}^8\text{Be}$ bilan ${}^8\text{Be}^*$ juftliklari bir xil, shuning uchun gamma- kvant multipolligi M1, ya'ni magnit xilidagi multipollik.

$$\mathbf{9.58.} T_\alpha = 1,82 \text{ MeV}; T_{El} = 1,02 \text{ MeV}.$$

$$\mathbf{9.59.} 6,16 \text{ MeV}$$

9.60. Norelyativistik zaryadli zarraning yadro kulon maydonida elastik sochilishining differensial effektiv kesimi uchun Rezerford formulasidan foydalanamiz:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} = \frac{C}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}},$$

bu yerda, T-uchib kelayotgan zarraning kinetik energiyasi, z,Z-zarra va yadroning zaryadi. Alfa-zarraning (θ_1, θ_2) burchaklar orasida sochilish kesimi:

$$\sigma_\alpha = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = C \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \sin \Theta d\Theta d\varphi = -2\pi C \frac{2}{\sin^2 \frac{\Theta}{2}} \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} =$$

$$= 8\pi \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \left(\frac{1}{\sin^2 \frac{\Theta_2}{2}} - \frac{1}{\sin^2 \frac{\Theta_1}{2}} \right) = 8\pi \left(\frac{92 \cdot 2 \cdot 144}{4 \cdot 3} \right)^2 \left(\frac{1}{\sin^2 75^\circ} - \frac{1}{\sin^2 85^\circ} \right) \text{fm}^2 = 7,86 \text{ barn}.$$

9.61. Birlik fazoviy burchakka va birlik energiya intervalida sochilishning differensial effektiv kesimi quyidagicha:

$$\frac{d^2 \sigma_{zh}(\Theta, \varphi)}{d\Omega d\epsilon_h} = \frac{1}{nN_0} \frac{dN_h}{d\Omega d\epsilon_h} \quad (1)$$

$$n = \frac{\rho d N_A}{A} \quad (2)$$

Elastik sochilishi differensial effektiv kesimi

$$\frac{d\sigma(\Theta)}{d\Omega} = \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \quad (3)$$

Yuqoridagi uchta ifodadan topamiz:

$$\frac{dN}{d\Omega} = N_0 N_A \frac{\rho d}{A} \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \left(\frac{\Theta}{2} \right)} = 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{19,3 \cdot 0,01}{197} \left(\frac{2 \cdot 79 \cdot 1,44 \cdot 10^{-13}}{4 \cdot 5} \right)^2 = 0,77.$$

$$\frac{\text{zarra}}{\text{rad} \cdot \text{sek}}$$

9.62. Ma'lum fazoviy burchak $\Delta\Omega$ ichiga sochilgan zarralar sonini quyidagi ifoda orqali topamiz:

$\Delta N = \frac{N_0 N_A}{A_{Cu}} \delta \frac{d\sigma}{d\Omega} \Delta\Omega$, bu yerda N_A -Avagadro soni, δ -plastinka qalinligi, A - mis atomining massasi. Elastik sochilish differensial effektiv kesimi uchun Rezerford formulasidan foydalanamiz. Detektor yuzasi S va ungacha masofa l ga teng:

$$\frac{d\sigma(\Theta)}{d\Omega} = \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}}; \quad \Delta\Omega = S / (4\pi l^2)$$

30° burchak ostida sochilgan zarralar qismi:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_A}{A_{Cu}} \delta \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4(\Theta/2)} \frac{S_{\text{detektor}}}{4\pi l^2} =$$

$$= \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{63} \cdot 10^{-3} \left(\frac{2 \cdot 29 \cdot 1,44 \cdot 10^{-13}}{4 \cdot 10} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 15^\circ} \cdot \frac{1}{4\pi (20)^2} \approx 1,9 \cdot 10^{-8}$$

9.63. Yadroning uyg'ongan holat energiyasi quyidagi ifodadan topiladi: $E_\gamma = Q_\alpha - Q_\gamma$, bu yerda, Q_α, Q_γ - asosiy va uyg'ongan holatda hosil bo'lgan yadrolar reaksiya energiyalari. Agarda, ${}^{27}\text{Al}(p,d){}^{26}\text{Al}$ reaksiyada ${}^{26}\text{Al}$ asosiy holatda hosil bo'lsa, reaksiya energiyasi atom massa defekti orqali topiladi.

$$Q_0 = -17,197 + 7,289 - 13,136 + 12,210 = -10,834 \text{ MeV}$$

Reaksiya energiyasini quyidagi munosabat orqali ham hisoblash mumkin.

$$Q = T_b \frac{m_b + m_B}{m_D} - T_a \frac{m_B - ma}{m_a} \frac{2\sqrt{m_a m_b}}{m_B} \sqrt{T_a T_b} \cos \Theta_b$$

Uchta cho'qqi uchun quyidagi qiymatlarni olamiz:

$$Q_1 = -10,83 \text{ MeV}, Q_2 = -11,87 \text{ MeV}, Q_3 = -15,56 \text{ MeV}.$$

Shunday qilib, 1-cho'qqi ^{26}Al ning asosiy holatiga mos keladi, 2-cho'qqi energiyasi 1,05 MeV bo'lgan uyg'ongan holatga, 3-cho'qqi 4,72 MeV uyg'ongan holatlarga to'g'ri keladi. Nishonning yuza birligidagi atomlar soni:

$$n = \frac{\delta N_A}{A} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{27} = 1,1 \cdot 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{sm}^2}$$

Zarralar to'la soni va differensial effektiv kesimlari:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{2,19 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 1,39 \cdot 10^{16}, \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Delta N}{nN\delta\Omega}$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_1 = \frac{5180}{1,1 \cdot 10^{20} \cdot 1,39 \cdot 10^{16} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \approx 1,7 \cdot 10^{-29} \frac{\text{cm}^2}{\text{cp}} = 17 \frac{\text{mbarn}}{\text{sr}}, \quad \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_2 = 3,6 \frac{\text{mbarn}}{\text{sr}}$$

9.64. $\sigma = \omega / n_0 \cdot d = 0,05 \text{ barn}$, bu erda $n_0 = 1 \text{ sm}^3$ hajimdagi yadrolar soni.

10-§. Elementar zarralar

10.1. $T = m \left(\sqrt{1 + (p/m)^2} - 1 \right).$

10.2. 2,76 MeV.

10.3. 0,34 MeV.

10.4. U pion Kompton to'liq uzunligi bilan mos tushadi.

10.5. Gravitatsion kuchning elektrostatik kuchga nisbati $m^2 G / e^2 = 8 \cdot 10^{-37}$, bu yerda G - gravitatsiya doimiysi.

10.6. $K = \left[(m_\Sigma - m_n)^2 - m_\pi^2 \right] c^2 / 2m_\Sigma = 19,5 \text{ MeV}.$

10.7. 1,8 MeV.

10.8. a) $E_{\text{ost}} = 6m_p c^2 = 5,6 \text{ GeV};$

b) $E_{\text{ost}} = m_\pi c^2 (4m_p + m_\pi) / 2m_p = 0,28 \text{ GeV}.$

10.9. Neytral pionning to'liq energiyasini E_π , tinchlikdagi energiyasi

$E_0 = 135 \text{ MeV}$. Energiyaning saqlanish qonunida asosan:

$E_\pi = 2E_\gamma$, bu yerda E_γ - foton energiyasi.

Impulsning saqlanish qonuni bo'yicha:

$$P_\pi = 2P_\gamma \cos 45^\circ \quad (1)$$

Foton impulsi:

$$P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c} \quad (2)$$

Pion impulsi:

$$P_\pi = \frac{1}{c} \sqrt{E_\pi^2 - E_0^2} \quad (3)$$

(3) va (2) ni (1) ga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$E_\pi^2 - E_0^2 = 4E_\gamma^2 \cos^2 45^\circ$$

yoki

$$E_\pi^2 - E_0^2 = E_\pi^2 \cos^2 45^\circ$$

Bundan $E_\pi = E_0 \sqrt{2}$ ekanligini topamiz.

Pion kinetik energiyasi:

$$T_\pi = E_0 (\sqrt{2} - 1),$$

foton energiyasi esa,

$$E_\gamma = E_0 / \sqrt{2}.$$

Bu ifodalarga $E_0 = 135 \text{ MeV}$ qiymatni qo'yib,

$$T_\mu = 56 \text{ MeV}, \quad E_\gamma = 0,61 \text{ MeV}$$

larni olamiz.

10.10. Relyativistik zarraning to'liq energiyasi:

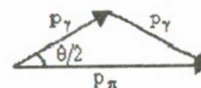
$$E_{\text{pes}} = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4} \text{ ga teng} \quad (1)$$

Kinematik energiyasi esa:

$$T_\pi = E_{\text{pes}} - m_\pi c^2 = \sqrt{p_\pi^2 c^2 + m_\pi^2 c^4} - m_\pi c^2 \quad (2)$$

Bulardan

$$T_\pi m c^2 = \sqrt{p_\pi^2 c^2 + m_\pi^2 c^4} \quad (3)$$



Shartga ko'ra esa: $T_\pi = m_\pi c^2,$

demak (3) dan

$$2T_\pi = \sqrt{p_\pi^2 c^2 + T_\pi^2} \quad (4)$$

(4) ifodadan r ni topamiz,

$$p_\pi = \frac{T_\pi \sqrt{3}}{c} \quad (5)$$

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra $E_\pi = T_\pi$, chizmadagi impulslar uchburchagidan impulsning saqlanish qonuniga ko'ra esa,

$$p_{\pi/2} = p_\gamma \cos \theta/2: P_\pi = 2p_\gamma \cos \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

ga ko'ra ushbu $\frac{T_\pi \sqrt{3}}{c} = 2p_\gamma \cos \frac{\theta}{2} = 2 \frac{E_\gamma}{c} \cos \frac{\theta}{2} = 2 \frac{T_\pi}{c} \cos \frac{\theta}{2}$ (7)

olamiz va

$$Q = 2 \arccos \frac{\sqrt{3}}{2} = 60^\circ$$

energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra

$$E_\gamma = T_\pi, \text{ chizmadan}$$

$$p_{\gamma/2} = p_\gamma \cos Q/2 \text{ yoki } P_\pi = 2p_\gamma \cos \frac{Q}{2}.$$

10.11. p va M larni energiya birliklarida berilgan hol uchun ($s=1$)

$$\text{to'la energiya } E_K = \sqrt{p_K^2 + m_K^2}.$$

$$\text{Shartga ko'ra } p_K = 0, E_{K^+} = m_{K^+}.$$

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra uchta π -mezonning to'la energiyasi:

$$E_{2\pi} = T_{\Sigma\pi} + m_{\Sigma\pi} = T_{\Sigma\pi} + 3m_\pi,$$

$$\text{yoki } E_{K^+} = E_{\Sigma\pi} = T_{\Sigma\pi} + 3m_\pi = m_{K^+}.$$

$$\text{bundan } T_{\Sigma\pi} = m_{K^+} - 3m_\pi = 74,672 \text{ MeV}.$$

10.12. Saqlanish qonunlaridan foydalanib, elektr zaryadi Q, barion zaryadi V, g'alatilik kvant soni S va izotop spinning proeksiyasi I_3 bo'lgan x-zarrachani quyidagi hollar uchun kvant sonlarini topamiz:

1) $\pi^- + p \rightarrow \kappa^- + p + x$ hol uchun:

$$Q: -1+1 \rightarrow -1+1+Q_x \quad Q_x = 0$$

$$B: 0+1 \rightarrow 0+1+B_x \quad B_x = 0$$

$$S: 0+0 \rightarrow -1+0+S_x \quad S_x = 1$$

$$I_3: -1+\frac{1}{2} \rightarrow -\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+(I_3)_x \quad (I_3)_x = -\frac{1}{2}$$

Demak, $Q_x = 0, B_x = 0, S_x = 1, (I_3)_x = -\frac{1}{2}$ kvant sonlari bilan aniqlanuvchi zarracha K^0 - mezon ekan.

2) $\kappa^- + p \rightarrow \Omega^- + \kappa^0 + x$ hol uchun:

$$Q: -1+1 \rightarrow -1+0+Q_x \quad Q_x = 1$$

$$B: 0+1 \rightarrow 1+0+x \quad B_x = 0$$

$$S: -1+0 \rightarrow -3+1+S_x \quad S_x = 1$$

$$I_3: -\frac{1}{2}+\frac{1}{2} \rightarrow -0-\frac{1}{2}+(I_3)_x \quad (I_3)_x = -\frac{1}{2}$$

Demak,

$$Q_x = 1, B_x = 0, S_x = 1, (I_3)_x = -\frac{1}{2}.$$

kvant sonlari bilan aniqlanuvchi zarra K^+ mezon ekan.

3) $p + \bar{p} \rightarrow \Xi^- + \pi + Q_x$ hol uchun:

$$Q_x = 0, B_x = -1, S_x = 2, (I_3)_x = -\frac{1}{2}.$$

kvant sonlari bilan aniqlanuvchi zarra Ξ^0 -giperon ekan.

10.13. Bu reaksiyalarda elektr zaryadi Q, barion zaryadi V, izotop spin proeksiyasi I_3 va g'alatilik kvant soni S larni o'zgarishini tekshirib chiqaylik:

$$1) \pi^- + p \rightarrow \Xi^- + \kappa^+ + \kappa^-,$$

Reaksiya, zaryad va g'alatilikni saqlanish qonunlariga ko'ra taqiqlangan.

$$2) \pi^+ + p \rightarrow \Delta^{++} + \pi^0$$

Reaksiya hamma saqlanish qonunlari bo'yicha o'rinli.

$$3) \kappa^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \bar{n}^0$$

Reaksiya, g'alatilik va izotopspin proeksiyalarni saqlanishi buzilganligi uchun taqiqlangan.

10.14. Bu reaksiyalar kuchsiz ta'sir ostida kechadi, shuning uchun elektr zaryadi Q, barion zaryadi V, elektron lepton zaryadi L_e . Myuon lepton zaryadi L_μ larni o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

1) $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$ reaksiya o'rinli, chunki hamma kvant sonlarining saqlanish qonunlari bajariladi.

2) $\nu_e + n \rightarrow p + \mu^-$ reaksiya elektron va myuon lepton kvant sonlarining saqlanish qonunlari buzilishi sababli taqiqlangan.

3) $\bar{\nu}_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$ reaksiya myuon lepton sonining saqlanish qonuni buzilganligiga ko'ra taqiqlangan.

$$10.15. E_\mu = \frac{(m_\pi^2 + m_\mu^2)c^2}{2m_\pi} = 215m_e c^2 = 109,8 \text{ MeV}.$$

$$|p_\mu| = \sqrt{\frac{E_\mu^2}{c^2} - m_\mu^2 c^2} = 58m_e c, \quad \vec{p}_\nu = -\vec{p}_\mu.$$

10.16. $\omega = 1 - e^{-\lambda} = 0,43$ bu yerda: t-uchish vaqti: τ -harakatlanayotgan mezonning o'rtacha yashash vaqti.

10.17. 2) va 6).

10.18. 52,4 MeV, 53 MeV/s.

10.19. $\Omega^- = sss, \Lambda^+ c = uds, \Lambda^0_B = udb.$

10.20.

	u	u	d	P (uud)
Elektr zaryadi:	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
g'alatilik:	0	0	0	

elektr zaryadi:	u	d	d	n (udd)
	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
g'alatilik:	0	0	0	

elektr zaryadi:	u	d	s	Λ (uds)
	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
g'alatilik:	0	0	-1	

elektr zaryadi:	u	d	s	Σ^0 (uds)
	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
g'alatilik:	0	0	-1	

elektr zaryadi:	u	s	s	Ξ^0 (uss)
	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
g'alatilik:	0	-1	-1	

elektr zaryadi:	s	s	s	Ω^- (sss)
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
g'alatilik:	-1	-1	-1	

10.21. ${}^5_{\Lambda}He$ gipeyadrosini 4He (izospini $\bar{I}({}^4He) = \bar{0}$, spin va juftligi esa $J^P({}^4He) = 0^+$) yadrosiga $1S_{\frac{1}{2}}$ holatdagi Λ giperonni qo'shish yo'li bilan hosil qilish mumkin. $1S_{\frac{1}{2}}$ holatdagi Λ giperonning spin va juftligi $J^P(\Lambda) = \frac{1}{2}^+$, izospini esa $\bar{I} = \bar{0}$. Bundan gipeyadro ${}^5_{\Lambda}He$ ni izospini:

$$\bar{I}({}^5_{\Lambda}He) = \bar{I}({}^4He) + \bar{I}(\Lambda) = \bar{0} + \bar{0} = 0,$$

$$\text{spini esa: } \bar{J}({}^5_{\Lambda}He) = \bar{J}({}^4He) + \bar{J}(\Lambda) = \bar{0} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

va juftligi: $P({}^5_{\Lambda}He) = P({}^4He) \cdot P(\Lambda) = (+1)^0 \cdot (+1) = 1$ ekanligini topamiz.

Demak,

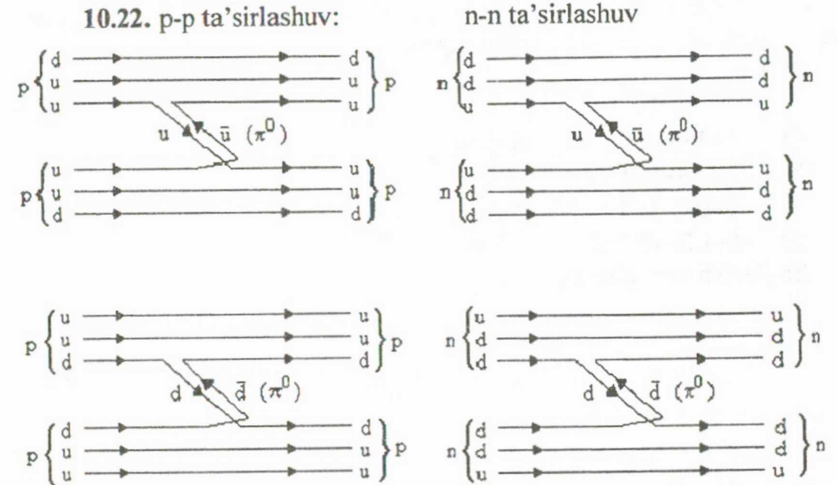
$$J^P({}^5_{\Lambda}He) = \frac{1}{2}^+; \quad I({}^5_{\Lambda}He) = 0.$$

${}^6_{\Lambda\Lambda}He$ gipeyadroni ham 4Ne yadrosini $1S_{\frac{1}{2}}$ holatida ikkita Λ giperoni bor deb qarash mumkin. Bu holda giperonlar $1S_{\frac{1}{2}}$ qobiqni to'ldirdi ularning spini va juftligi: $J^P(\Lambda\Lambda) = 0$ bo'ladi.

${}^6_{\Lambda\Lambda}He$ gipeyadroni izospini: $\bar{I}({}^6_{\Lambda\Lambda}He) = \bar{I}({}^4He) + \bar{I}(\Lambda) + \bar{I}(\Lambda) = \bar{0} + \bar{0} + \bar{0} = \bar{0}$ spini

$$\text{esa: } \bar{J}({}^6_{\Lambda\Lambda}He) = \bar{J}({}^4He) + \bar{J}(\Lambda) = \bar{0} + \bar{0} = \bar{0}$$

va juftligi: $P({}^6_{\Lambda\Lambda}He) = P({}^4He)P(\Lambda) = (+1)^0(+1) = +1$,
ya'ni: $J^P = 0^+$, $I({}^6_{\Lambda\Lambda}He) = 0$.



10.23. Δ^{++} , Δ^- , Ω^- zarralarning spinlari va juftligi $J^P = \frac{3}{2}^+$ ga teng,

kvarklarning spinlari esa $\frac{1}{2}$ ga teng, ya'ni Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi. Yuqoridagi zarralar ushbu kvark tuzilishiga ega:

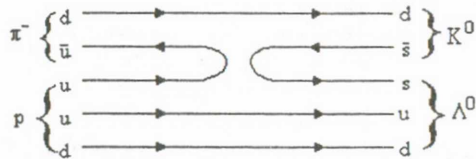
$$\Delta^{++}(u \uparrow u \uparrow u \uparrow), \quad \Delta^-(d \uparrow d \uparrow d \uparrow), \quad \Omega^-(s \uparrow s \uparrow s \uparrow),$$

ya'ni hamma kvarklarning spinlari bir xil yo'nalgan va ularning orbital momentlari esa nolga teng. Bu esa Pauli tamoyiliga zid, chunki bir fizik holatda, bir xil kvant sonlariga ega bo'lgan uchta fermion joylasha olmaydi. Pauli tamoyili buzilmasligi uchun har bir kvark uch xil rangda bo'ladi deb qabul qilingan. «Rang» kvant soni bo'lib, u «qizil», «havo rang» va «yashil» qiymatlarni qabul qiladi.

10.24.

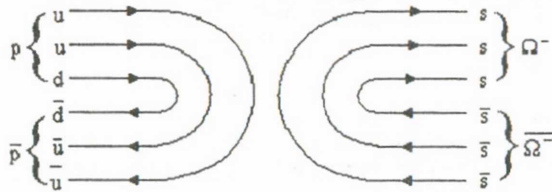
- 1) $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$,
 Q: $-1+1 \rightarrow 0+0$ $\Delta Q=0$
 B: $0+1 \rightarrow 1+0$ $\Delta B=0$
 S: $0+0 \rightarrow -1+1$ $\Delta S=0$
 $I_3: -1+1/2 \rightarrow 0-1/2$ $\Delta I_3=0$

Saqlanish qonunlari bajariladi.



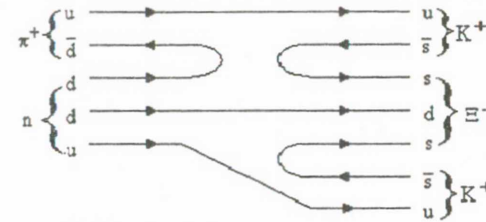
- 2) $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Omega}^- + \Omega^-$,
 Q: $1-1 \rightarrow 1-1$ $\Delta Q=0$
 B: $1-1 \rightarrow -1+1$ $\Delta B=0$
 S: $0+0 \rightarrow +3-3$ $\Delta S=0$
 $I_3: 1/2-1/2 \rightarrow 0+0$ $\Delta I_3=0$

Saqlanish qonunlari bajariladi.

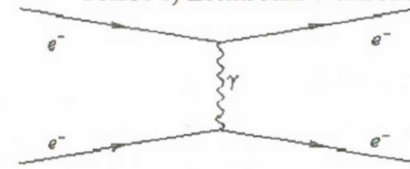


- 3) $\pi^+ + n \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^+$
 Q: $1+0 \rightarrow -1+1+1$ $\Delta Q=0$
 B: $0+1 \rightarrow 1+0+0$ $\Delta B=0$
 S: $0+0 \rightarrow -2+1+1$ $\Delta S=0$
 $I_3: 1-1/2 \rightarrow -1/2+1/2+1/2$ $\Delta I_3=0$

Saqlanish qonunlari bajariladi.



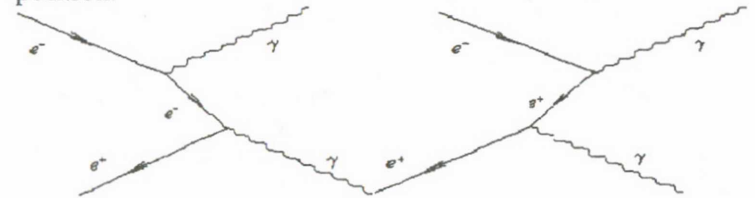
10.25. 1) Elektronni elektronida sochilishi. Virtual zarracha-foton.



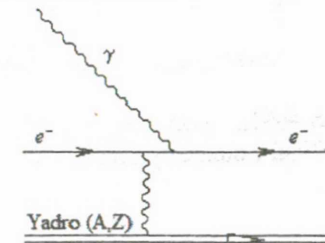
2) Kompton effekti. Virtual zarracha-elektron.



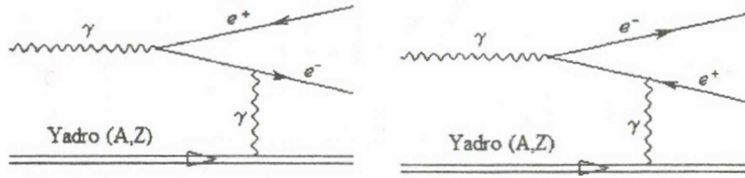
3. Elektron-pozitron annigilyasiyasi. Virtual zarracha-elektron yoki pozitron.



4)Yadro Kulon maydonida fotoeffekt. Virtual zarracha foton.



5. Yadro Kulon maydonida elektron-pozitron juftining hosil bo'lishi. Virtual zarracha –foton.



10.26. Kvant elektrodinamikasida bog'lanish doimiysi $g_{El} = \sqrt{\frac{e^2}{\hbar c}}$. N

ta tugunli diagrammaga g_{El}^N ga porsional amplituda mos keladi, g_{El}^{2N} ga proporsional kesim mos keladi. Ikki fotonli annigilyatsiya, ikki tugunli Feynman diagrammasi bilan ifodalanadi. Shuning uchun bu jarayonning kesimi:

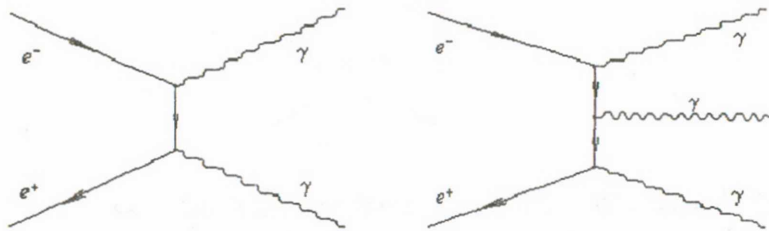
$$\sigma_{2\gamma} \approx g_{El}^4 = \left(\frac{1}{137}\right)^2.$$

Uch fotonli annigilyatsiya uchun $N=3$, bo'lganligidan:

$$\sigma_{3\gamma} \approx g_{El}^6 = \left(\frac{1}{137}\right)^3$$

Ya'ni, kesimlari nisbati:

$$\frac{\sigma_{2\gamma}}{\sigma_{3\gamma}} = \frac{g_{El}^4}{g_{El}^6} = \frac{1}{g_{El}^2} = 137$$

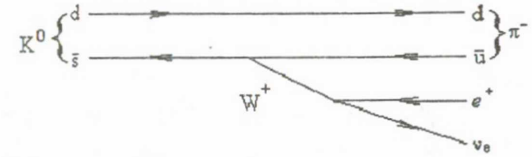
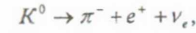


10.27. 2, 3, 6, 7, 9 reaksiyalarda lepton zaryadi saqlanmaganligi sababli taqiqlangan.

10.28. Adronlar g'alatilik sonining o'zgarishi bilan bo'ladigan kuchsiz yemirilishlar quyidagi qoida bo'yicha bo'ladi:

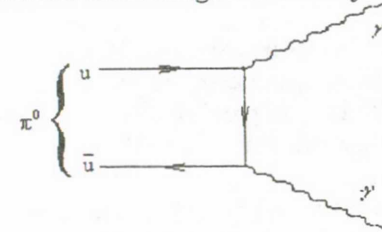
$|\Delta S|=1$ va $\Delta Q = \Delta S$, bunda ΔQ va ΔS elektr zaryadi va g'alatilikning o'zgarishi ko'rilayotgan reaksiyalar uchun adronlarni elektr zaryadi va g'alatilik kvant sonining o'zgarishini aniqlaylik.

1) Yemirilish ruxsat etilgan:

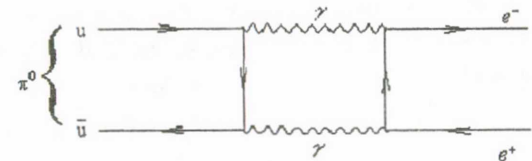


- 2) Yemirilish ruxsat etilgan
- 3) Yemirilish ruxsat etilmagan

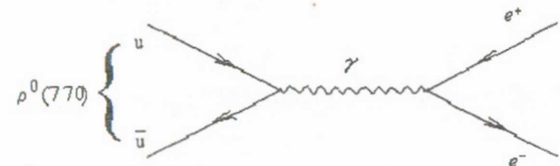
10.29. Bu yemirilish elektromagnit ta'sir natijasida bo'ladi.



- 1) Bu yemirilish elektromagnit ta'sir natijasida bo'ladi.



- 2) Bu yemirilish elektromagnit ta'sir natijasida bo'ladi.

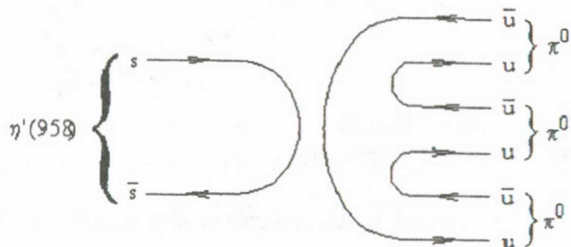


2) va 3) yemirilishlarni diagrammasidagi farqi π^0 va ρ^0 mezonlar zaryad juftligining har xilligi tufayli bo'ladi, ya'ni $C_{\pi^0} = +1$, $C_{\rho^0} = -1$. γ -kvantning zaryad juftligi $C_\gamma = -1$ bo'lganligi tufayli π^0 -mezon faqat juft sonli γ -kvantlarga yemiriladi.

$$C_{\pi^0} = C_\gamma C_\gamma = (-1) \cdot (-1) = +1$$

ρ^0 -mezon uchun esa γ -kvantlar soni toq bo'lishi kerak:

$$C_{\rho^0} = C_\gamma = -1$$



4) Bu yemirilish kuchli ta'sir natijasida bo'ladi.

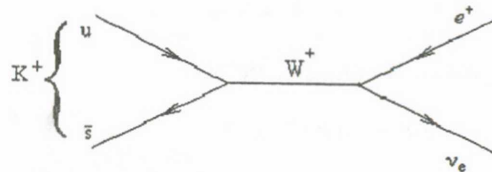
10.30. K^+ -mezona parchalanish jarayonida elektr zaryadi (Q), g'alatilik (S), adronlar izospin proeksiya (I_3) va leptonlar soni yoki lepton zaryadlarining (L_e) o'zgarishlarini aniqlaymiz:

$$1) K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-.$$

Bunday parchalanish man etilgan. Sababi elektr zaryad saqlanish qonuni bajarilmaydi, ya'ni: $(+1) = 0 + (+1) + (-1)$ yoki $(+1) \neq 0$.

$$2) K^+ \rightarrow e^+ + \nu_e.$$

Parchalanish ruxsat etilgan. Kuchsiz o'zaro ta'sir uchun hamma saqlanish qonunlari bajariladi. Kuchsiz o'zaro ta'sir, g'alatilik va izospinlarning saqlanmasligiga yo'l qo'yiladi. Ushbu parchalanish diagrammasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

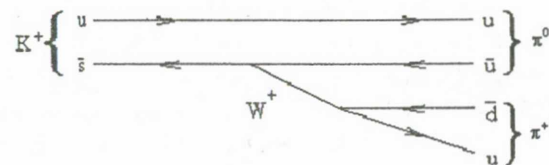


$$3) K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \bar{\nu}_e.$$

Lepton zaryadi L_e saqlanish qonuni bo'yicha man etilgan.

$$4) K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0.$$

Parchalanish ruxsat etilgan. Kuchsiz o'zaro ta'sir uchun hamma saqlanish qonunlari bajariladi. Ushbu parchalanish diagrammasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:



10.31. Birinchi holda ikkita kvark ta'sirlashganda ularning rangi o'zgarmaydi. Agarda kuchli ta'sirda, kvarklar o'zaro oshkor bo'lmagan rangga ($q\bar{q}$, $x\bar{x}$, $y\bar{y}$) ega bo'lgan glyuonlar bilan almasha yoki elektrokuchsiz ta'sirlashuvda virtual Z^0 va γ kvantlar bilan almasha. Bu yerda glyuonlar bilan almashinuvchi kuchli ta'sirning bo'lish ehtimolligi katta.

Ikkinchi holda, kuchli ta'sirlashuvda kvarklarning o'zaro glyuonlar bilan almashishi natijasida kvarklar rangi o'zgardi (ikkinchi variant).

10.32. Pozitroniyning fazoviy juftligi R_{poz} elektron va pozitronni ichki juftliklarini $(-1)^L$ orbital ko'paytmaga ko'paytirish orqali aniqlanadi.

Elektron va pozitronning spini $\frac{1}{2}$, ya'ni fermion va antifermion, bundan ularni ichki juftliklari ko'paytmasi $(-1)(+1) = -1$ ekanligi kelib chiqadi. Demak:

$$P_{poz} = (-1)(-1)^L = (-1)^{L+1}$$

10.33. Ikkita π^0 mezonlarni nisbiy orbital momentlarini, harakat miqdori momenti va juftlikning saqlanish qonunlaridan foydalanib topamiz:

$$P_p P_{\bar{p}} = (-1)^L = P_{\pi^0} P_{\pi^0} (-1)^L$$

bu yerda $P_p, P_{\bar{p}}, P_{\pi^0}$ - proton, antiproton va π^0 mezonlarini ichki juftliklari, ular mos ravishda quyidagiga teng:

$$P_p = +1, P_{\bar{p}} = -1 \text{ va } P_{\pi^0} = -1$$

bulardan $(-1)(-1)^L = (-1)^L$ ni topamiz,

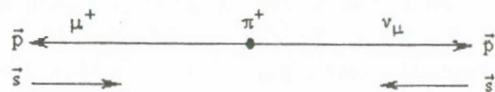
demak $L = L + 1$.

10.34. Zarralarning spiralligi:

$$h = \frac{\vec{S} \cdot \vec{P}}{|\vec{S}| |\vec{P}|}$$

bu yerda \vec{S} - zarracha spini, \vec{P} - zarracha impuls. Zarracha spini bilan harakat yo'nalishlari bir xil bo'lgan holat uchun $h = +1$, qarama-qarshi yo'nalgan holat uchun esa $h = -1$. Ultra relyativistik fermion, har qanday

kuchsiz ta'sirli jarayonda ishtirok etayotgan bo'lsa, uning spiralligi zarracha uchun $h = -1$ antizarracha uchun $h = +1$ bo'ladi. π^+ -mezonnini spini $S_{\pi^+} = 0$. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ yemirilishda ν_{μ} ultrarelyativistik zarracha sifatida $h = -1$ spirallikka ega bo'ladi. Mos ravishda, myuon ham impuls va impuls momentining saqlanish qonuniga ko'ra $h = -1$ ga ega bo'ladi. Bu holda μ^+ mezon antizarracha bo'lishga qaramay $h = -1$ ga ega, chunki uning kinetik energiyasi bu reaksiyada tinchlikdagi massasidan juda kichik va u relyativistik zarra emas. Bunday myuon ($m_{\pi} - m_{\mu} \ll m_{\mu}$) $h = -1$ ga ega bo'lishi mumkin.



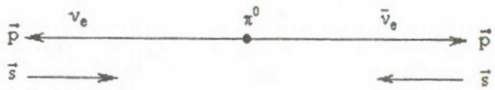
Bu yemirilish uchun fazoviy inversiya (ko'zgu almashtirish) amalini bajarsak, neytrinning spiralligi $h = +1$ bo'ladi, bu esa, ultrarelyativistik fermionlar uchun mumkin emas. Ko'zgu almashtirishga ko'ra simmetriyaning bajarilmasligi bu yemirilish uchun fazoviy juftlikning saqlanmasligiga olib keladi. Demak, kuchsiz ta'sirda fazoviy juftlik saqlanmaydi.

10.35. Neytrino har doim manfiy spirallikka, antineytrino esa musbat spirallikka ega. Neytrinning spini $\vec{S}_\nu = \frac{1}{2}$ bo'lib, u neytrino harakati yo'nalishga qarama-qarshi yo'nalgan. Antineytrino uchun ham $\vec{S}_{\bar{\nu}} = \frac{1}{2}$, lekin yo'nalishi zarracha harakati yo'nalishi bilan bir xil. $\pi^0 \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$ yemirilish uchun impulsning saqlanish qonuniga ko'ra, neytrinolar bir-biriga qarama-qarshi tomonga uchib chiqadi. ν_e va $\bar{\nu}_e$ larning harakat miqdori momenti

$$\vec{J} = \vec{S}_{\nu} + \vec{S}_{\bar{\nu}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

Lekin, π^0 mezonning spini $S_{\pi^0} = 0$, demak, $\pi^0 \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$ yemirilish harakat miqdori momentining saqlanish qonuni bajarilmasligi sababli taqiqlangan.

$$J_i = S_{\pi^0} = 0, \quad J_f = \vec{S}_{\nu} + \vec{S}_{\bar{\nu}} = 1$$



10.36. Kuchsiz ta'sirli jarayonlarda qatnashayotgan ultrarelyativistik fermionlar uchun spirallik: zarracha uchun $h = -1$ ga, antizarracha uchun esa $h = +1$ ga teng. Masala shartida keltirilgan yemirilishlar uchun, neytrino $h = -1$ ga ega bo'ladi. Shuning uchun impuls momentini saqlanish qonuniga ko'ra, μ^+ -ni spini, uni impulsiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lishi kerak. μ^+ -mezon kuchsiz ta'sir ostida tug'ildi, demak, u $h_{\mu^+} = +1$ ga ega bo'lishi kerak. Agarda μ^+ mezonni massasi ham neytrino kabi nolga teng bo'lganda edi, u holda:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$$

yemirilish ham taqiqlangan bo'lar edi. Lekin μ^+ mezonning massasi noldan farqli bo'lgani uchun u $h = +1$ va $h = -1$ spirallikka ega bo'lgan holatlarning aralashmasidan iborat holda uchib chiqadi. Yemirilish $h = -1$ holat borligi uchun yuz beradi, bu $\pi^+ \rightarrow e + \nu_e$ yemirilishni $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ ga nisbatan 10^4 marta sekin bo'lishini tushintiradi. $m_e \ll m_{\mu}$ bo'lganligi uchun $\pi^+ \rightarrow e + \nu_e$ yemirilishda $h = -1$ holatning hisyasi $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ yemirilishga qaraganda juda kam bo'ladi.

10.37. Fermion-antifermion majmuasining zaryad juftligi:

$$c = (-1)^L (-1)^J.$$

bu yerda, L -o'zaro orbital moment, J -majmuaning to'la momenti (spini). $\eta_c(1S)$ va $J/\psi(1S)$ mezonlar bir xil (c esa \bar{c}) kvarak tuzilishiga ega. Ularning orbital momentlari nolga teng ($1S$ holat), $\eta_c(1S)$ mezonni spini $J/\psi(1S)$ mezonnikisi esa 1. Shuning uchun:

$$c_{\eta_c} = (-1)^0 (-1)^0 = 1, \quad c_{J/\psi} = (-1)^0 (-1)^1 = -1$$

ILOVALAR

1. Moddalar zichligi

Modda	Zichligi, 10^3 kg/m^3	Modda	Zichligi, 10^3 kg/m^3
Alyuminiy	2,65-2,7	Rux	7,15
Bariy	3,76	Bor karbidi	2,5
Berilliy	1,84	Beton	2,3
Bor	2,34	Havo	$1,293 \cdot 10^{-3}$
Vanadiy	5,9	Titan oksidi	4,26
Volfram	19,34	Titan	4,5
Temir	7,88	Iridiy	22,4
Oltin	19,31	Latun	8,6
Yod	4,93	Shisha	2,5
Kadmiy	8,66	Grafit	1,6
Kobalt	8,8	Indiy	7,28
Kremniy	2,33	Berilliy okisi BeO	3,03
Mis	8,93	Parafin CH ₂	0,89
Qalay	7,3	Plutoniy	19,8
Platina	21,46	Simob	13,6
Qo'rg'oshin	11,35	Toriy	11,7
Kumush	10,50	Og'ir suv D ₂ O	1,1
Ko'mir	10,50	Uran	19,0
Fosfor	1,7-2,3	NaCl	2,18
Seziy	1,82	CsCl	4,04

2. Metallardan elektronlarning chiqish ishi

Metall	Chiqish ishi A	
	eV	10^{-19} J
Alyuminiy	3,74	5,98
Volfram	4,5	7,2
Kaliy	2,15	3,44
Litiy	2,39	3,82
Natriy	2,27	3,63
Nikel	4,84	7,74
Platina	5,29	8,46
Kumush	4,28	6,85
Seziy	1,89	3,02
Rux	3,74	5,98
Bariy oksidi	0,99	1,58

3. Rentgen nurlanish K-polosasining yutilish chegarasi

Z	Element	$\lambda_K, \text{ nm}$	Z	Element	$\lambda_K, \text{ nm}$
23	V	226,8	47	Ag	48,60
26	Fe	174,1	50	Sn	42,39
27	Co	160,4	74	W	17,85
28	Ni	148,6	78	Pt	15,85
29	Cu	138,0	79	Au	15,35
30	Zn	128,4	82	Pb	14,05
42	Mo	61,9	92	U	10,75

4. Volframning issiqlik nurlanish koeffitsienti α va turli temperaturadagi solishtirma qarshiligi ρ

T, K	α	$\rho, \text{ Om} \cdot \text{ m} \cdot 10^4$
1000	0,115	25,7
1500	0,194	41,8
2000	0,260	59,1
2500	0,303	77,2
3000	0,334	96,2
3500	0,351	115,7

5. Atomlar ionizatsiya potentsiallari

Z	Atom	Ionizatsiya potentsiali $\phi, \text{ V}$	Z	Atom	Ionizatsiya potentsiali $\phi, \text{ V}$
1	H	13,59	7	N	14,54
2	He	24,58	8	O	13,62
3	Li	5,39	9	F	17,42
4	Be	9,32	10	Ne	21,56
5	B	8,30	11	Na	5,14
6	C	11,27	80	Hg	10,44

6. Izotoplar jadvali

Jadvalda ba'zi izotoplar neytral atomlarining massalari $m = \frac{1}{12} M(^{12}\text{C}) = 931,5 \text{ MeV}$ "uglerod" massa shkalasida keltirilgan. Nostabil izotoplar uchun yarim yemirilish davri, asosiy parchalanish turlari va nurlanish energiyalari ham keltirilgan.

Izotop belgisi	Massa, m.a.b.	Tabiiy aralashm adagi miqdori, %	Parchalanish turi	Yarim yemirilish davri	Nurlanish energiyasi, MeV	
					(α , β) zarralar	γ
1	2	3	4	5	6	7
1_0n	1,008665	-	β^-	11,7 min	0,782	
1_1H	1,007825	99,985	Stabil	-		
2_1H	2,014102	0,01492	Stabil	-		
3_1H	3,016049	-	β^-	12,26 yil	0,0186	
3_2He	3,016030	$3 \cdot 10^{-4}$				
4_2He	4,002603	100	Stabil			
6_3Li	6,015126	7,42	Stabil			
7_3Li	7,016005	92,58	Stabil			
7_4Be	7,016930	-	e-qamrash	53,61 kun		
8_4Be	8,005308	-	2α	2.10^{-16} s	0,047	
9_4Be	9,012185	100	Stabil			
$^{10}_4Be$	9,013535	-	β^-	$2,5 \cdot 10^6$ yil	0,555	
$^{10}_5B$	10,012938	19,61	Stabil			
$^{11}_5B$	11,009305	80,39	Stabil			
$^{11}_6C$	11,011431	-	β^+	20,5 min	0,968	
$^{12}_5B$	12,014352	-	β^-	$22 \cdot 10^{-3}$ s	13,37	
$^{12}_6C$	12,000000	98,893	Stabil			
$^{13}_6C$	13,003354	1,107	Stabil			
$^{13}_7N$	13,005738	-	β^+	10 min	1,2	
$^{14}_6C$	14,003242	-	β^-	5685 yil	0,158	
$^{14}_7N$	14,003074	99,6337	Stabil			
$^{15}_7N$	15,000108	0,3663	Stabil			

$^{15}_8O$	15,003072	-	β^+	2,1 min	1,68	
$^{16}_8O$	15,994915	99,759	Stabil			
$^{17}_8O$	16,999133	0,037	Stabil			
$^{18}_8O$	17,999160	0,204	Stabil			
$^{19}_9F$	18,000950	-	β^+	1,87 soat	0,649	
$^{19}_9F$	18,998405	100	Stabil			
$^{19}_9F$	19,999985	-	β^-	12 s	5,42	
$^{20}_{10}Ne$	19,992440	90,52	Stabil			
$^{21}_{10}Ne$	20,993849	0,26	Stabil			
$^{22}_{10}Ne$	21,991385	8,82	Stabil			
$^{22}_{11}Na$	21,994435	-	β^+ (89%); E(11%)	2,6 yil	0,54	1,28
$^{23}_{11}Na$	22,989773	100	Stabil			
$^{24}_{11}Na$	23,990967	-	β^-	15 soat	1,39	
$^{24}_{12}Mg$	22,994135	-		11 s	2,95	
$^{24}_{12}Mg$	23,985044	78,60	Stabil			
$^{24}_{12}Mg$	24,985840	10,11	Stabil			
$^{24}_{12}Mg$	25,988259	11,29	Stabil			
$^{26}_{12}Mg$	26,984345	-	β^-	8,5 min	1,75 va 1,59	
$^{26}_{13}Al$	25,986900	-	β^+	6,7 s	3,20	
$^{27}_{13}Al$	26,981535	100	Stabil			
$^{27}_{14}Si$	26,986701	-	β^+	4,33 s	3,85	
$^{28}_{13}Al$	27,981909	-	β^-	2,31 min	2,87	1,78
$^{28}_{14}Si$	27,976927	92,21	Stabil			
$^{29}_{14}Si$	28,976491	4,68	Stabil			
$^{30}_{14}Si$	29,973761	3,05	Stabil			
$^{31}_{14}Si$	30,975349	-	β^-	2,65 soat	1,47	
$^{30}_{15}P$	29,978320	-	β^+	2,5 min	3,24	
$^{31}_{15}P$	30,973763	100	Stabil			
$^{32}_{15}P$	31,973908	-	β^-	14,5 kun	1,708	
$^{32}_{16}S$	31,972074	95,0	Stabil			

³³ ₁₆ S	32,971460	0,75	Stabil			
³⁴ ₁₆ S	33,967864	4,21	Stabil			
³⁵ ₁₆ S	34,969034	-	β ⁻	87 sut	0,167	
³⁶ ₁₆ S	35,967091	0,0136	Stabil			
³⁵ ₁₇ Cl	34,968854	75,4	Stabil			
³⁶ ₁₇ Cl	35,968312	-	β ⁻ ,E	3,08.10 ⁵ yil	0,714	
³⁷ ₁₇ Cl	36,965896	24,6	Stabil			
³⁶ ₁₈ Ar	35,967548	0,34	Stabil			
³⁷ ₁₈ Ar	36,966772	-	K	32 sut		
³⁹ ₁₈ Ar	38,964321	-	β ⁻	265 yil	0,565	
³⁹ ₁₉ K	38,963714	93,1	Stabil			
⁴⁰ ₁₈ Ar	40,037616	99,6	Stabil			
⁴⁰ ₁₉ K	39,964008	0,0118	β ⁻ ,E, β ⁺	1,27.10 ⁹ yil	1,321	
⁴² ₁₉ K	41,962417	-	β ⁻	1,52 soat	3,55 va 1,99	
⁴⁰ ₂₀ Ca	39,962589	96,97	Stabil			
⁵¹ ₂₃ V	50,943978	99,76	Stabil			
⁵² ₂₃ V	51,944802	-	β ⁻	3,77 min	2,47	
⁵⁵ ₂₅ Mn	54,938054	100	Stabil			
⁵⁸ ₂₇ Co	57,935754	-	K, β ⁺	72 sut	0,47	
⁵⁹ ₂₇ Co	58,933189	100	Stabil			
⁶⁰ ₂₇ Co	59,933806	-	β ⁻	5,25 yil	0,309	1,17; 1,33
⁶³ ₂₉ Cu	62,929594	69,1	Stabil			
⁶⁵ ₂₉ Cu	64,927786	30,9	Stabil			
⁷⁰ ₃₀ Zn	64,929234	-	K, β ⁺	245 sut	0,325	
⁷⁹ ₃₅ Br	81,916804	-	β ⁻	35.282 soat	0,456	
⁸⁸ ₃₈ Sr	87,905612	82,56	Stabil			
⁸⁸ ₃₈ Sr	88,907451	-	β ⁻	50.53 sut	1,46	
⁸⁸ ₃₈ Sr	89,907761	-	β ⁻	28,1 yil	0,541	
⁸⁹ ₃₉ Y	89,907177	-	β ⁻	64,3 soat	2,273	
¹⁰³ ₄₅ Rh	102,90499 0	100	Stabil			

¹⁰³ ₄₅ Rh	103,90636 0	-	β ⁻	4,41 min (IP); 44 s	2,44	
¹⁰⁷ ₄₇ Ag	106,90497 0	51,35	Stabil			
¹⁰⁷ ₄₇ Ag	107,90880	-	β ⁻	2,42 min	1,65(94%) 1,03(1,9%)	0,632
¹⁰⁸ ₄₇ Ag	108,90470 0	48,65	Stabil			
¹⁰⁹ ₄₇ Ag	109,90605 0	-		24,5 s	2,87(88%) 2,14(12%)	0,656
¹²⁶ ₅₃ I	126,90435 2	100	Stabil			
¹²⁷ ₅₃ I	127,90581 8	-	β ⁻	25 min	2,12(76%) 1,66(16%) 1,14(2%)	0,44 0,98
¹³⁶ ₅₅ Cs	136,90682 0	-	β ⁻	30 yil	0,52(92%) 1,18(8%)	0,66
¹³⁶ ₅₆ Ba	136,90556 0	11,32	Stabil			
¹⁹⁷ ₇₉ Au	196,96655 2	100	Stabil			
¹⁹⁷ ₇₉ Au	197,96824 2	-	β ⁻	2,7 kun	0,96	0,412
²⁰⁰ ₈₀ Hg	202,97285 3	-	β ⁻	46,9 kun	0,22	0,279
²⁰³ ₈₁ Tl	203,97389 0	-	β ⁻	3,78 kun	0,762	
²⁰⁵ ₈₂ Pb	205,97445 9	25,0	Stabil			
²⁰⁶ ₈₂ Pb	206,97589 8	22,6	Stabil			
²⁰⁷ ₈₂ Pb	207,97664 4	52,4	Stabil			
²⁰⁹ ₈₂ Pb	209,98417 7	-	β ⁻	21,4 yil	0,014	
²⁰⁸ ₈₃ Bi	208,98039 9	100	Stabil			
²⁰⁹ ₈₃ Bi	209,98411	-	β ⁻	4,99 kun	1,17	

	0					
⁸⁴ Po	209,98286 6	-	α	138,4 kun	5,30	
⁸⁶ Rn	222,01753	-	α	3,8 sut	5,49	
1	2	3	4	5	6	7
⁸⁸ Ra	226,02536 0	-	α	16,02 yil	4,78(94%) 4,59(5,7%))	0,188
⁹⁰ Th	232,03805 5	100	α	1,4·10 ¹⁰ yil	4,00 va 3,98	
⁹⁰ Th	233,04158 2	-	β ⁻	21.83 min	1,23	
⁹² U	233,03949 8	-	β ⁻ , α	16,3·10 ⁴ yil	4,815(83%)) 4,773(15%))	
⁹² U	234,04095 1	0.0054	α	2.455·10 ⁵ yil	4,76 va 4,72	
⁹² U	235,04393 0	0.7204	α	7.04·10 ⁸ yil		
⁹² U	236,04556 8	-	α	2.342E7 l		
⁹² U	238,05076 0	99,24	α	4,56 ·10 ⁹ yil	4,182(77%)) 4,135(23%))	
⁹³ Pu	238,04611 0	-	α, β ⁻	5,0·10 ¹⁰ yil	5,495(72%)) 5,452(28%))	
⁹² U	239,05429 3	-	β ⁻	23.45 min	1,21	
⁹³ Pu	239,04950 0	-	α, β ⁻	2,44·10 ⁴ yil	5,147(72%)) 5,134(17%))	

Eslatma. Jadvalda β-zarralar maksimal energiyalarining qiymatlari keltirilgan.

7. Neytron effektiv kesimi

(Tezligi 2200 m/s atrofida bo'lgan issiqlik neytronlar uchun)

Jadvalda (n,X) reaksiya hisobiga neytronlar yutilish kesimi va nurlangan namunalarda radioaktivligi bo'yicha aniqlangan issiqlik neytronlar aktivatsiya kesimlari keltirilgan. Bu yerda: X – zarracha yoki γ-kvant. Yadro mahsulotlarning eng yuqori uyg'ongan holatlaridan boshlangan ayrim izomer holatlar uchun aktivatsiya kesimlari keltirilgan.

Izotop	Tabiiy aralashmadagi ulushi, %	Yutilish kesimi, b	Aktivatsiya kesimi, b	Mahsulot T _{1/2}
¹⁰ ₅ B	19,8	3838 ±15	0,5±0,2	
⁵ V _{tab.}		758±3	-	
²⁷ ₁₃ Al	100	0,241±0,003	(0,21±0,02)·10 ^{-a}	2,3 min
³¹ ₁₅ P	100	0,20±0,02	0,19±0,01	14,5 kun
⁵¹ ₂₃ Y	99,76	-	4,5±0,9	3,76 min
⁵⁹ ₂₇ Co	100	38,0±0,5	16±3 20±3	10,4 min 5,28 yil
⁶⁵ ₃₀ Zn	48,89	1,5·10 ⁻⁵ (n,α)	0,47	246 kun
⁷⁵ ₃₃ As	100	4,3±0,2	5,4±10	27 soat
¹⁰⁷ ₄₇ Ag	51,35	31±2	45±4 3,2±0,4	2,42 min 270 kun
¹⁰⁹ ₄₇ Ag	48,65	87±7	113±13	24,2 s
^{Cd} _{tab.}		2537±9	-	-
¹¹³ ₄₈ Cd	12,26	20000	-	-
¹¹⁴ ₄₈ Cd	28,86	-	0,14±0,03 1,1±0,3	43 kun 53 kun
¹⁹⁷ ₇₉ Au	100	98,8±0,3	96±10	2,7 kun

8. Gamma-kvantlar uchun susayish va yutilish koeffitsientlari

Energiya, MeV	Alyuminiy		Qo'rg'oshin		Suv		Havo	
	μ/ρ	τ/ρ	μ/ρ	τ/ρ	μ/ρ	τ/ρ	μ/ρ	τ/ρ
0,1	0,169	0,0371	5,46	2,16	0,171	0,0253	0,155	0,0233
0,2	0,122	0,0275	0,942	0,586	0,137	0,0299	0,123	0,0269
0,4	0,0927	0,0287	0,220	0,136	0,106	0,0328	0,0953	0,0295

0,6	0,0779	0,0286	0,119	0,0684	0,0896	0,0329	0,0804	0,0295
0,8	0,0683	0,0278	0,0866	0,0477	0,0786	0,0321	0,0706	0,0288
1,0	0,0614	0,0269	0,0703	0,0384	0,0706	0,0310	0,0635	0,0276
1,5	0,0500	0,0246	0,0550	0,0280	0,0590	0,0283	0,0515	0,0254
2,0	0,0431	0,0227	0,0463	0,0248	0,0493	0,0260	0,0445	0,0236
3,0	0,0360	0,0201	0,0410	0,0238	0,0390	0,0227	0,0360	0,0211
4,0	0,0310	0,0188	0,0421	0,0253	0,0339	0,0204	0,0307	0,0193
6,0	0,0264	0,0174	0,0436	0,0287	0,0275	0,0178	0,0250	0,0173
8,0	0,0241	0,0169	0,0459	0,0310	0,0240	0,0163	0,0220	0,0163
10,0	0,0229	0,0167	0,0489	0,0328	0,0219	0,0154	0,0202	0,0156

Bu yerda: μ/ρ va τ/ρ - mos holda (nozik dasta uchun) susayish va yutilish massaviy koeffitsientlari, sm^2/g .

9. Kvark modeli

Hamma kvarklar spini 1/2 ga teng. Kvarklar barion zaryadi 1/3 ga teng.

Kvant soni	Kvark turi					
	d	u	S	c	b	T
Elektr zaryadi	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3
Izospini T	1/2	1/2	0	0	0	0
Izospin komponentasi T_z	-1/2	+1/2				
G'alatilik s	0	0	-1	0	0	0
Maftunkorlik s	0	0	0	+1	0	0
Chiroylilik b	0	0	0	0	-1	0
Haqqoniylik t	0	0	0	0	0	+1

Eslatma. Xalqaro adabiyotlarda b va t zarralar kvant sonlarini belgilashda "beauty" – chiroylilik va "truth" – haqqoniylik terminlari bilan birga "bottomness" va "topness" terminlari ham qo'llaniladi. Kvark turi ko'pchilik hollarda "flavor" – "aromat" termini bilan ham belgilanadi.

10. Ba'zi bir zarralarning nomlari

Simvoli	Nomi
$p = {}^1_1H$	proton - vodorod atomi yadrosi
n	neytron
$d = {}^2_1H$	deytron - og'ir vodorod, ya'ni D deyteriy yadrosi
$t = {}^3_1H$	triton - o'ta og'ir vodorod, ya'ni T tritiy yadrosi
$\alpha = {}^4_2He$	α -zarra - geliy atomi yadrosi

11. Birliklar nomlarining o'nli old qo'shimchalari

Nomi	Belgisi	ko'paytiruvchi	Nomi	Belgisi	ko'paytiruvchi
tera	T	10^{12}	santi-	s	10^{-2}
giga	G	10^9	milli	m	10^{-3}
mega	M	10^6	mikro	mk	10^{-6}
kilo	K	10^3	nano	n	10^{-9}
gekto	G	10^2	piko	p	10^{-12}
deko	Da	10	femto	f	10^{-15}
detsi	D	10^{-1}	atto	a	10^{-18}

12. Elementar zarralar jadvali

Jadvalda quyidagi belgilashlardan foydalanilgan: T-izospin, J - juftlik, I-spin, R-fazoviy juftlik, S-zaryad juftligi. Tajribadagi xatoliklari ham ixcham ko'rinishda keltirilgan, ya'ni: $1,12 \pm 0,03$ ko'rinish o'rniga 1,12(3) deb yozilgan.

Zarra	$T^{(G)}I^{(p)}$ C	Massa (MeV)	O'rtacha yashash vaqti τ (s), $\sigma\tau$ (sm)	Yemirilish turi	Yemirilish ulushi (%)
1	2	3	4	5	6
Kalibrovkali bozonlar					
γ	0;	$(<3 \cdot 10^{-33})$		ev	
W	$1(1^-)$	$808(27) \cdot 10^2$	G<7 GeV	e^+e^-	
Z		$929(16)10^2$	G<8,5 GeV	$\mu^+\mu^-$	
Leptonlar					
ν_e	I=1/2	(<46 eV)	Stabil	Stabil	
e	I=1/2	0,5110034(14)	»	»	
ν_μ	I=1/2)	»	»	
μ	I=1/2	0(<0,5 MeV) 105,65932(29)	$2,1971 \cdot 10^{-6}$	$\mu^- \cdot e^- \nu_e \bar{\nu}_\mu$ $e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \gamma$ e γ e $\gamma\gamma$ $e^- \nu_e \bar{\nu}_\mu$	100 1,4(4) $<1,7 \cdot 10^{-10}$ $<8,4 \cdot 10^{-9}$ <5
ν_τ	I=1/2				
τ	I=1/2	<164	$3,4(5) \cdot 10^{-13}$		

1		1784,2(3,2)		τ^- $\mu^- \bar{\nu}$ $e^- \bar{\nu}$ adr+neyno 3 adr+neyno $\pi^- \nu$ $\rho^- \nu$ $K^- \nu$ $K^+(892)\nu$ $\pi^- \rho^0 \nu$	18,5(11) 16,5(9) 48,1(20) 17,0(13) 10,3(12) 22,1(24) 1,3(5) 1,7(7) 5,4(17)
Mezonlar: Sq0, cq0, bq0					
π^\pm	$1^-(0^-)$	139,5673(7)	$2,6030(23) \cdot 10^{-8}$ $st\tau=780,4$	$\mu\nu$ $e\nu$ $\mu\nu\gamma$ $e\nu\gamma$ $e\nu\pi^0$ $e\nu e^+e^-$ μ^+e^- $\mu\nu e^-$	100% $1,23(25) \cdot 10^{-4}$ $1,24(25) \cdot 10^{-4}$ $5,6(7) \cdot 10^{-8}$ $1,033(34) \cdot 10^{-8}$ $<5 \cdot 10^{-9}$ $<1,5 \cdot 10^{-3}$ $<8 \cdot 10^{-3}$
π^0	$1^-(0^+)$	134,9630(38)	$0,83(6) \cdot 10^{-16}$	$\gamma\gamma$ γe^+e^- $\gamma\gamma$ $e^+e^-e^+e^-$ $\gamma\gamma\gamma$ e^+e^- $\nu\nu$ $l\mu^+e^- + \mu^+e^+$	98,802 1,198 $<3,8 \cdot 10^{-7}$ $3,24 \cdot 10^{-5}$ $<4 \cdot 10^{-6}$ $1,8(0,7) \cdot 10^{-7}$ $<2,4 \cdot 10^{-5}$ $<7 \cdot 10^{-8}$
η	$0^+(0^+)$	548,8(6)	0,88(12) keV	$\gamma\gamma$ $3\pi^0$ $\pi^0\gamma\gamma$ $\pi^+\pi^-\pi^0$ $\pi^+\pi^-\gamma$	39,0(8) 31,8(8) 0,10 23,7(5) 4,91(13)

				$e^+e^-\gamma$ $\pi^+\pi^-e^+e^-$	0,50(12) 0,13(13)
Mezonlar: Sq1, cq0, bq0					
K^\pm	$1/2(0^-)$	493,667(15)	$1,2371(26) \cdot 10^{-8}$ $\pm 0,0026$	$\mu^+\nu^*$ $\pi^+\nu^0$ $\pi^+\pi^+\pi^-$ $\pi^+\pi^0\pi^0$ $\pi^0\mu^+\nu$ $\pi^0e^+\nu$	63,50(16) 21,17(15) 5,59(3) 1,73(5) 3,18(10) 4,82(5)
K^0 \bar{K}^0 K_S^0	$1/2(0^-)$ $1/2(0^-)$	497,67(13)	$0,8923 \cdot 10^{-10}$	$(50\%K_S; 50\%K_L)$ $\pi^+\pi^-$ $\pi^0\pi^0$ $\pi^+\pi^-\gamma$ $\mu^+\mu^-$ e^+e^- $\pi^0\pi^0\pi^0$ $\pi^+\pi^-\pi^0$	68,61(24) 31,39(24) $1,85(10) \cdot 10^{-3}$ $<3,2 \cdot 10^{-7}$ $<3,4 \cdot 10^{-4}$ 21,25(10) 12,39(20)
K_L^0	$1/2(0^-)$		$5,183 \cdot 10^{-8}$	$\mu^\pm\pi^\pm\nu$ $\pi^\pm e^\pm\nu$ $\pi^+\pi^-$ $\pi^0\pi^0$ $\pi e\nu\gamma$	27,1(4) 38,7(5) 0,203(5) 0,094(18) 1,3(8)
Mezonlar: c≠0, Sq0, bq0					
D^\pm	$1/2(0^-)$	1869,4(6)	$9,2 \cdot 10^{-13}$	$D^+: e^+(N)^{**}$ $K^-(N)$ $\bar{K}^0(N)+K^0$ (N)	19(4) 16 ± 4 48(15) 6,0(33)
D^0 \bar{D}^0	$1/2(0^-)$	1864,7(6)	$4,4 \cdot 10^{-13}$ $m_D^0 1^-$ $m_D^0 2^- < 6,5 \cdot 10^{-10}$	$K^+(N)$ $\eta(N)$ $e^+(N)$ $K^-(N)$	<13 5 ± 2 44(10) 33(10)

		MeV		$\bar{K}^0(N)+K^0$ (N) $K^+(N)$ $\eta(N)$ $K^+\pi^+$ $K^-\pi^+\pi^0$ $K^-\pi^+\pi^-\pi^-$ $\bar{K}^0\pi^0$ $\bar{K}^0\pi^+\pi^-$ $\bar{K}^0\pi^0$ $K^-\rho^+$ $K^-\pi^+\rho^0$	8(3/1) <13 2,4(4) 9,3(28) 4,6(14) 2,2(11) 4,2(8) 1,4±2,3 7,2(30) 3,9(15)
Mezonlar: c≠0, S≠0, (maftun, g'alati) b=0					
F^\pm	0(0)	1971,0(6)	$1,9 \cdot 10^{-13}$	$F\pi^+$ $\eta\pi^+$ $\eta\pi^+\pi^-\pi^-$ $\eta'\pi^+\pi^+\pi^-$ $F\rho^+$	
Mezonlar: b≠0					
V^\pm	$\frac{1}{2}(0^-)$	5270,8(30)		$\bar{D}^0\pi^+$	4,2(42)
B^0	$\frac{1}{2}(0^-)$	5274,2(28)		$D^{*+}\pi^+\pi^+$	4,8(3)
\bar{B}^0				$\bar{D}^0\pi^+\pi^-$	13(9)
				$D^{*+}\pi^+$	2,6(19)
Barionlar (S=0)					
P n	$\frac{1}{2}(1/2)^+$) $\frac{1}{2}(1/2)^+$)	938,2796(27) 939,5731(27)	Stabil	$\rho e^{-\bar{\nu}}$	
Barionlar (S=-1)					
Λ	$0(1/2)^+$)	1115,60(5)	$2,632 \cdot 10^{-10}$	$\rho\pi^-$ $n\pi^0$ $\rho e^{-\bar{\nu}}$ $\rho\mu^{-\bar{\nu}}$	64,2(5) 35,8(5) $8,37(14) \cdot 10^{-4}$
Σ^+	$1(1/2)^+$)	1189,36(8)	$0,8 \cdot 10^{-10}$	$\rho\pi^-\gamma$ $\rho\pi^0$ $n\pi^+$ $\rho\gamma$	1,57(35) $\cdot 10^{-4}$ $8,5(14) \cdot 10^{-4}$ 51,64(30) 48,36(30)

Σ^0	$1(1/2)^+$)	1192,46(8)	$5,8 \cdot 10^{-20}$	$n\pi^+\gamma$ $\Lambda e^+\nu$ $\Lambda\gamma$ Λe^+e^-	1,20(13) $\cdot 10^{-3}$ $4,5(5) \cdot 10^{-4}$ $2,0(5) \cdot 10^{-5}$
Σ^-	$1(1/2)^+$)	1197,34(5)	$1,48 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda\gamma\gamma$ $n\pi^-$ $n e^{-\bar{\nu}}$ $n\mu^{-\bar{\nu}}$ $\Lambda e^{-\bar{\nu}}$ $n\pi^-\gamma$	100% $5,45 \cdot 10^{-3}$ <3% 100% $1,02(3) \cdot 10^{-3}$ $4,5(4) \cdot 10^{-4}$ $5,7(3) \cdot 10^{-5}$ $4,6(6) \cdot 10^{-4}$
Barionlar (S=-2)					
Ξ^0	$1/2(1/2^+)$	1314,9(6)	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda\pi^0$ $\Lambda\gamma$ $\Sigma^0\gamma$ $\rho\pi^-$ $\rho e^{-\bar{\nu}}$ $\Lambda\pi^-$ $\Lambda e^{-\bar{\nu}}$ $\Sigma^0 e^{-\bar{\nu}}$ $\Lambda\mu^{-\bar{\nu}}$ $\Sigma^0\mu^{-\bar{\nu}}$ $n\mu^{-\bar{\nu}}$	100% 0,5(5) <7 $<3,6 \cdot 10^{-5}$ $<1,3 \cdot 10^{-3}$ 100% $5,5(6) \cdot 10^{-4}$ $8,7(17) \cdot 10^{-5}$ $3,5(35) \cdot 10^{-4}$ $<8 \cdot 10^{-4}$ <1,5
Ξ^-	$1/2(1/2^+)$	1321,32(13)	$1,641 \cdot 10^{-10}$		
Barionlar (S=-3)					
Ω^-	$0(3/2^+)$	1672,45(32)	$0,819 \cdot 10^{-10}$	ΛK^- $\Xi^0\pi^-$ $\Xi^-\pi^0$ $\Xi^0 e^{-\bar{\nu}}$ $\Lambda\pi^-$	68,6(13) 23,4(13) 8,0(8) ~1 $<1,3 \cdot 10^{-3}$
Barionlar (S=0 i s=+1)					
Λ_s^+	$0(1/2^+)$	2282,0	$2,3 \cdot 10^{-13}$	$\rho K^-\pi^+$ $\rho\bar{K}^0$ $\Lambda(N)$ $e^+(N)$	2,2(10) 1,1(7) 33(29) 4,5(17)

14. Asosiy fizik doimiylar

Yorug'likning vakuumdagi tezligi	$s = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Gravitatsion doimiy	$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
Avogadro doimiysi	$N_A = 6,02205 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Bolsman doimiysi	$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ $k = 0,8617 \cdot 10^{-4} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$
Universal gaz doimiysi	$R = 8,31441 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Faradey doimiysi	$F = 9,64846 \cdot 10^4 \text{ Kl/mol}$
Elektrik doimiy	$\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ $K = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ m/F}$
Magnit doimiy	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m} = 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Gn/m}$
Elementar elektr zaryad	$e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$
Massaning atom birligi	$1 \text{ m.a.b.} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,49 \text{ MeV}$
Elektron massasi	$m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV}$
Proton massasi	$m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 938,27 \text{ MeV}$
Neytron massasi	$m_n = 1,67492 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 939,57 \text{ MeV}$
Plank doimiysi	$h = 6,62618 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ $\hbar = 1,05459 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ $\hbar = 0,658 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ $\hbar = \frac{h}{2\pi}$
Cheksiz massali yadro uchun Ridberg doimiysi	$R_\infty = 1,09737 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Vodorod atomi uchun Ridberg doimiysi	$R_H = 1,09678 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Vin siljish qonuni doimiysi	$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
Stefan-Bolsman doimiysi	$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Wt} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Elektronning kompton to'liq uzunligi	$\lambda_c = \frac{\hbar}{mc} = 2,42631 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Elektronning klassik radiusi	$r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2,81794 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Vodorod atomining Bor radiusi	$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 5,29177 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

Bor magnetoni	$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c} = 9,27408 \cdot 10^{-24} \text{ J/Tl}$
Elektron magnit momenti	$\mu_e = 9,28483 \cdot 10^{-24} \text{ J/Tl}$
Proton magnit momenti	$\mu_p = 1,41062 \cdot 10^{-26} \text{ J/Tl}$
Neytron magnit momenti	$\mu_n = -0,96630 \cdot 10^{-26} \text{ J/Tl}$
Yadro magnetoni	$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,05082 \cdot 10^{-27} \text{ J/Tl}$
Deytron massasi	$m_d = 3,3325 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
α -zarracha massasi	$m_\alpha = 6,6444 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Nozik struktura doimiysi	$\alpha = e^2 / \hbar c = 1/137$

15. Yunon alifbosi

A	A	Alpha	Alfa
B	B	Beta	Beta
G	Γ	Gamma	Gamma
Δ	Δ	Delta	Delta
E	E	Epsilon	Epsilon
Z	Z	Zeta	Zeta
H	H	Eta	Eta
Θ	Θ	Theta	Teta
I	I	Iota	Yota
K	K	Kappa	Kappa
Λ	Λ	Lambda	Lambda
M	M	Mu	Myu
N	N	Nu	Nyu
Ξ	Ξ	Xi	Ksi
O	Ο	Omicron	Omikron
P	Π	Pi	Pi
P	P	Rho	Ro
Σ	Σ	Sigma	Sigma
T	T	Tau	Tau
Υ	Υ	Upsilon	Ipsilon
F	Φ	Phi	Phi
X	X	Chi	Xi
Ψ	Ψ	Psi	Psi
Ω	Ω	Omega	Omega

Adabiyotlar

1. Muminov T.M., Xoliqov A.B., Xolmurodov Sh.X. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. -T.: O'zbekiston faylasuflar jamiyati, 2009.
2. Axmedova G., Mamatqulov O.B., Xolbaev I. Atom fizikasi. -T.: "Istiqlol", 2013.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т.V. Атомная и ядерная физика. -М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002.784 с.
4. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С., Семин В.А., Основы квантовой теории и атомной физики, Учеб. пособие, Тула, 2003. - 144 с.
5. Шпольский Э.В. Атомная физика, в 2 т. Т.1. Введение в атомную физику. - М.: Наука, 1984. - 552 с. -Т.2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. -М.: Наука, 1984. - 438 с.
6. Бекжонов Р.Д. Атом ядроси ва зарралар физикаси. -Т.: Ўқитувчи, 1994.
7. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика, -М.: Наука, 1980. 728 с.
8. Полвонов С.Р., Канокон З., Караходжаев А., Рузимов Ш.М. Атом физикасидан масалалар тўплами. Ўқув қўлланма. -Т.: ЎЗМУ, 2006. - 75 б.
9. Полвонов С.Р., Канокон З., Караходжаев А., Рузимов Ш.М. Ядро физикасидан масалалар тўплами. Ўқув қўлланма. -Т.: ЎЗМУ, 2006, 119 б.
10. Иродов И.Е. Сборник задач по атомной и ядерной физике. уч. пос.- М.: Атомиздат, 1971. - 216 с.
11. Иродов И.Е. Задач по общей физике. -М.:Наука, 1979. – 368 с.
12. Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Рабинович М.С., Сивухин Д.В. Сборник задач по общему курсу физики. Атомная физика, физика ядра и элементарных частиц. -М.: Наука, 1981.- 224 с.
13. Сахаров Д.И. Физика масалалари тўплами. -Т.:Ўқитувчи, 1965. – 304 б.
14. Балаш В.А. Сборник задач по курсу общей физики. -М.: Просвещение, 1978. – 208 с.
15. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. -СПб.: Спец Лит, 2002.- 327 с.
16. Чертов А., Воробьев А. Физикадан масалалар тўплами. -Т.:Ўзбекистон, 1997. – 365 с.

Хорижий манбалар

Bibliography

1. Walter R. Johnson. Lectures on Atomic Physics. Department of Physics, University of Notre Dame. 2006
2. Han Pu. Lecture Notes Modern Atomic Physics. Department of Physics and Astronomy. Spring 2004.
3. Pierre Meystre. Atom Optics (Hardcover). American Institute of Physics; 1 edition (September 21, 2001).
4. D.K.Jha. Text Book of Atomic Physics. 2005 H.B. 360 pp.
5. P.Schmelcher. Atoms and Molecules in Strong External Fields (Hardcover). Springer; 1 edition (February 28, 1998).
6. Das. Introduction to Nuclear and Particle Physics (03). World Scientific. 2003.
7. Paolo Finelli. Basic Concepts in Nuclear Physics. Corso di Teoria delle Forze Nucleari, 2011.
8. Wm.J.Garland. Reactor Physics: The Diffusion of Neutrons. 2004.
9. Merril Eisenbud and Thomas Gesell, Environmental Radioactivity: From Natural, Industrial, and Military Sources, 4th Edition (Academic Press, San Diego, 1997).
10. W.R.Hendee and F. M. Edwards, Health Effects of Exposure to Low-level Ionizing Radiation (Institute of Physics Publishing, Bristol, UK, 1996).
11. National Research Council, Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR V, Report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (National Academy Press, Washington, DC, 1990).
12. William J.Schull, Effects of Atomic Radiation: A Half-Century of Studies From Hiroshima and Nagasaki (Wiley-Liss, New York, 1995).

Sotimboy Rajapovich Polvonov
Zakirjon Kanokov
Shamurat Masharipovich Ruzimov

**ATOM VA YADRO FIZIKASIDAN
MASALALAR TO'PLAMI**

O'quv qo'llanma

Muharrir M.A.Xakimov

Bosishga ruxsat etildi. 16.08.2017y. Bichimi 60X84 ¹/₁₆.
Bosma tabog'i 12,5. Shartli bosma tabog'i 15,0. Adadi 300 nusxa.
Buyurtma № 137
Bahosi kelishilgan narhda.

«Universitet» nashriyoti. Toshkent, Talabalar shaharchasi,
O'zMU ma'muriy binosi.

O'zbekiston Milliy universiteti bosmaxonasida bosildi.
Toshkent, Talabalar shaharchasi, O'zMU.