

**ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ХАЛЫҚ БИЛИМЛЕНДИРИЎ МИНИСТРЛИГИ**

**ӘЖИНИЯЗ атындағы НӨКИС МӘМЛЕКЕТЛИК  
ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ИНСТИТУТЫ**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАКУЛЬТЕТИ**

***ЯДРО ФИЗИКАСЫ БОЙЫНША  
МӘСЕЛелЕР ШЕШИЎГЕ  
МЕТОДИКАЛЫҚ ҚОЛЛАНБА***

**НӨКИС – 2009**

***Т.Сапарбаев, У.Ерназаров***

Усынылып атырған методикалық қолланба ядро физикасы бойынша мәселелер шешиўге арналған болып, онда ядро физикасының «Атом ядросының тийкарғы қәсийетлери», «Радиоактивлик», «Нурланыўдың затлар менен тәсирлесийўи» ҳәм «Ядролық реакциялар» бөлимлерине мәселелер шешиў үлгилери ҳәм өз бетинше шешиў ушын мысаллар көрсетилген. Сондай-ақ қолланбада жоқарыдағы бөлимлердин тийкарғы формулалары ҳәм мәселелер шешиўге методикалық көрсетпелер берилген. Бул қолланба жоқары оқыў орынларының бакалавр басқышындағы 3 курс талабалары ушын оқыў қолланбасы сыпатында усынылады. Соннан лекция 84 саат, әмелий 40 саат, лаборатория 40 саат, рейтинг 12 саат, улыўма 176 саат ажыратылған.

***ЖУЎАПЛЫ РЕДАКТОР:***

Қ.М.Қошанов - Әжинияз атындағы Нөкис мәмлекетлик педагогикалық институты, филология илимлериниң кандидаты, профессор

***ПИКИР БИЛДИРИЎШИЛЕР:***

Б.Кайыпов - Әжинияз атындағы Нөкис мәмлекетлик педагогикалық институты, улыўма физика кафедрасы, физика-математика илимлериниң кандидаты, доцент

А.Пахратдинов - ТашПМИ Нөкис филиалы, биофизика, медтехника, информатика ҳәм нормал физиология кафедрасы баслығы, химия илимлериниң кандидаты

## **К И Р И С И Ы**

«Тәлим хаққындағы нызам» хәм «Кадрлар таярлаў миллий дәстүри»нин қабылланыўы Республикамызда таярланылып атырылған кадрлар ушын оқыў, тәлим-тәрбияның миллий моделин жаратыў хәм әмелге асырыўдың перспективаларын жаратып берди. Жоқары оқыў орны профессор-оқытыўшыларының алдында жаңа педагогикалық технологияларды хәм әдебиятларды жаратыў ушын үлкен ўазыйпаларды жүкледи. Соның ушын да авторлар өзлериниң көп жыллық тәжирийбелери тийкарында жоқары оқыў орынларының физика, математика хәм тәбийий пәнлер бағдары бойынша тәлим алыўшы талабаларға арналған усы методикалық қолланбаны жаратты. Усы қолланба жоқары оқыў орынларының бакалавр басқышындағы талабалар ушын оқыў қолланбасы сыпатында усынылады. Буннан физика, математика хәм тәбийий пәнлер бағдарында тәлим алыўшы талабалар, сондай-ақ академиялық лицей (анық пәнлер бағдары) хәм кәсип-өнер колледжлериниң оқыўшы хәм оқытыўшылары да пайдаланыўлары мүмкин.

Усы методикалық қолланба ядро физикасы бойынша мәселелер шешиўге арналған болып, онда ядро физикасының «Атом ядросының тийкарғы қәсийетлери», «Радиоактивлик», «Нурланыўдың затлар менен тәсирлесиўи» хәм «Ядролық реакциялар» бөлимлерине мәселелер шешиўге арналған үлгилери хәм өз бетинше шешиў ушын мысаллар көрсетилген. Қолланбаның хәр бир бөлимінде оған тийисли болған мәселелерди шешиў ушын зәрүр болған нызам хәм қағыйдалардың формулалары, усы формулаларды тәриплейтуғын теориялық мағлыўматлар берилген. Сондай-ақ бөлимлердиң хәр биринде бес-алты мәселелерди шешиўдиң үлгилери хәм өз бетинше шешиў ушын бир неше мәселелер жуўаплары менен берилген.

Хақыйқатында физика сабағында талабалар ушын мәселелерди шешиў үлкен машқала болып көринеди. Усы методикалық қолланбадан пайдаланып мәселелер шешиўди үйренген талабаларға турмыста ушырасатуғын физикалық кубылысларды, микроәлемниң нызамлықларын анализлеп билиўи ушын үлкен жәрдем болады.

# І БАП. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ТИЙКАРҒЫ ҚӘСИЙЕТЛЕРІ

## Тийкарғы формулалар хәм методикалық көрсетпелер

Атом ядросы радиусы:

$$R = 1,4 \cdot A^{1/3} \text{ Ф} = 1,4 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-15} \text{ м} \quad (1.1)$$

бул жерде  $A$  -атом ядросын дүзиўши протон хәм нейтронлар санлары қосындысына ( $A = Z + N$ ) тең болған масса саны.

Ядроның байланыс энергиясы:

$$E_B = c^2 \cdot \Delta M \quad (1.2)$$

бул жерде  $c$  -жақтылықтың вакуумдағы тезлиги,  $\Delta M$  -масса дефекти.

Масса дефекти төмендегиге тең:

$$\Delta M = Zm_p + (A - Z)m_N - M_{\text{я}} = Zm_H + (A - Z)m_N - M_{\text{ат}} \quad (1.3)$$

бул жерде  $m_p$ ,  $m_N$ ,  $m_H$ ,  $M_{\text{я}}$  хәм  $M_{\text{ат}}$  -протон, нейтрон, водород атомы, ядро хәм атом массалары.

(1.3) тен пайдаланып (1.2) теңлемесин төмендегише жазамыз:

$$E_{\text{б}} = \left[ Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_N - M_{\text{я}} \right] \cdot c^2 \quad (1.4)$$

Байланыс энергиясының масса санына қатнасы **салыстырмалы байланыс энергиясы** деп аталады хәм ол төмендегиге тең:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{б}}}{A} = \frac{c^2 \cdot \Delta M}{A} \quad (1.5)$$

Мәселелер шешиўде төмендеги формулалардан пайдаланыў қолайлы:

$$E_{\text{б}} = Z \cdot \Delta_M + (A - Z) \cdot \Delta_N - \Delta \quad (1.6)$$

бул жердеги  $\Delta_M$ ,  $\Delta_N$  хәм  $\Delta$  -водород атомы, нейтрон хәм сол ядроға сәйкес келиўши атом масса дефектленеди. Масса дефекти х.т.б. келтирилген атом массасы  $m$  хәм масса саны  $A$  арасындағы айырма, яғный  $\Delta = M - A$ .

Салыстырма масса дефекти төмендегиге тең:  $f = \frac{\Delta}{A}$ .

Ядро байланыс энергиясын анықлаўда төмендеги ярым эмпирикалық Вейцеккер формуласы да қолланылады:

$$E_{\text{б}} = \alpha A - \beta A^{1/3} - \gamma \frac{z^2}{A^{1/3}} - \xi \frac{\left(\frac{A}{2} - z\right)^2}{A} + \delta \frac{\lambda}{A^{1/4}} \quad (1.7)$$

бул жерде:

$$\delta = \begin{cases} \text{жуп} - \text{жуп} \text{ ядролар} \text{ үшін} & +1 \\ \text{так} - \text{жуп} \text{ ядролар} \text{ үшін} & 0 \\ \text{так} - \text{так} \text{ ядролар} \text{ үшін} & -1 \end{cases} \quad (1.8)$$

$\alpha = 15,75$  Мэв;  $\beta = 17,8$  Мэв ;  $\gamma = 0,71$  Мэв;  $\xi = 94,8$  Мэв;  $\lambda = 34$  Мэв.

Мәселе шәртинде ядро массалары емес, ал нейтрал атом массалары келтирилгенде ядро байланыс энергиясын төмендеги формуладан пайдаланған қолайлы:

$$E_{\bar{\sigma}} = \left[ Z \cdot m \left( {}^1_1H \right) + (A - Z) \cdot m_N - M_a \right] \cdot c^2 \quad (1.9)$$

бул жердеги  $m \left( {}^1_1H \right)$ ,  $M_a$  -водород хэм берилген атом массалары.

(1.4) хэм (1.9) аңлатпалар өз-ара эквивалент болғанлықтан электрон массасын  $m_e$  арқалы белгилеп, төмендегини аламыз:

$$Z \cdot m \left( {}^1_1H \right) - M_a = Z \cdot (m_p + m_e) - (M_{\text{я}} + Z \cdot m_e) = Z \cdot m_p - M_{\text{я}}$$

Жоқарыдағы (1.4) хэм (1.9) формулалары арқалы ядро байланыс энергиясын Мэв ларда анықлау үшін массалардың а.м.б келтирилген мәнислери  $c^2 = \frac{931 \text{ Мэв}}{1 \text{ а.м.б}}$  коэффициентине көбейтиледі.

## Мәселелерди шешуі үлгилери хэм өз бетинше шешуі үшін мысаллар

**1.1.** Төменде келтирилген ядролардағы нуклонлар протон хэм нейтронлар санларын анықлаң:

**Шешими:** Ядродағы нуклонлар саны:  $A = Z + N$

Ядро төмендегише белгиленеди:  ${}^A_Z X$ . Демек,  ${}^4_2 He$  ядросындағы нуклонлар саны  $A = 4$ , протонлар саны  $z = 2$  хэм нейтронлар саны  $N = A - Z = 2$ . Усы тийкарда басқа келтирилген ядролар үшін да нуклонлар, протон хэм нейтронлар санларын анықлаймыз:

**1.2.**  ${}^{18}_8 i$  изотопы ядросының массасын есаплаң.

**Шешими:** төмендеги формулалардан пайдаланамыз:  $m_{\text{я}} = M_a - Zm_e$ .

Кестеден:

$$M_a = 15,9949 \text{ а.м.б}, \quad Zm_e = 8 \cdot 5,4860 \cdot 10^{-4} = 43,888 \cdot 10^{-4} \text{ а.м.б}.$$

$$m_{\text{я}} = 15,9949 - 0,0044 = 15,9905 \text{ а.м.б}.$$

Буннан, атомның барлық ауырлығы оның ядросына туура келетуғынлығы мәлим болады.

**1.3.** Массасы 4 г болған тәбийий уранда  ${}^{235}_{92} U$  изотопының ядролар санын

анықлаң.  $\left( N = \frac{m \cdot N_A \cdot a \cdot 10^{-2}}{a \cdot M_{238} + \hat{a} \cdot M_{235} + \hat{n} \cdot M_{234}} \right)$ .

**1.4.** Ядродағы нуклонлар концентрациясы, ядро тығызлығы хәм ядродағы электр зарядларының көлемлик тығызлықтарын анықлаң.

$$\left( n = \frac{A}{V} = 10^{38} \frac{\text{нуклон}}{\text{м}^3} \quad \rho = n \cdot m \approx 10^{-17} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

**1.5.** Тәбийий Бор атомы массасы 10,811 а.м.б. не тең. Ол массалары 10,013 а.м.б. хәм 11,009 а.м.б. болған еки изотоплардан ибарат, олардың муғдарын процентлерде анықлаң. ( $x = 20\%$ ,  $y = 80\%$ ).

**1.6.** Дейтерий хәм полоний ядролары радиусларын анықлаң.

(Дейтерий ушын:  $R = 1,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ , полоний ушын:  $R = 8,3 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ ).

**1.7.** Протон хәм нейтронлардан 1 г гелий ( ${}^4_2\text{He}$ ) пайда болғанда қанша энергия ажыралады?

**Шешими:** Гелий атомы ядросы яки протон хәм еки нейтроннан турады, оның атомлық массасы  $M_{\text{He}} = 4,00337 \text{ а.м.б.}$ .

Нейтрон хәм протонлардың тынышлықтағы массалары:

$$m_n = 1,00897 \text{ а.м.б.}, \quad m_p = 1,00758 \text{ а.м.б.}$$

Гелий атомы пайда болыўдағы масса дефекти:

$$\Delta m = 2 \cdot (m_p + m_n) - M_{\text{He}} = 0,0923 \text{ а.м.б.}$$

Бир гелий атомы пайда болғанда ажыралыўшы энергия:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,44 \frac{\text{Мэв}}{\text{а.м.б.}} = 27,126 \text{ Мэв}$$

Массасы 1 г гелий пайда болғанда бөлинип шығыўшы энергия:

$$N = \frac{m}{A_{\text{He}}} N_A = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{4} = 1,504 \cdot 10^{23} \text{ атом}$$

онда, 1 г гелий пайда болғанда бөлинип шығыўшы энергия:

$$E = \Delta E \cdot N = 40,797 \cdot 10^{23} \text{ Мэв} = 65,275 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$$

**1.8.** Алюминий  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  ядросының байланыс энергиясын табың.

**Шешими:** Масса дефектин  $\Delta m = Z \cdot m_1^1\text{H} + (A - Z) \cdot m_n - m_a$  формуласы

арқалы анықлаймыз:

$${}^1_1\text{H} \text{ ушын } m_1^1\text{H} = 1,00783 \text{ а.м.б.}$$

$${}^{27}_{13}\text{Al} \text{ ушын } m_a = 26,98154 \text{ а.м.б.}$$

$$\text{нейтрон ушын } m_n = 1,00867 \text{ а.м.б.}$$

Демек,

$$\Delta m = [13 \cdot 1,00783 + (27 - 13) \cdot 1,00867 - 26,98154] \text{ а.м.б.} = 0,24163 \text{ а.м.б.}$$

**1.9.** Кислород  $^{17}_8\text{O}$  ядросының салыстырмалы байланыс энергиясын табың.  
( $\varepsilon = 7,76 \text{ МэВ}$ )

**1.10.**  $^{238}_{92}\text{U}$  хәм  $^{60}_{28}\text{Ni}$  ядролары ушын салыстырмалы байланыс энергиясын Вейцеккер формуласынан пайдаланып анықлаң.

$$(\varepsilon(^{238}\text{U}) = 7,5 \text{ МэВ} \quad \varepsilon(^{60}\text{Ni}) = 8,69 \text{ МэВ}).$$

**1.11.** Нейтронның  $^{17}_8\text{O}$  кислород изотопы ядросындағы байланыс энергиясын анықлаң.

$$(\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 4,14 \text{ МэВ}).$$

**1.12.** Ядроның орташа тығызлығы хәм ядро көлеминиң нуклонлар ийелеуши бөлегин табың.

$$\left( \rho = \frac{3 \cdot m_N}{4 \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot A}, \quad \delta = \frac{V}{V_j} = \left( \frac{r_N}{r_0} \right)^3 \right).$$

**1.13.** Электронлардың ядродан шашырауы тәжирийбесинен алынған нәтийжелер ядро материясы тығызлығының бөлистирилиуи төмендеги көриниске ийе екенлигин көрсетеди:

$$\rho(r) = \rho_0 \cdot \left[ 1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right) \right]^{-1}.$$

Бундағы  $R = r_0 A^{1/3}$ ,  $a = 0,54$  ферми деп есаплай отырып, ядро материалы тығызлығы  $0,9\rho_0$  ден  $0,1\rho_0$  ге шекем кемейуши ядролардың сыртқы қатламы қалыңлығы барлық ядролар ушын бирдей екенлигин көрсетиң.

**Шешими:** Ядро орайынан тығызлығы  $0,9\rho_0$  болған қатламға шекемги аралықты  $r$ , ал  $0,1\rho_0$  болған қатламға шекемги аралықты  $r+x$  деп белгилейик. Онда, ядро материялы тығызлығының бөлистириуи функциясы төмендегише жазылады:

$$\rho(r) = 0,9 \rho_0 = \rho_0 \left[ 1 + \exp \left( \frac{r - R}{a} \right) \right]^{-1}$$

$$\rho(r) = 0,1 \rho_0 = \rho_0 \left[ 1 + \exp \left( \frac{r + x - R}{a} \right) \right]^{-1}$$

Бұлардан

$$0,9 = \frac{1}{1 + \exp \left( \frac{r - R}{a} \right)}$$

$$0,1 = \frac{1}{1 + \exp \left( \frac{r + x - R}{a} \right)}$$

Әпiуайыластырыудан кейiн  $\exp \left( \frac{r - R}{a} \right) = \frac{1}{9}$ ;  $\exp \left( \frac{r + x - R}{a} \right) = 9$  көрiнiске келедi. Бұл теңлемеден  $r - R = -a \ln 9$ ,  $r + x - R = -a \ln 9$  келiп шығады. Онда,  $x = 2a \ln 9 \approx 4,4 a$ .

**1.14.**  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{19}\text{F}$  және  ${}^{127}\text{J}$  ядролары үшін салыстырмалы байланыс энергиясын табың.

$$(E({}^9\text{Be}) = 6,38 \text{ Мэв} ; E({}^{19}\text{F}) = 7,37 \text{ Мэв} ; E({}^{127}\text{J}) = 8,43 \text{ Мэв} ).$$

**1.15.**  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^7_5\text{Li}$  ядроларының салыстырмалы байланыс энергияларын салыстырың.

$$(E({}^3_2\text{He}) = 2,87 \text{ Мэв} ; E({}^4_2\text{He}) = 7,07 \text{ Мэв} ; E({}^7_5\text{Li}) = 5,61 \text{ Мэв} ).$$

**1.16.**  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{27}_{14}\text{Si}$  және  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  ядроларының салыстырмалы байланыс энергияларын ярым эмпирикалық Вейцеккер формуласынан пайдаланып есаплаң.

$$(E({}^{16}_8\text{O}) = 7,8 \text{ Мэв} ; E({}^{27}_{14}\text{Si}) = 8,06 \text{ Мэв} ; E({}^{60}_{27}\text{Co}) = 8,27 \text{ Мэв} ).$$

**1.17.**  ${}^{12}_6\text{C}$  және  ${}^{16}_8\text{O}$  ядроларындағы  $\alpha$  бөлекшелердің орташа байланыс энергиясын анықлаң.

$$\varepsilon_{\text{op}} \left( {}^{12}_6\text{C} \right) = \frac{1}{3} \left[ M \left( {}^{12}_6\text{C} \right) - 3M \left( {}^4_2\text{He} \right) \right] = 2,45 \text{ Мэв}$$

$$\varepsilon_{\text{op}} \left( {}^{16}_8\text{O} \right) = \frac{1}{4} \left[ M \left( {}^{16}_8\text{O} \right) - 4M \left( {}^4_2\text{He} \right) \right] = 3,8 \text{ Мэв}$$

**1.18.**  ${}^{11}_5\text{B}$  хәм  ${}^{11}_6\text{C}$  изотоплар ядролары байланыс энергиялары сәйкес, 73,99 Мэв хәм 76,15 Мэв. Усы ядролардың байланыс энергиялары айырмасының кулонлық өз-ара тәсирлесіу энергиясы менен анықланыуын көрсетің. (  $E({}^{11}_6\text{C}) - E({}^{11}_5\text{B}) = 3,06 \text{ Мэв}$  ).

**1.19.**  ${}^3_2\text{He}$  хәм  ${}^3_1\text{He}$  ядролардың байланыс энергиялары айырмасы кулонлық өз-ара тәсирлесіу есабынан пайда болады деп есаплай отырып,  ${}^3_2\text{He}$  ядросы радиусын анықлаң. ( $r_0 = 1,45 \cdot 10^{-15} \text{ см}$ ).

**1.20.**  ${}^{15}_8\text{O}$  ядросының кулонлық өз-ара тәсирлесіу радиусын хәм  $R = r_0 A^{1/3}$  формуласындағы  $r_0$  диң мәнісін анықлаң. ( $r_0 = 1,5 \text{ ферми}$ ).

**1.21.** Ядроның тийкарғы қалы ушын меншикли диполь моментиниң нолге теңдигін көрсетің.

**Шешими:** Ядро тийкарғы қалда симметрия орайына ийе болатуғынлығынан, тийкарғы қалдың толқын функциясы анық жуплыққа ийе болады. Диполь моментиниң анықламасы бойынша  $D = e \int z |\Psi(r)|^2 dV$ . Бундағы  $|\Psi(r)|^2$  -жуп, ал  $z$  -тақ функциялар болғанлықтан, интеграл астындағы көбейме тақ болады. Демек,  $D = 0$ .

**1.22.** Ядроның электрлик квадрупол моменти оның толық хәрекет муғдары моменти  $J > \frac{1}{2}$  болғанда нолден өзгеше болатуғынлығын көрсетің.

**Шешими:** Ядроның электрлик квадрупол моментиниң орташа мәнісін  $Q = e \int (3z^2 - r^2) |\Psi_J|^2 dV$  арқалы аңлатылады. Бунда,  $\Psi_J$  -моменти,  $J$  болған қалдың толқын функциясы.  $3z^2 - r^2 = \sqrt{\frac{16}{5}} r^2 Y_{20}$  болғанлықтан  $Q \sim \int \Psi^* \cdot Y_{20} \cdot \Psi d\Omega$ . Бундағы  $Y_{20}$  -сфералық функция.  $J + 2 = J$  болғанда жоқарыдағы интеграл нолден өзгеше болады. бул тек  $J \geq 1$  болғанда орынланады.

**1.23.**  ${}^N_2$  молекуласы спектрин үйрениу нәтижесинде азот атомы спинниң ярым пүтин сан екенлиги анықланады. Буны ядроның протон, нейтронлардың теориясы тийкарында түсиндириу мүмкинлигин көрсетің.

**Шешими:** Ядроның электрон-протонлық модели бойынша азот атомындағы ферми бөлекшелери саны жуп болыуы керек: ядрода 14 протон, 7 электрон, ал электрон қабықларында болса 7 электрон болыуы керек. Бундай системаның

толық моменти пүтин санға тең болады. Ядроның протон-нейтронлық дүзилісі теориясынан бундай нәтиже келип шықпайды: азот ядросында 7 протон хәм 7 нейтрон, ал электрон қабықларында 7 электрон болып, олардың жыйындысы 21 ферми бөлекшесин дүзеди. Бул азот атомының спини ярым пүтин санға тең болады дегенди аңлатады.

**1.24.**  ${}^4_2\text{He}$  хәм  ${}^{16}_8\text{O}$  ядроларының аса турақлылығын түсиндириң. Бул ядролардың тийкарғы халлары спини хәм жуплығын табың.

(Еки ядроның да тийкарғы халы  $0^+$  - халда болыуы мүмкин).

**1.25.** Бир бөлекшели қабық модели тийкарында тритий ( ${}^3_1\text{He}$ ) ядросының тийкарғы халы спини хәм жуплығын анықлаң.

**Шешими:** Бир бөлекшели қабық модели тийкарында тритий  ${}^3_1\text{He}$  ядросының тийкарғы халы  $(1s \frac{1}{2})^3$  конфигурациясына сәйкес келеди, яғный толтырылған  $(1s \frac{1}{2})^4$  қабықта протон “тесигин” пайда етеди. Сонлықтан протонлық тесик  $(1s \frac{1}{2})$ , яғный  $j^P = (\frac{1}{2})^+$  халының спини хәм жуплығы тритий ядросының спин хәм жуплығын анықлайды.

**1.26.** Бир бөлекшели қабық модели тийкарында тритий ядросының тийкарғы халының магнит моментин табың.  $(\mu = \mu_p = 2,79 \mu_0)$ .

**1.27.**  ${}^3_2\text{He}$  ядросының тийкарғы халының спинин, жуплығын хәм магнит моментин табың.  $(j^P = (\frac{1}{2})^+, \mu = \mu_p = 1,91 \mu_0)$ .

**1.28.** Қабық модели тийкарында  ${}^{13}_6\text{C}$  хәм  ${}^{13}_7\text{N}$  ядроларының тийкарғы халы спини хәм жуплығы анықлансын.  $(j^P = (\frac{1}{2})^-)$

**1.29.** Бир бөлекшели қабық модели тийкарында  ${}^{15}_8\text{O}$ ,  ${}^{15}_7\text{N}$  ядроларының тийкарғы халы жуплығы хәм спинин анықлаң.  $((1d \frac{1}{2})^4, j^P = (\frac{1}{2})^-)$ .

**1.30.** Аксиал симметриялы ядроның энергетикалық кәдилери анық жуплыққа ийе екенлигин көрсетиң. Бунда ядро потенциалы төмендегиге тең:

$$V(r) = \frac{mw^2 r^2}{2} (1 + \beta \cos^2 \theta).$$

**Шешими:** Жуплықтың сақланыу шәрти  $[\tilde{p}, \tilde{H}] = 0$ . Бундағы  $\sim$  операторы белгиси. Мәселе шәрти бойынша, толық гамильтон операторы төмендегиге тең:

$$\tilde{H} = \tilde{T} + \tilde{V} = \frac{\tilde{p}^2}{2m} + \frac{mw^2 r^2}{2} (1 + \beta \cos^2 \theta).$$

Онда  $\left[ \tilde{p}, \frac{\tilde{p}^2}{2m} \right] = 0$ ,  $\left[ \tilde{p}, \frac{mw^2 r^2}{2} \right] = 0$ ,  $[\tilde{p}, \beta \cos^2 \theta] = 0$ .

**1.34.**  $^{197}_{Au}$  ядросының деформация параметри  $\beta$  анықлансын. Бунда, ядроның квадрупол моменти  $Q \cdot 10^{28} \text{ см}^2 = 60$ .

**Шешими:** Ядроны эллипсоид формасына ийе, оның ярым көшерлері  $c$  хәм  $a$ , ядро заряды эллипс бойлап биртеккли бөлистирилген деп қабыллай отырып, квадрупол момент ушын төмендегини жазамыз:

$$Q = \frac{2}{5} z(c^2 - a^2)$$

Киши деформациялар ушын

$$\Delta R = c - a = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{5}{4\pi}} R \beta$$

Бундағы  $R = r_0 A^{1/3}$  -ядро радиусы.

Онда

$$Q = \frac{4z}{5} R^2 \left( \frac{\Delta R}{R} \right) = \frac{3z}{\sqrt{5\pi}} R^2 \beta.$$

Буннан  $\beta = 0,03$ .

**1.35.**  $^{222}_{Re}$  хәм  $^{228}_{Th}$  ядроларының деформация параметрлері қатнасын табың. Бул ядролардың айланбалық энергетикалық қәддилері, сәйкес

$$E(2^+) = 112 \text{ кэВ} \quad \text{хәм} \quad E(2^+) = 58 \text{ кэВ} . \quad \left( \frac{\beta_{Re}^2}{\beta_{Th}^c} = \left( \frac{A_{Th}}{A_{Re}} \right)^{5/3} = \frac{1}{2} \right)$$

**1.36.**  $^{180}_{72} Hf$  жуп-жуп ядроның биринши орбиталлық энергетикалық қәддиси

$E(2^+) = 93 \text{ кэВ}$  екенлигинен пайдаланып, деформация параметри  $\beta$  ны анықлаң. ( $\beta = 0,06$ )

**1.37.**  $^{188}_{76} Os$ ,  $^{238}_{92} U$  ядролары ушын электрлик квадрупол моментлері берилген болса, олардың деформация параметрлері қатнасын табың.

$$Q \cdot 10^{26} \text{ см}^2 = 510 \quad (Os), \quad Q \cdot 10^{26} \text{ см}^2 = 1100 \quad (U). \quad \frac{\beta_{Os}}{\beta_U} = \frac{1}{2}.$$

**1.38.** Бир бөлекшели қабық моделинде нуклонның ядроғағы потенциал энергиясы орайлық хәм спин орбиталлық өз-ара тәсирлесіу потенциал энергиялары қосындысына тең:

$$\tilde{V} = \tilde{V}_0(r) + a(\bar{l}\bar{s}).$$

Бундағы,  $\bar{l}, \bar{s}$  - нуклонның орбитал хәм спин моментлери операторлары,  $a$  - параметр.  ${}^{17}_8O$  ядросының  ${}^{1d}_{3/2}$  кәддисі  ${}^{1d}_{1/2}$  кәддисинен  $5 \text{ Мэв}$  жоқарыда болса,  $a$  параметри мәнисин табың.

**Шешими:** Спин-орбиталлық өз-ара тәсирлесіулер нәтийжесинде кәддилердің аўысыуы төмендегиге тең:

$$\Delta E = \langle njls \mid a(\bar{l}\bar{s}) \mid njsm \rangle.$$

Бул жерде  $\langle njlsm \rangle$  - көрсетілген квант санлары ушын Шредингер теңлемеси шешими. Спин-орбиталлық тәсирлесіу есапқа алынған Гамильтон операторы ушын орбиталлық хәм спинлик моментлери проекциялары қозғалыс интегралы болмайды. Шредингер теңлемесинің  $\langle njlsm \rangle$  шешими бир ўақытта  $\bar{j}^2, \bar{l}^2, \bar{s}^2$  хәм  $j_z$  операторларының да меншикли функциясы болады. Бул моментлердің меншикли мәнислери төмендегиге тең:

$$j(j+1), l(l+1), s(s+1), m$$

$$(\bar{l}\bar{s}) = \frac{1}{2}(\bar{j}^2 - \bar{l}^2 - \bar{s}^2), \quad \bar{j}^2 = \bar{l}^2 + 2\bar{l}\bar{s} + \bar{s}^2$$

Онда, 
$$\Delta E = \frac{a}{2}[j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)].$$

Бирдей  $l$  хәм  $s$ , лекин хәр қыйлы  $j$  мәнисли кәддилердің энергиялық аўысыуы айырмасы ушын төмендегини жазамыз:

$$\Delta E_1 - \Delta E_2 = \frac{a}{2}[j_1(j_1+1) - j_2(j_2+1)]$$

Демек,

$$\Delta E_{3/2} - \Delta E_{1/2} = \frac{5a}{2} = -5 \text{ Мэв}$$

Буннан  $a = -2 \text{ Мэв}$ .

**1.39.** Қабық моделинен пайдаланып, бирдей орбиталлық моделге хәм хәр қыйлы толық моментке ийе болған энергетикалық кәддилер аўысыуының орбитал моментке байланыслылығын көрсетиң.

**Шешими:**

$$\bar{j} = \bar{l} + \bar{s} = \bar{l} + \frac{\bar{l}}{2}$$

Демек,  $j_{\max} = l + \frac{l}{2}, \quad j_{\min} = l + \frac{l}{2}.$

## II БАП. РАДИОАКТИВЛИК

### Тийкаргы формулалар хәм методикалық көрсетпелер

Радиоактив тарқалыуы нызамы:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

бул жерде  $N$  -радиоактив элементтиң  $t$  ўақыт моментиндеги тарқалмаган ядролар саны,  $N_0$  -радиоактив элементтиң дәслепки ядролар саны,  $\lambda$  -радиоактив тарқалыуы турақлысы.

Ярым тарқалыуы дәўири:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{ямаса} \quad T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.2)$$

Радиоактив ядроның орташа жасаў ўақты:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

Радиоактив элемент активлиги (ўақыт бирлиги ишинде тарқалған ядролар саны).

$$A = - \frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (2.4)$$

Радиоактив элемент (препарат) тың активлигин экспотенциал кемейиў нызамы:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

бул жерде  $A_0$  -радиоактив элементтиң басланғыш активлиги.

СИ системасында **активлик өлшеў бирлиги** етип **1 Беккерель** қабыл етилип, ол 1 секундтағы 1 тарқалыуға тең айырым жағдайларда Кюри өлшеў бирлиги ислетиледи хәм ол Беккерель өлшеў бирлиги менен төмендегише байланысқан:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \frac{\text{тарқалыу}}{\text{с}} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} ,$$

Тарқалыуы турақлысы  $\lambda_1$  болған  $A_1$  радиоизотопының тарқалыуы турақлысы  $\lambda_2$  болған  $A_2$  радиоизотопына айланыўында  $A_2$  радиоизотоп ўақыт бойынша төмендегише өзгереді:

$$N_2(t) = N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) , \quad (2.6)$$

бул жерде  $N_1(0)$ ,  $t = 0$  моментиндеги  $A_1$  радиоизотопының ядролар саны.

I. Радиоактивлик хәдийсесине тийисли мәселелерди шешиўде төмендеги еки жағдайды парқлай билиў керек:

а) изоляцияланған затлардың радиоактив тарқалыўының жүз бериўин. Ол жағдайда тарқалыў нызамы (2.1) формуладан пайдаланылады.

Егер мәселе шәртинен радиоизотоптың  $\Delta t$ -тарқалыў уақты, берилген радиоизотоптың  $T$ -ярым тарқалыў дәўиринен жүдә киши болса ( $\Delta t \ll T$ ), ол жағдайда тарқалмаған ядролар саны  $N$  ди  $\Delta t$  уақыт даўамында өзгермейди хәм оның басланғыш ядролар санын  $N_0$  тең деп есаплаў мүмкин. Ол жағдайда тарқалған  $\Delta N$  ядролар санын  $\Delta N = \lambda N_0 \Delta t$  формула жәрдемінде табыў мүмкин.

б) Қандай да бир туўынды радиоактив зат, ол пайда болған басланғыш басқа бир радиоактив зат пенен бирикпеде тарқалыў жүз берип атырған жағдай. Бул жағдайда туўындылы зат ядролар санының уақыт өтиўи менен өзгериў нызамы (2.6) қатнас пенен көрсетиледи.

Усы айрықша жағдайға итибар берейик: егер басланғыш радиоактив заттың ярым тарқалыў дәўири  $T_1$  туўындылы радиоактив заттың ярым тарқалыўы  $T_2$  дәўиринен жүдә үлкен болса, яғный  $T_1 \gg T_2$ , ол жағдайда қандай да бир уақыт аралығы өткеннен кейин, бул затлар арасындағы радиоактив тең салмақлық орнатылады. Бунда уақыт бирлиги ишинде пайда болып атырған туўындылы зат ядроларының саны тарқалып атырған басланғыш зат ядроларының санына тең болады. Нәтийжеде хәр еки заттың активлиги бир қыйлы болып қалады. Ол жағдайда (2.4) хәм (2.2) формулалардан төмендегилерди пайда етемиз:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

ямаса  $N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2$  (2.7)

II. Айырым мәселелерди шешиўде массасы  $m$  болған радиоактив зат қурамындағы атомлар саны  $N$  ди табыў талап етиледи. Буның ушын төмендеги қатнастан пайдаланамыз:

$$N = N_A \nu = N_A (m / \mu) \quad (2.8)$$

бул жерде  $N_A$ -Авогадро саны,  $\nu$ -усы препараттағы заттың муғдары,  $\mu$ -изотоптың моляр массасы.

Изотоп моляр массасы  $\mu$  менен салыстырмалы атом массасы  $M_r$  арасында төмендеги байланыс бар:

$$\mu = 10^{-3} M_r \text{ кг / моль} \quad (2.9)$$

(2.8) формула менен есаплаўларды өткизгенде хәр бир изотоп салыстырмалы атом массасы  $M_r$ , оның масса саны  $A$  ға жүдә жақын болып, яғный  $M_r \approx A$ ,

болғанлығынан (2.9) теңлемени төмендеги көринисте жазамыз:

$$\mu \approx 10^{-3} \cdot A \text{ кг / моль}$$

### **Мәселелерди шешіу үлгілери хәм өз бетинше шешіу ушын мысаллар**

**2.1.** Тарқалыу турақлысы  $\lambda$  болған радиоактив ядроның  $t$  ўақыт аралығында тарқалыуы табылсын.

**Шешими:** Радиоактив тарқалыу процесси статистик характерге ийе, яғный тең ўақыт ишинде улыўма атомлардың тең үлеси тарқалады. Буны мынадай етип түсиндириу мүмкин. Егер жетерли дәрежеде үлкен басланғыш  $N_0$  ядролар санына ийе болған радиоактив препарат пенен тәжирийбени көп мәрте тәкирарланса оған 0 ден  $t$  ға шекемги ўақыт аралығында бир қыйлы ядро үлеси  $\Delta N / N_0$  тарқалады. Усы үлкенлик берилген ўақыт аралығы ишинде ядролар тарқалыуы ( $P$ ) делинеди:

$$P = \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0},$$

бул жерде  $N$  -ўақыт  $t$  моментинде тарқалмаған ядролар саны. Бул формуланы радиоактив тарқалыулар нызамы  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  екенлигин итибарға

алып, төмендегини жазамыз: 
$$P = \frac{N_0 - N_0 e^{-\lambda t}}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}$$

**Жуўабы:** 
$$P = 1 - e^{-\lambda t}$$

**2.2.** Активлиги  $A = 1 \text{ кКи}$   $^{60}\text{Co}$  радиоизотопының массасы анықлансын. Усы активлик  $t = 10,5$  жылдан кейин қанша мәрте кемейеди.

$$(m = 0,882 \cdot 10^3 \text{ кг ямаса } m = 0,882 \text{ г}, 4 \text{ мәрте кемейеди}).$$

**2.3.** Массасы  $1 \text{ г}$  болған изоляцияланған  $^{226}\text{Ra}$  радиоизотопының активлиги хәм оның активлиги 10 % ке кемейетуғын ўақыт анықлансын.

$$(t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N} \approx 243 \text{ жыл}).$$

**2.4.** Жабық ыдыста массасы  $m = 0,1 \text{ г}$  болған радий бар. Ыдыста 24 сааттан кейин, қанша муғдарда радон жыйналады? Радийдің ярым тарқалыу дәўири 1600 жыл, радондики болса 3,8 күн.

$$(N_{\text{Rn}} \approx 32 \cdot 10^{14} \text{ (атом)}).$$

**2.5.** Массасы 1 мг болған церий-144 радиоизотопының тарқалыуын анықлаң. Церийдің ярым ыдырау дәўири 285 күн.

**Шешими:** Мәселени радиоактив тарқалыу нызамы жәрдеми менен шешемиз. ( $\Delta t = 1 \text{ с}$  болған жағдайда  $\Delta N = 1,2 \cdot 10^{11}$ ,  $\Delta t$  хәм  $t$  шамалар бирдей тәртипте болғанда  $\Delta N = 2,5 \cdot 10^{18}$ ).

**2.6.** Массасы  $1\text{ г}$  болған радий менен тең салмақтықта болған радонның масса хәм көлеми табылсын. ( $m_2 = 6,5 \cdot 10^{-9} \text{ кг}$ ,  $V = 6,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$ ).

**2.7.** Орташа жасаў ўақты  $\tau$  болған радиоактив препарат ядролардың дәслепки муғдарының қаншасы а)  $t = 10\tau$  ўақыттан кейин қалады. б)  $t_1 = \tau$  хәм  $t_2 = 2\tau$  ўақыт аралығында ыдырайды?

$$(t = 10\tau \text{ ўақыттан кейин қалған ядролардың үлесі: } \frac{N(10\tau)}{N(0)} = e^{-10},$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \text{ интервалында ыдыраған ядролар саны: } \Delta N = \frac{1}{e} \left(1 - \frac{1}{e}\right).$$

**2.8.** Радиоактив йод  $^{128}\text{I}$  ядросын биринши суткадағы ыдыраў итималлығы, екінши суткадағы ыдыраў итималлығынан қанша үлкен?

(Биринши хәм екінши суткалардағы ыдыраў итималлықлары қатнасы:

$$\frac{1 - W(1)}{W(1) - W(2)} = 1,3).$$

**2.9.** Препарат таярланғаннан кейинги екінши хәпте даўамында радиоактив фосфор  $^{32}\text{P}$  ядросының қанша бөлеги ыдырайды ( $T_{0,5} = 14,5$  күн).

**Шешими:** Биринши хәм екінши хәптедеги ыдыраў итималлықларынан:

$$W(1) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$W(2) = e^{-2\frac{t}{\tau}}$$

Ыдыраған бөлегин табамыз:

$$x = W(1) - W(2) = e^{-\frac{t}{\tau}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$\tau = \frac{T_{0,5}}{\ln 2} = \frac{14,5 \text{ ёй}}{\ln 2}$$

буннан  $x \cong 0,2$  екенлиги келип шығады.

**2.10.** Радиоактив алтын  $^{198}\text{Au}$  ядросының: 4 күн даўамындағы жемирилиў итималлығы, Төртинши күндеги ыдыраў итималлығын табың.

$$\left( ^{198}\text{Au} T_{0,5} = 2,7 \text{ ёй} \right).$$

**Шешими:** Төрт күн даўамындағы жемирилиў итималлығы:

$$x = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad \tau = \frac{T_{0,5}}{\ln 2}$$

Демек, 
$$x = 1 - e^{-\frac{4 \ln 2}{2,7}} = 0,63$$

2)  $x = w(3) - w(4) = e^{-3\lambda} - e^{-4\lambda} = 0,11$ .

**2.11.** Интенсивлиги  $10^{12}$  нейтрон / см<sup>2</sup> · с болған жыллылық нейтронлар изотроп ағымы жәрдеминде 1 мг алтынды  $t = 1$  саат даўамында нурландырылған пайда болатуғын киритилген активликти табың. Бунда изотроп нейтронлар ағымының киритилген активлиги, параллель нейтронлар ағымының киритилген активлигине қарағанда еки есе артық болыуы есапқа алынсын.

$$j(t) = \frac{2 \nu m Z \sigma t}{A T_{0,5}} \ln = 17 \text{ (нәтиже)}.$$

**2.12.** Индий ядросының  $^{115}\text{In}$  изотопы ядро реакторларында жыллылық нейтронларын шығарыушы сыпатында қолланылады. Егерде массасы  $3 \cdot 10^{-4}$  г болған индийдің жуқа қатламы 5 саат даўамында изотроп нейтронлар ағымы менен нурландырылуы нәтижесинде алынған препараттың активлиги 70,6 мКи болса, изотроп нейтронлар ағымының шамасын табың. Активлестириудің эффектив кесими  $\sigma_{акт} = 155$  барн, ярым ыдырау дәуири болса

$$T_{0,5}(^{115}\text{In}) = 54,2 \text{ (нәтиже)} \text{ ға тең.}$$

$$j(t) = 2 j(t), \quad v = \frac{A j(t)}{2 m Z \sigma \lambda t} = \frac{A j(t) T_{0,5}}{2 m Z \sigma t \ln 2}.$$

**2.13.**  $10^{12}$  нейтрон / см<sup>2</sup> · с жыллылық нейтронларының изотроп ағымы менен 10 күн даўамында нурландырылған массасы 1 мг алтынның жуқа қатламынан 1 күнде шығып атырған  $\beta$  бөлекшелеринің санын табың.

$$n = \frac{\nu n \sigma}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1})(1 - e^{-\lambda t_2}) \cong 2 \cdot 10^{10}.$$

**2.14.** Массасы 5 мг алюминий пластикасы 2 минут даўамында интенсивлиги  $5 \cdot 10^7$  нейтрон / см<sup>2</sup> · с болған жыллылық нейтронлары менен нурландырылған болса,  $\beta$  ыдырауы нәтижесинде 3 минут ишинде шыққан электронлар санын анықлаң. ( $n = 7,5 \cdot 10^4$ ).

**2.15.** Қысқа жасаушы  $^{110}\text{Ag}$  хәм узақ жасаушы  $^{108}\text{Ag}$  изотоплар гүмис пластинканы жыллылық нейтронлары ағымы менен нурландырыу жәрдеминде алынған. Сол изотоплардың активликлеринің қатнасын табың.

$$\left( \frac{J_{110}}{J_{108}} = \frac{\sigma_{109}}{\sigma_{109}} = 2,8 \right).$$

**2.16.** Қалыңдығы  $0,1 \text{ мм}$ , бети  $20 \text{ см}^2$  болған гүмис пластинка интенсивлиги  $5 \cdot 10^7 \text{ нейтрон / см}^2 \cdot \text{с}$  болған жыллылық нейтронларының параллель ағымы менен  $5 \text{ минут}$  даўамында нурландырылған болса, оның нурландырыў тамамланған ўақтындағы активлигин табың.

$$(J = \lambda_{110} N_{110} + \lambda_{108} N_{108} \cong 0,45 \text{ ðèè } ).$$

**2.17.** Радийдиң ярым тарқалыў дәўири  $T_{0,5} = 1602 \text{ æûë}$  болса, оның тарқалыў турақлысы табылсын.  $(\lambda = \frac{0,693}{T_{0,5}} = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1})$ .

**2.18.** Уран  $^{234} \text{U}$  (ямаса  $UII$ ), уран тийкарғы  $^{238} \text{U}$  (ямаса  $UI$ ) изотопының тарқалыўы болып есапланады. Егер уран  $^{234} \text{U}$  изотопының тәбийғый урандағы муғдары  $0,0055 \%$  болса оның ярым тарқалыў дәўири анықлансын. Уран изотопының ярым тарқалыў дәўири  $T_{0,5} = 4,51 \cdot 10^9 \text{ æûë}$ .

$$(T_{234} = 2,48 \cdot 10^5 \text{ жыл}).$$

**2.19.** Массасы  $m$  болған еркин тыныш турған атом ядросы оянған ҳалаттан тийкарғы ҳалатқа,  $\gamma$ -квант шығып өтеди. Егер ояныў энергиясы  $E_{12} = 129 \text{ Кэв}$  қа ( $^{191} \text{Ir}$  ядро ушын) тең болса, гамма-квант  $E_\gamma$  энергиясы хәм тепки энергиясы  $R$  табылсын.

**Шешими:** Ядро өзинен  $\gamma$ -квант шығарғанда энергия хәм импульс сақланыў нызамлары орынланыўы керек, яғный:

$$E_{12} = E_\gamma + R \tag{1}$$

$$\frac{E_\gamma}{c} = P_R \tag{2}$$

Бул жерде  $E_\gamma$ -гамма-квант энергиясы,  $R$ -тепки энергиясы,  $P_R$ -тепки импульсы. Релятивистлик механикада кинетикалық энергия  $T$  хәм импульс  $p$  арасында төмендеги байланыс бар:

$$T(2Mc^2 + T) = p^2 c^2$$

Бизиң жағдай ушын  $T = R$  екенлигин есапка алып,  $P_R$  яғный  $\gamma$ -квант шығарады хәм кейинги ядро импульсы:

$$P_R = \frac{1}{c} \sqrt{R(2Mc^2 + R)} \tag{3}$$

(3) ти (2) ге қоямыз хәм төмендеги системаны пайда етемиз:

$$E_{12} = E_{\gamma} + R, \quad \frac{E_{\gamma}}{c} = \frac{1}{c} \sqrt{R(2Mc^2 + R)}$$

Бул системаны  $E_{\gamma}$  хэм  $R$  ға қарап шешеміз хэм төмендеги теңлемелерди аламыз:

$$R = \frac{E_{12}^2}{2(2Mc^2 + E_{12})} = \frac{E_{12}^2}{2Mc^2}, \quad E_{\gamma} = E_{12} - \frac{E_{12}^2}{2Mc^2}.$$

Бул формулаларға:  $^{191}\text{Ir}$  ушын:

$$E_{12} = 129 \text{ Кэв} = 129 \cdot 10^3 \text{ эВ}, \quad Mc^2 = 192,2 \text{ м.а.б.}$$

$$931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.б.}} = 178938,2 \text{ МэВ} \approx 1,8 \cdot 10^5 \text{ МэВ} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ эВ}$$

сан мәніслерін қойып,  $R \approx 0,0462 \text{ эВ}$  екенлігін табамыз.

**2.20.** Жыллылық нейтронлары ағым тығызлығы  $10^{11} \text{ нейтрон} / \text{см}^2 \cdot \text{с}$  болған ядро реакторына жайластырылған  $^{59}\text{Co}$  20 сааттан кейін алынып, масс-спектрометр жәрдеминде өлшенгенде оның құрамында 3,4%  $^{60}\text{Co}$  пайда болғанлығы анықланған. Кобальт ядросының активлестіріу эффектив кесими табылсын ( $^{60}\text{Co}$  ушын  $\lambda_{0,5} = 5,28 \text{ әуә}$ ).

**Шешими:**  $t \ll \lambda_{0,5}$  ўақыт даўамында нурландырып алынған кобальт-60 радиактив изотопының ядроларының саны:

$$N(t) = n \nu \sigma t = 2 \nu_{\text{изотр}} n \sigma t$$

Жыллылық нейтронларының изотроп ағымы:

$$\nu_{\text{изотр}} = \frac{P \bar{g}}{3}; \quad \bar{g} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 2200 \text{ м / с},$$

бул жерде  $\rho$  -нейтронлар тығызлығы,  $\bar{g}$  -орташа тезлиги

$$\sigma = \frac{N}{2 \nu_{\text{изотр}} \cdot t n} = \frac{N \cdot 3 \sqrt{mt}}{2 n \rho \sqrt{3kT}} \cong 30 \text{ барн}.$$

**2.21.**  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$  ізбе-из ыдырау процесінде  $\lambda_2 N_2(t) = \lambda_1 N_1(t)$  теңсалмақлық шәрти орынлы екенін көрсетің.

$$\left( \frac{N_1}{N_2} \text{ ўақытқа байланыссы емес, } \frac{\lambda_2}{\lambda_1} > 1 \text{ хэм } N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 \right).$$

**2.22.** 1 г тәбийғый уран курамында ярым ыдырау дәуири  $T_{0,5} = 1,62 \cdot 10^3$  әтә

болған  $3,4 \cdot 10^{-7}$  г  $^{236}\text{Ra}$  болса,  $^{238}\text{U}$  ядросының ярым ыдырау дәуирин табың. Бунда  $T_{0,5}(^{238}\text{U}) \gg T_{0,5}(^{236}\text{Ra})$  деп алынсын.

$$\left( T_{0,5}(^{238}\text{U}) = T_{0,5}(^{236}\text{Ra}) \frac{N_{\text{U}}}{N_{\text{Ra}}} = 4,7 \cdot 10^9 \text{ әтә} \right).$$

**2.23.** Ишинде активлиги 10 мКи болған  $^{32}\text{P}$  препараты бар ампуланың 1 саатта жутқан энергиясын табың ( $T_{0,5}(^{32}\text{P}) = 14,5$  әтә ).

$$\left( Q \cong \frac{1}{3} E_{\text{max}} \cdot n_e = 0,12 \text{ Әә} \right).$$

**2.24.** 1 мг  $^{210}\text{Po}$  препаратының орташа жасау ўақтында ажыратып шығарған энергиясын есаплаң:  $E_{\alpha} = 5,3 \text{ МэВ}$  . ( $Q = 1,5 \cdot 10^6$  Әә ).

**2.25.**  $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{208}\text{Tl} + \alpha$  ыдырауда пайда болатуғын  $\alpha$  -бөлекше хәм  $^{208}\text{Tl}$  ядросының кинетикалық энергияларын табың.

$$\left( E_{\text{үәдә}} = \Delta M_{\text{мм}} c^2 \frac{4}{A} = 0,117 \text{ йҰ} \right).$$

**2.26.**  $^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + ^4\text{He}$  ыдырауда пайда болған  $^{206}\text{Pb}$  ядросының кинетикалық энергиясын табың. ( $E_{\text{үәдә}} = \Delta M c^2 \frac{4}{A} = 0,02 \text{ йҰ}$  ).

**2.27.**  $\alpha$  -жемирилиў итималлығы менен  $\alpha$  -бөлекше энергиясы арасындағы байланысты табың. Бунда  $\alpha$  -бөлекшениң кинетикалық энергиясы Кулон потенциал тосығының максимал бийиклигинен жүдә киши деп қаралсын.

**Шешими:**  $\alpha$  -жемирилиў итималлығы  $\alpha$  -бөлекшелердиң потенциал тосықтан өтиў коэффициентине пропорционал

$$\lambda = \frac{\eta}{m_{\alpha} R} D ; \quad D = \exp \left\{ - \frac{2}{\eta} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{2 m_{\alpha} [U(r) - E]} dr \right\} \quad (1)$$

Бул жерде  $R$  -ядро радиусы,  $E$  -болса  $\alpha$  -бөлекшениң энергиясы,  $U(r)$  - потенциал тосық.  $D$  ның мәнисин  $E \ll U(r)$  шәрттен пайдаланып табамыз.

Бунуң ушын  $I = \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{2 m_{\alpha} [U(r) - E]} dr$  интегралды көрип шығайық.

$E \sim U(r)$  да интеграл астындағы функция нолге жақын. Интегралдың төменги шегарасы  $r_1$  ге, потенциал радиусы  $R$  ға тең, яғный  $r_1 = R$  . Интегралдың

жоқары шегарасы болса, төмендегі шәрттен табылады: жоқары шегарада  $\alpha$  - бөлекшениң энергиясы. Кулон потенциаллық барьерге тең, яғный

$$E = U(r) = \frac{2Ze^2}{r_2}. \text{ Буннан } r_2 = \frac{2Ze^2}{E}. \text{ Демек:}$$

$$I = \sqrt{4m_\alpha Ze^2} \int_R^{\frac{2Ze^2}{E}} \frac{dr}{\sqrt{r}} = 4\sqrt{m_\alpha Ze^2} \left( \frac{\sqrt{2Ze^2}}{\sqrt{E}} - \sqrt{R} \right).$$

Буны (1) ге қойсақ:  $D = \exp\left(-\frac{a}{\sqrt{E}}\right)$

Бул жерде  $a = \frac{8Ze^2\sqrt{m_\alpha}}{\eta}$ . Булардан пайдаланып,  $T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda}$  екенлигин

есепқа алсақ,  $T_{0,5} = \tilde{n} \cdot \frac{a}{\sqrt{E}}$  хәм  $T_{0,5} = \ln c + \frac{a}{\sqrt{E}}$ , яғный Гейгер-Нетгол нызамы

$\alpha$  -бөлекшелерди потенциал тосықтан өтиў өзгешелиги менен байланысly.

**2.28.** Не ушын көп жағдайларда  $\alpha$  -жемирилиў туўындылы ядроның тийкарғы халатында жүз бериўин түсиндириң.

**Шешими:** Өтиў энергиясының асыўы менен тарқалыў итималлығы тез артады (2.27 ге қараң). Туўындылы ядроның оянған халатына өтиў итималлығы, оның тийкарғы жағдайына өтиўге қарағанда, бул өтиўлерде альфа-бөлекше киши орбитал моментти алып кеткенлиги себепли үлкен. Соның ушын альфа ыдыраў туўындылы ядроның тийкарғы жағдайында жүз береді.

**2.29.**  $\alpha$  -бөлекшелер ушын  ${}^{238}\text{Pu}$  ядросының Кулон потенциаллық барьерин есаплаң.

$$\left( E = \frac{Z_\alpha \cdot Z_U e^2}{(R_\alpha + R_U)} = 27 \text{ МэВ} \right).$$

**2.30.**  ${}^{32}\text{P}$  ядросының  $\beta$  -ыдыраўда пайда болған электронлардың максимал энергиясын табың.

$$\left( (E_e)_{\max} = M(P)c^2 - M(S)c^2 = 1,71 \text{ МэВ} \right)$$

**2.31.** Нейтронның  $\beta$  -ыдыраўы нәтийжесинде пайда болған электронларды  $\beta$  -спектриниң жоқары шегарасын анықлаң.

$$\left( (E_e)_{\max} = (m_n - m_p - m_e)c^2 = 0,78 \text{ МэВ} \right).$$

**2.32.**  $n \rightarrow p + e^{-} + \tilde{\nu}_e$  ыдырауда пайда болған протонның кинетикалық энергиясын табың. ( $E_p = 1,5 \text{ кэВ}$ ).

**2.33.**  $n \rightarrow p + e^{-} + \tilde{\nu}_e$   $\beta$ -ыдырауда пайда болған  $\tilde{\nu}_e$  антинейтрино спектрин табың. Бунда  $\beta$ -спектрин белгили деп алың.

**Шешими:**  $\beta$ -ыдыраудың бір актиндеги пайда болған электрон хәм антинейтриноның кинетикалық энергияларының жыйындысы ( $E_{Max}$ ). ( $E_{Max}$ ) турақлы шама болғанлығы ушын, антинейтриноның спектри

$$W_{\tilde{\nu}}(E) = W_e(E_{Max} - E).$$

Бул жерде  $W_e$ -электрон спектри. Электронлардың ядро майданы менен кулонның өз-ара тәсири нәтийжесинде  $W_e$  өзгермейди.

**2.34.**  $^{36}_{Cl}$  ядросының  $\beta$ -ыдырауға қарағанда беккемлигин көрсетің.

**Шешими:** Егерде:

$$M(A, Z) > M(A, Z \pm 1) + m_e, \quad (\beta^{-} \text{ хам } \beta^{+} \text{ ыдырау}),$$

$$M(A, Z) + m > M(A, Z - 1) \quad (E - \text{камтыу}).$$

Нейтрал атомлар массасы ушын:

$$M^{am}(A, Z) > M^{am}(A, Z + 1) \quad (\beta^{-} - \text{ыдырау}),$$

$$M^{am}(A, Z) > M^{am}(A, Z - 1) + 2m \quad (\beta^{+} \text{ ыдырау}),$$

$$M^{am}(A, Z) > M^{am}(A, Z - 1) \quad (\text{электрон} - \text{камтыу}).$$

шәртлер орынланса  $(A, Z)$  ядро  $(A, Z \pm 1)$  изобарға айланады,  $A=36$  болған изобар ушын:

$$M^{am}(^{36}_{Cl}) = 35,968312 \text{ м.а.б.}, \quad M^{am}(^{36}_{S}) = 35,967091 \text{ м.а.б.},$$

$$M^{am}(^{36}_{Ar}) = 35,967548 \text{ м.а.б.}$$

Буларды салыстырып, төмендеги ыдырау реакцияларын көреміз:



**2.35.**  $A = 40$  болған изобардың массасына қарап болыуы мүмкин болған ыдырау түрлерин табың.

$$\left( ^{40}_{19}K \rightarrow ^{40}_{20}Ca + e^{-} + \tilde{\nu}_e, \quad ^{40}_{19}K + e^{-} \rightarrow ^{40}_{18}Ar + \nu_e, \quad ^{40}_{19}K \rightarrow ^{40}_{18}Ar + e^{-} + \nu_e \right).$$

**2.36.**  $^{27}_{14}\text{Si}$  ядросының  $\beta^+$  - ыдырау нәтижесінде пайда болған позитронлар спектринің жоқары шегарасын анықлаң.

$$\left( ^{27}_{14}\text{Si} \rightarrow ^{27}_{13}\text{Al} + e^- + \nu_e, \hat{A}_{\text{Max}}(e^+) = 3,85 \text{ Ы\AA} \right).$$

**2.37.**  $^7_4\text{Be} + e^- \rightarrow ^7_3\text{Li} + \nu_e$  реакция нәтижесінде тийкарғы жағдайда пайда болған литий ядросының тепки энергиясын табың.

$$\left( E_{\nu}^{(1)} = \Delta Mc^2 = 0,86 \text{ МэВ} ; E_{\nu}^{(1)} = \frac{(\Delta M)^2 c^2}{2M(\text{Li})} = 57 \text{ эВ} \right).$$

**2.38.**  $^{137}_{55}\text{Cs}$  ядросын  $\gamma$  - ыдырауы нәтижесінде пайда болған электронлардың максимал энергиясын табың. Бунда тууынды ядро  $^{137}_{56}\text{Ba}$  - қозғалған жағдайда пайда болады деп қаралсын.  $\gamma$  -квантлар энергиясы

$$E_{\gamma} = 0,67 \text{ МэВ} . \quad \left( ^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + e^- + \tilde{\nu}_e, \quad ^{137}_{56}\text{Ba} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + \gamma \right),$$

$$\left( E_{e \text{ max}} \right) = M^{am}(\text{Cs}) - M^{am}(\text{Ba}) - E_{\gamma} = 0,51 \text{ МэВ} ).$$

**2.39.** Тритий ядросын  $\beta$  -ыдырау нәтижесінде тийкарғы жағдайда пайда болған  $^3_2\text{He}$  ядросының кинетикалық энергиясын анықлаң. Бунда: Максимал энергияны а) электрон б) антинейтрино алған жағдайларда көрилсин.

$$\left( \text{а) } E_e \cong 18,6 \text{ кэВ} , E_{\nu} = 3,46 \text{ эВ} ; \text{б) } E_{\nu} = 18,6 \text{ кэВ} , E_e = 0,086 \text{ эВ} \right).$$

**2.40.**  $^{13}_6\text{C}$  хэм  $^{13}_7\text{N}$  изобарларының массасына қарап позитрон спектринің жоқары шегарасын анықлаң.  $\left( ^{13}_7\text{N} \rightarrow ^{13}_6\text{C} + e^+ + \nu_e, \left( E_{e \text{ max}} \right) = 1,2 \text{ Ы\AA} \right).$

**2.41.**  $^{204}_{81}\text{Tl}$  ядросының  $\beta$  -ыдырауында пайда болған антинейтриноның алып кетиуі мүмкин болған орташа энергияны табың. Бунда электронлардың орташа энергиясы  $E = \frac{1}{3} E_{\text{max}}$ .

$$\left( ^{204}_{81}\text{Tl} \rightarrow ^{204}_{82}\text{Pb} + e^- + \tilde{\nu}_e, \frac{E_{\tilde{\nu}}}{E_{\tilde{\nu} \text{ max}}} = \left( E_{e \text{ max}} \right) = \frac{E_{\nu}}{E_e} = 0,48 \text{ МэВ} \right).$$

**2.42.** Жердеги барлық аргон, калий-40 элементин ( $E$  - камтыу) электрон қамтыу жолы менен пайда болған деп, Жердің жасының жоқары шегарасын табың. Хәзирги аргонның 300 атомына,  $^{40}_{19}\text{K}$  диң бир атомы тууры келеди.

**Шешими:**  $^{40}_{19}\text{K}$  ядросының 11%  $E$  -қамтыуда қатнасады:

$$^{40}_{19}\text{K} + e^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + \nu_e . \quad 89\% \quad ^{40}_{19}\text{K} \text{ атомы } \beta^- \text{ ыдырайды: } ^{40}_{19}\text{K} \rightarrow ^{40}_{20}\text{Ca} + e^- + \nu_e .$$

Жердің пайда болғанынан кейінгі өткен  $t$  ұақыттағы калий атомларының

саны:  $N_K(t) = N_K(0)e^{-\lambda t}$ , бұл жерде  $\lambda = \lambda_{40K}$  ядросының жемирилиуі турақлысы.

Аргон атомларының саны  $N_{Ar}(t) = 0,11 [N_K(0) - N_K(t)]$ ;

$$\frac{N_{Ar}(t)}{N_K(t)} = 0,11 (e^{\lambda t} - 1) = 300 ; \quad \lambda t \cong 8 . \text{ Буннан } t \cong 1,4 \cdot 10^{10} \text{ жыл} .$$

**2.43.**  $\mu$  -ыдырау  $\beta$  -спектринің жоқары шегарасын табың.

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu , \quad \mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu .$$

Электрон ямаса позитрон энергиясы төмендегі жағдайда максимал болады,

яғный:  $P_e = P_{\nu_e} + P_{\nu_\mu} = \frac{1}{c} (E_{\nu_e} + E_{\nu_\mu})$ . Буннан  $E = \frac{(m_\mu - m)^2 c^2}{2m_\mu}$ .

### Ш БАП. НУРЛАНЫҰДЫҢ ЗАТЛАР МЕНЕН ТӘСІРЛЕСІҰИ

#### *Тийқарғы формулалар хәм методикалық көрсетпелер*

Аўыр зарядланған бөлекшелердің затларда салыстырма ионизациялық энергия жоғалтыўы:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} = \frac{4\pi n_e Z^2 e^4}{m_e v^2} \left[ \ln \frac{2m_e v^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right] \quad (3.1)$$

бұл жерде  $I \approx (13,5Z) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж} = (13,5Z) \text{ эВ}$  -энергия жутылып атырған заттың атомлары орташа ионизациялық потенциалы:  $Ze$  -бөлекше заряды  $z = 1$  ( $p$ ),  $z = 2$  ( $\alpha$ ),  $\beta = v/c$ ;  $n_e$  -денедегі электронлар концентрациясы  $Z$  - атомның тәртип номери  $v$  -бөлекше тезлиги.

Көлем бирлигиндегі электронлар саны, яғный концентрациясы:

$$n_e = \frac{Z\rho N_A}{A} \quad (3.2)$$

бұл жерде  $Z$  -атомдағы электронлар саны,  $\rho$  -заттың тығызлығы,  $N_A$  - Авогадро саны,  $A$  -атом массасы.

Кинетикалық энергиясы  $T$  болған бөлекшениң орташа өтиуі жолы ушын эмперик формулалар:

Нормал шәрәятта  $\alpha$  -бөлекшениң ҳаўадағы орташа өтиуі жолы:

$$R_{\alpha} = 0,31 T^{3/2} \text{ см} < T < 7 \text{ МэВ} \quad (3.3)$$

Масса саны  $A$  болған зат  $\alpha$ -бөлешениң орташа өтиў жолы:

$$R_{\alpha} = 0,56 R_{\alpha}(\text{см}) A^{1/3} \text{ мг / см}^2 \quad (3.4)$$

бул жерде  $R_{\alpha}(\text{см})$ -усы энергиялы  $\alpha$ -бөлешениң ҳаўадағы өтиў жолы.

Нормал шәраятта  $T$ -кинетикалық энергиясы протонның ҳаўадағы өтиў жолы:

$$R_{\rho}(T) = R_{\alpha}(4T) - 0,2 \text{ см}; \quad T > 0,5 \text{ МэВ}, \quad (3.5)$$

бул жерде  $R_{\alpha}$ -кинетикалық энергиясы  $4T$  болған  $\alpha$ -бөлешениң ҳаўадағы орташа өтиў жолы.

Электронлардың нурланыўларға ионизациялық салыстырма энергиясын жоғалтыўы:

$$\left( \frac{dE}{dx} \right)_{\text{нур}} = \frac{4 r_e^2}{137} n T Z^2 \ln \frac{183}{Z^{1/3}}; \quad (3.6)$$

$$\frac{(dE/dx)_{\text{ион}}}{(dE/dx)_{\text{нур}}} \approx \frac{800}{Z T (\text{МэВ})}, \quad (3.7)$$

бул жерде  $T$ -электронның кинетикалық энергиясы,  $r_e$ -электрон классикалық радиусы,  $n$ -заттағы электронлар концентрациясы,  $Z$ -зат атомының тәртип номери.

Егер электрон энергиясы тийкарында радиациялық, яғный нурланыўға сарп етилсе, онда кинетикалық энергиясы орталықта төмендеги нызам бойынша кемейеди.

$$T = T_0 e^{-x/l_p} \quad (3.8)$$

бул жерде  $l_p$ -радиациялық узынлық болып, бул электрон энергиясының  $e$  мәрте кемейетуғын аралығы.  $T_0$ -электронның басланғыш энергиясы, яғный орталыққа келип түсиўинен алдыңғы энергиясы,  $x$ -электронның орталықта басып өткен жолы.

Кинетикалық энергиясы  $T(\text{МэВ})$  болған электронлар орташа өтиў жолы:

$$R = 0,407 T_e^{1,38} (\text{г / см}^2), \quad 0,15 < 0,8 \text{ МэВ} \quad \text{ушын} \quad (3.9)$$

$$R = 0,407 T_e - 0,133 (\text{г / см}^2), \quad < 0,8 \text{ МэВ} \quad \text{ушын} \quad (3.10)$$

Егер электронның энергия жоғалтыўы тийкарынан ионизациялық көринисте болса, ол жағдайда усы формулалар электронның хәр қандай заттағы өтиўи жақсы анықлықта көринеди.

Бета-бөлешелердің заттағы жутылыў нызамы:

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (3.11)$$

бул жерде  $N_0$  -зат бетине түсип атырған бета бөлөкшелер саны,  $N$  -болса  $x$  - қалыңлықтағы заттан өткеннен кейинги бета-бөлөкшелер саны,  $\mu$  -сызықлы жутылыў коэффициенти. Егер бета-бөлөкшелердиң затта ярымы жутылса,  $N(d_{0,5}) = N_0 / 2$  формуланы жаза аламыз, ол жағдайда

$$d_{0,5} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,63}{\mu} \quad (3.12)$$

бул жерде  $d_{0,5}$  -бета бөлөкшелер ярым жутылыў қатламының қалыңлығы.

Бета-бөлөкшелер интенсивлигиниң кемейиў нызамы да жоқарыда келтирилген (3.11) формулаға уқсас ҳалда болады, яғный:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.13)$$

бул жерде  $I_0$  -зат бетине түсип атырған бөлөкшелер интенсивлиги (ямаса ағымы)  $I$  -бөлөкшелер интенсивлигиниң (ағымының)  $x$  -қалыңлықтағы зат арқалы өткеннен кейинги мәниси.

Массалық жутылыў коэффициенти:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{22}{T_{\beta_{Max}}^{4/3}}; \quad 0,5 < T_{\beta_{Max}} < 6 \text{ ЎА} \quad (3.14)$$

бул жерде  $T_{\beta_{Max}}$  -бета бөлөкшелердиң  $M\beta B$  лардағы шегаралық максимал энергиясы.

Моноэнергетикалык  $\gamma$  -нурлар жиңишке дәстеси интенсивлигиниң пәсейиў нызамы:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.15)$$

$$\mu = \tau + \sigma$$

бул жерде  $\mu, \tau, \sigma$  -сайкес түрде пәсейиў, жутылыў хәм шашылыў сызықлы коэффициентлери.

Жутылған нурланыў дозасы:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (3.16)$$

бул жерде  $dE$  -орташа жутылған энергия,  $dm$  -элементар көлемдеги заттың массасы.

Экспозициялық доза:

$$D_{\text{э}} = \frac{dQ}{dm} \quad (3.17)$$

бул жерде  $dD$  -элементар көлемдеги хаўада пайда болған бир түр белгидеги ионлардың зарядлар жыйындысы.

- Жутылған нурланыўдың дозасының куўаты:

$$P = \frac{dD}{dt} \quad (3.18)$$

бул жерде  $dD$  -нурланыў дозасы.

Рентген хэм гамма-нурланыўлардың экспозициялық дозасының куўаты:

$$P_3 = \frac{dD}{dt} \quad (3.19)$$

Экспозициялық дозасының куўаты, Ампер бөлистириў килограмларда ( $A / кг$ ) көрсетиледи.

### ***Мәселелерди шешиў үлгилери хэм өз бетинше шешиў ушын мысаллар***

**3.1.** Радиактив  $^{32}D$  препараты шығарып атырған  $\beta$  -бөлекшелердин хаўа, алюминий хэм қорғасын ушын ярым жутылыў қатламы қалыңлығы есаплансын.

**Шешими:** Бета-бөлекшелер зат арқалы өткенде төмендеги нызам бойынша жутылады:

$$N = N_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

бул жерде  $N_0$  -денеге түсип атырған  $\beta$  -бөлекшелер саны,  $N$  -қалыңлығы  $d$  болған қатламнан өткен  $\beta$  -бөлекшелер саны. Бета-бөлекшелер ағымы заттың  $d$  қалыңлығынан өткеннен кейин  $N = N_0 / 2$  ге тең болады. Буны (1) ге қоямыз:

$$N_0 / 2 = N_0 e^{-\mu d_{0,5}}, \text{ ямаса } \frac{1}{2} e^{-\mu d_{0,5}}.$$

Бул формуланы логарифмлеп қыдырылып атырған ярым жутылыў қатламының қалыңлығын анықлаймыз:

$$d_{0,5} = \ln 2 / \mu \quad (2)$$

Бета-бөлекшелер энергиясы  $T_{\beta \max} = 1,71 \text{ МэВ}$  болғаны ушын (3.14) формула

жәрдемінде  $\mu_{\text{хаўа}}$ ,  $\mu_{Al}$  хэм  $\mu_{Pb}$  коэффициентлерди анықлаймыз хэм (2) ден:

$$d_{0,5}(\text{хаўа}) = 50 \text{ см}, d_{0,5}(Al) = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}, d_{0,5}(Pb) = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

екенлигин табамыз.

**3.2.** Космик нурлар тәсиринде теңиз қәддинен  $1 \text{ см}^3$  хаўада 1 мин ўақыт даўамында 120 ионлар жубы пайда болса, бир суткада инсан алатуғын экспозициялық дозасы анықлансын.

**Шешими:** Инсан  $t$  ўақыт даўамында алынатуғын экспозициялық доза төмендеги формула арқалы табылады:

$$D_{\text{э}} = P_{\text{э}} t \quad (1)$$

бул жерде  $D_{\text{э}}$  -экспозициялык доза,  $P_{\text{э}}$  -экспозициялык доза куўаты:

$$P_{\text{э}} = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot \Delta t} \quad (2)$$

бул жерде  $\Delta Q$  -массасы  $\Delta m$  болган хаўада  $\Delta t$  ўақыт даўамында пайда болган зарядлар жыйындысы. Ол жағдайда (2) ни (1) ге қоямыз хэм төмендеги теңлемени аламыз:

$$D_{\text{э}} = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot \Delta t} t \quad (3)$$

Бул жерде хаўа массасы төмендегиге тең болады:

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

$\Delta V$  көлемде пайда болатуғын зарядлар жыйындысы бир қыйлы белгиде барлық ионлардың зарядын  $e$  элементар зарядлы ионлар санына көбейтпесине тең:

$$\Delta Q = |e| N \quad (5)$$

(3) хэм (5) формулаларды есапқа алсақ (3) формула төмендеги көриниске

келеди:  $D_{\text{э}} = \frac{|e| \cdot N \cdot t}{\rho \Delta V \cdot \Delta t}$ . Формуладағы шамаларды СИ бирликлердеги

$|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ,  $N = 120$ ,  $t = 24 \cdot 3600 \text{ с}$ ,  $\rho = 1,29 \cdot \text{кг} / \text{м}^3$ ,  $\Delta V = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ ,  
 $\Delta t = 60 \text{ с}$  мәнислеринен экспозициялык дозаны есаплаймыз:  $D_{\text{э}} = 21,4 \text{ нКл} / \text{кг}$ .

**3.3.** Аўыр зарядлы бөлекшелердин, заттағы  $\text{см}^2$  ларда көрсетилген өтиў жолы өтиўши затқа байланыслы емеслигин көрсетиң. Усы жуўмақтың тәсир етиў шегараларын көрсетиң.

**Шешими:** Аўыр зарядлы бөлекшелер заттан өткенде олар барлық энергиясын тийкарғы жутыўшы зат атомларын ионизациялаўға хэм оятыўға сарплайды (ионизация жоғалтыўлар). Заряды  $Z_1$  хэм тезлиги  $v$  болған бөлекшениң ионизация жоғалтыўлары төмендегиге тең:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right) = \frac{4\pi e^4 z_1^2}{mv^2} ZNB,$$

Бул жерде  $Z$  -жутыўшы заттың атом саны,  $N - 1 \text{ см}^3$  көлемдеги атомлар саны,  $B$  -заттың ионизация потенциалына күшсиз байланысқан тормозланыў коэффициенті. Бул байланысты итибарға алмаған халда,  $E_1$  энергиялы бөлекшениң өтиўин табамыз:

$$R = \int_0^{E_1} \frac{dE}{-\left(\frac{dE}{dx}\right)} \cong \frac{f(E)}{ZN} = \frac{f(E)}{ZN_A \rho} A$$

Бул жерде  $N_a$  -Авогадро саны,  $f(E)$  бөлөкшениң өзгешеликлерине байланыссыз жана жутуушы затқа байланыссыз болмаган шама. Жеңил жана орташа жутуушылар ушын  $Z/A = 1/2$  жана  $R \cdot \rho = R \left( \frac{Z}{cm} \right)^2$ . Демек, бундай жутуушы затлар ушын  $R \cdot \rho$  көбөйтпө шама менен тураклы шама.

**3.4.** Фотоимпульсиядагы бөлөкшелер изиниң ақыры не ушын кеңейишин түсіндириң.

**Шешими:** Ионизация аркалы жоғалтуу бөлөкше тезлигин квадратына кері пропорционал байланысканы ушын, фотоимпульсиядагы кара дақлардың тығызлығы ионизация аркалы жоғалтуудың өсиі менен артып барады.

**3.5.** Кинетикалық энергиясы  $0,2 \text{ МэВ}$  болған альфа бөлөкше, протон жана электронлардың фотоимпульсиядагы кара излер тығызлықтарын шама менен бағалаң.

$$\left( \frac{dE}{dx} \right)_\alpha : \left( \frac{dE}{dx} \right)_p : \left( \frac{dE}{dx} \right)_e \cong 4 m_\alpha : m_p : m_e.$$

**3.6.** Энергиясы  $10 \text{ ГэВ}$  болған электрон жана протон ушын ионизациялық жоғалтуулар қатнастарын бағалаң.  $\left( \frac{dE}{dx} \right)_e : \left( \frac{dE}{dx} \right)_p \cong 2$ .

**3.7.** Препарат қалыңдығы асқанда да, көрсетилип атырған альфа нурланыулар интенсивлиги аспайтуғын радиактив  $^{238}\text{Pu}$  дерек қалыңдығын анықлаң. Альфа-бөлөкшелер энергиясы  $5,5 \text{ МэВ}$ .

$$(R = 3,3 \text{ мг / см}^2).$$

**3.8.** Электрон жана протонды радиация аркалы жоғалтуулар қатнасын бағалаң.

$$\left( \frac{W}{e} : \frac{W}{p} = a_e^2 : a_p^2 \cong m_e^2 : m_p^2 = 3 \cdot 10^{-5} \right),$$

**3.9.** Жауда өтуу жолы  $6 \text{ м}$  болған электронлар ағымынан қорғаныу ушын алюминийден таярланған экран қалыңдығын анықлаң.  $(R = 3 \text{ мм})$ .

**3.10.** Энергиясы  $1 \text{ МэВ}$  болған гамма-квантлар ағымын  $1000$  мәрте кемейтууші төмендеги жутуушы затлардың қалыңдығын табың:

1) қорғасын, 2) графит. Энергиясы  $1 \text{ МэВ}$  гамма-квантты қорғасында ағым кемейтуушисің эффектив кесими  $24 \text{ барн}$ .

$$(\text{Қорғасын } x(\text{Pb}) = 8,5 \text{ м}, \text{ графит } x(^{12}\text{C}) = x(\text{Pb}) \frac{\sigma(\text{Pb}) \cdot N(\text{Pb})}{\sigma(\text{C}) \cdot N(\text{C})} = 40 \text{ м}).$$

**3.11.** Еркін электронда фотоэффект бола алмаслығын көрсетиң.

**Шешими:** Бундай процесс ушын импульс жана энергияның сақланыу нызамы төмендегисе жазылады:

$$h\nu + m_e c^2 = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad \frac{h\nu}{c} = \frac{m_e \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Бұл теңдемелерден  $\beta$  үшін теңleme дүземиз:

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

Бұл теңлемени еки  $\beta_1 = 1$  хәм  $\beta_2 = 0$  түбири бар. Еки шешимнің де мәниске ийе емеслигинен еркин электрон фотонды жута алмаўы келип шығады.

**3.12.** Вакуумда гамма-квант электрон позитрон жуплығына айланыўын сыпатлаң.

**Шешими:** Инерция орайы санақ системасында электрон позитрон жуплығының толық импульсы нолге тең. Бирақ гамма-кванттың хәр қандай санақ системасындағы импульсы нолге тең емес. Соның үшін импульстың сақланыўы нызамы бузылады хәм вакуумда гамма-квант электрон-позитрон жуплығына айланбайды.

**3.13.** Электрон-позитрон жуплығы аннигиляция процесинде пайда болған гамма-квантлардың саны кеминде екеў болыўын көрсетиң.

**Шешими:** Инерция орайы санақ системасында электрон-позитрон жуплығының толық импульсы нолге тең. Импульстың сақланыўы нызамы орынланыўы үшін, пайда болған гамма-квантлар толық импульсы нольге тең болыўы керек. Бул шәрт, әлбетте, еки гамма-квант пайда болғанда орынланады.

**3.13.**  $^{60}\text{Co}$  ядросының ыдыраўында ядроның оянған жағдайына өтиў энергиялары  $1,17$  хәм  $1,33 \text{ МэВ}$  болған гамма-квантларды избе-из нурланыўы менен жүз береді. Гамма-квантлар ағымы  $10 \text{ см}$  қалыңлықтағы қорғасыннан өткеннен кейинги интенсивликлериниң қатнасын анықлаң. Гамма-квантларды жутылыўы эффектив кесимлери сай түрде  $21,5$  хәм  $18 \text{ барн}$ .

$$\left( \frac{I_{1,33}(0)}{I_{1,17}(0)} = \exp(\sigma_{1,17} - \sigma_{1,33}) \cdot N \cdot x = 3,2 \right).$$

**3.14.** Энергиясы  $0,5 \text{ МэВ}$  гамма-кванттың сызықлы жутылыўы коэффициенті қорғасында  $1,65 \text{ см}^{-1}$ , алюминийде  $0,223 \text{ см}^{-1}$  болса, қорғасында фотоэлектрлик жутылыўдың эффектив кесимин табың.

$$(\sigma_{\text{фото}}^{(82)} = 25,5 \text{ барн}).$$

**3.15.** Энергиясы  $5 \text{ МэВ}$  болған гамма-квантлар интенсивлиги кемейиўиниң эффектив кесими, мыста  $3,3$  хәм қорғасында  $14,8 \text{ барн}$ . Фотожутылыўы эффектив кесимин есапқа алмаған ҳалда, қорғасын үшін электрон-позитрон жубын пайда болыўының эффектив кесимин табың.

$$(\sigma_{\text{жуп}}^{(82)} = 7,5 \text{ барн}).$$

**3.16.** Энергиясы  $1 \text{ МэВ}$  болған гамма-квантлар  $10 \text{ см}$  қалыңлықтағы алюминийден өткенде оның интенсивлигиниң  $5$  мәрте кемейиўи, тийкарынан

комптон эффект себеули болады. гамма-квант интенсивлигинин кемейуи  $10 \text{ см}$  қорғасыннан өткенде 3000 мәрте болса, олардың қорғасындағы фотожутылыу кесимин табың. ( $\sigma_{\text{эфф}} (\text{Pä}) = \sigma - \sigma_{\text{эфф}} (\text{Pä}) = 6,3 \text{ ääđi}$  ).

**3.17.** Активлиги  $50 \text{ мКюри}$  болған  $^{60}\text{Co}$  дерегинен нурланған нурланыулар дозасын рентгенлерде есаплаң. Дерекке шекем болған аралық  $40 \text{ см}$ , экспозиция уақты болса 6 саатқа тең. Егер деректин дозасы рухсат етилген дозадан жоқары (хәптеде 1 мбэр ден үлкен) болса, қорғасын қорғаныу экранының қалыңлығын анықлаң. Кобальт-60 гамма турақлысы

$$I_{\gamma} = 13,2 \frac{\text{рентген} \cdot \text{см}^2}{\text{МКи} \cdot \text{саат}} \text{ ге тең.}$$

Кобальт-60 деректин қорғасындағы жутылыу коэффициенти болса  $1 \text{ см}^{-1}$ . ( $7,5 \text{ см}$  ден кем емес).

**3.18.** Энергиясы  $E_p = 10 \text{ МэВ}$  болған протонның хауада сызықлы өтиуи анықлансын. ( $R_p = R_{\alpha} = 114 \text{ см}$  ).

**3.19.** Энергиясы  $E_{\alpha} = 5 \text{ МэВ}$  болған  $\alpha$ -бөлекшениң бериллийдеги ( $A = 9, \rho = 1800 \text{ кг / м}^3$ ) массалық хәм сызықлы өтиуи табылсын.

$$(R_{m\alpha} = \sqrt{9 \cdot 125} = 33,5 \text{ г / м}^2, R = R_m / \rho = 18,5 \text{ äđi} ).$$

**3.20.** Кинетикалық энергиясы  $2 \text{ МэВ}$  ға тең болған электронларды толық жутыушы алюминийдин минимал қалыңлығы табылсын.

$$(R_{Al} R_{me} / \rho_{Al} = 9,26 / 2700 = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,34 \text{ см} ).$$

**3.21.** Энергиясы  $E_{\gamma} = 1 \text{ МэВ}$  қа тең болған  $\gamma$ -квантлар параллел дәстесинин қорғасында ( $Z = 82$ ) хәм алюминийде ( $Z = 13$ )

а) ярым пәсейиу қатламының қалыңлығы, б) дәстени еки мәрте пәсейтириуши қорғасын хәм алюминий массалары ( $\text{кг / м}^2 \text{ да}$ ) есаплансын.

( а) Қорғасын ушын:  $d_{0,5} = 0,693 / \mu_{\text{Эб}} \approx 8,65 \cdot 10^{-3} \text{ ä}$  хәм

$$\mu_m = \mu / \rho = 80 / 11340 \approx 7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 / \text{кг}, \text{ алюминий ушын } d_{0,5} = 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ ä} .$$

$\mu_m = 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / \text{кг}$  ; б) Дәстени еки мәрте пәсейтириуши қорғасыннан болған

нышан массасы  $\mu_{\text{Эб}} = \rho_{\text{Эб}} d_{0,5} = 98,7 \text{ ä / ä}^2$ , ал алюминий ушын

$$\mu_{Al} = 12,4 \text{ кг / м}^2 ).$$

**3.22.** Массасы  $10^{-6}$  г болған  $^{60}\text{Co}$  точкалық деректен қандай  $R$  аралықта, алты саатлық жұмыс күнінде алатуғын доза, рұхсат етилген дозаға тең болады.

$$(R = \sqrt{\frac{AK}{\gamma}} / \frac{P}{p \cdot g} = \sqrt{1,13 \cdot 12,93 / 2,8 \cdot 10^{-2}} \approx 72 \text{ см}).$$

#### IV БАП. ЯДРОЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР

##### Тийкары формулалар хәм методикалық көрсетпелер

Ядро реакцияларының ең көп тарқалған түрине жеңил  $\alpha$ -бөлекше менен  $A$  ядро өз-ара тәсирлесіу нәтижесинде жеңил  $a$  бөлекше хәм  $B$  ядро пайда болуы процесси мысал болады:

$$\begin{aligned} \cos \Theta_{\text{элас}} &\pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{элас}} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{M_a^2}} \\ &= \cos \Theta_{\text{элас эмес}} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{элас эмес}} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_a^2} + \frac{(m_C - m_\alpha)m_C Q}{m_a^2 T_a}} \end{aligned} \quad (4.1)$$

ямаса қысқаша  $A(a, \nu)B$ .

Усы теңлемедегі  $a$  хәм  $\nu$  бөлекше сыпатында нейтрон ( $n$ ), протон ( $p$ ), альфа-бөлекше ( $\alpha$ ), дейтон ( $d$ ) хәм гамма-квант ( $\gamma$ ) алыу мүмкин.

Хәмме ядро реакцияларында төмендегі сақланыу ызамалары орынланады:

- а) масса (ямаса энергия) ны сақлау ызамаы;
- в) электр хәм барион заряд (масса саны) сақланыу ызамаы;
- г) импульсти сақлау ызамаы;
- д) спинди сақлау ызамаы.

Реакция энергиясы  $Q$  хәриби менен белгиленеди хәм  $E_{0,1} - E_{0,2}$  айырмаға сан жағынан тең, яғнай:

$$Q = E_{0,1} - E_{0,2} = T_2 - T_1 \quad (4.2)$$

Бул жерде  $E_{0,1} - E_{0,2}$ -бөлекшелердің тынышлықтағы энергиясы,  $T_1$  хәм  $T_2$  болса кинетикалық энергиясы. Бул шамаларды  $A(a, \nu)B$  реакция ушын төмендегіше жазыуымыз мүмкин.

$$E_{0,1} = M_A c^2 + m_a c^2 \quad (4.3)$$

$$E_{0,2} = M_B c^2 + m_a c^2 \quad (4.4)$$

$$T_1 = T_A + T_a \quad (4.5)$$

$$T_2 = T_B + T_e \quad (4.6)$$

Егер  $Q > 0$  болса, ядро реакциясында энергия ажыралады хәм экзоэнергетикалық реакция делинеди.

Егер  $Q < 0$  болса, ядро реакциясында энергия жутылады хәм эндоэнергетикалық реакция делинеди.

Мәселелер шешиўде төмендеги формуладан пайдаланыў қолай:

$$Q = c^2 \left( \sum M_i - \sum M_K \right) \quad (4.7)$$

Бул жерде  $\sum M_i$  -ядро реакциясына кирисиўши бөлекшелердиң массаларының жыйындысы;

$\sum M_K$  -пайда болған бөлекшелердиң массаларының жыйындысы.

Эндоэнергетикалық реакциялардың басланғыш энергиясы:

$$E_{\text{бас}} = \frac{m_a + M_A}{M_A} |Q| \quad (4.8)$$

бул жерде  $m_a$  хәм  $M_A$  -ушып киятырған  $a$  бөлекше хәм нышан ядро массалары,  $|Q|$  -реакция энергиясының абсолют мәниси. Гамма-квантлар тәсиринде жүз беретугын, яғный фотоядро реакциялар ушын  $E_{\text{бас}} = |Q|$  болады.

Ядро реакциялары бойынша мәселе шешкенде жоқарыда атап өтилген сақланыў ыызамларынан пайдаланылады. Электр зарядын хәм барион зарядын (масса саны  $A$  ның) сақланыў ыызамлары реакцияға қатнасыўшылардан (ямаса олардың өнимлеринен) биреўи белгисиз болған жағдайда реакция теңлемесин туўры жазыўға жәрдем береди. Энергия импульсының сақланыў ыызамлары болса, реакция өнимлериниң кинетикалық энергияларын хәм олардың ушыў бағдарларын анықлаўға жәрдем береди.

Бомбардировка қылыўшы бөлекше менен нышан ядроның соқлығысыў процесинде бөлекшениң ядро тәрепинен жутылыўы, эластик емес соқлығысыў деп қаралады.

Ядро реакциясы ушын жазылған энергияның сақланыў ыызамында, толық энергия деп, релятивистлик энергияны түсиниледи, яғный,  $E = mc^2$  энергия, бөлекшелердиң тынышлықтағы  $m_0 c^2$  энергиялары хәм олардың  $T$  кинетикалық энергияларының жыйындысына тең:

Сақланыў ыызамына тийкарланып толық релятивистлик энергия:

$$\sum m_0 c^2 + \sum T = \sum m_0^1 c^2 + \sum T^1, \quad (4.9)$$

бул жерде  $\sum m_0 c^2$  -реакцияға кирген бөлекшелердиң тынышлықтағы энергияларының жыйындысы.

$\sum T$  -олардың кинетикалық энергияларының жыйындысы. Оң тәрепте болса реакциядан кейинги бөлекшелерге тийисли шамалар көрсетилген. Ядро реакцияларындағы (4.7) теңleme менен анықланыўшы  $Q$  реакция энергиясының

шамасы  $10 \text{ МэВ}$  тәртібинде болады. Ең жеңіл бөлекше  ${}^1_1\text{H}$  (яғный протон) тынышлықтағы энергиясы болса  $938 \text{ МэВ}$  қа тең. Бул жерде бөлекшелер хәм ядролар тезлигин есаплаганда, оларды төмендеги еки жағдайда норелятивистлик деп есаплау мүмкин:

1) егер усы бөлекшелер, әсте хәрекетлениуши бөлекшелер соқлығысуы нәтийжесинде жүз берген ядро реакциясының өними болса,

2) егер сөз ядро реакцияларының басланғыш энергиясын есаплау туұралы баратырған болса.

Ядро реакциясы энергиясының мәниси, жеңіл бөлекшелер, электрон хәм позитронлардың тынышлықтағы энергиясы ( $0,511 \text{ МэВ}$ ) нан үлкен. Соның ушын, реакция өниминиң тезлиги ямаса импульсларды табыуда төмендеги релятивистлик формулалардан пайдаланыу зәрүр:

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} v = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (4.10)$$

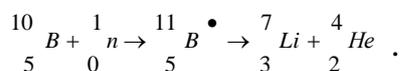
$$T = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (4.11)$$

бул жерде  $p$  -бөлекше импульсы,  $m_0$  -бөлекшениң тынышлықтағы массасы,  $T$  -бөлекшениң кинетикалық энергиясы.  $\beta = v/c$ ,  $v$  -бөлекшениң тезлиги,  $c$  - жақтылықтың вакуумда тарқалыу тезлиги.

### **Мәселелер шешуі үлгилери хәм өз бетинше шешуі ушын мысаллар**

**4.1.** Тыныш турған бор ядросы менен нейтронлардың өз-ара тәсири нәтийжесинде жүз беретугын төмендеги ядро  ${}^{10}_{5}\text{B}(n, \alpha){}^7_3\text{Li}$  реакциясының  $Q$  энергиясы анықлансын.

**Шешими:**  ${}^{10}_{5}\text{B}(n, \alpha){}^7_3\text{Li}$  ядро реакциясы төмендеги механизм бойынша жүз береді. Бор  ${}^{10}_5\text{B}$  ядросы әсте  ${}^1_0n$  нейтронларды жутады (яғный өзине қосып алады) хәм аралық  ${}^{11}_5\text{B}$  ядроға айланады. Усы ядро күшли қозғалған жағдайда болғаны ушын, өзинен  $\alpha$  -бөлекше ( ${}^4_2\text{He}$ ) шығарады хәм литий  ${}^7_3\text{Li}$  ядросына айланады. Усы реакция процесин жайып жазсақ,



Реакция энергиясы  $Q$  ди (4.7) формула жәрдемінде табамыз:

$$Q = c^2 \left[ (m_{10B} + m_n) - (m_{7Li} + m_{4He}) \right]$$

Ядролардың тынышлықтағы массаларын, усы ядро атомларының тынышлықтағы массаларына алмастырамыз хәм таблицадан алынған атом массаларын ақырғы формулаға қоямыз:

$$Q = 931 \cdot (10,01294 + 1,00867 - 7,01601 - 4,00260) \text{ МэВ} = 2,80 \text{ МэВ} .$$

Реакция өнімлері болған литий  ${}^7\text{Li}$  хәм  $\alpha$  -бөлекшелердің кинетикалық энергиясын табыу үшін (4.11) формада жазылған релятивисттик энергияның сақланыу нызамын (4.7) есапқа алған халда жазамыз:  $\sum T + Q = \sum T^1$

(1)

Мәселе шәртине қарап  $\sum T$  шаманы есапқа алмаса да болады. Ол жағдайда

${}^7\text{Li}$  хәм  ${}^4\text{He}$  бөлекшелер кинетикалық энергиялардың жыйындысы:

$$T_{Li} + T_{He} = Q \quad (2)$$

$T_{Li}$  хәм  $T_{He}$  белгисизлерди байланыстырыушы екинши бир теңлемени дүзиу үшін импульстың сақланыу нызамын қолланамыз. Бөлекшелердің импульсларының жыйындысы, реакцияға шекем нольге тең десек, ол жағдайда реакциядан кейин де ол нольге тең болады.

$$P_{Li}^{\rho} + P_{He}^{\rho} = 0 \quad (3)$$

Бул жерден импульс модуллері үшін:

$$P_{Li} = P_{He} \quad (4)$$

Бөлекшелердің импульслары теңлемелерінен олардың кинетикалық энергиясының теңлемелеріне өтеміз.

$$T_{Li} = \frac{P_{Li}^2}{2m_{Li}}; \quad T_{He} = \frac{P_{He}^2}{2m_{He}} \quad (5)$$

(4) хәм (5) тен

$$m_{Li} T_{Li} = m_{He} T_{He} \quad (6)$$

ны пайда етеміз. (2) хәм (6) теңлемелерди биргеликте шешип,

$$T_{Li} = Q m_{He} / (m_{Li} + m_{He}), \quad T_{He} = Q m_{Li} / (m_{Li} + m_{He})$$

теңлемелерін аламыз хәм  $m_{He}$  хәм  $m_{Li}$  ядро массаларының мәніси пүтин санға салыстырып төмендегилерди табамыз:

$$T_{Li} = 4Q / 11 = 1,02 \text{ МэВ} , \quad T_{He} = 7Q / 11 = 1,78 \text{ МэВ} .$$

**4.2.** Фотонлар жүзеге келген төмендеги ядро реакцияларда белгисизлер орнын толтырып жазың:



**Шешими:** Усы мәселе барион зарядын (масса саны  $A$ ) хәм электр зарядын ( $Z$ ) сақланыў ызымлары жәрдемде шешиледи.

$$1) \quad {}_{13}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}_{12}^{26}\text{Mg} \quad \text{ямаса} \quad {}_{13}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}_{12}^{26}\text{Mg} + x$$

Масса санын ( $A$ ) сақланыў ызымын жазамыз:  $27 = 26 + x$ , ямаса  $x = 1$ .

Электр зарядын ( $Z$ ) сақланыў ызымын жазамыз:  $13 + 0 = 12 + x$ , ямаса

$x = 1$ , демек  $x = {}_1^1\text{H}$ . Басқалары да усыған уқсас шешиледи.

$$2) \quad x = {}_{13}^{27}\text{Al} \quad 3) \quad x = {}_0^1\text{n} - \text{нейтрон} \quad 4) \quad x = {}_{74}^{181}\text{W}.$$

**4.3.**  ${}^{208}\text{Pb}$  ядросының төменги қәдилери сызылмасына қарап 5-қозғалған жағдайының ең үлкен итималлық пенен ыдыраў жолын көрсетиң. Өтиў мултиполи табылсын.

**Шешими:** Энергетикалық қәдилер: тийкарғы жағдай ушын толық момент  $J = 0$ , жуплық  $\pi = +1$ , екинши қәди ушын  $J = 3$ , жуплық  $\pi = -1$  хәм үшінши қәди ушын  $J = 5$ , жуплық  $\pi = -1$ .  $J^\pi = 5^-$  қәдиден төменги қәдилерге өтиўде жуплықтың сақланыў ызымы орынланыўы керек. Энергия жағынан  $5^- \rightarrow 0^+$  өтиў шегараланбаған, бунда  $L = 5 - 0 = 5$  нурланыўдың толық моменти, сол сыяқлы  $5^- \rightarrow 3^-$  өтиў де бар болып,  $L = 5 - 3 = 2$ .

Электр мултипол өтиў ушын жуплық өзгеріўи  $(-1)^L$  ға тең, магнит мултипол өтиў ушын болса  $(-1)^{L+1}$  ге тең.  $5^- \rightarrow 0^+$  жағдай ушын  $E5$  мултипол өтиў орынлы,  $5^- \rightarrow 3^-$  жағдай ушын  $E2$  мултипол өтиў орынлы. Бирақ  $EL$ -мултипол өтиўдің

итималлығы  $\left(\frac{R}{\Delta}\right)^{2L}$  ге пропорциональ, бул жерде  $\Delta = \frac{\eta c}{E_\gamma}$ ,  $R$  -ядро радиусы,  $E_\gamma$  -

нурланыў энергиясы. Ядрода нурланыўшы квантлардың энергиясы бир неше миллион электронвольт болады, яғный  $\lambda > R$ . Соның ушын мултиполлық ( $L$ )

қанша үлкен болса, өтиў итималлығы сонша киши болады. Буннан  $5^-$  жағдайда  $0^+$  жағдайға өтиў избе-из түрде болады, яғный  $E2$  ( $5^- \rightarrow 3^-$ ) хәм  $E3$  ( $3^- \rightarrow 0^+$ ).

**4.4.**  ${}^{30}\text{Si}$  ядросының қәдилер сызылмасы бойынша  $0^+$  қозғалған жағдайының ең үлкен итималлық пенен ыдыраў жолын табың хәм өтиў мултиполлығын көрсетиң. (Ыдыраўдың  $0^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$  өтиў итималлығы ( $0^+ \rightarrow 1^+$ ), ал  $0^+ \rightarrow 1^+ \rightarrow 0^+$  өтиў итималлығы ( $0^+ \rightarrow 2^+$ )).

**4.5.**  $M$ -массалы ядроның  $\eta\omega$ -энергиялы  $\gamma$ -квантты жутыўы нәтийжесинде алған қозғалыў энергиясын табың.

**Шешими:** Энергия хәм импульстың сақланыў ызымына қарап

$$\begin{cases} Mc^2 + \eta\omega = Mc^2 = E_{Я} + E^{\bullet} \\ \frac{\eta\omega}{c} = p \end{cases}$$

бул жерде  $E_{Я}$  -ядроның тепки энергиясы,  $E^{\bullet}$  -қозғалыу энергиясы.

$$E_{Я} = \frac{p^2}{2M} = \frac{(\eta\omega)^2}{2Mc^2}, \quad E^{\bullet} = \eta\omega \left(1 - \frac{\eta\omega}{2Mc^2}\right).$$

**4.6.** Жыллылық нейтронлары дәстеси бослықта 10 м аралықты өткенде дәстениң интенсивлиги қаншаға өзгереді.

**Шешими:** Жыллылық нейтронларының кинетикалық энергиясы  $E = \left(\frac{3}{2}\right)kT$

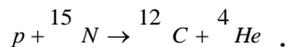
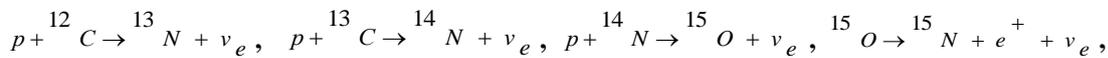
ға хәм орташа тезлиги  $v \approx 2,2 \cdot 10^5 \text{ см / с}$  қа тең хәм  $l = 10 \text{ м}$  аралықты өтиу

ўақты  $t = \frac{l}{v}$ , бул ўақыт ишинде ыдыраған нейтронлар саны болса  $N_0 - N(t)$ , ямаса олардың салыстырмалы өзгериўине тең,

$$\frac{N_0 - N(t)}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} \cong \lambda t = 5 \cdot 10^{-6}$$

демек, бул аралықта нейтронлар интенсивлиги дерлик өзгермейди.

**4.7.** Бета-ыдырау циклында ажыралып шыққан энергияны есаплаң.



**Шешими:** Реакция теңдемелериниң шеп хәм оң тәреплерин өз алдына қосып шығып, улыўма нәтийже сыпатында  $4p \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 5\nu_e$  ни табамыз.

Энергетикалық шығыу  $Q = 4m_p - m_{\alpha} - 2m_e = 26,8 \text{ МэВ}$ .

**4.8.** Нейтронларды протон тәрепинен қамтып алыныуы кесиминиң, нейтронды фототарқалыу кесимине қатнасын табың.

**Шешими:** Реакциялар ушын толық теңсалмақлық принципине тийкарланып,  $n + p \rightarrow d + \gamma$  туўры хәм  $\gamma + d \rightarrow n + p$  кери реакция кесимлери қатнасы

төмендегеше анықланады:  $\frac{\sigma_{тууры} \rightarrow \gamma d}{\sigma_{кери} \rightarrow np} = \frac{P_{\gamma}^2 (2S_{\gamma} + 1)(2S_d + 1)}{P_n^2 (2S_n + 1)(2S_p + 1)}$

бул жерде  $P_{\gamma}, P_n$  -импульслар,  $S_{\gamma}, S_d, S_n, S_p$  -реакцияда қатнасып атырған

бөлекшелердиң спинлери:  $P_{\gamma}^2 = \left(\frac{\eta\omega}{c}\right)^2, \quad P_n^2 = 2m_n E_n.$

Онда  $\eta\omega + M({}^2\text{H}) = m_n + M({}^1\text{H}) + E_n$ , ямаса

$$\eta\omega = E_n + \varepsilon_{\text{бай}}(d), S_n = S_p = \frac{1}{2}, S_d = 1 \quad 2S_\gamma + 1 = 2$$

$$\frac{\sigma_{\text{додддд}} \rightarrow \gamma d}{\sigma_{\text{ээдэ}} \rightarrow np} = \frac{3(E_n + \varepsilon_{\text{эээ}})^2}{2 \cdot 2m_m c^2 E_n}$$

**4.9.**  $^{16}\text{O}$  ядросының төменги қозған қалынан ( $J^\pi = 0^+, E = 6,1 \text{ МэВ}$ ) тийкарғы қалына радиациялық өтиў мүмкинбе?

**Шешими:**  $I_1$  спинли жағдайда  $I_2$  спинли жағдайға өтиўде, нурланыў алып кететуғын момент  $L$  төмендеги таңлаў қатнасын қанаатландырыў керек.

$$|I_1 - I_2| \leq L \leq I_1 + I_2$$

Бизиң жағдайда  $I_1 = I_2 = 0, L = 0$ . Демек  $\gamma$ -квант нурланбайды, себеби оның моментиниң ең киши мәниси  $L = 1$  ге тең.

**4.10.** Берилген реакция ушын,  $^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow ^{17}\text{O} + p$ , төмендеги еки жағдай ушын басланғыш энергиясын есаплаң:

1) ушып киятырған бөлекше, альфа-бөлекше;

2) ушып киятырған бөлекше,  $^{14}\text{N}$  ядросы.

Реакцияның энергиясы  $Q = 1,18 \text{ МэВ}$ . Алынған нәтийжелерди түсиндириң.

**Шешими:** Реакцияның басланғыш энергиясын есаплаймыз:

1)  $T_{\text{бас}} = 1,18(1 + 4/14) = 1,52 \text{ МэВ}$ ,

2)  $T_{\text{бас}} = 1,18(1 + 14/4) = 5,31 \text{ МэВ}$ .

Биринши жағдайда инерция орайының хәрекеті жүдә “төмен”  $(4/14)Q$ , екинши жағдайда болса  $(14/4)Q$ , солай етип, реакцияның басланғыш энергиясы екинши жағдайда 3,5 есе үлкен.

**4.11.** Литий ядросы  $^7\text{Li}$  нейтронды жутады хәм гамма-квант шығарады. Гамма-квант энергиясы неге тең?

**Шешими:**  $^7\text{Li}(n, \gamma)^8\text{Li}$  реакция жүз береді.  $Q = 2,034 \text{ МэВ}$ .

Мәлим болғанындай,  $|P_\gamma| = |P_\gamma|$ ;  $P_\gamma = E_\gamma / c$ ;  $P_\gamma = (2M_\gamma \cdot E_\gamma)^{1/2}$

хәм  $E_\gamma + E_\gamma = Q$ ,

бул жерде  $P_\gamma, P_\gamma$ -ядро хәм  $\gamma$ -квантлардың импульслары,  $E_\gamma, E_\gamma$ -ядро хәм  $\gamma$ -квант энергиясы, ол жағдайда,

$$E_\gamma = \frac{E_\gamma^2}{2M_\gamma c^2} \cong \frac{Q}{2M_\gamma c^2} \cong \frac{2,034^2}{2 \cdot 7 \cdot 931,5} \cong 3 \cdot 10^{-4} \text{ МэВ}$$

Гамма-квант энергиясы  $E_\gamma = Q - E_\gamma \cong Q = 2,034 \text{ МэВ}$ .

**4.12.** Басланғыш энергиясына ийе болған нейтронларда болатуғын  $^{12}\text{C}(n, \alpha)^9\text{Be}$  реакцияда пайда болған  $^9\text{Be}$  ядросының лаборатория системасындағы кинетикалық энергиясын анықлаң.

**Шешими:**  $\Lambda$ -системасында (лаборатория системасы)  ${}^9_{Be}$  импульсы  $P_{Be}^p$   $M$  - системасындағы (инерция орайы системасы) инерция орайының көшіуі менен байланысly болған импульсқа тең.

$$P_{Be}^p = P_{Be}^{p\text{ кош}}$$

$M$  -системасында  ${}^9_{Be}$  импульсы нейтрон импульсы менен төмендегіше байланысқан:

$$P_{Be}^p = \frac{m_{Be}}{m_{\alpha} + m_{Be}} P_n^p$$

Ақырғы теңлемеді импульстарды энергия арқалы көрсетеміз хәм нейтрон энергиясының басланғыш энергиясы арқалы жазамыз.

$$\sqrt{2m_{Be} T_{Be}} = \frac{m_{Be}}{m_{\alpha} + m_{Be}} \sqrt{2m_n T_n} = \frac{m_{Be}}{m_{\alpha} + m_{Be}} \sqrt{2m_n |Q| \frac{m_c + M_n}{m_c}}$$

$$m_c + m_n \cong m_{Be} + m_{\alpha}$$

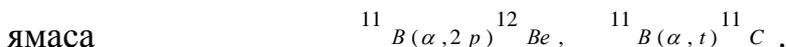
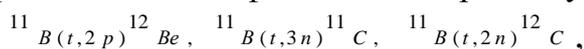
болыуын есапқа алып, төмендегини аламыз:

$$T_{Be} = \frac{m_n m_{Be}}{m_c (m_{\alpha} + m_{Be})} |Q|$$

$$T_{Be} = \frac{1 \cdot 9}{12(4 + 9)} |8,071 - 2,424 - 11,347| = 0,33 \text{ МэВ} .$$

**4.13.** Тәбийғый бор нышанға алынғанда, ярым ыдырау дәуірі  $20,4 \text{ мин}$  хәм  $0,024 \text{ сек}$  болған изотоплар пайда болғаны бақланған. Қандай изотоплар пайда болған? Қандай реакциялар бул изотоплардың пайда болыуына алып келген?

**Шешими:** Ярым ыдырау дәуірлері  $20,4 \text{ мин}$  хәм  $0,024 \text{ сек}$   ${}^{11}_{C}$  хәм  ${}^{12}_{Be}$  ядроларына сай келеді. Олар бир қыйлы бөлекшелер тәсиринде пайда болыуы ушын, бул бөлекшелер тритий ямаса альфа-бөлекшелер болыуы мүмкін.



**4.14.** Тәбийғый бор протонлары менен нышанға алынған. Нышанға алыу тоқтағаннан соң детектор  $100 \text{ Бк}$  активликти анықлаған.  $40 \text{ мин}$  ўақыт өткеннен кейин активлик  $25 \text{ Бк}$  ға түскен. Активлик дереги қандай? Қандай ядро реакциясы жүз берген?

**Шешими:** Активлик ўақыт бойынша төмендеги нызам бойынша өзгереді:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Ярым ыдырау дәуірінің формуласы:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{t \cdot \ln 2}{\ln(A_0 / A_1)} = \frac{40 \cdot \ln 2}{\ln(100 / 25)} = 20 \text{ мин}$$

Бундай ыдырау дәуіріне  ${}^{11}_{C}$  изотопы ийе. Бул изотоп төмендеги реакцияда пайда болған:  ${}^{11}_{B(p,n)} {}^{11}_{C} .$

**4.15.** Энергиясы  $T = 10 \text{ МэВ}$  альфа-бөлөкшө  $^{12}\text{C}$  ядро менен жүзбе-жүз эластиклик соқлыгысады. Соқлыгысқаннан кейин  $^{12}\text{C}$  ядроның лаборатория системасында кинетикалық энергиясын анықлаң.

**Шешими:** Эластиклик соқлыгысыў жүз бергенде тепки ядроның кинетикалық энергиясына тең болады:

$$T_C = \frac{4\kappa T_\alpha}{(1 + \kappa)^2} \cos^2 \theta_C ,$$

бул жерде  $\kappa = m_\alpha / m_C$ ,  $\theta_C$  -тепки ядро  $^{12}\text{C}$  шашылыў мүйеши. Мәселе шәртинге қарап  $\theta = 180^\circ$ . Тепки ядро кинетикалық энергиясын табамыз.

$$T_C = \frac{4 \cdot (4 / 12) 10}{(1 + (4 / 12))^2} = 7,5 \text{ МэВ} .$$

**4.16.** Энергиясы  $T_p = 5 \text{ МэВ}$  протонлар тәсиринде  $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$  реакцияда пайда болған  $^7\text{Be}$  ядроларының максимал хәм минимал энергияларын анықлаң. ( $Q = -1,65 \text{ МэВ}$ )

**Шешими:** Төмендеги формуладан пайдаланамыз:

$$T_{Be} = \frac{m_p m_{Be} T_p}{(m_{Be} + m_n)} \left( \cos \Theta_{Be} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{Be} + \frac{(m_{Be} + m_n) [(m_n + m_p) T_p + m_n Q]}{m_p m_{Be} T_p}} \right)$$

бул жерде корен астындағы теңлеме терис болмаслығы ушын,

$$\cos^2 \Theta_{Be}^{\max} = \left| \frac{(m_{Be} + m_n) [(m_n + m_p) T_p + m_n Q]}{m_p m_{Be} T_p} \right|$$

шәрт орынланыўы керек хәм:

$$\cos^2 \Theta_{Be}^{\max} = \left| \frac{(1 + 7) [(1 - 1) \cdot 5 + 1 \cdot (-1,65)]}{1 \cdot 7 \cdot 5} \right| = 0,377$$

Корен астындағы теңлеме терис болмайды, егерде  $\cos \theta = 0,614$  болса,  $^7\text{Be}$  ядросының ушып шығыў максимал мүйеши  $52^\circ\text{C}$  болады. Сол мүйеш астында ушып шыққан  $^7\text{Be}$  ядроның кинетикалық энергиясы:

$$T_{Be} = \frac{m_p m_{Be} T_p \cos^2 \Theta_{Be}^{\max}}{(m_n + m_{Be})^2} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 0,377}{(1 + 7)^2} \cong 0,21 \text{ МэВ} .$$

Ушып шығыў мүйешлери  $0^\circ$  хәм  $52^\circ$  арасында  $^7\text{Be}$  ядросының кинетикалық энергиясы еки мәнисти қабыл етеди. Бирейи корен алдындағы белги «+» хәм екіншиси

«-». Кинетикалық энергияның максимал хәм минимал энергиялары  $0^\circ$  мүйеште болады.

$$T_{Be}^{\max} = \frac{m_p m_{Be} T_p}{(m_n + m_{Be})^2} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{(m_{Be} + m_n) \left[ Q m_n (m_n - m_p) T_p \right]}{m_p m_{Be} T_p}} \right\}^2$$

$$T_{Be}^{\max} = \frac{m_p m_{Be} T_p}{(m_n + m_{Be})^2} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{(m_{Be} + m_n) \left[ Q m_n (m_n - m_p) T_p \right]}{m_p m_{Be} T_p}} \right\}^2$$

Сан мәніслерин қойып,

$$T_{Be}^{\max} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 5}{(1 + 7)^2} \left\{ 1 + \sqrt{1 - 0,377} \right\}^2 = 1,75 \text{ МэВ} \quad T_{Be}^{\max} = 0,024 \text{ МэВ} , \text{ аламыз.}$$

Ядро  ${}^7_{Be}$  максимал кинетикалық энергия менен ушып шыққанда нейтронның ушып шығуы мүйеши  $180^\circ\text{C}$  болады. Минимал энергияға ийе болғанда, нейтронның ушып шығуы мүйеши  $0^\circ\text{C}$  болады.

**4.17.** Альфа-бөлекшелер эластик емес шашылыуда  ${}^{12}\text{C}$  ядросының  $4,44 \text{ МэВ}$  энергиялы жағдайды қозғалтады хәм  $30^\circ\text{C}$  мүйеш астында ушып шығады хәм олардың энергиясы, тап сол ядродан  $45^\circ\text{C}$  мүйеш астында эластик шашылған альфа-бөлекшелер энергиясына тең. Нышан ядроға түсіп атырған альфа-бөлекшелер энергиясын анықлаң.

**Шешими:** Эластик шашылыуда альфа-бөлекшелер кинетикалық энергиясы төмендегі формуладан табылады:

$$T_\alpha = \frac{1}{(m_\alpha + m_C)^2} \left\{ \sqrt{m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos^2 \Theta_{\text{элас}}} \pm \sqrt{m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos^2 \Theta_{\text{элас}} + (m_\alpha + m_C)(m_C - m_\alpha) T_\alpha} \right\}^2$$

эластик емес шашылыу болса:

$$T_\alpha = \frac{1}{(m_\alpha + m_C)^2} \left\{ \sqrt{m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos^2 \Theta_{\text{элас емес}}} \pm \sqrt{m_\alpha m_\alpha T_\alpha \cos^2 \Theta_{\text{элас емес}} + (m_\alpha + m_C) Q \cdot m_C + (m_C - m_\alpha) T_\alpha} \right\}^2$$

Жоқарыдағы теңлемелерди теңлестіріп:

$$\begin{aligned} \cos^2 \Theta_{\text{элас}} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{элас}} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{M_\alpha^2}} &= \\ &= \cos^2 \Theta_{\text{элас емес}} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{элас емес}} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2} + \frac{(m_C + m_\alpha) m_C Q}{m_\alpha^2 T_\alpha}} \\ \left( \cos^2 \Theta_{\text{элас}} - \cos^2 \Theta_{\text{элас емес}} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{элас}} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2}} \right) - \cos^2 \Theta_{\text{элас}} - \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2} &= \\ = \frac{(m_C + m_\alpha) m_C Q}{m_\alpha^2 T_\alpha} \end{aligned}$$

$$T_{\alpha} = \frac{\frac{(12 + 4) \cdot 12}{4^2} (-4,44)}{\left( \cos 45^{\circ} - \cos 30^{\circ} + \sqrt{\cos^2 45^{\circ} + \frac{12^2 - 4^2}{4^2}} \right) - \cos^2 45^{\circ} - \frac{12^2 - 4^2}{4^2}} = 5,9 \text{ МэВ} .$$

**4.18.** Энергиясы  $T = 5 \text{ МэВ}$  болған альфа-бөлекшелер тыныш жағдайдағы  ${}^7\text{Li}$  ядросы менен соқлығысады. Реакция  ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$  нәтижесінде пайда болған нейтрон хәм  ${}^{10}\text{B}$  борды инерция орайы санақ системасындағы импульстарды анықлаң.

**Шешими:** Реакция энергиясын есаплаймыз:

$$Q = (2,424 + 14,907 - 8,071 - 12,050) \text{ МэВ} = -2,79 \text{ МэВ}$$

нейтрон хәм борды  ${}^{10}\text{B}$  инерция орайы санақ системасындағы кинетикалық энергиясын есаплау үшін төмендеги формуладан пайдаланамыз:

$$T'_n = \frac{M_B}{M_n + M_B} \left( \frac{M_{Li} T_{\alpha}}{M_{\alpha} + M_{Li}} + Q \right) = \frac{(p'_n)^2}{2M_n}$$

Инерция орайы санақ системасындағы импульстарды есаплаймыз.

$$p'_B = p'_n = \sqrt{2M_n T'_n} = \frac{1}{c} \sqrt{2M_n c^2 \frac{M_B}{M_n + M_B} \left( \frac{M_{Li} T_{\alpha}}{M_{\alpha} + M_{Li}} + Q \right)} \cong \frac{1}{c} \sqrt{2 \cdot 939,57 \frac{10}{1+10} \cdot \left( \frac{7}{4+7} 5 - 2,79 \right)} = 45 \frac{\text{МэВ}}{c}$$

**4.19.** Кинетикалық энергиясы  $T_{\alpha} = 5 \text{ МэВ}$  болған протон водород атомы ядросы менен соқлығысып, оннан эластиклик шашылады. Тепки ядро энергиясын  $T_B$  хәм тепки ядро шашылыу мүйеши  $\theta_B$  ны табың. Протон шашылыу мүйеши  $\theta_B = 30^{\circ}$ .

**Шешими:** Эластиклик шашылыу үшін  $T_{\alpha} = T_b + T_B$ , бул жерде  $T_{\alpha}, T_b, T_B$  - $\Lambda$ -системасында ушып киятырған протонның, шашылған протонның хәм шашылғаннан кейинги водород ядросының кинетикалық энергиялары.

Төмендеги теңлемелер орынлы:

$$T_b = T_{\alpha} \cos^2 \theta_b$$

$$T_B = T_{\alpha} \cos^2 \theta_B$$

нәтижеде төмендегини аламыз,

$$T_B = T_{\alpha} - T_{\alpha} \cos^2 \theta_b = T_{\alpha} \sin^2 \theta_b = 5 \sin^2 30^{\circ} = 1,25 \text{ МэВ} .$$

$$\theta_B = \arccos(\sin \theta_b) = 60^{\circ} .$$

**4.20.** Нейтронды алыуда  $t(d, n)\alpha$  реакциядан кең пайдаланылады. Энергиясы  $T_d = 0,2 \text{ МэВ}$  дейтронлардан пайдаланылған жағдайда, нейтрон генератордан  $90^{\circ}$  мүйеш астында шығып атырған нейтронлардың энергиясын анықлаң.

**Шешими:** Реакция энергиясын табамыз:

$$Q = 13,136 + 14,95 - 2,424 - 8,071 = 17,591 \text{ МэВ}$$

4.44-мәселедеги теңлемеден пайдаланып төмендегини табамыз:

$$T_n^{(90^0)} = \frac{(m_\alpha - m_d)T_d + m_\alpha Q}{m_\alpha + m_n} = \frac{(4 - 2) \cdot 0,2 + 4 \cdot 17,591}{4 + 1} = 14,15 \text{ МэВ} .$$

**4.21.** Нейтронларды алыўда  ${}^7_{Li(p,n)}{}^7_{Be}$  реакциядан пайдаланылады. Протон энергиясы  $T_p = 5 \text{ МэВ}$ . Эксперимент өткізюү ушын энергиясы  $T_n = 1,75 \text{ МэВ}$  нейтронлар керек. Протонлар ағымына қарағанда қандай мүйеш астында сондай энергиялы нейтронлар шығады? Нышаннан  $10 \text{ см}$  аралықта жайласқан, өлшеми  $1 \text{ см}$  коллиматорда нейтронлар ағымы ажыратылса, энергия бойынша шетлетиўлер қандай болады?

**Шешими:** Реакция энергиясын есаплаймыз:

$$Q = 14,907 + 7,289 - 8,071 - 15,768 = -1,643 \text{ МэВ}$$

Төмендеги теңлемеден пайдаланып, аламыз:

$$\Theta_n = \arccos \left( \frac{T_n(m_n + m_{Be}) - T_p(m_{Be} - m_p) - Q m_{Be}}{2 \sqrt{m_n m_p T_n T_p}} \right) =$$

$$= \arccos \left( \frac{1,75(1 + 7) - 5(7 - 1) + 7 \cdot 1,643}{2 \sqrt{1 \cdot 1 \cdot 1,75 \cdot 5}} \right) \cong 139,5^0$$

Коллиматор менен қамтып алынған мүйешлер аралығы:

$$139,5^0 - \arctg(0,5 / 10) \leq \Theta \leq 139,5^0 + \arctg(0,5 / 10)$$

4.44-мәселедеги теңлемеден пайдаланып, табамыз:

$$T_n^{\min} \cong 1,73 \text{ МэВ} , \quad T_n^{maa} \cong 1,77 \text{ МэВ} , \quad \Delta T = T_n^{maa} - T_n^{\min} \cong 40 \text{ кэВ} .$$

**4.22.** Түсип атырған альфа-бөлекшениң орбитал моменти  $l_\alpha$  нол болса,

${}^{27}_{Al}(\alpha, t){}^{28}_{Si}$  реакцияда пайда болған тритийдің орбитал моменти  $l_t$  ны анықлаң.

**Шешими:** Реакция теңлемесин жазамыз:  $\alpha + {}^{27}_{Al} = t + {}^{28}_{Si}$ . Бөлекшелердің спинлери:  $J^P : 0^+ \quad 5/2^+ \quad 1/2^+ \quad 0^+$ . Кириў каналында бөлекшелер хәрекет муғдарының моментлериниң жыйындысы:

$$J_i^P = J_\alpha^P + J_{Al}^P + l_\alpha^P = 5/2$$

Хәрекет муғдары моментиниң сақланыў нызамына тийкарланып:

$$J_i^P = J_t^P + J_{Si}^P + l_t^P$$

Ақырғы теңлемеден табылады:

$$l_t = \frac{5}{2} + \frac{1}{2} = 3 \text{ ямаса } 2 .$$

Кириў хәм шығыў каналларындағы жуплық:

$$P_1 = P_\alpha \cdot P_{Al} (-1)^{l_\alpha} = (+1)(+1)(-1)^0 = +1$$

$$P_f = P_t \cdot P_{Si} (-1)^{l_t} = (+1)(+1)(-1)^{l_t}$$

Жуплықтың сақланыў нызамына тийкарланып:

$$P_f = P_f; \quad (-1)^{l_f} = +1$$

Демек, тритийдің орбитал моменті жуп сан болуы керек.

$$l_t = 2.$$

**4.23.** Протонның орбитал хәрекет муғдары моментлеринің қандай мәніслері үшін төмендегі реакция жүз беріуі мүмкін?  $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be} \rightarrow \alpha + \alpha$  ?

**Шешими:**  $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be} \rightarrow \alpha + \alpha$  реакцияда қатнасып атырған бөлекшелердің спинлерін жазып шығамыз:  $J^P : 1/2^+ \quad 3/2^- \quad 0^+ \quad 0^+$ .

Реакциядан кейінгі, яғнай ақырғы жағдайдағы жуплық:

$$P_f = P_\alpha P_\alpha (-1)^{l_\alpha} = (-1)^{l_\alpha}$$

Екі бір қыйлы бозонды ( $\alpha$  – бөлекше) толқын функциясы әлем сәулелендірилгенде өзгермейді, яғнай толқын функциясы бозонлардың орнын алмастыруға қарағанда симметриялық болуы керек. Соған қарап,  $l_\alpha$  -жуп сан. ақырғы жағдайда системаның толық моменті  $J_f = l_\alpha$  хәм сай түрде тек жуп

санларды қабыл етеді. Демек, аралық ядро  ${}^8\text{Be}$  екі альфа бөлекшеге тарқалуы үшін, оның жағдайы оң жуплыққа хәм спина жуп мәніске ийе болуы керек. Басланғыш жағдайдағы жуплық да оң болуы керек.

$$P_{Be} = (+1) = P_i = P_p \cdot P_{Li} (-1)^{l_p} = (+1)(-1)(-1)^{l_p}$$

Солай етип, жуплықтың сақлануы нызамының орынлануы үшін, ушып киятырған протонның орбитал моменті тақ мәніслерін қабыл етиуі керек  $l_p = 1, 3$ .

**4.24.**  $d = 0,1 \text{ мм}$  болған алтын пластинка, интенсивлиги  $N_0 = 10^3$  бөлекше / сек болған альфа-бөлекшелер ағымы менен нурландырылып атыр. Альфа-бөлекшелер кинетикалық энергиясы  $T = 5 \text{ МэВ}$ .  $170^\circ$  мүйеш астында жайластырылған детекторға бирлік фазалық мүйеште хәм бирлік уақытта неше альфа-бөлекшелер түсіп атыр? Алтынның тығызлығы  $19,3 \text{ г/см}^3$ .

**Шешими:** Бирлік фазалық мүйешке хәм бирлік энергия интервалында шашылуыдың дифференциал эффектив кесими төмендегіше:

$$\frac{d^2 \sigma_{zh}(\Theta, \varphi)}{d\Omega d\varepsilon_h} = \frac{1}{nN_0} \frac{dN_h}{d\Omega d\varepsilon_h} \quad (1)$$

$$n = \frac{\rho dN_A}{A} \quad (2)$$

Эластиклік шашылуыдың дифференциал эффектив кесими

$$\frac{d\sigma(\Theta)}{d\Omega} = \left( \frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \quad (3)$$

Жоқарыдағы үш теңлемеден табамыз:

$$\frac{dN}{d\Omega} = N_0 N_A \frac{pd}{A_{Au}} \left( \frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \left( \frac{\Theta}{2} \right)} = 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{19,3 \cdot 0,01}{197} \left( \frac{2 \cdot 79 \cdot 1,44 \cdot 10^{-13}}{4 \cdot 5} \right)^2 =$$

$$= 0,77 \frac{\text{бөлекше}}{\text{рад} \cdot \text{сек}}$$

**4.25.** Энергиясы  $T = 10 \text{ МэВ}$  болған, коллимацияланған альфа-бөлекшелер ағымы перпендикуляр түрде, қалыңлығы  $1 \text{ мг} / \text{см}^2$  болған мыс фольгаға түсіп атыр. Нышаннан  $20 \text{ см}$  аралықта жайласқан, бети  $1 \text{ см}^2$  детекторда,  $30^0$  мүйешке шашылған бөлекшелер толық санынан қандай бөлеги көрсетілген?

**Шешими:** Белгили фазалық мүйеш  $\Delta\Omega$  ишине шашылған бөлекшелер санын төмендегі формула арқалы табамыз:

$$\Delta N = \frac{N_0 N_A}{A_{Cu}} \delta \frac{d\sigma}{d\Omega} \Delta\Omega, \text{ бул жерде } N_A - \text{Авагадро саны, } \delta - \text{пластинка қалыңлығы, } A -$$

мыс атомының массасы. Эластиклик шашылыуы дифференциал эффектив кесими үшін Резерфорд формуласынан пайдаланамыз. Детектор бети  $S$  хәм оған шекемги аралық  $l$  ге тең.

$$\frac{d\sigma(\Theta)}{d\Omega} = \left( \frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}} \quad \Delta\Omega = S / (4\pi l^2)$$

$30^0\text{C}$  мүйеш астында шашылған бөлекшелер бөлеги:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_A}{A_{Cu}} \delta \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4(\Theta/2)} \frac{S_{ДЕТ}}{4\pi l^2} =$$

$$\frac{6,02 \cdot 10^{23}}{63} \cdot 10^{-3} \left( \frac{2 \cdot 29 \cdot 1,44 \cdot 10^{-13}}{4 \cdot 10} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 15^0} \cdot \frac{1}{4\pi (20)^2} \cong 1,9 \cdot 10^{-8}$$

**4.26.** Энергиясы  $T_p = 62 \text{ МэВ}$  болған протонлар менен  $^{27}_{Al(p,d)}^{26}_{Al}$  реакция үйренілгенде фазалық мүйеши  $90^0$  мүйеш астында көрсетілген дейтронлар спектрінде энергиялары  $T_d = 45,3; 44,32; 40,91 \text{ МэВ}$  төбелери бақланған. Қалыңлығы  $5 \text{ мг} / \text{см}^2$  болған нышанға түскен протонлар улыўма заряды  $q = 2,19 \text{ мКи}$  болғанда, төбелердеги есаплар саны, сай түрде 5180, 1100 хәм 4570 ке тең болған. Сол реакцияда көрсетілген  $^{26}_{Al}$  ядросының қозғалған жағдайындағы энергияларын анықлаң. Усы процеслердің дифференциал кесимин есаплаң.

**Шешими:** Ядроның қозғалған жағдайдағы энергиясы төмендегі теңлемеден табылады:  $E_y = Q_a - Q_y$ , бул жерде  $Q_a, Q_y$  - тийкарғы хәм қозғалған жағдайда пайда болған ядролардың реакция энергиялары. Егерде,  $^{27}_{Al(p,d)}^{26}_{Al}$  реакцияда

$^{26}_{Al}$  тийкарғы жағдайда пайда болса, реакция энергиясы атом масса дефекти арқалы табылады.

$$Q_0 = -17,197 + 7,289 - 13,136 + 12,210 = -10,834 \text{ МэВ}$$

Реакция энергиясы төмендегі қатнас арқалы да есаплай мүмкін.

$$Q = T_b \frac{m_b + m_B}{m_D} - T_a \frac{m_B - m_a}{m_a} \frac{2\sqrt{m_a m_b}}{m_B} \sqrt{T_a T_b} \cos \Theta_b$$

Үш төбелер үшін төмендегі мәніслерді аламыз:

$$Q_1 = -10,83 \text{ МэВ} , \quad Q_2 = -11,87 \text{ МэВ} , \quad Q_3 = -15,56 \text{ МэВ} .$$

Солай етип, 1-төбе  $^{26}_{Al}$  диң тийкарғы халатына сай келеди, 2-төбе энергиясы 1,05 МэВ болған қозғалған халатқа, 3-төбе 4,72 МэВ қозғалған жағдайларға туұры келеди. Нышанның бет бирлигиндегі атомлар саны:

$$n = \frac{\delta N_A}{A} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{27} = 1,1 \cdot 10^{20} \frac{\text{атом}}{\text{см}^2} .$$

Бөлекшелердиң толық саны хэм дифференциал эффектив кесимлери:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{2,19 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cong 1,39 \cdot 10^{16} , \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Delta N}{nNd\Omega}$$

$$\left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_1 = \frac{5180}{1,1 \cdot 10^{20} \cdot 1,39 \cdot 10^{16} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \cong 1,7 \cdot 10^{-29} \frac{\text{см}}{\text{ср}} \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_2 = 3,6 \frac{\text{мкбарн}}{\text{ср}} .$$

**4.27.** Протон бериллий ядросы менен соқлығысқанда төмендегі ядро реакция

жүз береді:  ${}^9_4Be + p \rightarrow {}^6_3Li + \alpha$  ( ${}^9_4Be + {}^1_1He \rightarrow {}^6_3Li + {}^4_2He$ ). Реакция энергиясы табылсын. ( $\Delta E = 8,6 \text{ МэВ}$ ).

**4.28.** Төмендегі фотоядролық реакциялардың басланғыш энергиялары

табылсын:  $\gamma + {}^{12}_6C \rightarrow {}^{11}_5B + p$ ,  $\gamma + {}^{12}_6C \rightarrow {}^{11}_6C + n$ .

$$(E_{\text{бас}}(\gamma, p) = |Q| = 15,96 , \quad E_{\text{бас}}(\gamma, n) = |Q| = 18,72 ) .$$

**4.29.** Төмендегі реакцияның басланғыш энергиясы табылсын:

$n + {}^{12}_6C \rightarrow 3\alpha + n$ . ( $E_{\text{бас}} = 7,8 \text{ МэВ}$ ).

**4.30.** Төмендегі реакцияның басланғыш энергиясы табылсын:

$\gamma + {}^{14}_6C \rightarrow {}^{12}_6C + n + n$ . ( $E_{\text{бас}}(\gamma, 2n) = 18,2 \text{ МэВ}$ ).

**4.31.** Дейтерий хэм тритийдиң термоядролық биригюу реакциясында қанша энергия ажыралады? ( ${}^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + n$ ,  $Q = 17,6 \text{ МэВ}$ ).

**4.32.** Берилген реакция үшін,  ${}^{14}_6C + {}^4_2He \rightarrow {}^{17}_8O + x$ ,  $x$ -бөлекшениң тәртип номери

$Z$  хэм масса саны  $A$  анықлансын.

( ${}^1_0x$  бөлекше, нейтрон).

**4.33.**  $A + B \rightarrow 1 + 2 + 3 + \dots$  реакцияның басланғыш энергиясын есаплаң. Бунда  $v$ -бөлекшени лаборатория санақ системасында қозғалмайды деп қаралсын.

$$\left( \dot{A}_{\text{аан}} = \frac{1}{2m_B} \left( \sum_i^N m_i + m_A + m_B \right) \left( \sum_i^N m_i - m_A - m_B \right) \right).$$

**4.34.** Төмендегі фотоядролық реакциялар үшін басланғыш энергияларын табың.  $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\text{B} + p$ ,  $\gamma + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\text{C} + n$ .

$$\left( \dot{A}_{\text{аан}} (\gamma, \delta) = 15,96 \text{ МэВ} \quad , \quad \dot{A}_{\text{аан}} (\gamma, \text{i}) = 18,72 \text{ МэВ} \quad \right).$$

**4.35.**  $n + {}^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha + n$  реакцияның басланғыш энергиясын табың.

$$\left( E_{\text{бас}} = 7,8 \text{ МэВ} \right).$$

**4.36.**  $\gamma + {}^{14}\text{C} \rightarrow {}^{12}\text{C} + n + n$  реакцияның басланғыш энергиясын табың.

$$\left( E_{\text{бас}} (\gamma, 2n) = 18,2 \text{ МэВ} \right).$$

**4.37.**  ${}^{32}\text{S} + n \rightarrow {}^{32}\text{P} + p$  реакция үшін нейтронның минимал кинетикалық энергия мәнісі табылсын. Қасыл болған ядроның кинетикалық энергиясын табың.

$$\left( (E_n)_{\text{бас}} = 0,96 \text{ МэВ} \quad , \quad E_{\text{кин}} ({}^{33}\text{S}) \cong \frac{m_n}{M({}^{33}\text{S})} E_n = 0,03 \text{ МэВ} \right).$$

**4.38.**  $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ ,  $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + \gamma$  реакциялар үшін протонның басланғыш энергиясын табың.  $\left( \dot{A}_{\text{аан}} \right)_1 \cong \left( \dot{A}_{\text{аан}} \right)_2 = 19,6 \text{ МэВ} \quad \right).$

**4.39.**  $d + d \rightarrow {}^3_1\text{H} + p$  синтез реакциясының энергетикалық шығыуы есаплансын.  $\left( Q = 2M({}^2\text{H}) - M({}^1\text{H}) - M({}^3\text{H}) \cong 4 \text{ МэВ} \right).$

**4.40.**  $d + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + n$  реакция үшін реакция энергиясы табылсын.

$$\left( Q = 17,6 \text{ МэВ} \right).$$

**4.41.** Бериллий изотопы  ${}^8\text{Be}$  пайда болыуы мүмкін болған бір неше реакцияларды көрсетің.

- |   |  |
|---|--|
| 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. $d + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + \alpha$ ).     |

**4.42.** Төмендегі реакция  $^{16}O(n, \alpha)^{13}C$  жүз бериуі үшін лаборатория системасында нейтрон қандай минимал энергияға ийе болуы керек?

$$(T_{\min} = T_{\text{бас}} = 2,215 \cdot (1 + \frac{1}{16}) = 2,35 \text{ МэВ} ).$$

**4.43.** Берілген реакцияда  $^6Li(d, \alpha)^4He$  эндотермикалық реакцияма, ямаса экзотермикалық реакцияма? Бөлекшелердің салыстырмалы байланыс энергиялары берілген, МэВ :  $\varepsilon(d) = 1,11$ ;  $\varepsilon(\alpha) = 7,08$ ;  $\varepsilon(^6Li) = 5,33$  МэВ .

$$(Q = -22,44 \text{ МэВ} , \text{ демек эндотермикалық реакция})$$

**4.44.**  $^{12}C$  углерод ядросының фототарқалыуы үшін реакцияның басланғыш энергиясын анықлаң.

$$1) \gamma + ^{12}C \rightarrow ^{11}C + n , \quad 2) \gamma + ^{12}C \rightarrow ^{11}B + p , \quad 3) \gamma + ^{12}C \rightarrow ^{12}C + n + n .$$

$$(1) Q = 0 - (8,071 + 10,650) = -18,721 \text{ МэВ} , \quad 2) Q = 0 - (8,668 + 7,289) = -15,957 \text{ МэВ} ,$$

$$3) Q = 3,02 - (0 + 28,071) = -25,051 \text{ МэВ} . \text{ Басланғыш энергиясы: } T_{\text{бас}} = Q ,$$

$$\text{Себеби 1-3 реакцияларда } m_{\alpha} = m_{\gamma} = 0 \text{ хэм } |Q| \ll 2m_A c^2 .$$

**4.45.** Төмендегі реакция  $p + d \rightarrow p + p + n$  жүз бериуі үшін, протонның минимал энергиясы қандай болуы керек?

$$(E_{\min} = E_{\text{бас}} = Q(1 + \frac{m}{M_1}) = 2,224 \cdot (1 + 0,5) = 3,34 \text{ МэВ} ).$$

**4.46.** Энергиясы  $T = 10 \text{ МэВ}$  альфа-бөлекшелер тәсирінде, төмендегі реакциялар жүз бериуі мүмкінбе?

$$1) \alpha + ^7Li \rightarrow ^{10}B + n , \quad 2) \alpha + ^{12}C \rightarrow ^{14}N + d$$

$$(1) T_{\text{бас}} = 2,79(1 + 4/7) = 4,38 \text{ МэВ} , \text{ реакция жүз бериуі мүмкін, себеби}$$

$$T = 10 \text{ МэВ} > T_{\text{бас}} ; \quad 2) T_{\text{бас}} = 13,575 \cdot (1 + 4/12) = 18,1 \text{ МэВ} , \text{ реакция жүз бермейди, себеби } T = 10 \text{ МэВ} < T_{\text{бас}} .$$

**4.47.** Энергиясы  $E = 1,75 \text{ МэВ}$  болған жағдайды  $^{10}B$  ядросын қозғатыу үшін, эластик емес шашыраған дейтонның минимал энергиясы қанша болуы керек?

$$(T_{\min} = E_{\text{козг}} (1 + \frac{m_1}{M_1}) = 1,75(1 + 2/10) = 2,1 \text{ МэВ} ).$$

**4.48.** Нейтронлардың радий-бериллий дерегинен, яғный  $^9_4Be + ^4_2He \rightarrow ^{12}_6C + n$  реакцияда шығып атырған нейтронлардың орташа энергиясы  $6 \text{ МэВ}$  этирапында болады. сол нейтронлардың энергиясын жыллылық нейтронларының энергиясына шекем кемейиуі үшін водород ядросынан шашылыу саны табылсын.

(Нейтронлардың протон менен  $i$ -ши хәм  $(i + 1)$ -ши мәрте соқлығысқаннан кейинги орташа энергиясы:  $E_K = E_0 \left(\frac{1}{2}\right)^K$ . Буннан соқлығысыўлар саны

$$\hat{E} = (\lg 2)^{-1} \lg \frac{E_0}{E_{\hat{E}}} \cong 28$$

**4.49.** Егерде фотоимпульсияда өткен жолы бойынша табылған протонның тепки энергиясы  $2 \text{ МэВ}$ , нейтрон дәстеси бағдарына қарағанда шашылыў мүйеши  $Q = 25^0$  болса, бирлемши нейтронның энергиясын табың.

$$(E_P = E_n \cos^2 \Theta = 2,46 \text{ МэВ})$$

**4.50.**  $^{60}\text{Co}$  хәм  $^{60}\text{Ni}$  ядроларының қәдилериниң сызылмасынан (7-сүүрет)  $^{60}\text{Co}$  ядросының ең үлкен итималлық пенен ыдыраў жолын көрсетиң хәм нурланып атырған  $\gamma$ -квантлардың мултиполын хәм энергиясын табың.

(Алдын  $4^+ \rightarrow 2^+$   $E_2$  хәм  $2^+ \rightarrow 0^+$   $E_2$  избе-из электр квадроупол өтиў жүз береди. Бунда пайда болған  $\gamma$ -квантлар энергиясы сай түрде  $E_{\gamma} = 1,17 \text{ МэВ}$  хәм  $E_{\gamma} = 1,33 \text{ МэВ}$  қа тең).

## Қ О С Ы М Ш А Л А Р

### 1. АЙЫРЫМ ЗАТЛАРДЫҢ ТЫҒЫЗЛЫҚЛАРЫ

| Зат      | Атом аўырлығы | Тығызлығы,<br>$10^3 \text{ г/см}^3$ |
|----------|---------------|-------------------------------------|
| Алюминий | 26,97         | 2,65-2,7                            |
| Барий    | 137,36        | 3,76                                |
| Бериллий | 9,02          | 1,84                                |
| Бор      | 10,82         | 2,34                                |
| Ванадий  | 50,95         | 5,9                                 |
| Вольфрам | 184,0         | 19,34                               |
| Темир    | 55,84         | 7,88                                |
| Алтын    | 197,2         | 19,31                               |
| Йод      | 126,92        | 4,93                                |
| Кадмий   | 112,41        | 8,66                                |
| Кобальт  | 58,94         | 8,8                                 |
| Кремний  | 28,06         | 2,33                                |
| Мыс      | 63,57         | 8,93                                |
| Қалайы   | 118,70        | 7,3                                 |
| Платина  | 195,23        | 21,46                               |
| Қорғасын | 207,22        | 11,35                               |
| Гүмис    | 107,88        | 10,50                               |
| Көмир    | 12,01         | 1,7-2,3                             |
| Фосфор   | 31,02         | 1,82                                |
| Цезий    | 140,13        | 1,9                                 |

|              |       |                      |
|--------------|-------|----------------------|
| Рух          | 65,38 | 7,15                 |
| Бор карбиди  | -     | 2,5                  |
| Бетон        | -     | 2,3                  |
| Хаўа         | -     | $1,29 \cdot 10^{-3}$ |
| Титан оксиди | 79,90 | 4,26                 |
| Титан        | 47,9  | 4,5                  |
| Иридий       | 192,2 | 22,4                 |
| Латунь       |       | 8,6                  |
| Шийше        |       | 2,5                  |

## 2. ИЗОТОПЛАР

Таблицада базы бир изотоплар нейтрал атомларының массалары  $m = \frac{1}{12} M(^{12}\text{C}) = 931,5 \text{ МэВ}$  “углерод” масса шкаласында келтирилген. Стабилсиз изотоплар ушын ярым ыдыраў дәўири, тийкарғы тарқалыў түрлери хәм нурланыў энергиялары да келтирилген.

| Изотоп белгиси | Масса, м.а.б. | Тәбийғый араласпадағы мұғдары, % | Тарқалыў түри | Ярым ыдыраў дәўири   | Нурланыў энергиясы, МэВ        |          |
|----------------|---------------|----------------------------------|---------------|----------------------|--------------------------------|----------|
|                |               |                                  |               |                      | Бөлекшелер ( $\alpha, \beta$ ) | $\gamma$ |
| 1              | 2             | 3                                | 4             | 5                    | 6                              | 7        |
| ${}^1_0n$      | 1,008665      |                                  | $\beta^-$     | 11,7 мин             | 0,782                          |          |
| ${}^1_1H$      | 1,007825      | 99,985                           | Стабил        |                      |                                |          |
| ${}^2_1H$      | 2,014102      | 0,01492                          | »             |                      |                                |          |
| ${}^3_1H$      | 3,016049      |                                  | $\beta^-$     | 12,26 жыл            | 0,0186                         |          |
| ${}^4_2H$      | 4,002603      | 100                              | Стабил        |                      |                                |          |
| ${}^6_3Li$     | 6,015126      | 7,42                             | »             |                      |                                |          |
| ${}^7_3Li$     | 7,016005      | 92,58                            | »             |                      |                                |          |
| ${}^7_4Be$     | 7,016930      |                                  | $E$ -қамтыў   | 53,61 күн            |                                |          |
| ${}^8_4Be$     | 8,005308      |                                  | $2\alpha$     | $2 \cdot 10^{-16}$ н | 0,047                          |          |
| ${}^9_4Be$     | 9,012185      | 100                              | Стабил        |                      |                                |          |
| ${}^{10}_5B$   | 10,012938     | 19,61                            | »             |                      |                                |          |
|                | 11,009305     | 80,39                            | »             |                      |                                |          |
|                | 11,011431     |                                  |               | 20,5 мин             | 0,968                          |          |
|                | 12,014352     |                                  |               |                      | 13,37                          |          |
| ${}^{12}_6C$   | 12,000000     | 98,893                           | Стабил        |                      |                                |          |
| ${}^{13}_6C$   | 13,003354     | 1,107                            | »             |                      |                                |          |
| ${}^{13}_7N$   | 13,005738     |                                  | $\beta^+$     | 10 мин               | 1,2                            |          |

|                 |            |         |                                 |                       |       |               |
|-----------------|------------|---------|---------------------------------|-----------------------|-------|---------------|
| $^{14}_6C$      | 14,003242  |         | $\beta^-$                       | 5685 жыл              | 0,158 |               |
| $^{14}_7N$      | 14,003074  | 99,6337 | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{15}_7N$      | 15,000108  | 0,3663  | »                               |                       |       |               |
| $^{16}_8O$      | 15,994915  | 99,759  | »                               |                       |       |               |
| $^{22}_{10}Ne$  | 21,991385  | 8,82    | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{22}_{11}Na$  | 21,994435  | -       | $\beta^+$ (89 %);<br>$E$ (11 %) | 2,6 жыл               | 0,54  | 1,28          |
| $^{23}_{11}Na$  | 22,989773  | 100     | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{27}_{13}Al$  | 26,981535  | 100     | »                               |                       |       |               |
| $^{27}_{14}Si$  | 26,986701  |         | $\beta^+$                       | 4,33 с                | 3,85  |               |
| $^{28}_{13}Al$  | 27,981909  |         | $\beta^-$                       | 2,31 мин              | 2,87  | 1,78          |
| $^{28}_{14}Si$  | 27,976927  | 92,21   | Стабил                          |                       |       |               |
| 1               | 2          | 3       | 4                               | 5                     | 6     | 7             |
| $^{31}_{15}P$   | 30,973763  | 100     | »                               |                       |       |               |
| $^{32}_{15}P$   | 31,973908  |         | $\beta^-$                       | 14,5 күн              | 1,708 |               |
| $^{32}_{16}S$   | 31,972074  | 95,0    | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{36}_{16}S$   | 35,967091  | 0,0136  | $\beta^-$                       |                       |       |               |
| $^{36}_{17}Cl$  | 35,968312  |         | $\beta^-, E$                    | $3,08 \cdot 10^5$     | 0,714 |               |
| $^{36}_{18}Ar$  | 35,967548  | 0,34    | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{39}_{19}K$   | 38,963714  | 93,1    | »                               |                       |       |               |
| $^{40}_{18}Ar$  | 39,962384  | 99,6    | »                               |                       |       |               |
| $^{40}_{19}K$   | 39,964008  | 0,0118  | $\beta^-, E, \beta^+$           | $1,27 \cdot 10^9$ жыл | 1,321 |               |
| $^{40}_{20}Ca$  | 39,962589  | 96,97   | Стабилен                        |                       |       |               |
| $^{51}_{23}V$   | 50,943978  | 99,76   | »                               |                       |       |               |
| $^{52}_{23}V$   | 51,944802  |         | $\beta^-$                       | 3,77 мин              | 2,47  |               |
| $^{59}_{27}Co$  | 58,933189  | 100     | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{60}_{27}Co$  | 59,933806  |         | $\beta^-$                       | 5,25 жыл              | 0,309 | 1,17;<br>1,33 |
| $^{90}_{38}Sr$  | 89,907761  |         | $\beta^-$                       | 28,1 жыл              | 0,541 |               |
| $^{90}_{39}Y$   | 89,907177  |         | $\beta^-$                       | 64,3 саат             | 2,273 |               |
| $^{103}_{45}Rh$ | 102,904990 | 100     | Стабил                          |                       |       |               |
| $^{104}_{45}Rh$ | 103,906360 |         | $\beta^-$                       | 4,41 мин (ИҮ)<br>44 с | 2,44  |               |

|              |            |       |                   |                         |                                       |              |
|--------------|------------|-------|-------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------|
| 107<br>47 Ag | 106,904970 | 51,35 | Стабил            |                         |                                       |              |
| 108<br>47 Ag | 107,90880  |       | $\beta^-$         | 2,42 мин                | 1,65 (94%)<br>1,03 (1,9%)             | 0,632        |
| 109<br>47 Ag | 108,904700 | 48,65 | Стабил            |                         |                                       |              |
| 110<br>47 Ag | 109,906050 |       |                   | 24,5 с                  | 2,87 (88%)<br>2,14 (12%)              | 0,656        |
| 127<br>53 I  | 126,904352 | 100   | Стабил            |                         |                                       |              |
| 128<br>53 I  | 127,905818 |       | $\beta^-$         | 25 мин                  | 2,12 (76%)<br>1,66 (16%)<br>1,14 (2%) | 0,44<br>0,98 |
| 137<br>55 Cs | 136,906820 |       | $\beta^-$         | 30 жыл                  | 0,52 (92%)<br>1,18 (8%)               | 0,66         |
| 137<br>56 Ba | 136,905560 | 11,32 | Стабил            |                         |                                       |              |
| 197<br>79 Au | 196,966552 | 100   | Стабил            |                         |                                       |              |
| 198<br>79 Au | 197,968242 |       | $\beta^-$         | 2,7 күн                 | 0,96                                  | 0,412        |
| 203<br>80 Hg | 202,972853 |       | $\beta^-$         | 46,9 күн                | 0,22                                  | 0,279        |
| 204<br>81 Tl | 203,973890 |       | $\beta^-$         | 3,78 күн                | 0,762                                 |              |
| 206<br>82 Pb | 205,974459 | 25,0  | Стабил            |                         |                                       |              |
| 208<br>82 Pb | 207,976644 | 52,4  | Стабил            |                         |                                       |              |
| 210<br>82 Pb | 209,984177 |       | $\beta^-$         | 21,4 жыл                | 0,014                                 |              |
| 210<br>83 Bi | 209,984110 |       | $\beta^-$         | 4,99 күн                | 1,17                                  |              |
| 210<br>84 Po | 209,982866 |       | $\alpha$          | 138,4 күн               | 5,30                                  |              |
| 1            | 2          | 3     | 4                 | 5                       | 6                                     | 7            |
| 226<br>88 Ra | 226,025360 |       | $\alpha$          | 16,02 жыл               | 4,78 (94%)<br>4,59 (5,7%)             | 0,188        |
| 233<br>92 U  | 233,039498 |       | $\beta^-, \alpha$ | $16,3 \cdot 10^4$ ЖЫЛ   | 4,815 (83%)<br>4,773 (15%)            |              |
| 238<br>92 U  | 238,050760 | 99,24 | $\alpha$          | $4,56 \cdot 10^9$ ЖЫЛ   | 4,182 (77%)<br>4,135 (23%)            |              |
| 238<br>93 Pu | 238,046110 |       | $\alpha, \beta^-$ | $5,0 \cdot 10^{10}$ ЖЫЛ | 5,495 (72%)<br>5,452 (28%)            |              |
| 239<br>93 Pu | 239,049500 |       | $\alpha, \beta^-$ | $2,44 \cdot 10^4$ ЖЫЛ   | 5,147 (72%)<br>5,134 (17%)            |              |

### 3. НЕЙТРОННЫҢ ЭФФЕКТИВ КЕСИМИ

(Тезлиги 2200 м/с этирапында болған жыллылық нейтронлары үшін)

Таблицада  $(n, x)$  реакция есабынан нейтронлардың жутылуы кесими хэм нурланған үлгилер радиоактивлиги бойынша анықланған жыллылық нейтронлар активациясы кесимлери келтирилген. Бул жерде  $x$  -бөлекше ямаса  $\gamma$  -квант. Ядро өнімлериниң ең жоқары қозғалған жайдайларынан басланған айырым изомер жағдайлар үшін активация кесимлери келтирилген.

| Изотоп          | Табийғы араласпадағы үлесі, % | Жутылыу кесими, $\sigma$        | Активация кесими, $\sigma$       | Өнім $T_{1/2}$       |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| $^{10}_5B$      | 19,8                          | $3838 \pm 15$                   | $0,5 \pm 0,2$                    |                      |
| $^{27}_{13}Al$  | 100                           | $0,241 \pm 0,003$               | $(0,21 \pm 0,02)$<br>$10^{-a}$   | 2,3 мин              |
| $^{31}_{15}P$   | 100                           | $0,20 \pm 0,02$                 | $0,19 \pm 0,01$                  | 14,5 күн             |
| $^{51}_{23}V$   | 99,76                         | -                               | $4,5 \pm 0,9$                    | 3,76 мин             |
| $^{59}_{27}Co$  | 100                           | $38,0 \pm 0,5$                  | $16 \pm 3$<br>$20 \pm 3$         | 10,4 мин<br>5,28 жыл |
| $^{65}_{30}Zn$  | 48,89                         | $1,5 \cdot 10^{-5} (n, \alpha)$ | 0,47                             | 246 күн              |
| $^{75}_{33}As$  | 100                           | $4,3 \pm 0,2$                   | $5,4 \pm 10$                     | 27 саат              |
| $^{107}_{47}Ag$ | 51,35                         | $31 \pm 2$                      | $45 \pm 4$<br>$3,2 \pm 0,4$      | 2,42 мин<br>270 күн  |
| $^{109}_{47}Ag$ | 48,65                         | $87 \pm 7$                      | $113 \pm 13$                     | 24,2 с               |
| $^{113}_{48}Cd$ | 12,26                         | 20000                           | -                                | -                    |
| $^{114}_{48}Cd$ | 28,86                         | -                               | $0,14 \pm 0,03$<br>$1,1 \pm 0,3$ | 43 күн<br>53 күн     |
| $^{197}_{79}Au$ | 100                           | $98,8 \pm 0,3$                  | $96 \pm 10$                      | 2,7 күн              |

#### 4. ГАММА КВАНТЛАР УШЫН ПӘСЕЙІҮ ХӘМ ЖУТЫЛЫҮ КОЭФФИЦИЕНТЛЕРІ

| Энергия<br>МэВ | Алюминий     |               | Қорғасын     |               | Суу          |               | Хауа         |               |
|----------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
|                | $\mu / \rho$ | $\tau / \rho$ |
| 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        |

Бұл жерде  $\mu / \rho$  хәм  $\tau / \rho$ -сай түрде (нәзик дәсте ушын) пәсейіу хәм жутылыудың массалық коэффицентлери,  $cm^2 / g$ .

## Ә Д Е Б И Я Т Л А Р :

1. Ахмаджонов О. Физика курси. Оптика, атом ва ядро физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1983.
2. Бекжонов Р.Б. Атом ядроси ва зарралар физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1983.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. Часть 2. М.: «Наука», 1989.
4. Тошхонова Ж.А. Умумий физика курси. Ядро ва элементар зарралар физикаси. Кварклар. Тошкент: «Фан», 2004.
5. Чертов А.Г. Физикадан масалалар тўплами. Т.: «Ўзбекистон», 1997.
6. Широков Ю.М. Ядерная физика. М.: «Наука», 1972
7. Яворский Б.М. Справочник по физике. М.: «Наука», 1985.

## М А З М У Н Ы

|  |    |
|--|----|
| 1. Кирисиў .....                                       | 3  |
| 2. I бап. Атом ядросының тийкарғы қәсийетлери .....    | 4  |
| 3. II бап. Радиоактивлик .....                         | 13 |
| 4. III бап. Нурланыўдың затлар менен тәсирлесийи ..... | 25 |
| 5. IV бап. Ядролық реакциялар .....                    | 33 |
| 6. Қосымшалар .....                                    | 49 |
| 7. Әдебиятлар .....                                    | 55 |

*Дүзиушілер: Т.Сапарбаев, У.Ерназаров.*

**ЯДРО ФИЗИКАСЫ БОЙЫНША МӘСЕЛЕЛЕР ШЕШИҰҒЕ  
МЕТОДИКАЛЫҚ ҚОЛЛАНБА**

Методикалық қолланба Әжинияз атындағы Нөкис мәмлекетлик педагогикалық институты илмий-методикалық кеңесиниң 17-март 2009-жылғы №7 протоколы менен баспадан шығырыўға усыныс етилген.

Тех. редактор У.Б.Балымова

Корректор А.Сарыбаева

Оператор Н.Нысанбаев

Әжинияз атындағы НМПИ редакция – баспа бөлими

Әжинияз атындағы НМПИ-ниң киши баспаханасында басылған 2009

Буйыртпа №0020. Нусқасы -100 дана. Форматы 60X84

742005. Нөкис қаласы, А.Досназаров көшеси-104. Реестр №11-0927