

ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÁM ORTA ARNAWLÍ BILIMLENDIRIW MINISTRLIGI



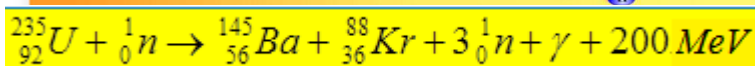
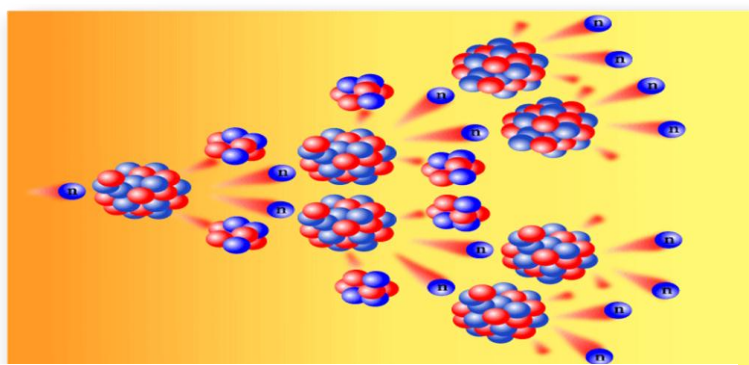
BERDAQ ATINDAĞI
QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK UNIVERSITETI

FİZİKA-MATEMATIKA FAKULTETI

U.Q.Ernazarov, S.E.Bekbergenov, B.J.Qunnazarov, T.B.Ismailov

YADRO FİZİKASI BOYINSHA MÁSELELER SHIĞARIW

(OQIW METODİKALIQ QOLLANBA)



YADRO FİZİKASI BOYINSHA MÁSELELER SHÍGARIW. (OQIW METODIKALIQ QOLLANBA) / U.Q.Ernazarov, S.E.Bekbergenov, B.J.Qunnazarov, T.B.Ismailov.
– Nókis, 2019, –60 bet.

Berdaq atındaǵı Qaraqalpaq mámleketlik universiteti Oqıw-metodikalıq keńesiniń 2019-jıl «__» may kúngi ____-sanlı protokolı menen baspaǵa shıǵarıwǵa ruqsat etildi.

U.Q. Ernazarov, S.E. Bekbergenov, B.J. Qunnazarov, T.B. Ismailov

Usınılıp atırǵan oqıw metodikalıq qollanba yadro fizikası boyınsha máseleler sheshiwge arnalǵan bolıp, onda yadro fizikasınıń «Atom yadrosınıń tiykarǵı qásiyetleri», «Radioaktivlik», «Nurlanıwdıń zatlar menen tásirlesiwi» hám «Yadrolıq reakciyalar» bólimlerine máseleler sheshiw úlgileri hám óz betinshe sheshiw ushın mısallar kórsetilgen. Sonday-aq qollanbada joqarıdaǵı bólimlerdiń tiykarǵı formulaları hám máseleler sheshiwge metodikalıq kórsetpeler berilgen. Usı qollanba joqarı oqıw orınlarınıń bakalavr basqıshındaǵı talabalar ushın oqıw qollanbası sıpatında usınıladı. Bunnan fizika, matematika hám tábiyiy pánler baǵdarında tálim alıwshı talabalar, sonday-aq akademiyalıq licey (anıq pánler baǵdarı) hám kásip-óner kolledjleriniń oqıwshı hám oqıtıwshıları da paydalanıwları múmkin.

PÍKIR BÍLDİRİWSHILER:

M.B. Sharibaev – Qaraqalpaq mámleketlik universiteti Yarımótkizgishler fizikası kafedrası docenti, fizika-matematika ilimleriniń kandidatı.

A.B. Kamalov – Nókis mámleketlik pedagogikalıq institutı Fizikanı oqıtıw metodikası kafedrası baslıǵı, fizika-matematika ilimleriniń doktori.

K I R I S I W

Ózbekstan Respublikası Prezidenti Sh.M.Mirziyoyvniń 2017 yıl 20 aprel kúngi PQ-2909-sanlı «Joqarı bilimlendiriw sistemasın jánede rawajlandırıw is-ilajları haqqında» ǵı qararı joqarı bilimlendiriw sistemasın túpten jetilistiriw ushın bir neshe wazıypalardı belgilep berdi. Olardıń ishinde jańa áwlad oqıw ádebiyatların jaratıw hám joqarı bilimlendiriw sistemasında qollanıw, joqarı bilimlendiriw mekemelerin zamanagóy oqıw metodikalıq qollanbalar menen támiyinlew, eń sońǵı baspadan shıqqan shet el ádebiyatların satıp alıw hám awdarma etiw arqalı axborot-resurs orayı fondların jańalap barıw kerek ekenligi ayıldı.

Joqarıda qabıllangan qarar joqarı oqıw ornı professor-oqıtıwshılarınıń aldına jańa pedagogikalıq texnologiyalardı hám ádebiyatlardı jaratıw ushın úlken wazıypalardı júkledi. Sonıń ushın da usınılıp otırǵan oqıw metodikalıq qollanba avtorları ózleriniń kóp jıllıq tájiriybeleri tiykarında joqarı oqıw orınlarınıń fizika, matematika hám tábiyiy pánler baǵdarı boyınsha tálim alıwshı talabalarǵa arnalǵan usı metodikalıq qollanbanı jarattı. Usı qollanba joqarı oqıw orınlarınıń bakalavr basqıshındaǵı talabalar ushın oqıw qollanbası sıpatında usınıladı. Bunnan fizika, matematika hám tábiyiy pánler baǵdarında tálim alıwshı talabalar, sonday-aq akademiyalıq licey (anıq pánler baǵdarı) hám kásip-óner kolledjleriniń oqıwshı hám oqıtıwshıları da paydalanıwları múmkin.

Oqıw metodikalıq qollanba yadro fizikası boyınsha máseleler sheshiwge arnalǵan bolıp, onda yadro fizikasınıń «Atom yadrosınıń tiykargı qásiyetleri», «Radioaktivlik», «Nurlanıwdıń zatlar menen tásirlesiwi» hám «Yadrolıq reaksiyalar» bólimlerine máseleler berilgen. Qollanbanıń hár bir bóliminde oǵan tiyisli bolǵan máselelerdi sheshiw ushın zárúr bolǵan nızam hám qaǵıydaların ańlatıwshı formulalar, usı formulalardı táripleytuǵın teoriyalıq maǵlıwmatlar berilgen. Sonday-aq bólimlerdiń hár birinde bir neshe máselelerdi sheshiwdiń úlgileri hám óz betinshe sheshiw ushın onlaǵan máseleler juwapları menen berilgen.

Haqıyqatında fizika sabaǵında talabalar ushın máselelerdi sheshiw úlken mashqala bolıp kórinedi. Usı metodikalıq qollanbadan paydalanıp máseleler sheshiwdi úyrengen talabalarǵa turmısta ushırasatuǵın fizikalıq qubılıslardı, mikroálemnıń nızamlılıqların analizlep biliwi ushın úlken járdem boladı.

I-BAP. ATOM YADROSINIŇ TIYKARGI QÁSIYETLERI

Tiykargı nızamlıqlar formulaları hám metodikalıq kórsetpeler

Atom yadrosı radiusı:

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

bunda A - atom yadrosın dúziwshi proton hám neytronlar sanları qosındısına ($A = Z + N$) teń bolǵan massa sanı.

Yadronıń baylanıs energiyası:

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

Bunda c - jaqtılıqtıń vakuumdagı tezligi, ΔM - massa defekti.

Massa defekti tómendegige teń:

$$\Delta M = Zm_p + (A - Z)m_N - M_{Ya} = Zm_H + (A - Z)m_N - M_{at} \quad (1.3)$$

bunda m_p , m_N , m_H , M_{ya} hám M_{at} - proton, neytron, vodorod atomı, yadro hám atom massaları.

(1.2) teńlemesin (1.3) ten paydalanıp tómendegishe jazamız:

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

Baylanıs energiyasınıń massa sanına qatnası salıstırmalı baylanıs energiyası dep ataladı hám ol tómendegige teń:

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

Máseleler sheshiwde tómendegi formulalardan paydalanıw qolaylı:

$$E_b = Z \cdot \Delta_M + (A - Z) \cdot \Delta_N - \Delta_a \quad (1.6)$$

bundaǵı Δ_M , Δ_N hám Δ_a - vodorod atomı, neytron hám sol yadroǵa sáykes keliwshi atom massa defektleri. Atomnıń massa defekti atomnıń keltirilgen massası M hám massa sanı A arasındagı ayırma, yaǵnıy $\Delta_a = M - A$. Salıstırma massa defekti

tómendegige teń: $f = \frac{\Delta_a}{A}$.

Yadrolıq baylanıs energiyasın anıqlawda tómendegi yarım empirikalıq Veyczekker formulası da qollanıladı:

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

bul jerde:

$$\delta = \begin{cases} jup - jup \text{ yadrolar ushin} +1 \\ taq - jup \text{ yadrolar ushin} \quad 0 \\ taq - taq \text{ yadrolar ushin} -1 \end{cases} \quad (1.8)$$

$$\alpha = 15,75 \text{ MeV}; \beta = 17,8 \text{ MeV}; \gamma = 0,71 \text{ MeV}; \xi = 94,8 \text{ MeV}; \lambda = 34 \text{ MeV}$$

Másele shártinde yadro massaları emes, al neytral atom massaları keltirilgende yadrolıq baylanıs energiyasın tómendegi formuladan paydalanǵan qolaylı:

$$E_b = [Z \cdot m({}_1^1H) + (A - Z) \cdot m_N - M_a] \cdot c^2 \quad (1.9)$$

bul jerdegi $m({}_1^1H)$, M_a -vodorod hám berilgen atom massaları.

(1.4) hám (1.9) ańlatpalar óz-ara ekvivalent bolǵanlıqtan elektron massasın m_e arqalı belgilep, tómendegini alamız:

$$Z \cdot m({}_1^1H) - M_a = Z \cdot (m_p + m_e) - (M_{ya} + Z \cdot m_e) = Z \cdot m_p - M_{ya}$$

Joqarıdaǵı (1.4) hám (1.9) formulaları arqalı yadro baylanıs energiyasın MeV larda anıqlaw ushın massalardıń $a.m.b$ keltirilgen mánisleri $c^2 = \frac{931 \text{ MeV}}{1 \text{ a.m.b}}$ koefficientine kóbeytilei.

Máselelerdi sheshiw úlgileri hám óz betinshe orınlaw ushın mısallar

1.1. Tómende keltirilgen yadrolardaǵı nuklonlar proton hám neytronlar sanların anıqlań:

Sheshimi: Yadrodaǵı nuklonlar sanı: $A = Z + N$

Yadro tómendegishe belgilenedi: ${}_Z^AX$. Demek, ${}_2^4He$ yadrosındaǵı nuklonlar sanı $A = 4$, protonlar sanı $Z = 2$ hám neytronlar sanı $N = A - Z = 2$. Usı tiykarda basqa keltirilgen yadrolar ushın da nuklonlar, proton hám neytronlar sanların anıqlaymız:

1.2. ${}^{18}_8O$ izotopı yadrosınıń massasın esaplań.

Sheshimi: tómendegi formulalardan paydalanamız: $m_{ya} = M_a - Zm_e$.

Kesteden:

$$M_a = 15,9949 \text{ a.m.b}, \quad Zm_e = 8 \cdot 5,4860 \cdot 10^{-4} = 43,888 \cdot 10^{-4} \text{ a.m.b.}$$

$$m_{ya} = 15,9949 - 0,0044 = 15,9905 \text{ a.m.b.}$$

Bunnan, atomnıń barlıq awırılıǵı onıń yadrosına tuwra keletuǵınlıǵı málim boladı.

1.3. Massası 4 g bolğan tábiyy uranda ^{235}U izotopınıń yadrolar sanın anıqlań.

$$(N = \frac{m \cdot N_A \cdot a \cdot 10^{-2}}{a \cdot M_{238} + b \cdot M_{235} + c \cdot M_{234}}).$$

1.4. Yadrodaǵı nuklonlar koncentraciyası, yadro tıǵızlıǵı hám yadrodaǵı elektr zaryadlarınń kólemlik tıǵızlıqların anıqlań.

$$(n = \frac{A}{V} = 10^{38} \frac{\text{nuklon}}{\text{sm}^3} \quad \rho = n \cdot m \approx 10^{-17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}).$$

1.5. Tábiyy Bor atomı massası 10,811 a.m.b. ne teń. Ol massaları 10,013 a.m.b. hám 11,009 a.m.b. bolğan eki izotoplardan ibarat, olardıń muǵdarın procentlerde anıqlań. ($x = 20\%$, $y = 80\%$).

1.6. Deyteriy hám poloniy yadroları radiusların anıqlań.

(Deyteriy ushın: $R = 1,8 \cdot 10^{-15} \text{m}$, poloniy ushın: $R = 8,3 \cdot 10^{-15} \text{m}$).

1.7. Proton hám neytronlardan 1 g geliy (^4_2He) payda bolǵanda qansha energiya ajıraladı?

Sheshimi: Geliy atomı yadrosı yaqı proton hám eki neytronnan turadı, onıń atomlıq massası $M_{\text{He}} = 4,00337 \text{ a.m.b.}$.

Neytron hám protonlardıń tınıshlıqtaǵı massaları:

$$m_n = 1,00897 \text{ a.m.b.}, \quad m_p = 1,00758 \text{ a.m.b.}$$

Geliy atomı payda bolıwdaǵı massa defekti:

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

Bir geliy atomı payda bolǵanda ajıralıwshı energiya:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,44 \frac{\text{MeV}}{\text{a.m.b.}} = 27,126 \text{ MeV}$$

Massası 1 g geliy payda bolǵanda bólinip shıǵıwshı energiya:

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

onda, 1 g geliy payda bolǵanda bólinip shıǵıwshı energiya:

$$E = \Delta E \cdot N = 40,797 \cdot 10^{23} \text{ MeV} = 65,275 \cdot 10^{10} \text{ J.}$$

1.8. Alyuminiy $^{27}_{13}\text{Al}$ yadrosınıń baylanıs energiyasın tabıń.

Sheshimi: Massa defektin $\Delta m = Z \cdot m_{\text{H}} + (A - Z) \cdot m_n - m_a$ formulası arqalı anıqlaymız:

$${}^1_1\text{H} \text{ ushin } m_{\text{H}} = 1,00783 \text{ a.m.b.}$$

$${}^{27}_{13}\text{Al} \text{ ushin } m_a = 26,98154 \text{ a.m.b.}$$

$$\text{neytron ushin } m_n = 1,00867 \text{ a.m.b.}$$

Demek,

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

1.9. Kislorod ${}^{17}_8\text{O}$ yadrosınıń salıstırmalı baylanıs energiyasın tabıń.
($\varepsilon = 7,76 \text{ MeV}$)

1.10. ${}^{238}_{92}\text{U}$ hám ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ yadroları ushın salıstırmalı baylanıs energiyasın Veyczekker formulasınan paydalanıp anıqlań.

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

1.11. Neytronnıń ${}^{17}_8\text{O}$ kislorod izotopı yadrosındaǵı baylanıs energiyasın anıqlań.

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

1.12. Yadronıń ortasha tıǵızlıǵı hám yadro kóleminiń nuklonlar iyelewshi bólegin tabıń.

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

1.13. Elektronlardıń yadrodan shashırawı tájiriybesinen alınǵan nátiyjeler yadro materiyası tıǵızlıǵınıń bólistiriliwi tómendegi kóriniske iye ekenligin kórsetedi:

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

Bundağı $R = r_0 A^{1/3}$, $a = 0,54$ fermi dep esaplay otırıp, yadro materialı tıǵızlıǵı $0,9\rho_0$ den $0,1\rho_0$ ge shekem kemeyiwshi yadrolardıń sırtqı qatlamı qalınlıǵı barlıq yadrolar ushın birdey ekenligin kórsetiń.

Sheshimi: Yadro orayınan tıǵızlıǵı $0,9\rho_0$ bolǵan qatlamǵa shekemgi aralıqtı r , al $0,1\rho_0$ bolǵan qatlamǵa shekemgi aralıqtı $r+x$ dep belgileyik. Onda, yadro materialı tıǵızlıǵınıń bólistiriw funkciyası tómendegishe jazıladı:

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

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

Bulardan

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

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

Ápiwayılastırıwdan keyin $\exp\left(\frac{r-R}{a}\right) = \frac{1}{9}$; $\exp\left(\frac{r+x-R}{a}\right) = 9$ kóriniske keledi. Bul teńlemeden $r-R = -a \ln 9$, $r+x-R = -a \ln 9$ kelip shıǵadı. Onda, $x = 2a \ln 9 \approx 4,4 a$.

1.14. ${}^9\text{Be}$, ${}^{19}\text{F}$ hám ${}^{127}\text{J}$ yadrolar ushın salıstırmalı baylanıs energiyasın tabıń.

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

1.15. ${}^3_2\text{He}$, ${}^4_2\text{He}$, ${}^7_5\text{Li}$ yadrolarınıń salıstırmalı baylanıs energiyaların salıstırıń.

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

1.16. ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{27}_{14}\text{Si}$ hám ${}^{60}_{27}\text{Co}$ yadrolarınıń salıstırmalı baylanıs energiyaların yarım empirikalıq Veyczekker formulasınan paydalanıp esaplań.

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

1.17. $^{12}_6C$ hám $^{16}_8O$ yadrolarındaǵı α bólekshelerdiń ortasha baylanıs energiyasın anıqlań.

$$\varepsilon_{or}\left(^{12}_6C\right)=\frac{1}{3}\left[M\left(^{12}_6C\right)-3M\left(^4_2He\right)\right]=2,45 \text{ MeV}$$

$$\varepsilon_{or}\left(^{16}_8O\right)=\frac{1}{4}\left[M\left(^{16}_8O\right)-4M\left(^4_2He\right)\right]=3,8 \text{ MeV}$$

1.18. $^{11}_5B$ hám $^{11}_6C$ izotoplar yadroları baylanıs energiyaları sáykes, 73,99 MeV hám 76,15 MeV. Usı yadrolardıń baylanıs energiyaları ayırmasınıń kulonlıq óz-ara tásirlesiw energiyası menen anıqlanıwın kórsetiń. ($E(^{11}_6C)-E(^{11}_5B)=3,06 \text{ MeV}$).

1.19. 3_2He hám 3_1He yadrolardıń baylanıs energiyaları ayırması kulonlıq óz-ara tásirlesiw esabınan payda boladı dep esaplay otırıp, 3_2He yadrosı radiusın anıqlań. ($r_0=1,45 \cdot 10^{-15} \text{ sm}$).

1.20. $^{15}_8O$ yadrosınıń kulonlıq óz-ara tásirlesiw radiusın hám $R=r_0 A^{1/3}$ formulasındaǵı r_0 diń mánisin anıqlań. ($r_0=1,5 \text{ fermi}$).

1.21. Yadronıń tiykarǵı halı ushın menshikli dipol momentiniń nolge teńligin kórsetiń.

Sheshimi: Yadro tiykarǵı halda simmetriya orayına iye bolatuǵınlıǵınan, tiykarǵı haldıń tolqın funkciyası anıq juplıqqa iye boladı. Dipol momentiniń anıqlaması boyınsha $D=e \int z |\Psi(r)|^2 dV$. Bundaǵı $|\Psi(r)|^2$ -jup, al z -taq funkciyalar bolǵanlıqtan, integral astındaǵı kóbeyme taq boladı. Demek, $D=0$.

1.22. Yadronıń elektrlik kvadrupol momenti onıń tolıq háreket muǵdarı momenti $J > \frac{1}{2}$ bolǵanda nolden ózgeshe bolatuǵınlıǵın kórsetiń.

Sheshimi: Yadronıń elektrlik kvadrupol momentiniń ortasha mánisi $Q=e \int (3z^2 - r^2) |\Psi_J|^2 dV$ arqalı ańlatıladı. Bunda, Ψ_J -momenti, J bolǵan haldıń tolqın funkciyası. $3z^2 - r^2 = \sqrt{\frac{16}{5}} r^2 \frac{1}{20}$ bolǵanlıqtan $Q \sim \int \Psi^* \cdot \frac{1}{20} \cdot \Psi_J d\Omega$. Bundaǵı $\frac{1}{20}$ -sferalıq

funkciya. $J + 2 = J$ bolǵanda joqarıdaǵı integral nolden ózgeshe boladı. bul tek $J \geq 1$ bolǵanda orınlanadı.

1.23. N_2 molekulası spektrin úyreniw nátiyjesinde azot atomı spininiń yarım pútin san ekenligi anıqlanadı. Bunı yadroniń proton, neytronlardıń teoriyası tiykarında túsindiriw múmkinligin kórsetiń.

Sheshimi: Yadroniń elektron-protonlıq modeli boyınsha azot atomındaǵı fermi bóleksheleri sanı jup bolıwı kerek: yadroda 14 proton, 7 elektron, al elektron qabıqlarında bolsa 7 elektron bolıwı kerek. Bunday sistemanıń tolıq momentı pútin sanǵa teń boladı. Yadroniń proton-neytronlıq dúzilisi teoriyasınan bunday nátiyje kelip shıqpaydı: azot yadrosında 7 proton hám 7 neytron, al elektron qabıqlarında 7 elektron bolıp, olardıń jıyındısı 21 fermi bólekshesin dúzedi. Bul azot atomınıń spini yarım pútin sanǵa teń boladı degendi ańlatadı.

1.24. ${}^4_2\text{He}$ hám ${}^{16}_8\text{O}$ yadrolarınıń asa turaqlılıǵın túsindiriy. Bul yadrolardıń tiykarǵı halları spini hám juplıǵın tabıń.

(Eki yadroniń da tiykarǵı halı 0^+ - halda bolıwı múmkin).

1.25. Bir bóleksheli qabıq modeli tiykarında tritiy (${}^3_1\text{He}$) yadrosınıń tiykarǵı halı spini hám juplıǵın anıqlań.

Sheshimi: Bir bóleksheli qabıq modeli tiykarında tritiy ${}^3_1\text{He}$ yadrosınıń tiykarǵı halı $(1s \frac{1}{2})^3$ konfiguraciyasına sáykes keledi, yaǵnıy toltırılǵan $(1s \frac{1}{2})^4$ qabıqta proton “tesigin” payda etedi. Sonlıqtan protonlıq tesik $(1s \frac{1}{2})$, yaǵnıy $j^P = (\frac{1}{2})^+$ halınıń spini hám juplıǵı tritiy yadrosınıń spin hám juplıǵın anıqlaydı.

1.26. Bir bóleksheli qabıq modeli tiykarında tritiy yadrosınıń tiykarǵı halınıń magnit momentin tabıń. $\mu = \mu_p = 2,79\mu_0$.

1.27. ${}^3_2\text{He}$ yadrosınıń tiykarǵı halınıń spinin, juplıǵın hám magnit momentin tabıń. $j^P = (\frac{1}{2})^+$, $\mu = \mu_p = 1,91\mu_0$.

1.28. Qabıq modeli tiykarında ${}^{13}_6\text{C}$ hám ${}^{13}_7\text{N}$ yadrolarınıń tiykarǵı halı spini hám juplıǵı anıqlansın. ($j^P = (\frac{1}{2})^-$)

1.29. Bir bóleksheli qabıq modeli tiykarında $^{15}_8\text{O}$, $^{15}_7\text{N}$ yadrolarınıń tiykarǵı halı juplıǵı hám spinin anıqlań. $((1D_{\frac{1}{2}})^4, J^P = (\frac{1}{2})^-)$.

1.30. Aksial simmetriyalı yadronıń energetikalıq qáddileri anıq juplıqqa iye ekenligin kórsetiń. Bunda yadro potencialı tómendegige teń:

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

Sheshimi: Juplıqtıń saqlanıw shárti $[\tilde{p}, \tilde{H}] = 0$. Bundaǵı $\sim$ operatorı belgisi. Másele shárti boyınsha, tolıq gamilton operatorı tómendegige teń:

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

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

1.34. ^{197}Au yadrosınıń deformaciya parametiri β anıqlansın. Bunda, yadronıń kvadrupol momenti $Q \cdot 10^{28} \text{sm}^2 = 60$.

Sheshimi: Yadronı ellipsoid formasına iye, onıń yarım kósherleri c hám a , yadro zaryadı ellips boylap birtekli bólistirilgen dep qabıllay otırıp, kvadrupol moment ushın tómendegini jazamız:

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

Kishi deformaciyalar ushın

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

bundaǵı $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$ -yadro radiusı.

Onda

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

Bunnan $\beta = 0,03$.

1.35. ^{222}Re hám ^{228}Th yadrolarınıń deformaciya parametrleri qatnasın tabıń. Bul yadrolardıń aylanbalıq energetikalık qáddileri, sıykes $E(2^+) = 112 \text{ keV}$ hám

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

1.36. $^{180}_{72}\text{Hf}$ jup-jup yadronın birinshi orbitallıq energetikalıq qáddisi

$E(2^+) = 93 \text{ keV}$ ekenliginen paydalanıp, deformaciya parametri β nı anıqlań. ($\beta = 0,06$)

1.37. $^{188}_{76}\text{Os}$, $^{238}_{92}\text{U}$ yadroları ushın elektrlik kvadrupol momentleri berilgen bolsa, olardıń deformaciya parametrleri qatnasın tabıń.

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

1.38. Bir bóleksheli qabıq modelinde nuklonnıń yadrodaǵı potencial energiyası oraylıq hám spin orbitallıq óz-ara tásirlesiw potencial energiyaları qosındısına teń:

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

Bundaǵı, $\bar{l}, \bar{s}$ -nuklonnıń orbital hám spin momentleri operatorları, a -parametr. $^{17}_8\text{O}$ yadrosınıń $1d_{3/2}$ qáddisi $1d_{1/2}$ qáddisinen 5MeV joqarıda bolsa, a parametri mánisin tabıń.

Sheshimi: Spin-orbitallıq óz-ara tásirlesiwler nátiyjesinde qáddilerdiń awısıwı tómendegige teń:

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

Bunda $\langle njlsm \rangle$ - kórsetilgen kvant sanları ushın Shredinger teńlemesi sheshimi. Spin-orbitallıq tásirlesiw esapqa alınǵan Gamilton operatorı ushın orbitallıq hám spinlik momentleri proekciyalrı qozǵalı integralı bolmaydı. Shredinger teńlemesiniń $\langle njlsm \rangle$ sheshimi bir waqıtta $\bar{j}^2, \bar{l}^2, \bar{s}^2$ hám j_z operatorlarınıń da menshikli funkciyası boladı. Bul momentlerdiń menshikli mánisleri tómendegige teń:

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

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

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

Birdey l hám s , lekin hár qıylı j mánisli qáddilerdiń energiyalıq awısıwı ayırması ushın tómendegini jazamız:

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

Demek,

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

Bunnan $a = -2 \text{ MeV}$.

1.39. Qabıq modelinen paydalanıp, birdey orbitallıq modelge hám hár qıylı tolıq momentke iye bolǵan energetikalıq qáddiler awısıwınıń orbital momentke baylanıslılıǵın kórsetiń.

Sheshimi:

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

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

II-BAP. RADIOAKTİVLİK

Tiykargı nızamlıqlar formulaları hám metodikalıq kórsetpeler

Radioaktiv ıdıraw nızamı:

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

bunda N -radioaktiv elementtiń t waqıt momentindegi tarqalmagan yadrolar sanı, N_0 -radioaktiv elementtiń dáslepki yadrolar sanı, λ -radioaktiv ıdıraw turaqlısı.

Yarım ıdıraw dáwiri:

$$T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{yamasa} \quad T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.2)$$

Radioaktiv yadronıń ortasha jasaw waqtı:

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

Radioaktiv element aktivligi (waqıt birliǵi ishinde tarqalǵan yadrolar sanı).

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

Radioaktiv element (preparat) tıń aktivligin eksponencial kemeyiw nızamı:

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

bunda A_0 -radioaktiv elementtiń baslanǵısh aktivligi.

XBS da **aktivliktiń ólshew birliǵi** etip **1 Bekkerel** qabıl etilip, ol 1 sekundaǵı 1 ıdırawǵa teń ayırım jaǵdaylarda Kyuri ólshem birlik retinde isletiledi hám ol Bekkerel ólshem birliǵi menen tómendegishe baylanısqa:

$$1Ku = 3,7 \cdot 10^{10} \frac{\text{tarqaliw}}{s} = 3,7 \cdot 10^{10} Bk$$

Idıraw turaqlısı λ_1 bolǵan A_1 radioizotopınıń ıdıraw turaqlısı λ_2 bolǵan A_2 radioizotopına aylanıwında A_2 radioizotop waqıt boyınsha tómendegishe ózgeredi:

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

bunda $N_1(0)$, $t = 0$ momentindegi A_1 radioizotopınıń yadrolar sanı.

I. Radioaktivlik hádiyesine tiyisli máselelerdi sheshiwde tómendegi eki jaǵdaydı parqlay biliw kerek:

a) izolyaciyalangan zatlardıń radioaktiv ıdırawınıń júz beriwın. Ol jaǵdayda ıdıraw nızamı (2.1) formuladan paydalanıladı.

Eger másele shártinen radioizotoptıń Δt -ıdıraw waqtı, berilgen radioizotoptıń T - yarım ıdıraw dáwirinen júdá kishi bolsa ($\Delta t \ll T$), ol jaǵdayda tarqalmaǵan yadrolar sanı N di Δt waqt dawamında ózgermeydi hám onıń baslanǵısh yadrolar sanın N_0 teń dep esaplaw múmkin. Ol jaǵdayda tarqalǵan yadrolar sanın $\Delta N = \lambda N_0 \Delta t$ formula járdeminde tabıw múmkin.

b) Qanday da bir tuwındı radioaktiv zat, ol payda bolǵan baslanǵısh basqa bir radioaktiv zat penen birikpede ıdıraw júz berip atırǵan jaǵday. Bul jaǵdayda tuwındılı zat yadrolar sanınıń waqt ótiwi menen ózgeriw nızamı (2.6) qatnas penen kórsetiledi.

Usı ayırıqsha jaǵdayǵa itibar bereyik: eger baslanǵısh radioaktiv zattıń yarım ıdıraw dáwiri T_1 tuwındılı radioaktiv zattıń yarım ıdırawı T_2 dáwirinen júdá úlken bolsa, yaǵnıy $T_1 \gg T_2$, ol jaǵdayda qanday da bir waqt aralıǵı ótkennen keyin, bul zatlar arasındaqı radioaktiv teń salmaqlıq ornatıladı. Bunda waqt birligi ishinde payda bolıp atırǵan tuwındılı zat yadrolarınıń sanı tarqalıp atırǵan baslanǵısh zat yadrolarınıń sanına teń boladı. Nátiyjede hár eki zattıń aktivligi bir qıylı bolıp qaladı. Ol jaǵdayda (2.4) hám (2.2) formulalardan tómendegilerdi payda etemiz:

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

$$\text{yamasa} \quad N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 \quad (2.7)$$

II. Ayırım máselelerdi sheshiwde massası m bolǵan radioaktiv zat quramındaǵı atomlar sanı N di tabıw talap etiledi. Bunıń ushın tómendegi qatnastan paydalanamız:

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

bunda N_A -Avogadro sanı, ν -usı preparattaǵı zattıń muǵdarı, μ -izotoptıń molyar massası.

İzotop molyar massası μ menen salıstırmalı atom massası M_r arasında tómendegi baylanıs bar:

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

(2.8) formula menen esaplawlardı ótkizgende hár bir izotop salıstırmalı atom massası M_r , onıń massa sanı A ǵa júdá jaqın bolıp, yaǵnıy $M_r \approx A$, bolǵanlıǵınan

(2.9) teńlemenı tómendegi kóriniste jazamız: $\mu \approx 10^{-3} \cdot A \text{ kg / mol}$

Máselelerdi sheshiw úlgileri hám óz betinshe orınlaw ushın mısallar

2.1. ıdıraw turaqlısı λ bolğan radioaktiv yadronıń t waqıt aralığında ıdırawı tabılsın.

Sheshimi: Radioaktiv ıdıraw procesi statistik xarakterge iye, yaǵnıy teń waqıt ishinde ulıwma atomlardıń teń úlesi tarqaladı. Bunı mınaday etip túsindiriw múmkin. Eger jeterli dárejede úlken baslangısh yadrolar sanına N_0 iye bolğan radioaktiv preparat penen tájiriybeni kóp márte tákirarlansa oǵan 0 den t ǵa shekemgi waqıt aralığında bir qıylı yadro úlesi $\Delta N / N_0$ tarqaladı. Usı úlkenlik berilgen waqıt aralığı

ishinde yadrolar ıdırawı (P) delinedi:
$$P = \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0},$$

bunda N -waqıt t momentinde tarqalmağan yadrolar sanı. Bul formulanı radioaktiv ıdırawlar nızamı $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ekenligin itibarǵa alıp, tómendegini jazamız:

$$P = \frac{N_0 - N_0 e^{-\lambda t}}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}$$

Juwabı: $P = 1 - e^{-\lambda t}$.

2.2. Aktivligi $A = 1 \text{ } \mu\text{Ku}$ ^{60}Co radioizotopınıń massası anıqlansın. Usı aktivlik $t = 10,5$ jıldan keyin qansha márte kemeyedi.

($m = 0,882 \cdot 10^3 \text{ kg}$ yamasa $m = 0,882 \text{ g}$, 4 márte kemeyedi).

2.3. Massası 1 g bolğan izolyaciyalangan ^{226}Ra radioizotopınıń aktivligi hám onıń aktivligi 10% ke kemeyetuǵın waqıt anıqlansın.

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

2.4. Jabıq ıdısta massası $m = 0,1 \text{ g}$ bolğan radiy bar. ıdısta 24 saattan keyin, qansha muǵdarda radon jıynaladı? Radiydiń yarım ıdıraw dáwiri 1600 jıl, radondiki bolsa 3,8 kún.

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

2.5. Massası 1 mg bolğan ceriy-144 radioizotopınıń ıdırawın anıqlań. Ceriydiń yarım ıdıraw dáwiri 285 kún.

Sheshimi: Máseleni radioaktiv ıdıraw nızamı járdemi menen sheshemiz. ($\Delta t = 1c$ bolğan jaǵdayda $\Delta N = 1,2 \cdot 10^{11}$, Δt hám T shamalar birdey tártipte bolǵanda $\Delta N = 2,5 \cdot 10^{18}$).

2.6. Massası $1g$ bolğan radiy menen teń salmaqlıqta bolğan radonniń massa hám kólemi tabılsın. ($m_2 = 6,5 \cdot 10^{-9} kg$, $V = 6,6 \cdot 10^{-10} m^3$).

2.7. Ortasha jasaw waqtı τ bolğan radiaktiv preparat yadrolardıń dáslepki muǵdarınıń qanshası a) $t = 10\tau$ waqıttan keyin qaladı. b) $t_1 = \tau$ hám $t_2 = 2\tau$ waqıt aralıǵında ıdıraydı?

$$(t = 10\tau \text{ waqıttan keyin qalğan yadrolardıń úlesi: } \frac{N(10\tau)}{N(0)} = e^{-10}, \Delta t = t_2 - t_1$$

intervalında ıdıraǵan yadrolar sanı: $\Delta N = \frac{1}{e}(1 - \frac{1}{e})$).

2.8. Radioaktiv yod ^{128}I yadrosın birinshi sutkadaǵı ıdıraw itimallıǵı, ekinshi sutkadaǵı ıdıraw itimallıǵınan qansha úlken?

$$(\text{Birinshi hám ekinshi sutkalardaǵı ıdıraw itimallıqları qatnası: } \frac{1 - W(1)}{W(1) - W(2)} = 1,3).$$

2.9. Preparat tayarlanǵannan keyingi ekinshi hápte dawamında radioaktiv fosfor ^{32}P yadrosınıń qansha bólegi ıdıraydı ($T_{0,5} = 14,5$ kún).

Sheshimi: Birinshi hám ekinshi háptedegi ıdıraw itimallıqlarınan:

$$W(1) = 1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

Idıraǵan bólegin tabamız:

$$x = W(1) - W(2) = e(1 - e^{-\frac{7}{\tau}})$$

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

bunnan $x \cong 0,2$ ekenligi kelip shıǵadı.

2.10. Radiaktiv altın ^{198}Au yadrosınıń: 4 kún dawamındaǵı ıdıraw itimallıǵı, Tórtinshi kúndegi ıdıraw itimallıǵın tabıń.

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

Sheshimi: Tórt kún dawamındaǵı ıdıraw itimallıǵı:

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

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

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

2.11. Intensivligi $10^{12} \text{neytron} / \text{sm}^2 \cdot \text{s}$ bolǵan jıllılıq neytronlar izotrop aǵımı járdeminde 1 mg altındı $t = 1 \text{ saat}$ dawamında nurlandırılǵan payda bolatuǵın kiritilgen aktivlikti tabıń. Bunda izotrop neytronlar aǵımınıń kiritilgen aktivligi, parallel neytronlar aǵımınıń kiritilgen aktivligine qaraǵanda eki ese artıq bolıwı esapqa alınsın. $(j(t) = \frac{2vmZ\sigma t}{AT_{0,5}} \ln = 17 \text{ mkKu})$.

2.12. Índiy yadrosınıń ^{115}Jn izotopı yadro reaktorlarında jıllılıq neytronların shıǵarıwshı sıpatında qollanıladı. Egerde massası $3 \cdot 10^{-4} \text{ g}$ bolǵan indiydiń juqa qatlamı 5 saat dawamında izotrop neytronlar aǵımı menen nurlandırılıwı nátiyjesinde alıńǵan preparattıń aktivligi $70,6 \text{ mkKu}$ bolsa, izotron neytronlar aǵımınıń shamasın tabıń. Aktivlestiriwdiń effektiv kesimi $\sigma_{akt} = 155 \text{ barn}$, yarım ıdıraw dáwiri bolsa $T_{0,5}(^{115}\text{Jn}) = 54,2 \text{ min}$ ǵa teń.

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

2.13. $10^{12} \text{neytron} / \text{sm}^2 \cdot \text{s}$ jıllılıq neytronlarınıń izotrop aǵımı menen 10 kún dawamında nurlandırılǵan massası 1 mg altınıń juqa qatlamınan 1 kúnde shıǵıp atırǵan β bóleksheleriniń sanın tabıń.

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

2.14. Massası 5 mg alyuminiy plastikası 2 minut dawamında intensivligi $5 \cdot 10^7 \text{ neytron} / \text{sm}^2 \cdot \text{s}$ bolǵan jıllılıq neytronları menen nurlandırılǵan bolsa, β ıdırawı nátiyjesinde 3 minut ishinde shıqqan elektronlar sanın anıqlań. ($n = 7,5 \cdot 10^4$).

2.15. Qısqa jasawshı ^{110}Ag hám uzaq jasawshı ^{108}Ag izotoplar gúmis plastinkanı jıllılıq neytronları aǵımı menen nurlandıırıw járdeminde alıńan. Sol izotoplardıń aktivlikleriniń qatnasın tabıń.

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

2.16. Qalıńlıǵı $0,1 \text{ mm}$, beti 20 sm^2 bolǵan gúmis plastinka intensivligi $5 \cdot 10^7 \text{ neytron} / \text{sm}^2 \cdot \text{s}$ bolǵan jıllılıq neytronlarınń parallel aǵımı menen 5 minut dawamında nurlandırılǵan bolsa, onıń nurlandıırıw tamamlanǵan waqtındaǵı aktivligin tabıń.

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

2.17. Radiydiń yarım ıdıraw dáwiri $T_{0,5} = 1602 \text{ jil}$ bolsa, onıń ıdıraw turaqlısı tabılsın. ($\lambda = \frac{0,693}{T_{0,5}} = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$).

2.18. Uran ^{234}U (yamasa $\text{U} \text{III}$), uran tiykarǵı ^{238}U (yamasa $\text{U} \text{I}$) izotopınıń ıdırawı bolıp esaplanadı. Eger uran ^{234}U izotopınıń tábiyǵıy urandaǵı muǵdarı $0,0055\%$ bolsa onıń yarım ıdıraw dáwiri anıqlansın. Uran izotopınıń yarım ıdıraw dáwiri $T_{0,5} = 4,51 \cdot 10^9 \text{ jil}$.

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

2.19. Massası M bolǵan erkin tınısh turǵan atom yadrosı oyangan halattan tiykarǵı halatqa, γ -kvant shıǵıp ótedi. Eger oyanıw energiyası $E_{12} = 129 \text{ keV}$ qa (^{191}Ir yadro ushın) teń bolsa, gamma-kvant E_γ energiyası hám tepki energiyası R tabılsın.

Sheshimi: Yadro ózinen γ -kvant shıǵarǵanda energiya hám impuls saqlanıw nızamları orınlanıwı kerek, yaǵnıy:

$$E_{12} = E_\gamma + R \quad (1)$$

$$\frac{E_\gamma}{c} = P_R \quad (2)$$

Bunda E_γ -gamma-kvant energiyası, R -tepki energiyası, P_R -tepki impulsı. Relyativistlik mexanikada kinetikalıq energiya T hám impuls p arasında tómendegi baylanıs bar:

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

Biziń jaǵday ushın $T = R$ ekenligin esapqa alıp, P_R yaǵnıy γ -kvant shıǵaradı hám keyingi yadro impulsı:

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

(3) ti (2) ge qoyamız hám tómendegi sistemanı payda etemiz:

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

Bul sistemanı E_γ hám R ǵa qarap sheshemiz hám tómendegi teńlemelerdi alamız:

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

Bul formulalarǵa: ^{191}Ir ushın:

$$E_{12} = 129 \text{ keV} = 129 \cdot 10^3 \text{ eV}, \quad Mc^2 = 192,2 \text{ m.a.b.}$$

$$931 \frac{\text{MeV}}{\text{m.a.b.}} = 178938,2 \text{ MeV} \approx 1,8 \cdot 10^5 \text{ MeV} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ eV}$$

san mánislerin qoyıp, $R \approx 0,0462 \text{ eV}$ ekenligin tabamız.

2.20. Jıllılıq neytronları aǵım tıǵızlıǵı $10^{11} \text{ neytron/sm}^2 \cdot \text{s}$ bolǵan yadro reaktorına jaylastırılǵan ^{59}Co 20 saattan keyin alınıp, mass-spektrometr járdeminde ólshengende onıń quramında 3,4% ^{60}Co payda bolǵanlıǵı anıqlanǵan. Kobalt yadrosınıń aktivlestiriw effektiv kesimi tabılsın (^{60}Co ushın $T_{0,5} = 5,28 \text{ jil}$).

Sheshimi: $t \ll T_{0,5}$ waqıt dawamında nurlandırıp alınǵan kobalt-60 radiaktiv izotopınıń yadrolarınıń sanı:

$$N(t) = nv\sigma t = 2v_{\text{izotr}} n\sigma t$$

Jıllılıq neytronlarınıń izotrop aǵımı:

$$v_{\text{izotr}} = \frac{P\bar{g}}{3}; \quad \bar{g} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 2200 \text{ m/s},$$

bunda ρ -neytronlar tıǵızlıǵı, $\bar{g}$ -ortasha tezligi

$$\sigma = \frac{N}{2v_{izotr} \cdot tn} = \frac{N \cdot 3\sqrt{mt}}{2n\rho\sqrt{3kT}} \cong 30 \text{ barn}.$$

2.21. $^{238}\text{U} \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ izbe-iz ıdıraw procesinde $\lambda_2 N_2(t) = \lambda_1 N_1(t)$ teńsalmaqlıq shártı orınlı ekenin kórsetiń.

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \text{ waqıtqa baylanıslı emes, } \frac{\lambda_2}{\lambda_1} > 1 \text{ hám } N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2\right).$$

2.22. 1 g tábiyǵıy uran quramında yarım ıdıraw dáwiri $T_{0,5} = 1,62 \cdot 10^3$ jıl bolǵan $3,4 \cdot 10^{-7}$ g ^{236}Ra bolsa, ^{238}U yadrosınıń yarım ıdıraw dáwirin tabıń. Bunda $\lambda_{0,5}(^{238}\text{U}) \gg \lambda_{0,5}(^{236}\text{Ra})$ dep alınsın.

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

2.23. İşinde aktivligi 10 mKi bolǵan ^{32}P preparatı bar ampulanıń 1 saatta jutqan energiyasın tabıń ($T_{0,5}(^{32}\text{P}) = 14,5$ kun).

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

2.24. 1mg ^{210}Po preparatınıń ortasha jasaw waqtında ajıratıp shıǵarǵan energiyasın esaplań: $E_{\alpha} = 5,3 \text{ MeV}$. ($Q = 1,5 \cdot 10^6 \text{ J}$).

2.25. $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{208}\text{Tl} + \alpha$ ıdırawda payda bolatuǵın α -bólekshe hám ^{208}Tl yadrosınıń kinetikalıq energiyaların tabıń.

$$(E_{yadro} = \Delta M \cdot c^2 \frac{4}{A} = 0,117 \text{ MeV}).$$

2.26. $^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + ^4\text{He}$ ıdırawda payda bolǵan ^{206}Pb yadrosınıń kinetikalıq energiyasın tabıń. ($E_{yadro} = \Delta M c^2 \frac{4}{A} = 0,02 \text{ MeV}$).

2.27. α -ıdıraw itimallıǵı menen α -bólekshe energiyası arasındadı baylanıstı tabıń. Bunda α -bóleksheniń kinetikalıq energiyası Kulon potencial tosıǵınıń maksimal biyikliginen júdá kishi dep qaralsın.

Sheshimi: α - ıdıraw itimallığı α -bólekshelerdiń potencial tosıqtan ótiw koefficientine proporcional

$$\lambda = \frac{\hbar}{m_{\alpha} R} D ; \quad D = \exp \left\{ -\frac{2}{\hbar} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{2m_{\alpha} [U(r) - E]} dr \right\} \quad (4)$$

Bunda R -yadro radiusı, E -bolsa α -bóleksheniń energiyası, $U(r)$ -potencial tosıq. D nıń mánisin $E \ll U(r)$ shártten paydalanıp tabamız. Bunıń ushın

$$I = \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{2m_{\alpha} [U(r) - E]} dr \text{ integraldı kórip shıǵayıq.}$$

$E \sim U(r)$ da integral astındaǵı funkciya nolge jaqın. Integraldıń tómengi shegarası r_1 ge, potencial radiusı R ǵa teń, yaǵnıy $r_1 = R$. Integraldıń joqarı shegarası bolsa, tómendegi shártten tabıladı: joqarı shegarada α -bóleksheniń energiyası. Kulon potenciallıq barerge teń, yaǵnıy

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

Bunnan $r_2 = \frac{2Ze^2}{E}$. Demek:

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

Bunı (1) ge qoysaq:

$$D = \exp \left(-\frac{a}{\sqrt{E}} \right)$$

Bunda $a = \frac{8Ze^2 \sqrt{m_{\alpha}}}{\hbar}$. Bulardan paydalanıp, $T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ekenligin esapqa alsaq,

$T_{0,5} = c \cdot \exp \frac{a}{\sqrt{E}}$ hám $T_{0,5} = \ln c + \frac{a}{\sqrt{E}}$, yaǵnıy Geyger-Netgol nızamı α -bólekshelerdi potencial tosıqtan ótiw ózgesheligi menen baylanıslı.

2.28. Ne ushın kóp jaǵdaylarda α -ıdıraw tuwındılı yadronıń tiykarǵı halatında júz beriwın túsindirıń.

Sheshimi: Ótiw energiyasınıń asıwı menen ıdıraw itimallığı tez artadı (2.27 ge qarań). Tuwındılı yadronıń oyangan halatına ótiw itimallığı, onıń tiykarǵı jaǵdayına ótiwge qaraǵanda, bul ótiwlerde alfa-bólekshe kishi orbital momentti alıp ketkenligi

sebepli úlken. Sonıń ushın α - ıdıraw tuwındılı yadronıń tiykargı jaǵdayında júz beredi.

2.29. α - bóleksheler ushın ^{244}Pu yadrosınıń Kulon potentsiallıq barerin esaplań.

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

2.30. ^{32}P yadrosınıń β - ıdırawda payda bolǵan elektronlardıń maksimal energiyasın tabıń.

$$(E_e)_{\max} = M^{\text{atom}}(\text{P})c^2 - M^{\text{aj}}(\text{S})c^2 = 1,71 \text{ MeV}$$

2.31. Neytronnıń β - ıdırawı nátiyjesinde payda bolǵan elektronlardı β - spektriniń joqarı shegarasın anıqlań.

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

2.32. $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$ ıdırawda payda bolǵan protonnıń kinetikalıq energiyasın tabıń. ($E_p = 1,5 \text{ keV}$).

2.33. $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$ β - ıdırawda payda bolǵan $\tilde{\nu}_e$ antineytrino spektrin tabıń. Bunda β - spektrin belgili dep alıń.

Sheshimi: β - ıdırawdıń bir aktindegi payda bolǵan elektron hám antineytrionıń kinetikalıq energiyalarınń jıyındısı (E_{Max}). (E_{Max}) turaqlı shama bolǵanlıǵı ushın, antineytrionıń spektri

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

Bunda W_e - elektron spektri. Elektronlardıń yadro maydanı menen kulonnıń óz-ara tásiiri nátiyjesinde W_e ózgermeydi.

2.34. ^{36}Cl yadrosınıń β - ıdırawǵa qaraǵanda bekkemligin kórsetiń.

Sheshimi: Egerde:

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

$$M(A, Z) + m > M(A, Z - 1) \quad (E - qamtiw).$$

Neytral atomlar massası ushın:

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

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

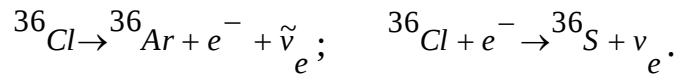
$$M^{at}(A, Z) > M^{at}(A, Z - 1) \quad (\text{elektron} - \text{qamtiw}).$$

shártler orınlansa (A, Z) yadro $(A, Z \pm 1)$ izobargá aylanadı, $A=36$ bolǵan izobar ushın:

$$M^{at}(^{36}\text{Cl}) = 35,968312 \text{ m.a.b.}, \quad M^{at}(^{36}\text{S}) = 35,967091 \text{ m.a.b.},$$

$$M^{at}(^{36}\text{Ar}) = 35,967548 \text{ m.a.b.}$$

Bulardı salıstırıp, tómendegi ıdıraw reakciyaların kóremiz:



2.35. $A = 40$ bolǵan izobardıń massasına qarap bolıwı múmkin bolǵan ıdıraw túrlerin tabıń.

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

2.36. ^{27}Si yadrosınıń β^+ - ıdıraw nátiyjesinde payda bolǵan pozitronlar spektriniń joqarı shegarasın anıqlań.

$$(^{27}_{14}\text{Si} \rightarrow ^{27}_{13}\text{Al} + e^- + \nu_e, \quad E_{\text{Max}}(e^+) = 3,85 \text{ MeV}).$$

2.37. $^7_4\text{Be} + e^- \rightarrow ^7_3\text{Li} + \nu_e$ reakciya nátiyjesinde tiykarǵı jaǵdayda payda bolǵan litiy yadrosınıń tepki energiyasın tabıń.

$$(E_V^{(1)} = \Delta M c^2 = 0,86 \text{ MeV}; \quad E_{ya}^{(1)} = \frac{(\Delta M)^2 c^2}{2M(\text{Li})} = 57 \text{ eV}).$$

2.38. ^{137}Cs yadrosın γ - ıdırawı nátiyjesinde payda bolǵan elektronlardıń maksimal energiyasın tabıń. Bunda tuwındı yadro ^{137}Ba -qozǵalǵan jaǵdayda payda boladı dep qaralsın. γ -kvantlar energiyası $E_\gamma = 0,67 \text{ MeV}$. $(^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137}\text{Ba}^\bullet + e^- + \tilde{\nu}_e,$

$$^{137}\text{Ba}^\bullet \rightarrow ^{137}\text{Ba} + \gamma, \quad (E_e)_{\text{max}} = M^{at}(\text{Cs}) - M^{at}(\text{Ba}) - E_\gamma = 0,51 \text{ MeV}).$$

2.39. Tritiy yadrosın β -ıdıraw nátiyjesinde tiykarǵı jaǵdayda payda bolǵan ${}^3\text{He}$ yadrosınıń kinetikalıq energiyasın anıqlań. Bunda: Maksimal energiyanı a) elektron b) antineytrino alǵan jaǵdaylarda kórilsin.

$$(a) E_e \cong 18,6 \text{ keV}, E_{ya} = 3,46 \text{ eV}; \quad b) E_v = 18,6 \text{ keV}, E_{ya} = 0,086 \text{ eV}.$$

2.40. ${}^{13}\text{C}$ hám ${}^{13}\text{N}$ izobarlarınıń massasına qarap pozitron spektriniń joqarı shegarasın anıqlań. (${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$, $(E_e)_{\text{max}} = 1,2 \text{ MeV}$).

2.41. ${}^{204}\text{Tl}$ yadrosınıń β -ıdırawında payda bolǵan antineytrinonıń alıp ketiwi múmkin bolǵan ortasha energiyanı tabıń. Bunda elektronlardıń ortasha energiyası $E = \frac{1}{3} E_{\text{max}}$.

$$({}^{204}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^{204}_{82}\text{Pb} + e^- + \tilde{\nu}_e, \quad \bar{E}_{\tilde{\nu}} = (E_e)_{\text{max}} = \bar{E}_e = 0,48 \text{ MeV}).$$

2.42. Jerdegi barlıq argon, kaliy-40 elementin ($E - \text{каммты}$) elektron qamtıw jolı menen payda bolǵan dep, Jerdiń jasınıń joqarı shegarasın tabıń. Házirgi argonniń 300 atomına, ${}^{40}\text{K}$ diń bir atomı tuwrı keledi.

Sheshimi: ${}^{40}\text{K}$ yadrosınıń 11% E -qamtıwda qatnasadı: ${}^{40}_{19}\text{K} + e^- \rightarrow {}^{40}\text{Ar} + \nu_e$.

89% ${}^{40}\text{K}$ atomı β^- ıdıraydı: ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + e^- + \nu_e$.

Jerdiń payda bolǵanınan keyingi ótken t waqıttaǵı kaliy atomlarınıń sanı:

$$N_K(t) = N_K(0)e^{-\lambda t}, \text{ bunda } \lambda - {}^{40}\text{K} \text{ yadrosınıń ıdıraw turaqlısı.}$$

Argon atomlarınıń sanı $N_{Ar}(t) = 0,11[N_K(0) - N_K(t)]$;

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

2.43. μ -ıdıraw β -spektriniń joqarı shegarasın tabıń.

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

Elektron yamasa pozitron energiyası tómendegi jaǵdayda maksimal boladı,

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

III-BAP. NURLANIWDIŇ ZATLAR MENEN TÁSIRLESIWI

Tiykargı nızamlıqlar formulaları hám metodikalıq kórsetpeler

Awır zaryadlangan bólekshelerdiń zatlarda salıstırma ionizaciyalıq energiya joǵaltıwı:

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

bunda $I \approx (13,5Z) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J = (13,5Z)eV$ -energiya jutılıp atırǵan zattıń atomları ortasha ionizaciyalıq potencialı: Ze -bólekshe zaryadı $z = 1 (p)$, $z = 2 (\alpha)$, $\beta = v/c$; n_e -denedegi elektronlar koncentraciyası Z -atomnıń tártip nomeri v -bólekshe tezligi.

Kólem birligindeki elektronlar sanı, yaǵnıy koncentraciyası:

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

bunda Z -atomdaǵı elektronlar sanı, ρ -zattıń tıǵızlıǵı, N_A -Avogadro sanı, A -atom massası.

Kinetikalıq energiyası T bolǵan bóleksheniń ortasha ótiw jolı ushın emperik formulalar:

Normal shárayatta α -bóleksheniń hawadaǵı ortasha ótiw jolı:

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

Massa sanı A bolǵan zat α -bóleksheniń ortasha ótiw jolı:

$$R_\alpha = 0,56R_{\alpha(cm)} A^{1/3} mg / sm^2 \quad (3.4)$$

bunda $R_{\alpha(cm)}$ -usı energiyalı α -bóleksheniń hawadaǵı ótiw jolı.

Normal shárayatta T -kinetikalıq energiyası protonnıń hawadaǵı ótiw jolı:

$$R_\rho(T) = R_\alpha(4T) - 0,2 sm; \quad T > 0,5 MeV \quad (3.5)$$

bunda R_α -kinetikalıq energiyası $4T$ bolǵan α -bóleksheniń hawadaǵı ortasha ótiw jolı.

Elektronlardıń nurlanıwlarǵa ionizaciyalıq salıstırma energiyasın joǵaltıwı:

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

$$\frac{(dE / dx)_{ion}}{(dE / dx)_{nur}} \approx \frac{800}{ZT(MeV)} \quad (3.7)$$

bunda T -elektronnıń kinetikalıq energiyası, r_e -elektronnıń klassikalıq radiusı, n - zattaǵı elektronlar koncentraciyası, Z -zat atomınıń tártip nomeri.

Eger elektron energiyası tiykarında radiaciyalıq, yaǵnıy nurlanıwǵa sarp etilse, onda kinetikalıq energiyası ortalıqta tómendegi nızam boyınsha kemeyedi.

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

bunda l_p -radiaciyalıq uzınlıq bolıp, bul elektron energiyasınıń e márte kemeyetuǵın aralıǵı. T_0 -elektronnıń baslanǵısh energiyası, yaǵnıy ortalıqqa kelip túsiwinen aldınǵı energiyası, x -elektronnıń ortalıqta basıp ótken jolı.

Kinetikalıq energiyası $T(MeV)$ bolǵan elektronlar ortasha ótiw jolı:

$$R = 0,407 T_e^{1,38} (g / sm^2), \quad 0,15 < 0,8 \text{ MeV} \quad \text{ushın} \quad (3.9)$$

$$R = 0,407 T_e - 0,133 (g / sm^2), \quad < 0,8 \text{ MeV} \quad \text{ushın} \quad (3.10)$$

Eger elektronnıń energiya joǵaltıwı tiykarınan ionizaciyalıq kóriniste bolsa, ol jaǵdayda usı formulalar elektronnıń hár qanday zattaǵı ótiwi jaqsı anıqlıqta kórinedi.

Beta-bólekshelerdiń zattaǵı jutılıw nızamı:

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

bunda N_0 -zat betine túsip atırǵan beta bóleksheler sanı, N -bolsa x -qalınlıqtaǵı zattan ótkennen keyingi beta-bóleksheler sanı, μ -sızıqlı jutılıw koefficienti. Eger beta-bólekshelerdiń zatta yarımı jutılса, $N(d_{0,5}) = N_0 / 2$ formulanı jaza alamız, ol jaǵdayda

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

bunda $d_{0,5}$ -beta bóleksheler yarım jutılıw qatlamınıń qalınlıǵı.

Beta-bóleksheler intensivliginiń kemeyiw nızamı da joqarıda keltirilgen (3.11) formulaǵa uqsas halda boladı, yaǵnıy:

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

bunda I_0 -zat betine túsip atırǵan bóleksheler intensivligi (yamasa aǵımı) I - bóleksheler intensivliginiń (aǵımınıń) x -qalınlıqtaǵı zat arqalı ótkennen keyingi mánisi.

Massalıq jutılıw koefficienti:

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

bunda $T_{\beta_{Max}}$ - β - bólekshelerdiń MeV lardaǵı shegaralıq maksimal energiyası.

Monoenergetikalıq γ -nurlar jınıshke dástesi intensivliginiń páseyiw nızamı:

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

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

bunda μ, τ, σ -saykes túrde páseyiw, jutılıw hám shashılıw sızıqlı koefficientleri.

Jutılǵan nurlanıw dozası:

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

bunda dE -ortasha jutılǵan energiya, dm -elementar kólemdegi zattıń massası.

Ekspoziciyalıq doza:

$$D_e = \frac{dQ}{dm} \quad (3.17)$$

bunda dQ -elementar kólemdegi hawada payda bolǵan bir túr belgidegi ionlardıń zaryadlar jıyındısı.

• Jutılǵan nurlanıwdıń dozasınıń quwatı:

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

bunda dD -nurlanıw dozası.

Rentgen hám gamma-nurlanıwlardıń ekspoziciyalıq dozasınıń quwatı:

$$P_e = \frac{dD_e}{dt} \quad (3.19)$$

Ekspoziciyalıq dozasınıń quwatı, Amper bólistiriw kilogramlarda (A/kg) kórsetiledi.

Máselelerdi sheshiw úlgileri hám óz betinshe orınlaw ushın mısallar

3.1. Radiaktiv ^{32}D preparattı shıgarıp atırğan β -bólekshelerdiń hawa, alyuminiy hám qorgásın ushın yarım jutılıw qatlamı qalınlıǵı esaplınsın.

Sheshimi: β -bóleksheler zat arqalı ótkende tómendegi nızam boyınsha jutıladı:

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

bunda N_0 -denege túsip atırğan β -bóleksheler sanı, N -qalınlıǵı d bolǵan qatlamnan ótken β -bóleksheler sanı. Beta-bóleksheler aǵımı zattıń d qalınlıǵınan ótkennen keyin $N = N_0 / 2$ ge teń boladı. Bunı (1) ge qoyamız: $N_0 / 2 = N_0 e^{-\mu d_{0,5}}$, yamasa

$$\frac{1}{2} e^{-\mu d_{0,5}}.$$

Bul formulanı logarifmlep qıdırılıp atırğan yarım jutılıw qatlamınıń qalınlıǵın anıqlaymız:

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

β -bóleksheler energiyası $T_{\beta \max} = 1,71 \text{ MeV}$ bolǵanı ushın (3.14) formula

járdeminde μ_{hawa} , μ_{Al} hám μ_{PB} koefficientlerdi anıqlaymız hám (2) den:

$$d_{0,5}(\text{hawa}) = 50 \text{ sm}, d_{0,5}(\text{Al}) = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ sm}, d_{0,5}(\text{PB}) = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ sm}$$

ekenligin tabamız.

3.2. Kosmik nurlar tásirinde teńiz qáddinen 1 sm^3 hawada 1 min waqıt dawamında 120 ionlar jubı payda bolsa, bir sutkada insan alatuǵın ekspoziciyalıq dozası anıqlansın.

Sheshimi: İnsan t waqıt dawamında alınatuǵın ekspoziciyalıq doza tómendegi formula arqalı tabıladı:

$$D_e = P_e t \quad (1)$$

bunda D_e -ekspoziciyalıq doza, P_e -ekspoziciyalıq doza quwatı:

$$P_e = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot \Delta t} \quad (2)$$

bunda ΔQ -massası Δm bolǵan hawada Δt waqıt dawamında payda bolǵan zaryadlar jıyındısı. Ol jaǵdayda (2) ni (1) ge qoyamız hám tómendegi teńlemenı alamız:

$$D_e = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot \Delta t} t \quad (3)$$

bunda hawa massası tómendegige teń boladı:

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

ΔV kólemde payda bolatuǵın zaryadlar jıyındısı bir qıylı belgide barlıq ionlardıń zaryadın e elementar zaryadlı ionlar sanına kóbeytpesine teń:

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

(3) hám (5) formulardı esapqa alsaq (3) formula tómendegi kóriniske keledi:

$$D_{\text{э}} = \frac{|e| \cdot N \cdot t}{\rho \Delta V \cdot \Delta t} \cdot \text{Formuladaǵı shamaradı SI birliklerdegi } |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad N = 120, \\ t = 24 \cdot 3600 \text{ s}, \quad \rho = 1,29 \cdot \text{kg/m}^3, \quad \Delta V = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3, \quad \Delta t = 60 \text{ s} \text{ mánislerinen ekspoziciyalıq} \\ \text{dozanı esaplaymız: } D_e = 21,4 \text{ nC/kg}.$$

3.3. Awır zaryadlı bólekshelerdiń, zattaǵı sm^2 larda kórsetilgen ótiw jolı ótiwshi zatqa baylanıslı emesligin kórsetiń. Usı juwmaqtıń tásir etiw shegaraların kórsetiń.

Sheshimi: Awır zaryadlı bóleksheler zattan ótkende olar barlıq energiyasın tiykarǵı jutıwshı zat atomların ionizaciyalawǵa hám oyatıwǵa sarplaydı (ionizaciya joǵaltıwlar). Zaryadı Z_1 hám tezligi v bolǵan bóleksheniń ionizaciya joǵaltıwları tómendegige teń:

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

Bunda Z -jutıwshı zattıń atom sanı, $N - 1 \text{ sm}^3$ kólemdegi atomlar sanı, B -zattıń ionizaciya potencialına kúshsiz baylanısqań tormozlanıw koefficienti. Bul baylanıstı itibarǵa almaǵan halda, E_1 energiyalı bóleksheniń ótiwin tabamız:

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

Bunda N_a -Avogadro sanı, $f(E)$ bóleksheniń ózgesheliklerine baylanıslı hám jutıwshı zatqa baylanıslı bolmaǵan shama. Jeńil hám ortasha jutqıshlar ushın $Z/A = 1/2$ hám $R \cdot \rho = R(\frac{g}{\text{sm}^2})$. Demek, bunday jutıwshı zatlar ushın $R \cdot \rho$ kóbeytpe shama menen turaqlı shama.

3.4. Fotoimulciyadaǵı bóleksheler iziniń aqırı ne ushın keńeyiwin túsindiriń.

Sheshimi: İonizaciya arqalı joǵaltıw bólekshe tezligin kvadratına kerı proporcional baylanısqanı ushın, fotoimulsiyadaǵı qara daqlardıń tıǵızlıǵı ionizaciya arqalı joǵaltıwdıń ósiwi menen artıp baradı.

3.5. Kinetikalıq energiyası $0,2 \text{ MeV}$ bolǵan alfa bólekshe, proton hám elektronlardıń fotoimulsiyadaǵı qara izler tıǵızlıqların shama menen bahalań.

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

3.6. Energiyası 10 GeV bolǵan elektron hám proton ushın ionizaciyalıq joǵaltıwlar qatnasların bahalań. $\left(\left(\frac{dE}{dx} \right)_e : \left(\frac{dE}{dx} \right)_p \right) \cong 2$.

3.7. Preparat qalıńlıǵı asqanda da, kórsetilip atırǵan alfa nurlanıwlar intensivligi aspaytuǵın radiaktiv ^{238}Pu derek qalıńlıǵın anıqlań. β -bóleksheler energiyası $5,5 \text{ MeV}$. $(R = 3,3 \text{ mg} / \text{sm}^2)$.

3.8. Elektron hám protondı radiaciya arqalı joǵaltıwlar qatnasın bahalań.
 $(W_e : W_p = a_e^2 : a_p^2 \cong m_e^2 : m_p^2 = 3 \cdot 10^5,$

3.9. Hawada ótiw jolı 6 m bolǵan elektronlar aǵımınan qorǵanıw ushın alyuminiyden tayarlangan ekran qalıńlıǵın anıqlań. $(R = 3 \text{ mm})$.

3.10. Energiyası 1 MeV bolǵan gamma-kvantlar aǵımın 1000 márte kemeytiwshi tómendegi jutıwshı zatlardıń qalıńlıǵın tabıń:

1) qorǵasın, 2) grafit. Energiyası 1 MeV gamma-kvanttı qorǵasında aǵım kemeyiwiniń effektiv kesimi 24 barn .

$$(\text{Qorǵasın } x(\text{Pb}) = 8,5 \text{ sm}, \text{ grafit } x(^{12}\text{C}) = x(\text{Pb}) \frac{\sigma(\text{Pb}) \cdot N(\text{Pb})}{\sigma(\text{C}) \cdot N(\text{C})} = 40 \text{ sm}).$$

3.11. Erkin elektronda fotoeffekt bola almaslıǵın kórsetiń.

Sheshimi: Bunday proces ushın impuls hám energiyanıń saqlanıw nızamı tómendegishe jazıladı:

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

Bul teńlemelerden β ushın teńleme dúzemiz:

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

Bul teńlemenі eki $\beta_1 = 1$ hám $\beta_2 = 0$ túbiri bar. Eki sheshimniń de mániske iye emesliginen erkin elektron fotondı juta almawı kelip shıǵadı.

3.12. Vakuumda gamma-kvant elektron pozitron juplıǵına aylanıwın sıpatlań.

Sheshimi: İnerciya orayı sanaq sistemasında elektron pozitron juplıǵınıń tolıq impulsı nolge teń. Biraq gamma-kvanttıń hár qanday sanaq sistemasındaǵı impulsı nolge teń emes. Sonıń ushın impulstıń saqlanıw nızamı buzıladı hám vakuumda gamma-kvant elektron-pozitron juplıǵına aylanbaydı.

3.13. Elektron-pozitron juplıǵı annigilyaciya procesinde payda bolǵan gamma-kvantlardıń sanı keminde ekew bolıwın kórsetiń.

Sheshimi: İnerciya orayı sanaq sistemasında elektron-pozitron juplıǵınıń tolıq impulsı nolge teń. Impulstıń saqlanıw nızamı orınlanıw ushın, payda bolǵan gamma-kvantlar tolıq impulsı nolge teń bolıwı kerek. Bul shárt, álbette, eki gamma-kvant payda bolǵanda orınlanadı.

3.13. ^{60}Co yadrosınıń ıdırawında yadronıń oyangan jaǵdayına ótiw energiyaları 1,17 hám 1,33 MeV bolǵan gamma-kvantlardı izbe-iz nurlanıwı menen júz beredi. Gamma-kvantlar aǵımı 10 sm qalıńlıqtaǵı qorǵasınnan ótkennen keyingi intensivlikleriniń qatnasın anıqlań. Gamma-kvantlardı jutılıw effektiv kesimleri say túrde 21,5 hám 18 barn.

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

3.14. Energiyası 0,5 MeV gamma-kvanttıń sızıqlı jutılıw koefficienti qorǵasında $1,65\text{sm}^{-1}$, alyuminiyde $0,223\text{sm}^{-1}$ bolsa, qorǵasında fotoelektrlik jutılıwdıń effektiv kesimin tabıń.

$$(\sigma_{\text{foto}}^{(82)} = 25,5 \text{ barn}).$$

3.15. Energiyası 5 MeV bolǵan gamma-kvantlar intensivligi kemeyiwiniń effektiv kesimi, mısta 3,3 hám qorǵasında 14,8 barn. Fotojutılıw effektiv kesimin esapqa almaǵan halda, qorǵasın ushın elektron-pozitron jubın payda bolıwınıń effektiv kesimin tabıń.

$$(\sigma_{\text{jup}}^{(82)} = 7,5 \text{ barn}).$$

3.16. Energiyası 1 MeV bolǵan gamma-kvantlar 10 cm qalıńlıqtaǵı alyuminiyden ótkende onıń intensivliginiń 5 márte kemeyiwi, tiykarınan kompton effekt sebepli boladı. gamma-kvant intensivliginiń kemeyiwi 10 cm qorǵasınnan ótkende 3000

márte bolsa, olardıń qorǵasındaǵı fotojutılıw kesimin tabıń.
 $(\sigma_{komp}(P\theta) = \sigma - \sigma_{komp}(P\theta) = 6,3 \text{ barn})$.

3.17. Aktivligi 50 mKyuri bolǵan ^{60}Co dereginen nurlanǵan nurlanıwlar dozasin rentgenlerde esaplań. Derekke shekem bolǵan aralıq 40 sm, ekspoziciya waqtı bolsa 6 saatqa teń. Eger derektiń dozası ruxsat etilgen dozadan joqarı (háptede 1 mber den úlken) bolsa, qorǵasın qorǵanıw ekranınıń qalıńlıǵın anıqlań. ^{60}Co turaqlısı

$$I_{\gamma} = 13,2 \frac{\text{rentgen} \cdot \text{sm}^2}{\text{MKu} \cdot \text{saat}} \text{ ge teń.}$$

Kobalt-60 derektiń qorǵasındaǵı jutılıw koefficienti bolsa 1 sm^{-1} . (7,5 sm den kem emes).

3.18. Energiyası $E_p = 10 \text{ MeV}$ bolǵan protonnıń hawada sızıqlı ótiwi anıqlansın.
 $(R_p = R_{\alpha} = 114 \text{ sm})$.

3.19. Energiyası $E_{\alpha} = 5 \text{ MeV}$ bolǵan α -bóleksheniń berilliydegi
 $(A = 9, \rho = 1800 \text{ kg} / \text{m}^3)$ massalıq hám sızıqlı ótiwi tabılsın.

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

3.20. Kinetikalıq energiyası 2 MeV ǵa teń bolǵan elektronlardı tolıq jutıwshı alyuminiydiń minimal qalıńlıǵı tabılsın.

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

IV-BAP. YADROLIQ REAKCIYALAR

Tiykargı nızamlıqlar formulaları hám metodikalıq kórsetpeler

Yadro reakciyalarınıń eń kóp tarqalğan túrine jeńil α -bólekshe menen A yadro óz-ara tásirlesiw nátiyjesinde jeńil β bólekshe hám B yadro payda bolıw procesi mısál boladı:

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

yamasa qısqasha $A(a, \epsilon)B$.

Usı teńlemeдеgi a hám β - bólekshe sıpatında neytron (n), proton (p), α -bólekshe (α), deyton (d) hám γ -kvantlardı (γ) alıw múmkin.

Hámme yadro reakciyalarında tómendegi saqlanıw nızamları orınlanadı:

- a) massa (yamasa energiya) nı saqlaw nızamı;
- b) elektr hám barion zaryad (massa sanı) saqlanıw nızamı;
- g) impulsti saqlaw nızamı;
- d) spindi saqlaw nızamı.

Reakciya energiyası Q háribi menen belgilenedi hám $E_{0,1} - E_{0,2}$ ayırmağa san jaǵınan teń, yaǵnıy:

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

Bunda $E_{0,1} - E_{0,2}$ -bólekshelerdiń tınıshlıqtaǵı energiyası, T_1 hám T_2 bolsa kinetikalıq energiyası. Bul shamalardı $A(a, \epsilon)B$ reakciya ushın tómendegishe jazıwımız múmkin.

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

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

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

$$T_2 = T_B + T_\epsilon \quad (4.6)$$

Eger $Q > 0$ bolsa, yadro reakciyasında energiya ajıraladı hám ekzoenergetikalıq reakciya delinedi.

Eger $Q < 0$ bolsa, yadro reakciyasında energiya jutıladı hám endoenergetikalıq reakciya delinedi.

Máseleler sheshiwde tómendegi formuladan paydalanıw qolay:

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

bunda $\sum M_i$ -yadro reakciyasına kirisiwshi bólekshelerdiń massalarınń jıyındısı;

$\sum M_K$ -payda bolǵan bólekshelerdiń massalarınń jıyındısı.

Endoenergetikalıq reakciyalarınń baslanǵısh energiya:

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

bunda m_a hám M_A -ushıp kiyatırǵan α bólekshe hám nıshan yadro massaları, $|Q|$ - reakciya energiyanıń absolyut mánisi. γ -kvantlar tásirinde júz beretuǵın, yaǵnıy fotoyadro reakciyalar ushın $E_{bas} = |Q|$ boladı.

Yadro reakciyaları boyınsha másele sheshkende joqarıda atap ótilgen saqlanıw nızamlarınan paydalanıladı. Elektr zaryadın hám barion zaryadın (massa sanı A nıń) saqlanıw nızamları reakciyaǵa qatnasıwshılardan (yamasa olardıń ónimlerinen) birewi belgisiz bolǵan jaǵdayda reakciya teńlemesin tuwrı jazıwǵa járdem beredi. Energiya impulsınıń saqlanıw nızamları bolsa, reakciya ónimleriniń kinetikalıq energiyların hám olardıń ushıw baǵdarların anıqlawǵa járdem beredi.

Bombardirovka qılıwshı bólekshe menen nıshan yadronıń soqlıǵısıw procesinde bóleksheniń yadro tárepinen jutılıwı, elastik emes soqlıǵısıw dep qaraladı.

Yadro reakciyası ushın jazılǵan energiyanıń saqlanıw nızamında, tolıq energiya dep, relyativistlik energiyanı túsiniledi, yaǵnıy, $E = mc^2$ energiya, bólekshelerdiń tınıshlıqtaǵı $m_0 c^2$ energiyları hám olardıń T kinetikalıq energiylarınıń jıyındısına teń:

Saqlanıw nızamına tiykarlanıp tolıq relyativistlik energiya:

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

bunda $\sum m_0 c^2$ -reakciyaǵa kirgen bólekshelerdiń tınıshlıqtaǵı energiylarınıń jıyındısı.

ΣT -olardıń kinetikalıq energiyalarınń jıyındısı. Oń tárepte bolsa reakciyadan keyingi bólekshelerge tiyisli shamalar kórsetilgen. Yadro reakciyalarındaǵı (4.7) teńleme menen anıqlanıwshı Q reakciya energiyasınıń shaması 10 MeV tártibinde boladı. Eń jeńil bóleksheshe ${}^1\text{H}$ (yaǵnıy proton) tınıshlıqtaǵı energiyası bolsa 938 MeV qa teń. Bundabóleksheler hám yadrolar tezligin esaplaǵanda, olardı tómendegi eki jaǵdayda norelyativistlik dep esaplaw múmkin:

1) eger usı bóleksheler, áste háreketleniwshı bóleksheler soqlıǵısıwı nátiyjesinde júz bergen yadro reakciyasınıń ónimi bolsa,

2) eger sóz yadro reakciyalarınń baslanǵısh energiyasın esaplaw tuwralı baratırǵan bolsa.

Yadro reakciyası energiyasınıń mánisi, jeńil bóleksheler, elektron hám pozitronlardıń tınıshlıqtaǵı energiyası ($0,511 \text{ MeV}$) nan úlken. Sonıń ushın, reakciya óniminiń tezligi yamasa impulslardı tabıwda tómendegi relyativistlik formulalardan paydalanıw zárúr:

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

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

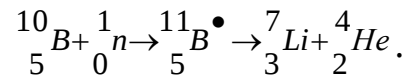
bunda p -bóleksheshe impulsı, m_0 -bóleksheniń tınıshlıqtaǵı massası, T -bóleksheniń kinetikalıq energiyası. $\beta = \mathcal{G} / c$, v - bóleksheniń tezligi, c -jaqtılıqtıń vakuumdıǵı tarqalıw tezligi.

Máselelerdi sheshiw úlgileri hám óz betinshe orınlaw ushın mısallar

4.1. Tınısh turǵan bor yadrosı menen neytronlardıń óz-ara tásiiri nátiyjesinde júz beretuǵın tómendegi yadro ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ reakciyasınıń Q energiyası anıqlansın.

Sheshimi: ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ yadro reakciyası tómendegi mexanizm boyınsha júz beredi. Bor ${}^{10}_5\text{B}$ yadrosı áste ${}_0^1n$ neytronlardı jutadı (yaǵnıy ózine qosıp aladı) hám aralıq ${}^{11}_5\text{B}$ yadroǵa aylanadı. Usı yadro kúshli qozǵalǵan jaǵdayda bolǵanı ushın,

ózinen α -bólekshe (${}^4_2\text{He}$) shıǵaradı hám litiy ${}^7\text{Li}$ yadrosına aylanadı. Usı reakciya procesin jayıp jazsaq,



Reakciya energiyası Q di (4.7) formula járdeminde tabamız:

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

Yadrolardıń tınıshlıqtaǵı massaların, usı yadro atomlarınıń tınıshlıqtaǵı massalarına almastıramız hám kesteden alınǵan atom massaların aqırǵı formulaǵa qoyamız:

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

Reakciya ónimleri bolǵan litiy ${}^7\text{Li}$ hám α -bólekshelerdiń kinetikalıq energiyasın tabıw ushın (4.11) formada jazılǵan relyativistlik energiyanıń saqlanıw nızamın (4.7) esapqa alǵan halda jazamız:

$$\sum T + Q = \sum T^1 \quad (1)$$

Másele shártine qarap $\sum T$ shamanı esapqa almasa da boladı. Ol jaǵdayda ${}^7\text{Li}$ hám ${}^4\text{He}$ bóleksheler kinetikalıq energiyalardıń jıyındısı:

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

T_{Li} hám T_{He} belgisizlerdi baylanıstırıwshı ekinshi bir teńlemenı dúziw ushın impulstıń saqlanıw nızamın qollanamız. Bólekshelerdiń impulslarınıń jıyındısı, reakciyaǵa shekem nolge teń desek, ol jaǵdayda reakciyadan keyin de ol nolge teń boladı.

$$\vec{P}_{\text{Li}} + \vec{P}_{\text{He}} = 0 \quad (3)$$

Bunnan impuls modulleri ushın:

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

Bólekshelerdiń impulsları teńlemelerinen olardıń kinetikalıq energiyasınıń teńlemelerine ótemiz.

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

(4) hám (5) ten

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

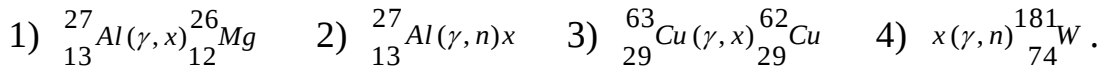
nı payda etemiz. (2) hám (6) teńlemelerdi birgelikte sheship,

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

teńlemelerin alamız hám m_{He} hám m_{Li} yadro massalarınń mánisi pútin sanǵa salıstırıp tómendegilerdi tabamız:

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

4.2. Fotonlar júzege kelgen tómendegi yadro reakciyalarda belgisizler ornın toltırıp jazıń:



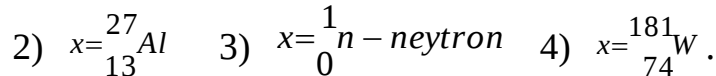
Sheshimi: Usı másele barion zaryadın (massa sanı A) hám elektr zaryadın (Z) saqlanıw nızamları járdeminde sheshiledi.



Massa sanın (A) saqlanıw nızamın jazamız: $27 = 26 + x$, yamasa $x = 1$.

Elektr zaryadın (z) saqlanıw nızamın jazamız: $13 + 0 = 12 + x$, yamasa $x = 1$,

demek $x = {}_1^1\text{H}$. Basqaları da usıǵan uqsas sheshiledi.



4.3. ${}^{208}\text{Pb}$ yadrosınıń tómengi qáddileri sızilmasına qarap 5-qozǵalǵan jaǵdayınıń eń úlken itimallıq penen ıdıraw jolın kórsetiń. O'tiw multipoli tabılsın.

Sheshimi: Energetikalıq qáddiler: tiykarǵı jaǵday ushın tolıq moment $J = 0$, juplıq $\pi = +1$, ekinshi qáddi ushın $J = 3$, juplıq $\pi = -1$ hám úshinshi qáddi ushın $J = 5$, juplıq $\pi = -1$. $J^\pi = 5^-$ qáddiden tómengi qáddilerge ótiwde juplıqtıń saqlanıw nızamı orınlanıwı kerek. Energiya jaǵınan $5 \rightarrow 0^+$ ótiw shegaralanbaǵan, bunda $L = 5 - 0 = 5$ nurlanıwdıń tolıq momenti, sol sıyaqlı $5^- \rightarrow 3^-$ ótiw de bar bolıp, $L = 5 - 3 = 2$.

Elektr multipol ótiw ushın juplıq ózgeriwi $(-1)^L$ ǵa teń, magnit multipol ótiw ushın bolsa $(-1)^{L+1}$ ge teń. $5^- \rightarrow 0^+$ jaǵday ushın $E5$ multipol ótiw orınlı, $5^- \rightarrow 3^-$ jaǵday ushın $E2$ multipol ótiw orınlı. Biraq EL -multipol ótiwdiń itimallıǵı $\left(\frac{R}{\lambda}\right)^{2L}$ ge

proporcional, bunda $\lambda = \frac{\hbar c}{E_\gamma}$, R -yadro radiusı, E_γ -nurlanıw energiyası. Yadroda

nurlanıwshı kvantlardıń energiyası bir neshe million elektronvolt boladı, yaǵnıy $\lambda > R$. Sonıń ushın multipollıq (L) qansha úlken bolsa, ótiw itimallıǵı sonsha kishi boladı. Bunnan 5^- jaǵdayda 0^+ jaǵdayǵa ótiw izbe-iz túrde boladı, yaǵnıy $E2 (5^- \rightarrow 3^-)$ hám $E3 (3^- \rightarrow 0^+)$.

4.4. ^{30}Si yadrosınıń qáddiler sıızılması boyınsha 0^+ qozǵalǵan jaǵdayınıń eń úlken itimallıq penen ıdıraw jolın tabıń hám ótiw multipollıǵın kórsetiń. (Idırawdıń $0^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$ ótiw itimallıǵı $(0^+ \rightarrow 1^+)$, al $0^+ \rightarrow 1^+ \rightarrow 0^+$ ótiw itimallıǵı $(0^+ \rightarrow 2^+)$).

4.5. M -massalı yadronıń $\hbar\omega$ -energiyalı γ -kvanttı jutıwı nátiyjesinde alǵan qozǵalıw energiyasın tabıń.

Sheshimi: Energiya hám impulstıń saqlanıw nızamına qarap

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

bunda E_{ya} -yadronıń tepki energiyası, $E^\bullet$ -qozǵalıw energiyası.

$$E_{ya} = \frac{p^2}{2M} = \frac{(\hbar\omega)^2}{2Mc^2}, \quad E^\bullet = \hbar\omega(1 - \frac{\hbar\omega}{2Mc^2}).$$

4.6. Jıllılıq neytronları dástesi boslıqta 10 m aralıqtı ótkende dásteniń intensivligi qanshaǵa ózgeredi.

Sheshimi: Jıllılıq neytronlarınıń kinetikalıq energiyası $E = (\frac{3}{2})kT$ ǵa hám

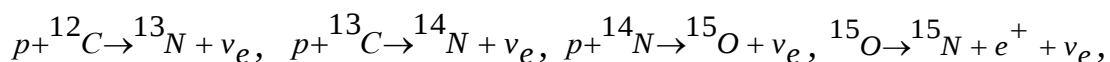
ortasha tezligi $v \approx 2,2 \cdot 10^5 \text{ sm/s}$ qa teń hám $l = 10 \text{ m}$ aralıqtı ótiw waqtı $t = \frac{l}{v}$,

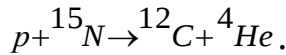
bul waqıt ishinde ıdıraǵan neytronlar sanı bolsa $N_0 - N(t)$, yamasa olardıń salıstırmalı ózgeriwine teń,

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

demek, bul aralıqta neytronlar intensivligi derlik ózgermeydi.

4.7. Beta-ıdıraw ciklında ajıralıp shıqqan energiyanı esaplań.





Sheshimi: Reaksiya teńlemeleriniń shep hám onń táreplerin óz aldına qosıp shıǵıp, ulıwma nátiyje sıpatında $4p \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 5\nu_e$ ni tabamız. Energetikalıq shıǵıw $Q = 4m_p - m_\alpha - 2m_e = 26,8 \text{ MeV}$.

4.8. Neytronlardı proton tárepinen qamtıp alınıwı kesiminiń, neytrondı fotoıdıraw kesimine qatnasın tabıń.

Sheshimi: Reaksiyalar ushın tolıq teńsalmaqlıq principine tiykarlanıp, $n + p \rightarrow d + \gamma$ tuwrı hám $\gamma + d \rightarrow n + p$ keri reaksiya kesimleri qatnası tómendegishe

$$\text{anıqlanadı: } \frac{\sigma_{tuwrı \rightarrow \gamma d}}{\sigma_{keri \rightarrow np}} = \frac{P_\gamma^2 (2S_\gamma + 1)(2S_d + 1)}{P_n^2 (2S_n + 1)(2S_p + 1)}$$

bunda P_γ, P_n -impulslar, S_γ, S_d, S_n, S_p -reakciyada qatnasıp atırǵan

$$\text{bólekshelerdiń spinleri: } P_\gamma^2 = \left(\frac{\hbar\omega}{c}\right)^2, \quad P_n^2 = 2m_n E_n.$$

Onda $\hbar\omega + M({}^2\text{H}) = m_n + M({}^1\text{H}) + E_n$, yamasa

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

$$\frac{\sigma_{tuwrı \rightarrow \gamma d}}{\sigma_{keri \rightarrow np}} = \frac{3 (E_n + bay)^2}{2 \cdot 2m_n c^2 E_n}$$

4.9. ${}^{16}\text{O}$ yadrosınıń tómengi qozǵan halınan ($J^\pi = 0^+, E = 6,1 \text{ MeV}$) tiykarǵı halına radiaciyalıq ótiw múmkinbe?

Sheshimi: I_1 spinli jaǵdayda I_2 spinli jaǵdayǵa ótiwde, nurlanıw alıp ketetuǵın moment L tómendegi tańlaw qatnasın qanaatlandırıw kerek.

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

Biziń jaǵdayda $I_1 = I_2 = 0, L = 0$. Demek γ -kvant nurlanbaydı, sebebi onıń momentiniń eń kishi mánisi $L = 1$ ge teń.

4.10. Berilgen reaksiya ushın, ${}^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}\text{O} + p$, tómendegi eki jaǵday ushın baslanǵısh energiyasın esaplań:

1) ushıp kiyatırǵan bólekshe, alfa-bólekshe;

2) ushıp kiyatırǵan bólekshe, ${}^{14}\text{N}$ yadrosı.

Reaksiyanıń energiyası $Q = 1,18 \text{ MeV}$. Alınǵan nátiyjelerdi túsindirıń.

Sheshimi: Reaksiyanıń baslanǵısh energiyasın esaplaymız:

- 1) $T_{bas} = 1,18(1 + 4/14) = 1,52 MeV,$
- 2) $E_{bas} = 1,18(1 + 14/4) = 5,31 MeV.$

Birinshi jaǵdayda inerciya orayınıń háreketi júdá “tómen” $(4/14)Q$, ekinshi jaǵdayda bolsa $(14/4)Q$, solay etip, reakciyanıń baslanǵısh energiyası ekinshi jaǵdayda 3,5 ese úlken.

4.11. Litiy yadrosı 7Li neytrondı jutadı hám gamma-kvant shıǵaradı. Gamma-kvant energiyası nege teń?

Sheshimi: ${}^7Li(n, \gamma){}^8Li$ reakciya júz beredi. $Q = 2,034 MeV.$

Málim bolǵanıday, $|P_{ya}| = |P_{\gamma}|:$ $P_{\gamma} = E_{\gamma}/c:$ $P_{ya} = (2M_{ya} \cdot E_{ya})^{1/2}$

hám $E_{ya} + E_{\gamma} = Q,$

bunda P_{ya}, P_{γ} -yadro hám γ -kvantlardıń impulsı, E_{ya}, E_{γ} -yadro hám γ -kvant energiyası, ol jaǵdayda,

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

Gamma-kvant energiyası $E_{\gamma} = Q - E_{YA} \cong Q = 2,034 MeV.$

4.12. Baslanǵısh energiyasına iye bolǵan neytronlarda bolatuǵın ${}^{12}C(n, \alpha){}^9Be$ reakciyada payda bolǵan 9Be yadrosınıń laboratoriya sistemasındaǵı kinetikalıq energiyasın anıqlań.

Sheshimi: Λ -sistemasında (laboratoriya sisteması) 9Be impulsı $\vec{P}_{Be}$ M -sistemasındaǵı (inerciya orayı sisteması) inerciya orayınıń kóshiwi menen baylanıslı bolǵan impulsqa teń.

$$\vec{P}_{Be} = \vec{P}_{Be}^{kosh}$$

M -sistemasında 9Be impulsı neytron impulsı menen tómendegishe baylanısqa:

$$\vec{P}_{Be} = \frac{m_{Be}}{m_{\alpha} + m_{Be}} \vec{P}_n$$

Aqırǵı teńlemede impulsı, energiya arqalı kórsetemiz hám neytron energiyasınıń baslanǵısh energiyası arqalı jazamız.

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

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

bolıwın esapqa alıp, tómendegini alamız:

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

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

4.13. Tábiyǵıy bor nıshanǵa alıńanda, yarım ıdıraw dáwiri 20,4 min hám 0,024 sek bolǵan izotoplar payda bolǵanı baqlanǵan. Qanday izotoplar payda bolǵan? Qanday reakciyalar bul izotoplardıń payda bolıwına alıp kelgen?

Sheshimi: Yarım ıdıraw dáwirleri 20,4 min hám ^{11}C hám ^{12}Be yadrolarına say keledi. Olar bir qıylı bóleksheler tásirinde payda bolıwı ushın, bul bóleksheler tritiy yamasa alfa-bóleksheler bolıwı múmkin.

$$^{11}B(t,2p)^{12}Be, \quad ^{11}B(t,3n)^{11}C, \quad ^{11}B(t,2n)^{12}C,$$

$$\text{yamasa} \quad ^{11}B(\alpha,2p)^{12}Be, \quad ^{11}B(\alpha,t)^{11}C.$$

$$0,024 \text{ sek } ^{11}C$$

$$^{12}Be \quad ^{11}B(t,2p)^{12}Be, \quad ^{11}B(t,3n)^{11}C, \quad ^{11}B(t,2n)^{12}C, \quad ^{11}B(\alpha,2p)^{12}Be, \quad ^{11}B(\alpha,t)^{11}C$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{t \cdot \ln 2}{\ln(A_0 / A_1)} = \frac{40 \cdot \ln 2}{\ln(100 / 25)} = 20 \text{ min}$$

$$T_C = \frac{4\kappa T_{\alpha}}{(1+\kappa)^2} \cos^2 \theta_C k = m_{\alpha} / m_C \theta_C \quad ^{12}C \theta = 180^\circ \quad T_C = \frac{4 \cdot (4/12) 10}{(1 + (4/12))^2} = 7,5 MeV \quad T_p = 5 MeV$$

4.14. Tábiyǵıy bor protonlar menen nıshanǵa alıńan. Nıshanǵa alıw toqtaǵannan soń detektor 100 Bk aktivlikti anıqlaǵan. 40 min waqıt ótkennen keyin aktivlik 25 Bk ǵa túsken. Aktivlik deregi qanday? Qanday yadro reakciyası júz bergen?

Sheshimi: Aktivlik waqıt boyınsha tómendegi nızam boyınsha ózgeredi:

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

Yarım ıdıraw dáwiriniń formulası:

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

Bunday ıdıraw dáwirine ^{11}C izotopı iye. Bul izotop tómendegi reakciyada payda bolǵan: $^{11}\text{B}(p, n)^{11}\text{C}$.

4.15. Energiyası $T = 10 \text{ MeV}$ α -bólekshe ^{12}C yadro menen júzbe-júz elastiklik soqlıǵısadı. Soqlıǵısqannan keyin ^{12}C yadronıń laboratoriya sistemasında kinetikalıq energiyasın anıqlań.

Sheshimi: Elastiklik soqlıǵısıw júz bergende tepki yadronıń kinetikalıq energiyasına teń boladı:

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

bunda $\kappa = m_\alpha / m_C$, θ_C -tepki yadro ^{12}C shashılıw múyeshi. Másele shártine qarap $\theta = 180^\circ$. Tepki yadro kinetikalıq energiyasın tabamız.

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

4.16. Energiyası $T_p = 5 \text{ MeV}$ protonlar tásirinde $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$ reakciyada payda bolǵan ^7Be yadrolarınıń maksimal hám minimal energiyaların anıqlań. ($Q = -1,65 \text{ MeV}$)

Sheshimi: Tómendegi formuladan paydalanamız:

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

bunda koren astındaǵı teńleme teris bolmaslıǵı ushın,

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

shárt orınlanıwı kerek hám:

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

Koren astındaǵı teńleme teris bolmaydı, egerde $\cos \theta = 0,614$ bolsa, ^7Be yadrosınıń ushıp shıǵıw maksimal múyeshi 52°S boladı. Sol múyesh astında ushıp shıqqan ^7Be yadronıń kinetikalıq energiyası:

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

Ushiq shıǵıw múyeshleri 0^0 hám 52^0 arasında ${}^7\text{Be}$ yadrosınıń kinetikalıq energiyası eki mánisti qabıl etedi. Birewi koren aldındaǵı belgi «+» hám ekinshisi «-». Kinetikalıq energiyanıń maksimal hám minimal energiyaları 0^0 múyeshte boladı.

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

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

San mánislerin qoyıp,

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

Yadro ${}^7\text{Be}$ maksimal kinetikalıq energiya menen ushıp shıqqanda neytronnıń ushıp shıǵıw múyeshi 180^0C boladı. Minimal energiyaǵa iye bolǵanda, neytronnıń ushıp shıǵıw múyeshi 0^0C boladı.

4.17. α -bóleksheler serpimli emes shashılıwda ${}^{12}\text{C}$ yadrosınıń $4,44 \text{ MeV}$ energiyalı jaǵdaydı qozǵaltadı hám 30^0C múyesh astında ushıp shıǵadı hám olardıń energiyası, tap sol yadrodan 45^0S múyesh astında serpimli shashılǵan α -bóleksheler energiyasına teń. Nıshan yadroǵa túsip atırǵan α - bóleksheler energiyasın anıqlań.

Sheshimi: Serpimli shashılıwda α -bóleksheler kinetikalıq energiyası tómendegi formuladan tabıladı:

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

elastik emes shashılıw bolsa:

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

Joqarıdaǵı teńlemelerdi teńlestirip:

$$\cos \Theta_{\text{serp}} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{serp}} + \frac{m_C^2 - m_{\alpha}^2}{M_{\alpha}^2}} =$$

$$= \cos \Theta_{\text{sewrp.emes}} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{\text{sewrp.emes}} + \frac{m_C^2 - m_{\alpha}^2}{m_{\alpha}^2} + \frac{(m_C + m_{\alpha}) m_C Q}{m_{\alpha}^2 T_{\alpha}}}$$

$$\left(\cos \Theta_{serp} - \cos \Theta_{serp.emes} \pm \sqrt{\cos^2 \Theta_{serp} + \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2}} \right) - \cos^2 \Theta_{serp} - \frac{m_C^2 - m_\alpha^2}{m_\alpha^2} =$$

$$= \frac{(m_C + m_\alpha)m_C Q}{m_\alpha^2 T_\alpha}$$

$$T_\alpha = \frac{\frac{(12+4) \cdot 12}{4^2} (-4,44)}{\left(\cos 45^0 - \cos 30^0 + \sqrt{\cos^2 45^0 + \frac{12^2 - 4^2}{4^2}} \right) - \cos^2 45^0 - \frac{12^2 - 4^2}{4^2}} = 5,9 \text{ MeV}.$$

4.18. Energiyası $T = 5 \text{ MeV}$ bolǵan α - bóleksheler tınısh jaǵdaydaǵı ${}^7\text{Li}$ yadrosı menen soqlıǵıadı. Reakciya ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$ nátiyjesinde payda bolǵan neytron hám ${}^{10}\text{B}$ bordı inerciya orayı sanaq sistemasındaǵı impulsardı anıqlań.

Sheshimi: Reakciya energiyasın esaplaymız:

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

neytron hám bordı ${}^{10}\text{B}$ inerciya orayı sanaq sistemasındaǵı kinetikalıq energiyasın esaplaw ushın tómendegi formuladan paydalanamız:

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

Inerciya orayı sanaq sistemasındaǵı impulsardı esaplaymız.

$$p'_B = p'_n = \sqrt{2M_n T'_n} = \frac{1}{c} \sqrt{2M_n c^2 \frac{M_B}{M_n + M_B} \left(\frac{M_{Li} T_\alpha}{M_\alpha + M_{Li}} + Q \right)} \cong$$

$$\cong \frac{1}{c} \sqrt{2 \cdot 939,57 \frac{10}{1+10} \cdot \left(\frac{7}{4+7} 5 - 2,79 \right)} = 45 \frac{\text{MeV}}{s}$$

4.19. Kinetikalıq energiyası $T_a = 5 \text{ MeV}$ bolǵan proton vodorod atomı yadrosı menen soqlıǵısıp, onnan serpinli shashıladı. Tepki yadro energiyasın T_B hám tepki yadro shashılıw múyeshi θ_B nı tabıń. Proton shashılıw múyeshi $\theta_B = 30^0$.

Sheshimi: Serpinli shashılıw ushın $T_a = T_b + T_B$, bunda T_a, T_b, T_B - Λ -sistemasında ushıp kiyatırǵan protonnıń, shashılǵan protonnıń hám shashılǵannan keyingi vodorod yadrosınıń kinetikalıq energiyaları.

Tómendegi teńlemeler orınlı:

$$T_b = T_a \cos^2 \Theta_b$$

$$T_B = T_a \cos^2 \Theta_B$$

nátiyjede tómendegini alamız,

$$T_B = T_a - T_a \cos^2 \Theta_b = T_a \sin^2 \Theta_b = 5 \sin^2 30^\circ = 1,25 \text{ MeV}.$$

$$\Theta_B = \arccos(\sin \Theta_b) = 60^\circ.$$

4.20. Neytrondı alıwda $t(d,n)\alpha$ reakciyadan keń paydalanıladı. Energiyası $T_d = 0,2 \text{ MeV}$ deytronlardan paydalanılğan jaǵdayda, neytron generatordan 90° múyesh astında shıǵıp atırǵan neytronlardıń energiyasın anıqlań.

Sheshimi: Reakciya energiyasın tabamız:

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

4.44-máseledegi teńlemeden paydalanıp tómendegini tabamız:

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

4.21. Neytronlardı alıwda ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reakciyadan paydalanıladı. Proton energiyası $T_p = 5 \text{ MeV}$. Eksperiment ótkiziw ushın energiyası $T_n = 1,75 \text{ MeV}$ neytronlar kerek. Protonlar aǵımına qaraǵanda qanday múyesh astında sonday energiyalı neytronlar shıǵadı? Nishannan 10 sm aralıqta jaylasqan, ólshemi 1 sm kollimatorda neytronlar aǵımı ajratılса, energiya boyınsha shetletiwler qanday boladı?

Sheshimi: Reakciya energiyasın esaplaymız:

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

Tómendegi teńlemeden paydalanıp, alamız:

$$\begin{aligned} \Theta_n &= \arccos \left(\frac{T_n(m_n + m_{Be}) - T_p(m_{Be} - m_p) - Q m_{Be}}{2 \sqrt{m_n m_p T_n T_p}} \right) = \\ &= \arccos \left(\frac{1,75(1 + 7) - 5(7 - 1) + 7 \cdot 1,643}{2 \sqrt{1 \cdot 1 \cdot 1,75 \cdot 5}} \right) \cong 139,5^\circ \end{aligned}$$

Kollimator menen qamtıp alınğan múyeshler aralıǵı:

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

4.20-máseledegi teńlemeden paydalanıp, tabamız:

$$T_n^{\min} \cong 1,73 \text{ MeV}, \quad T_n^{\max} \cong 1,77 \text{ MeV}, \quad \Delta T = T_n^{\max} - T_n^{\min} \cong 40 \text{ keV}.$$

4.22. Túsip atırǵan alfa-bóleksheniń orbital momenti I_a nol bolsa,

${}^{27}\text{Al}(\alpha, t){}^{28}\text{Si}$ reakciyada payda bolǵan tritiydiń orbital momenti I_t nı anıqlań.

Sheshimi: Reakciya teńlemesin jazamız: $\alpha + {}^{27}_{Al} = t + {}^{28}_{Si}$. Bólekshelerdiń spinleri: $J^P : 0^+ \quad 5/2^+ \quad 1/2^+ \quad 0^+$. Kiriw kanalında bóleksheler háreket muǵdarınıń momentleriniń jıyındısı:

$$\vec{J}_i = \vec{s}_\alpha + \vec{J}_{Al} + \vec{l}_\alpha = 5/2$$

Háreket muǵdarı momentiniń saqlanıw nızamına tiykarlanıp:

$$\vec{J}_i = \vec{J}_J = \vec{s}_i + \vec{s}_{Si} + \vec{l}_i$$

Aqırǵı teńlemeden tabıladı:

$$l_i = \frac{5}{2} + \frac{1}{2} = 3 \quad yamasa \quad 2.$$

Kiriw hám shıǵıw kanallarındaǵı juplıq:

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

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

Juplıqtıń saqlanıw nızamına tiykarlanıp:

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

Demek, tritiydiń orbital momenti jup san bolıwı kerek.

$$l_t = 2.$$

4.23. Protonnıń orbital háreket muǵdarı momentleriniń qanday mánisleri ushın tómendegi reakciya júz beriwi múmkin? $p + {}^7_{Li} \rightarrow {}^8_{Be} \bullet \rightarrow \alpha + \alpha$?

Sheshimi: $p + {}^7_{Li} \rightarrow {}^8_{Be} \bullet \rightarrow \alpha + \alpha$ reakciyada qatnasıp atırǵan bólekshelerdiń spinlerin jazıp shıǵamız: $J^P : 1/2^+ \quad 3/2^- \quad 0^+ \quad 0^+$.

Reakciyadan keyingi, yaǵnıy aqırǵı jaǵdaydaǵı juplıq:

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

Eki bir qıylı bozondı (α – bolekshe) tolqın funkciyası álem sáwlelendirilgende ózgermeydi, yaǵnıy tolqın funkciyası bozonlardıń ornın almastırıwǵa qaraǵanda simmetriyalıq bolıwı kerek. Soǵan qarap, l_α -jup san. aqırǵı jaǵdayda sistemanıń tolıq momenti $J_f = l_\alpha$ hám say túrde tek jup sanlardı qabıl etedi. Demek, aralıq yadro

${}^8_{Be}$ eki alfa bólekshege ıdırawı ushın, onıń jaǵdayı oń juplıqqa hám spini jup mániske iye bolıwı kerek. Baslanǵısh jaǵdaydaǵı juplıq da oń bolıwı kerek.

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

Solay etip, juplıqtıń saqlanıw nızamınıń orınlanıwı ushın, ushıp kiyatırǵan protonnıń orbital momenti taq mánislerin kabıl etiwı kerek $l_p = 1,3$.

4.24. $d = 0,1mm$ bolǵan altın plastinka, intensivligi $N_0 = 10^3$ *bolekshe / sek* bolǵan alfa-bóleksheler aǵımı menen nurlandırılıp atır. α -bóleksheler kinetikalıq energiyası $T = 5 MeV$. 170° múyesh astında jaylastırılǵan detektorǵa birlik fazalıq múyeshte hám birlik waqıtta neshe α -bóleksheler túsip atır? Altınnıń tıǵızlıǵı $19,3 g / sm^3$.

Sheshimi: Birlik fazalıq múyeshke hám birlik energiya intervalında shashılıwdıń diferencial effektiv kesimi tómendegishe:

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

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

Elastiklik shashılıwdıń diferencial effektiv kesimi

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

Joqarıdaǵı úsh teńlemeden tabamız:

$$\frac{dN}{d\Omega} = N_0 N_A \frac{pd}{A_{Au}} \left(\frac{Zze^2}{4T} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \left(\frac{\Theta}{2} \right)} = 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{19,3 \cdot 0,01}{197} \left(\frac{2 \cdot 79 \cdot 1,44 \cdot 10^{-13}}{4 \cdot 5} \right)^2 = 0,77 \frac{bolekshe}{rad \cdot sek}.$$

4.25. Energiyası $T = 10 MeV$ bolǵan, kollimaciyalanǵan alfa-bóleksheler aǵımı perpendikulyar túrde, qalınlıǵı $1mg / sm^2$ bolǵan mıs folgaǵa túsip atır. Nıshannan $20 sm$ aralıqta jaylasqan, beti $1 sm^2$ detektorda, 30° múyeshke shashılǵan bóleksheler tolıq sanınan qanday bólegi kórsetilgen?

Sheshimi: Belgili fazalıq múyesh $\Delta\Omega$ ishine shashılǵan bóleksheler sanın tómendegi formula arqalı tabamız:

$$\Delta N = \frac{N_0 N_A}{A_{Cu}} \delta \frac{d\sigma}{d\Omega} \Delta\Omega, \text{ bunda } N_A - \text{Avogadro sanı, } \delta - \text{plastinka qalınlıǵı, } A - \text{mıs}$$

atomınıń massası. Elastiklik shashılıw diferencial effektiv kesimi ushın Rezerford formulasınan paydalanamız. Detektor beti S hám oǵan shekemgi aralıq 1 ge teń.

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

^{30}S múyesh astında shashılǵan bóleksheler bólegi:

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

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

4.26. Energiyası $T_p = 62 \text{ MeV}$ bolǵan protonlar menen $^{27}\text{Al}(p, d)^{26}\text{Al}$ reaksiya

úyrenilgende fazalıq múyeshi 90° múyesh astında kórsetilgen deytronlar spektrinde energiyaları $T_d = 45,3; 44,32; 40,91 \text{ MeV}$ tóbeleri baqlanǵan. Qalınlıǵı 5 mg/sm^2 bolǵan nışanǵa túsken protonlar ulıwma zaryadı $q = 2,19 \text{ mC}$ bolǵanda, tóbelerdegi esaplar sanı, say túrde 5180, 1100 hám 4570 ke teń bolǵan. Sol reaksiyada kórsetilgen ^{26}Al yadrosınıń qozǵalǵan jaǵdayındaǵı energiyaların anıqlań. Usı proceslerdiń diferencial kesimin esaplań.

Sheshimi: Yadronıń qozǵalǵan jaǵdaydaǵı energiyası tómendegi teńlemeden tabıladı: $E_y = Q_a - Q_y$, bunda Q_a, Q_y -tiykarǵı hám qozǵalǵan jaǵdayda payda bolǵan

yadrolardıń reaksiya energiyaları. Egerde, $^{27}\text{Al}(p, d)^{26}\text{Al}$ reaksiyada ^{26}Al tiykarǵı jaǵdayda payda bolsa, reaksiya energiyası atom massa defekti arqalı tabıladı.

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

Reaksiya energiyası tómendegi qatnas arqalı da esaplaw múmkin.

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

U'sh tóbeler ushın tómendegi mánislerdi alamız:

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

Solay etip, 1-tóbe ^{26}Al diń tiykarǵı halatına say keledi, 2-tóbe energiyası $1,05 \text{ MeV}$ bolǵan qozǵalǵan halatqa, 3-tóbe $4,72 \text{ MeV}$ qozǵalǵan jaǵdaylarǵa tuwrı keledi. Nışannıń bet birligindegi atomlar sanı:

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

Bólekshelerdiń tolıq sanı hám differential effektiv kesimleri:

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

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

4.27. Proton berilliy yadrosı menen soqlıgısqanda tómendegi yadro reakciya júz

beredi: ${}^9_4Be + p \rightarrow {}^6_3Li + \alpha$ (${}^9_4Be + {}^1_1He \rightarrow {}^6_3Li + {}^4_2He$). Reakciya energiyası tabılsın. ($\Delta E = 8,6 \text{ MeV}$).

4.28. Tómendegi fotoyadroliq reakciyalardıń baslanğısh energiyaları tabılsın:

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

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

4.29. Tómendegi reakciyanıń baslanğısh energiyası tabılsın: $n + {}^{12}_6C \rightarrow 3\alpha + n$. ($E_{bas} = 7,8 \text{ MeV}$).

4.30. Tómendegi reakciyanıń baslanğısh energiyası tabılsın: $\gamma + {}^{14}_6C \rightarrow {}^{12}_6C + n + n$. ($E_{bas}(\gamma, 2n) = 18,2 \text{ MeV}$).

4.31. Deyteriy hám tritiydiń termoyadroliq birigiw reakciyasında qansha energiya ajıraladı? (${}^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + n, Q = 17,6 \text{ MeV}$).

4.32. Berilgen reakciya ushın, ${}^{14}_6C + {}^4_2He \rightarrow {}^{17}_8O + x$, x -bóleksheniń tártip nomeri Z hám massa sanı A anıqlansın.

(${}_0^1x$ bólekshe, neytron).

4.33. $A + B \rightarrow 1 + 2 + 3 + \dots$ reakciyanıń baslanğısh energiyasın esaplań. Bunda B -bóleksheni laboratoriya sanaq sistemasında qozǵalmaydı dep qaralsın.

$$(E_{bas} = \frac{1}{2m_B} (\sum_i^N m_i + m_A + m_B) (\sum_i^N m_i - m_A - m_B)).$$

4.34. Tómendegi fotoyadroliq reakciyalar ushın baslanğısh energiyaların tabıń.

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

$$(E_{bas}(\gamma, p) = 15,96 \text{ MeV}, \quad E_{bas}(\gamma, n) = 18,72 \text{ MeV}).$$

4.35. $n + {}^{12}_6C \rightarrow 3\alpha + n$ reakciyanıń baslanğısh energiyasın tabıń.

$$(E_{bas} = 7,8 \text{ MeV}).$$

4.36. $\gamma + {}^{14}\text{C} \rightarrow {}^{12}\text{C} + n + n$ reaksiyanıń baslanǵısh energiyasın tabıń.

$$(E_{bas}(\gamma, 2n) = 18,2 \text{ MeV}).$$

4.37. ${}^{32}\text{S} + n \rightarrow {}^{32}\text{P} + p$ reaksiya ushın neytronnıń minimal kinetikalıq energiya mánisi tabılsın. Hasıl bolǵan yadronıń kinetikalıq energiyasın tabıń.

$$(E_n^{bas} = 0,96 \text{ MeV}, \quad E_{kin}({}^{33}\text{S}) \cong \frac{m_n}{M({}^{33}\text{S})} E_n = 0,03 \text{ MeV}).$$

4.38. $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$, $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + \gamma$ reaksiyalar ushın protonnıń baslanǵısh energiyasın tabıń. $(E_{bas})_1 \cong (E_{bas})_2 = 19,6 \text{ MeV}$.

4.39. $d + d \rightarrow {}^3_1\text{H} + p$ sintez reaksiyasınıń energetikalıq shıǵıwı esaplınsın.

$$(Q = 2M({}^2\text{H}) - M({}^1\text{H}) - M({}^3\text{H}) \cong 4 \text{ MeV}).$$

4.40. $d + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + n$ reaksiya ushın reaksiya energiyası tabılsın.

$$(Q = 17,6 \text{ MeV}).$$

4.41. Berilliy izotopı ${}^8\text{Be}$ payda bolıwı múmkin bolǵan bir neshe reaksiyalardı kórsetiń.

$$1. \alpha + \alpha \rightarrow {}^8\text{Be} + \gamma,$$

$$5. \gamma + {}^{10}\text{Be} \rightarrow {}^8\text{Be} + d$$

$$2. d + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be} + \gamma$$

$$6. p + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + {}^3\text{He}$$

$$3. p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be} + \gamma$$

$$7. p + {}^{11}\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + \alpha$$

$$4. \gamma + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^8\text{Be} + n$$

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

4.42. Tómenдеgi reaksiya ${}^{16}\text{O}(n, \alpha){}^{13}\text{C}$ júz beriwı ushın laboratoriya sistemasında neytron qanday minimal energiyaǵa iye bolıwı kerek?

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

4.43. Berilgen reaksiyada ${}^6\text{Li}(d, \alpha){}^4\text{He}$ endotermikalıq reaksiyama, yamasa ekzotermikalıq reaksiyama? Bólekshelerdiń salıstırmalı baylanıs energiyaları

berilgen, $\varepsilon(d) = 1,11$; $\varepsilon(\alpha) = 7,08$; $\varepsilon({}^b\text{Li}) = 5,33 \text{ MeV}$.

$$(Q = -22,44 \text{ MeV}, \text{ demek endotermikalıq reaksiya})$$

Q O S I M S H A L A R

1. AYIRIM ZATLAR TIĞIZLIQLIĞI

Zat	Sahstirmalıq atom massası	Tıgızlıqı, $10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$
Alyuminiy	26,97	2,65-2,7
Bariy	137,36	3,76
Berilliy	9,02	1,84
Bor	10,82	2,34
Vanadiy	50,95	5,9
Volfram	184,0	19,34
Temir	55,84	7,88
Altın	197,2	19,31
Yod	126,92	4,93
Kadmiy	112,41	8,66
Kobalt	58,94	8,8
Kremniy	28,06	2,33
Mıs	63,57	8,93
Qalayı	118,70	7,3
Platina	195,23	21,46
Qorgasın	207,22	11,35
Gúmis	107,88	10,50
Kómir	12,01	1,7-2,3
Fosfor	31,02	1,82
Tseziy	140,13	1,9
Rux	65,38	7,15
Bor karbidi	-	2,5
Beton	-	2,3
Hawa	-	$1,29 \cdot 10^{-3}$
Titan oksidi	79,90	4,26
Titan	47,9	4,5
İridiy	192,2	22,4
Latun		8,6
Shiyshe		2,5

2. İZOTOPLAR

Kestede bazı bir izotoplar neytral atomlarınıń massaları $1Ku = \frac{1}{12} M(^{12}C) = 931,5 \text{ MeV}$

“uglerod” massa shkalasında keltirilgen. Stabil emes izotoplar ushın yarım ıdıraw dáwiri, tiykarǵı ıdıraw túrleri hám nurlanıw energiyaları da keltirilgen.

İzotop belgisi	Massa, m.a.b.	Tábiyǵıy aralaspadaǵı muǵdarı, %	Idıraw túri	Yarım ıdıraw dáwiri	Nurlanıw energiyası, MeV	
					Bóleksheler (α, β)	γ
1	2	3	4	5	6	7
1_0n	1,008665		β^-	11,7 min	0,782	
1_1H	1,007825	99,985	Stabil			
2_1H	2,014102	0,01492	»			
3_1H	3,016049		β^-	12,26 jıl	0,0186	
4_2H	4,002603	100	Stabil			
6_3Li	6,015126	7,42	»			
7_3Li	7,016005	92,58	»			
7_4Be	7,016930		E -qamtıw	53,61 kún		
8_4Be	8,005308		2α	$2 \cdot 10^{-16} \tilde{n}$	0,047	
9_4Be	9,012185	100	Stabil			
$^{10}_5B$	10,012938	19,61	»			
	11,009305	80,39	»			
	11,011431			20,5 min	0,968	
	12,014352				13,37	
$^{12}_6C$	12,000000	98,893	Stabil			
$^{13}_6C$	13,003354	1,107	»			
$^{13}_7N$	13,005738		β^+	10 min	1,2	
$^{14}_6C$	14,003242		β^-	5685 jıl	0,158	
$^{14}_7N$	14,003074	99,6337	Stabil			

$^{15}_7N$	15,000108	0,3663	»			
$^{16}_8O$	15,994915	99,759	»			
$^{22}_{10}Ne$	21,991385	8,82	Stabil			
$^{22}_{11}Na$	21,994435	-	β^+ (89 %); E (11 %)	2,6 jil	0,54	1,28
$^{23}_{11}Na$	22,989773	100	Stabil			
$^{27}_{13}Al$	26,981535	100	»			
$^{27}_{14}Si$	26,986701		β^+	4,33 s	3,85	
$^{28}_{13}Al$	27,981909		β^-	2,31 min	2,87	1,78
$^{28}_{14}Si$	27,976927	92,21	Stabil			
1	2	3	4	5	6	7
$^{31}_{15}P$	30,973763	100	»			
$^{32}_{15}P$	31,973908		β^-	14,5 kún	1,708	
$^{32}_{16}S$	31,972074	95,0	Stabil			
$^{36}_{16}S$	35,967091	0,0136	β^-			
$^{36}_{17}Cl$	35,968312		β^- , E	$3,08 \cdot 10^5$	0,714	
$^{36}_{18}Ar$	35,967548	0,34	Stabil			
$^{39}_{19}K$	38,963714	93,1	»			
$^{40}_{18}Ar$	39,962384	99,6	»			
$^{40}_{19}E$	39,964008	0,0118	β^- , E , β^+	$1,27 \cdot 10^9$ jil	1,321	
$^{40}_{20}Ca$	39,962589	96,97	Stabilen			
$^{51}_{23}V$	50,943978	99,76	»			
$^{52}_{23}V$	51,944802		β^-	3,77 min	2,47	
$^{59}_{27}Co$	58,933189	100	Stabil			
$^{60}_{27}Co$	59,933806		β^-	5,25 jil	0,309	1,17; 1,33
$^{90}_{38}Sr$	89,907761		β^-	28,1 jil	0,541	
$^{90}_{39}Y$	89,907177		β^-	64,3 saat	2,273	

$^{103}_{45}\text{Rh}$	102,904990	100	Stabil			
$^{104}_{45}\text{Rh}$	103,906360		β^-	4,41 min (İW) 44 s	2,44	
$^{107}_{47}\text{Ag}$	106,904970	51,35	Stabil			
$^{108}_{47}\text{Ag}$	107,90880		β^-	2,42 min	1,65 (94%) 1,03 (1,9%)	0,632
$^{109}_{47}\text{Ag}$	108,904700	48,65	Stabil			
$^{110}_{47}\text{Ag}$	109,906050			24,5 s	2,87 (88%) 2,14 (12%)	0,656
$^{127}_{53}\text{I}$	126,904352	100	Stabil			
$^{128}_{53}\text{I}$	127,905818		β^-	25 min	2,12 (76%) 1,66 (16%) 1,14 (2%)	0,44 0,98
$^{137}_{55}\text{Cs}$	136,906820		β^-	30 jıl	0,52 (92%) 1,18 (8%)	0,66
$^{137}_{56}\text{Ba}$	136,905560	11,32	Stabil			
$^{197}_{79}\text{Au}$	196,966552	100	Stabil			
$^{198}_{79}\text{Au}$	197,968242		β^-	2,7 kún	0,96	0,412
$^{203}_{80}\text{Hg}$	202,972853		β^-	46,9 kún	0,22	0,279
$^{204}_{81}\text{Tl}$	203,973890		β^-	3,78 kún	0,762	
$^{206}_{82}\text{Pb}$	205,974459	25,0	Stabil			
$^{208}_{82}\text{Pb}$	207,976644	52,4	Stabil			
$^{210}_{82}\text{Pb}$	209,984177		β^-	21,4 jıl	0,014	
$^{210}_{83}\text{Bi}$	209,984110		β^-	4,99 kún	1,17	
$^{210}_{84}\text{Po}$	209,982866		α	138,4 kún	5,30	
1	2	3	4	5	6	7
$^{226}_{88}\text{Ra}$	226,025360		α	16,02 jıl	4,78 (94%) 4,59 (5,7%)	0,188
$^{233}_{92}\text{U}$	233,039498		β^-, α	$16,3 \cdot 10^4$ jıl	4,815 (83%) 4,773 (15%)	
$^{238}_{92}\text{U}$	238,050760	99,24	α	$4,56 \cdot 10^9$ jıl	4,182 (77%) 4,135 (23%)	
$^{238}_{93}\text{Pu}$	238,046110		α, β^-	$5,0 \cdot 10^{10}$ jıl	5,495 (72%) 5,452 (28%)	
$^{239}_{93}\text{Pu}$	239,049500		α, β^-	$2,44 \cdot 10^4$ jıl	5,147 (72%) 5,134 (17%)	

3. NEYTRONNIŇ EFFEKTIV KESİMİ

(Tezligi 2200 m/s átirapında bolǵan jıllılıq neytronları ushın)

Kestede (n, X) reakciya esabınan neytronlardıń jutılıw kesimi hám nurlanǵan úlgieler radioaktivligi boyınsha anıqlanǵan jıllılıq neytronlar aktivaciyası kesimleri keltirilgen. Bunda X -bólekshe yamasa γ -kvant. Yadro ónimleriniń eń joqarı qozǵalǵan jaydaylarınan baslanǵan ayırım izomer jaǵdaylar ushın aktivaciya kesimleri keltirilgen.

İzotop	Tábiyiy aralaspadaǵı úlesi, %	Jutılıw kesimi, σ	Aktivaciya kesimi, σ	Yarım ıdıraw dáwiri $T_{1/2}$
$^{10}_5B$	19,8	3838 ± 15	$0,5 \pm 0,2$	
$^5B_{ma\bar{o}}$		758 ± 3	-	
$^{27}_{13}Al$	100	$0,241 \pm 0,003$	$(0,21 \pm 0,02) \cdot 10^{-a}$	2,3 min
$^{31}_{15}P$	100	$0,20 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,01$	14,5 kún
$^{51}_{23}V$	99,76	-	$4,5 \pm 0,9$	3,76 min
$^{59}_{Co}$	100	$38,0 \pm 0,5$	16 ± 3 20 ± 3	10,4 min 5,28 jıl
$^{65}_{Zn}$	48,89	$1,5 \cdot 10^{-5}(n, \alpha)$	0,47	246 kún
$^{75}_{As}$	100	$4,3 \pm 0,2$	$5,4 \pm 10$	27 saat
$^{107}_{Ag}$	51,35	31 ± 2	45 ± 4 $3,2 \pm 0,4$	2,42 min 270 kún
$^{109}_{Ag}$	48,65	87 ± 7	113 ± 13	24,2 s
$^{Cd}_{ma\bar{o}}$		2537 ± 9	-	-
$^{113}_{Cd}$	12,26	20000	-	-
$^{114}_{Cd}$	28,86	-	$0,14 \pm 0,03$ $1,1 \pm 0,3$	43 kún 53 kún
$^{197}_{Au}$	100	$98,8 \pm 0,3$	96 ± 10	2,7 kún

4. GAMMA KVANTLARI ENERGIYASINIŇ ZATLARDAǴI PÁSEYIW HÁM JUTILIWI KOEFFİCIENTLERİ

Energiya MeV	Alyuminiy		Qorǵasın		Suw		Hawa	
	μ / ρ	τ / ρ	μ / ρ	τ / ρ	μ / ρ	τ / ρ	μ / ρ	τ / ρ
0,1	0,169	0,0371	5,46	2,16	0,171	0,0253	0,155	0,0233
0,2	0,122	0,0275	0,942	0,586	0,137	0,0299	0,123	0,0269
0,4	0,0927	0,0287	0,220	0,136	0,106	0,0328	0,0953	0,0295
0,6	0,0779	0,0286	0,119	0,0684	0,0896	0,0329	0,0804	0,0295
0,8	0,0683	0,0278	0,0866	0,0477	0,0786	0,0321	0,0706	0,0288
1,0	0,0614	0,0269	0,0703	0,0384	0,0706	0,0310	0,0635	0,0276
1,5	0,0500	0,0246	0,0550	0,0280	0,0590	0,0283	0,0515	0,0254
2,0	0,0431	0,0227	0,0463	0,0248	0,0493	0,0260	0,0445	0,0236
3,0	0,0360	0,0201	0,0410	0,0238	0,0390	0,0227	0,0360	0,0211
4,0	0,0310	0,0188	0,0421	0,0253	0,0339	0,0204	0,0307	0,0193
6,0	0,0264	0,0174	0,0436	0,0287	0,0275	0,0178	0,0250	0,0173
8,0	0,0241	0,0169	0,0459	0,0310	0,0240	0,0163	0,0220	0,0163
10,0	0,0229	0,0167	0,0489	0,0328	0,0219	0,0154	0,0202	0,0156

Bunda μ / ρ hám τ / ρ -saykes túrde (názik dáste ushın) páseyiw hám jutılıwdıń

massalıq koeficientleri, ólshem birligi sm^2 / g .

Á D E B İ Y A T L A R

1. Ahmadjonov O. Fizika kursi. Optika, atom va yadro fizikasi. Toshkent: «O'qituvchi», 1983.
2. Bekjonov R.B. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. Toshkent: «O'qituvchi», 1983.
3. Sivuxin D.V. Obshiy kurs fiziki. Atomnaya i yadernaya fizika. Chast 2. M.: «Nauka», 1989.
4. Toshxonova J.A. Umumiy fizika kursi. Yadro va elementar zarralar fizikasi. Kvarklar. Toshkent: «Fan», 2004.
5. Chertov A.G. Fizikadan masalalar twplami. T.: «O'zbekiston», 1997.
6. Shirokov Yu.M. Yadernaya fizika. M.: «Nauka», 1972
7. Yavorskiy B.M. Spravochnik po fizike. M.: «Nauka», 1985.
8. İsmaylov Q.A., Sharibaev M.B., Bekbergenov S.E. Fizika kursı (Tábiyiy hám texnika baǵdarı studentleri ushın). Oqıwlıq. – Nókis, 2019, –286 bet.

M A Z M U N I

1	Kirisiw	3
2	I-BAP. Atom yadrosının tiykargı qásiyetleri	14
3	II-BAP. Radioaktivlik	14
4	III-BAP. Nurlanıwdıń zatlar menen tásirlesiwi	26
5	IV-BAP. Yadrolıq reakciyalar	34
6	Qosımshalar	52
7	Ádebiyatlar	58
8	M A Z M U N I.....	59

