

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 310 (2016), 72 – 76

A.D. Duisenbay¹, N.ZH. Takibayev¹, V.O. Kurmangalieva¹

¹Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan
aknurka_93@mail.ru, venera_baggi@mail.ru

RESEARCH OF THE REACTIONS
OF Li AND Be ISOTOPES WITH NEUTRONS

Abstract. Defined the energies of the reactions of neutron interaction with isotopes of light nuclei in nuclear installation. Have done the calculations of kinetic energies of neutrons which can occur in nuclear installation.

Key words: isotopes of light nuclei, kinetic energy of neutron, nuclear reactions etc.

А.Д. Дүйсенбай¹, Н.Ж. Такибаев¹, В.О. Құрманғалиева¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Li ЖӘНЕ Be ИЗОТОПТАРЫНЫҢ НЕЙТРОНДАРМЕН
ӘРЕКЕТТЕСУ РЕАКЦИЯЛАРЫНЗЕРТТЕУ

Аннотация. Жұмыста жеңіл ядролар изотоптарының ядролық құрылғыларда нейтрондармен әрекеттесу реакцияларының энергиялары анықталды, сонымен қатар ядролық құрылғыларда жүзеге асуы үшін кейбір энергиялары жеткіліксіз реакциялардағы нейтрондардың кинетикалық энергиялары есептелінді.

Тірек сөздер: жеңіл ядролардың изотоптары, нейтронның кинетикалық энергиясы, ядролық реакциялар және т.б.

Кіріспе

Қазіргі таңда ядролық физика саласы күннен күнге дамып келеді. Бұл саланың негізгі элементтері ретінде жеңіл ядролардың алатын орны ерекше. Сондықтан, жеңіл ядролар изотоптарының қасиеттерін зерттеудің, әсіресе, олардың ядролық құрылғыларда қолданылуының немесе өңделуінің маңызы зор. Сонымен қатар, бұл элементтердің ядролық құрылғыларда нейтрондармен әрекеттесу реакцияларының жүзеге асу үдерісін зерттеудің де өзіндік ерекшелігі бар.

Әрбір жеңіл ядроның бірнеше изотоптары бар. Олардың тұрақты және радиоактивті түрлері болады. Бұл изотоптар өздеріне тән қасиеттері мен сипаттамаларына ие. Жеңіл ядролар ішінен литий мен бериллий элементтерінің ядролық құрылғылардағы маңызы зор: литийдің қолданылатын ортасы – ядролық энергетика, ал ⁶Li изотобы тритийді алудың жалғыз өндіріс көзі болып табылады.

Реактордағы атомдық жанармай ядросының бөліну процесінде шығарылатын нейтрондар өте үлкен жылдамдыққа ие. Әдетте, нейтрондарды тізбекті реакция эффективті өтетіндей жылдамдықтарға дейін баяулатқан жөн. Сол себепті, реакторда нейтрондарды бөлгеннен пайда болған бөлшектерді баяулату үшін арналған материалдардың болуы қажет. Мұндай материал «баяулатқыш» деп аталады. Атомдық массасы аз болатын элементтер ең эффективті баяулатқыштар болып табылады.

Атомдық энергияны алу аймағындағы бериллийдің тағы бір қолданылу аясы – нейтрондық шашыратқыш ретінде пайдаланылуы. Шашырауын минимум мәніне дейін төмендететін нейтрон-

дарды шағылдырғыш заттар қабатымен, ядролық жанармай орналасқан активті аймақты қоршайтын болса, онда реактордың критикалық массасын төмендетуге болады [1].

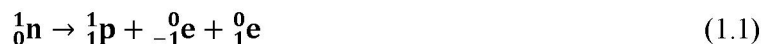
Литий және бериллий элементтері изотоптарының ядролық құрылғыларда нейтрондармен әрекеттесу реакциялары теориялық тұрғыда жүзеге асырылып, реакция энергиялары есептеледі. Энергиялары жеткілікті болатын реакциялар ядролық құрылғыларда жүзеге асады. Ал, егер нейтрондар жеткілікті энергияға ие болмаса, онда оның кинетикалық энергиясын есептеп, сондай энергияны нейтронға бере отырып, энергиясын арттырамыз. Сонда мұндай реакциялар да ядролық құрылғыларда жүзеге аса алады.

Ядролық энергетика саласында мұндай реакциялардың жүзеге асуының және энергияларының жеткілікті болуының маңызы зор. Себебі, ядролық құрылғыларда жүретін реакциялардың барлығы дерлік энергияны өндіру мақсатында жүзеге асырылады.

Ядролық реакциялар – энергияның көзі. Кейбір ауыр элементтердің (мысалы, уран, плутоний) ядролары бөлінген кезде, ал жеңіл түрлері (сутегі изотоптары) қосылып ауырырақ (гелий) элементтерді құрағанда, ядролық реакциялар барысында едәуір энергия шығарылады. Бөліну реакцияларында атом ядросы сыртқы нейтрондардың әсерінен екі немесе одан көп бөлшектерге ыдырайды [2].

Ядролық реакциялардың нейтрондармен әрекеттесуінің негізгі қасиеті – нейтрондар энергиясының төмендеген кезіндегі ядролық реакция қимасының параболалық заң бойынша өсуі. Сондықтан, көптеген қарапайым энергетикалық ядролық реакторлар қоршаған ортамен жылулық тепе-теңдікте болатын нейтрондарда жұмыс жасайды [3]. Сонымен қатар, ауыр ядролар бөлінген кезде жылдам нейтрондар шығарылады (энергиясы бірнеше МэВ).

Нейтрон – спині 1/2 және массасы протонның массасынан аз ғана үлкен қарапайым нейтралды бөлшек. Оның негізгі қасиеттеріне мыналарды жатқыза аламыз: массасы – 939,565346 МэВ; $m_n - m_p = 1,29344$ МэВ; бос күйіндегі өмір сүру уақыты – 885,7 секундтар; ядролық магнетонның магниттік моменті – $-1,91304273(45)$, ал нейтронның магниттік моменті протондікіне ұқсас, яғни $m_p = 2,79m_{\text{нuc}}$. Бұлар күшті әсерлесетін бөлшектер қатарына жатады және бариондар тобына кіреді, яғни ішкі ерекше сипаттамаларға ие болады. Ол – протондікіндей +1-ге тең болатындай бариондық заряд. Нейтрондар тек тұрақты атом ядроларында ғана орнықты болады. Еркін нейтрон – протонға, электронға және электрондық антинейтриноға ыдырайтын тұрақсыз бөлшек [4]

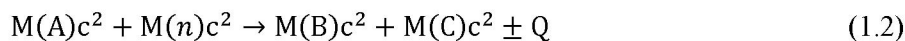


Нейтронның орташа өмір сүру уақыты $\tau=16$ мин. Еркін нейтрондар ядролармен күшті жұтылатындықтан затта аз мөлшерде кездеседі. Сондықтан, еркін электрондар тек ядролық реакциялардың нәтижесінде ғана пайда болады. Еркін нейтрон атом ядроларымен әрекеттесуге бейім болып келеді. Нейтрондар ауыр ядролардың бөлінуі, сонымен қатар, көп жағдайда радиоактивті изотоптардың құрылуына әкелетін нейтронды қарпу елеулі орын алатындай қандай да бір ядролық реакцияны шақырады. Ядролық реакциялардың жүзеге асуына орай нейтрондардың үлкен эффективтілігі, баяу нейтрондар затымен әрекеттесуі, оларды ядролық физиканы зерттеуде басты құрал ретінде көрсетеді. Нейтрондар қарапайым бөлшектердің барлық әрекеттесулеріне қатысады, олар – күшті, электромагниттік, әлсіз және гравитациялық.

Заттан өткен кезде нейтрондар әр түрлі ядролық реакцияларды шақырады және ядроларда серпімді шашыратылады. Бұл микроскопиялық үдерістердің интенсивтіліктері ретінде нейтрондардың заттардан өтудің барлық макроскопиялық қасиеттері анықталады. Олар: баяулату, диффузия, жұтылу және т.б. Нейтронның заряды нөлге тең болғандықтан, атомдық бұлтшалардың электрондарымен мүлдем әрекеттеспейді. Сондықтан, ортаның атомдық сипаттамалары нейтрондардың затта таралуында ешқандай маңызы жоқ. Бұл – таза ядролық үдеріс [5]. Әр түрлі нейтрон-ядролық реакциялардың қималары нейтрондардың энергияларына тәуелді.

Талдаулары мен есептеулері

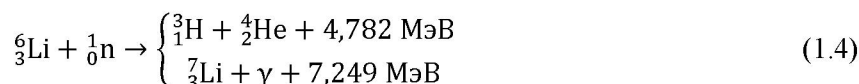
Жалпы жеңіл ядролардың нейтрондармен әрекеттесу реакцияларының шартты түрі мынадай болады:



Мұндағы А, В, С – реакцияға дейінгі және реакциядан кейінгі элементтер, Q – реакция нәтижесінде пайда болатын жылу мөлшері. Ал, енді бұл жылу мөлшерін, яғни энергияны, есептеу үшін оны теңдіктің сол жағына, қалғандарын оң жақ бөлігіне өткіземіз. Сонда

$$Q = M(A)c^2 + M(n)c^2 - M(B)c^2 - M(C)c^2 \quad (1.3)$$

Енді (1.2) өрнегіне жеңіл ядролар изотоптарын қоя отырып, реакциядан бөлініп шығатын элементтерді анықтайық, сонымен қатар, (1.3) формуласы бойынша реакцияның энергиясын есептеп жазайық [6,7]:



мұндағы, $M({}^6_3\text{Li})=5601,518 \text{ МэВ}$, $m_n=939,565379 \text{ МэВ}$, $M({}^3_1\text{H})=2808,921 \text{ МэВ}$, $M({}^4_2\text{He})=3727,379 \text{ МэВ}$, $M({}^7_3\text{Li})=6533,833 \text{ МэВ}$ [2].

Бұл ${}^6_3\text{Li}$ изотобының нейтронмен әрекеттесу реакциясының әр түрлі каналда жүруіне орай, екі түрлі реакция өнімдерін аламыз. Бірінші жағдайда, тритий мен гелий элементтері, ал екінші жағдайда, ${}^7_3\text{Li}$ изотобы және γ бөлшегі бөлініп шығады. Бұл реакцияларда энергия сыртқа бөлінетіндіктен, экзотермиялық реакцияға жатқызамыз.

${}^7_3\text{Li}$ изотобының нейтронмен әрекеттесу реакциясы [8]:

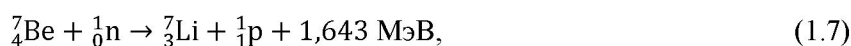


Литийдің бұл изотобының нейтронмен әрекеттесу реакциясында энергия шығарылмайды, яғни энергиясы жеткілікті деңгейге жетпейді. Мұндай реакция түрін эндотермиялық деп атаймыз. Енді ${}^8_3\text{Li}$ изотобының әрекеттесу реакциясынан энергияның бөлінетіндігі көрінеді. Бұл да экзотермиялық реакцияға жатады [9]:



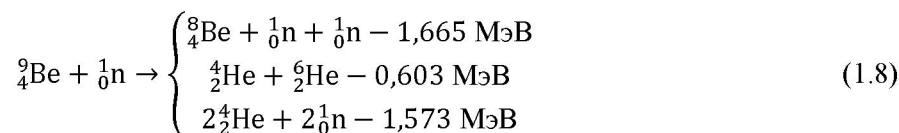
мұндағы, $M({}^8_3\text{Li})=7471,366 \text{ МэВ}$, $M({}^9_3\text{Li}) = 8406,867 \text{ МэВ}$ [10].

Сонымен қатар, ${}^7_4\text{Be}$ және ${}^9_4\text{Be}$ изотоптарының нейтронмен әрекеттесу реакциялары [6]:



мұндағы, $M({}^7_4\text{Be})=6534,184 \text{ МэВ}$, $M(m_p)=938,272046 \text{ МэВ}$ [10].

Бұл жерде реакцияның энергияны бөле отырып жүруіне сәйкес реакцияны экзотермиялық деп атаймыз. Ал, басқа изотобының әрекеттесуі [11, 12, 13]



мұндағы, $M({}^9_4\text{Be})=8392,749 \text{ МэВ}$, $M({}^8_4\text{Be})=7454,850 \text{ МэВ}$, $M({}^6_2\text{He})=5605,537 \text{ МэВ}$ [10].

${}^9_4\text{Be}$ изотобының нейтронмен әрекеттесу реакциясы әр түрлі каналдар арқылы жүретіндіктен, үш түрлі реакция орын алады.

Ядролық құрылғыларда бұл реакциялардың кейбіреуі жүреді, ал қалғандарының реакция энергиясы жеткіліксіз болғандықтан жүзеге аспайды. Себебі, нейтрондардың кинетикалық энергиясының мөлшері аз. Сондықтан оны арттыру амалын қарастыруымыз қажет. Бұған эндотермиялық реакциялар жатады.

Сонымен, ядролық құрылғылардағы эндотермиялық реакциялардың жүзеге асуы үшін, яғни нейтрондардың кинетикалық энергиясын қаншалықты арттыру керектігін анықтау үшін, (1.2) өрнегін нейтронның кинетикалық энергиясын ескере отырып, қайта жазатын болсақ:

$$E(A) + n(E_0 + E_k) \rightarrow E(B) + E(C) \quad (1.9)$$

Енді мұндағы нейтронның кинетикалық энергиясын есептейік:

$$E_k({}_0^1n) = E(B) + E(C) - E(A) - E_0({}_0^1n) \quad (1.10)$$

Осы жалпы формулаға реакция бөлшектерін енгізіп есептейік:

$$E_k({}_0^1n) = E({}_2^4\text{He}) + E({}_1^3\text{H}) + E({}_0^1n) - E({}_3^7\text{Li}) - E_0({}_0^1n) \quad (1.11)$$

Бұл ${}^7_3\text{Li}$ изотобының нейтронмен әрекеттесу реакциясындағы нейтронның кинетикалық энергиясы есептелген. Әрбір бөлшектердің энергияларын ескере отырып, $E_k({}_0^1n) = 2,467$ МэВ екендігі шығады.

(1.9) реакциялары үшін нейтрондардың кинетикалық энергиялары:

$$E_k({}_0^1n) = E({}_4^8\text{Be}) + E({}_0^1n) + E({}_0^1n) - E({}_4^9\text{Be}) - E_0({}_0^1n) \quad (1.12)$$

$$E_k({}_0^1n) = E({}_2^4\text{He}) + E({}_2^4\text{He}) - E({}_4^9\text{Be}) - E_0({}_0^1n) \quad (1.13)$$

$$E_k({}_0^1n) = 2E({}_2^4\text{He}) + 2E({}_0^1n) - E({}_4^9\text{Be}) - E_0({}_0^1n) \quad (1.14)$$

(1.12) теңдеуіндегі $E_k({}_0^1n) = 1,665$ МэВ; (1.13) теңдеуінің шешімі бойынша $E_k({}_0^1n) = 0,603$ МэВ; (1.14) теңдеуінің мәні $E_k({}_0^1n) = 1,573$ МэВ тең болады.

Сонымен, ядролық құрылғыларда мұндай реакциялардың жүруі үшін нейтрондардың кинетикалық энергиялары жеткілікті болуы қажет. Сондықтан нейтрондардың кинетикалық энергиялары жеткілікті мөлшерге дейін арттырылды. Нейтрондардың табалдырық энергиялары, яғни реакцияның жүруіне қажет нейтрондардың кинетикалық энергиялары есептеп шығарылды.

Бұдан көріп отырғанымыздай, литий элементтерінің кейбір изотоптарының нейтрондармен әрекеттесу реакциялары ядролық құрылғыларда жүзеге асады. Өйткені бұл реакцияларда энергия мөлшері артық болғандықтан, сыртқа шығарылады, яғни нейтрондардың кинетикалық энергиялары жеткілікті мәнге ие. Ал, бұл жеңіл ядросының бұдан басқа изотоптарының реакциялары жүзеге аспайды. Себебі, нейтрондардың кинетикалық энергиялары жеткіліксіз. Сондықтан мұндай жеңіл ядролар изотоптарының реакцияларын ядролық құрылғыларда жүзеге асыру үшін, яғни энергияны бөлу үшін, нейтрондарының кинетикалық энергияларын есептеп, сондай энергияны нейтрондарға беруіміз қажет. Сонда, бұл реакциялар да жеткілікті энергияға ие болып, жүзеге аса алады.

Қорытынды

Қазіргі таңда теориялық және ядролық физика саласының маңызды мәселесінің бірі жеңіл ядролар изотоптарының қасиеттерін зерттеу және оларды ядролық құрылғыларда пайдалану.

Бұл жұмыста ядролық құрылғыларда жеңіл ядролардың нейтрондармен әрекеттесу реакцияларының қалай жүзеге асатындығы қарастырылып, талдаулар жасалды. Жеңіл элементтердің, оның ішінде литий және бериллийдің ядролық құрылғыларда қолданылуы туралы мәліметтер қарастырылды. Ядролық құрылғыларда жеңіл ядролардың, яғни литий және бериллийдің, нейтрондармен әрекеттесу реакцияларының жүру үдерісі зерттелген.

Қойылған мәселелеріміздің нәтижелері:

- литий және бериллий изотоптарының нейтрондармен әрекеттесу реакциялары теориялық тұрғыда жүзеге асырылып, реакция энергиялары есептелді;

- бұл реакциялардың ядролық құрылғыларда жүзеге асуы үшін нейтрондардың кинетикалық энергияларына есептеулер жүргізілді;
- алынған нәтижелерге талдаулар жасалды.

Ядролық құрылғыларда жеңіл ядролардың кейбір изотоптарының жүзеге аспауы нейтрондардың кинетикалық энергиясының жеткіліксіздігімен түсіндіріледі. Мұндай реакцияларда жылдам нейтрондар қолданылған, себебі алынған нәтижелер бойынша нейтрондардың энергиялары 100 кэВ пен 14 МэВ аралығында жатыр.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Грешилов А. А., Егупов Н. Д., Матущенко А. М. Ядерный щит // М.: Логос, 2008. - 438 с.
- [2] А.Н.Климов. Ядерная физика и ядерные реакторы // Москва: Энергоатомиздат, 1985. - С. 352.
- [3] Бартоломей Г.Г., Байбаков В.Д., Алхутов М.С., Бать Г.А. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов // Москва: Энергоатомиздат, 1982. - С. 512.
- [4] Широков Ю.М. Ядерная физика // Учеб. пособие для физ. спец. вузов, 1972, с. 483
- [5] К.Н.Мухин Экспериментальная ядерная физика // т. 1, ч. 1., стр. 347–349.
- [6] Kunakov S., Takibaev N., Kenzhebayev N., Sultanov A. Electronenergy distribution and ionization rate caused by nuclear fission fragment in gaseous medium.
- [7] K.Jedamzik et al, Lithium-6 // A.Probe of the Early Universe, Phys. Lett. 84(2000) 3848.
- [8] Kajino T. and Boyd R.N. Production of the light elements in primordial nucleosynthesis // Astrophys.J. 547, L21 (2001)
- [9] K.Bondek, J.Krug, W.Lubcke, S.Obermanns, H.Ruhl, M.Steinke, M.Stephan, D.Kamke Neutron-Neutron scattering length in the reaction ${}^9\text{Be}(n,nn){}^8\text{B}$ at 10,3 MeV.
- [10] <http://nuclphys.sinp.msu.ru>
- [11] <http://Knowledge.allbest.ru>
- [12] Левин В. Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. 4-е изд. // М.: Атомиздат, 1979.
- [13] Петунин В. П. Теплоэнергетика ядерных установок М. // Атомиздат, 1960г.

А.Д. Дүйсенбай¹, Н.Ж. Такибаев¹, В.О. Курмангалиева¹

¹Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ Li и Be с НЕЙТРОНАМИ

Аннотация. Определены энергии реакций взаимодействия нейтронов с изотопами легких ядер. Проведены расчеты кинетической энергии реакции нейтронов, которые могут происходить в ядерных установках.

Ключевые слова: изотопы легких ядер, кинетическая энергия нейтрона, ядерные реакций и т.д.