

**ЖЕҢІЛ ЭЛЕМЕНТТЕРДЕН ЖАСАЛҒАН НЫСАНАНЫ ТӨМЕНГІ ЭНЕРГИЯЛЫ АУЫР ИОНДАРМЕН АТҚЫЛАУ КЕЗІНДЕГІ ЕКІНШІ РЕТТІ СИНТЕЗ РЕАКЦИЯСЫ.**

**Алиев Бейбит Жумабаевич**  
[beibitaliyev.1987@gmail.com](mailto:beibitaliyev.1987@gmail.com)

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» халықаралық кафедрасы 8D05305-Ядролық физика мамандығы бойынша 2 курс докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
 Ғылыми жетекші – Морзабаев А.К.

Нұр-Сұлтан қаласындағы Ядролық физика институтының ДЦ-60 циклотронындағы экспериментте нейтрондардың шығарылуы институт қызметкерлерінің көмегімен зерттелінген болатын. Ве, С, Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> және LiF жеңіл элементтерден жасалған нысаналарды төмен энергиясы бар AR, Kr және Хе ауыр иондарымен сәулелендіру кезінде олардан нейтрондардың шығуы өлшенді. Бұл жағдайда энергия кулондық тосқауылдан төмен болды. Нысандардан нейтрондардың бұрыштық таралуы өлшенді. Эксперимент барысында байқалған нейтрондардың пайда болуына тыныштықта тұрған ядро мен соқтығыс әсерінен энергия алған серпімді соқтығысқан ядроның арасындағы екінші ретті реакция себеп болатыны анықталды. Эксперимент нәтижелері мен екінші ретті реакция механизмдеріне негізделген есептеулер салыстырылды. Есептеулер екінші реттік реакциялардың шығуын 2 коэффициентке дәл бағалауға мүмкіндік берді.

Ондаған кэВ-тен МэВ-ке дейінгі энергиялы ауыр иондарды қолданбалы физиканың көптеген салаларында зерттеу үшін қолданылады. Қауіпсіздікті қамтамасыз ету немесе радиациялық фонды төмендету тұрғысынан төмен энергиялар жиі таңдалады, бұл сәулеленетін затпен ядролық реакцияға тосқауылдан (барьер) төмен болады. Алайда, мұндай таңдау кейде ауыр иондармен атқылау кезінде ядролық реакциялар мен олармен қоса жүретін сәулелердің болмауына кепілдік бермейді. Бұл жерде біз қарама-қарсы реакциялар туралы айтпаймыз, құлау қимасы энергияның азаюымен экспоненциалды түрде болады, бұл оны жанама әсерлері мүмкін болатындай етіп таңдауға мүмкіндік береді.

Әдебиетте көрсетілген [1] жұмыста ауыр энергия иондарымен сәулелену кезінде жеңіл элементтерден шығатын нейтрондардың шығуы байқалады және оларды тосқауыл реакцияларымен түсіндіруге болмайтыны айтылған. [1] жұмыста серпімді шашырау кезінде көп энергия алатын серпілетін ядро мен нысана ядролары арасындағы екінші реттік ядролық реакциялар мүмкін екендігі айтылған. Кері серпілетін ядроның энергиясы төмендегі E<sub>2</sub> (МэВ/нуклон) формуласымен анықталыды

$$E_2 = 4 \left( \frac{m_1 \cos \theta_2}{m_1 + m_2} \right)^2 E_1 \quad (1)$$

мұндағы E<sub>1</sub> және m<sub>1</sub> – ұшып келетін ядроның энергиясы мен массасы; m<sub>2</sub> және θ<sub>2</sub> – серпіліп шығатын ядроның массасы мен серпілу бұрышы.

Бұл формуладан m<sub>2</sub> << m<sub>1</sub> жағдайында, яғни жеңіл элементтерден жасалынған нысаналарды ауыр иондармен атқылау кезінде ұшып шығатын ядролардың энергиясы МэВ/нуклон бірліктерімен алғанда ұшып келетін ядро энергиясына қарағанда төрт есе жоғары болуы мүмкін. Салдардың бірі болып шашыраған ядролардың жүріп өту жолы, сонымен қатар сәулелендіру аймағы бірнеше есе көп болады. Екіншіден, алынған серпу энергиясы нысанадағы затпен ядролық реакцияны жүзеге асыру үшін жеткілікті болуы мүмкін. Нәтижесінде протондар, α-бөлшектер, нейтрондар шығарылуы мүмкін. Кей кездері радиоактивті ядролар түзілуі мүмкін, олар бағыттау белсенділігін тудырады және ыдырау нәтижесінде γ-кванттар мен β-бөлшектер шығуы мүмкін.

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты екінші ретті ядролық реакцияларды егжей-тегжейлі зерттеу, олардың интенсивтілігін өлшеу және заңдылықтарды анықтау.

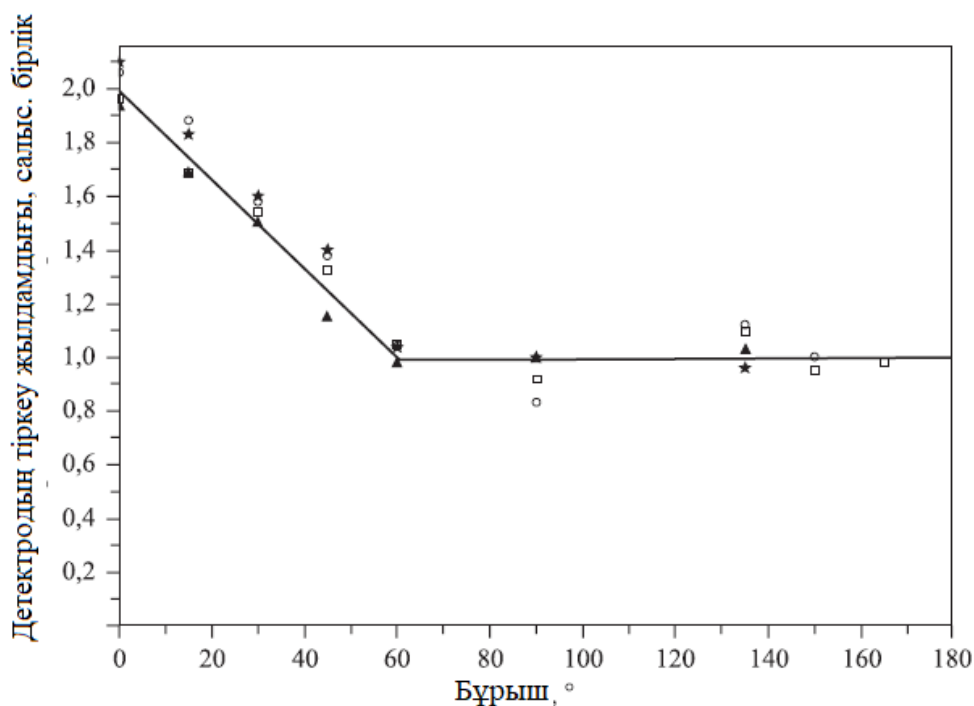
Нысаналармен сәулелендіру кезінде ядролық реакциялардың болуының индикаторы ретінде нейтрондардың шығарылуы таңдалған. Нейтрондардың шығу қарқындылығы мен ядролық реакцияның интенсивтілігі күрделі түрде байланысты болғандықтан, бұл жұмыста нейтрондардың шығуын өлшеумен шектеледі, бұл радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін орындалады.

Өлшеу жұмыстары Нұр-Сұлтан қаласындағы Ядролық физика институтының қызметкерлерінің қатысуымен жүргізілген. Ол институтта орналасқан ДЦ-60 ауыр иондар үдеткішінде жасалды. Бұл үдеткіш осындай эксперименттер үшін ең ыңғайлысы болып табылады. Сәулелердің максималды энергиясы-1,75 МэВ/нуклон. Ауыр иондардағы жұмыс кезінде үдеткіштің фоны табиғиға жақын, энергия диапазоны қызығушылық аймағын қамтиды.

Нейтрондардың шығуын өлшеу үшін сезімтал детектор таңдалады. Бұл диаметрі 8 дюйм болатын полиэтилен өткізгішінде СНМ-18 нейтронды детекторды. Бұл детектор экспериментке қажетті талаптарға сай келетін ең жоғары сезімталдыққа ие [3]. Детектор бетоннан жасалған еденнің деңгейінен 1300 мм биіктікте сәуленің медианалық жазықтығында орналасқан.

Эксперименттің барысына көп көңіл бөлмей оның нәтижесіне тоқталуды жөн көрдім. Енді эксперимент барысында алынған өлшеулерді қарастырайық және оларға салыстырулар мен анализ жасайық.

Жеңіл элементтен тұратын қалың нысанадан ауыр иондармен атқылау кезінде шығатын нейтрондарды өлшеу үшін нейтрондардың ағынының тығыздығының бұрыштық таралуын интеграция жасау арқылы анықталады. Ол үшін 1-2 м қашықтықта 0, 15, 30, 45, 60, 90 және 150° бұрыштарда детектор көмегімен өлшеулер жасалды. Нейтрондардың төменгі интенсивтілігі кезінде тек қана 0° және 90° бұрыштар қолданылады.



Сурет 1- Нейтрондардың бұрыштық таралуы. Бұл жердегі нүктелер әр түрлі насандар мен ауыр иондардың үйлесімдері және олардың энергиялары.

Жоғарыда көрсетілген 1-суретте Ве және С жеңіл элементтеріне атқылаушы ауыр Хе және Кг иондарының пайдалануы кезіндегі нейтрондардың таралуы көрсетілген.

Аналитикалық түрде бұрыштық тәуелділік мына түрде жазылуы мүмкін

$$f(\theta) = 2 - 3\theta/\pi, \text{ бұл } 0 < \theta < \pi/3 \text{ үшін және } 1 \text{ мынау үшін } \pi/3 < \theta < \pi, \quad (2)$$

бұл жердегі бұрыш радианмен.

Төменде талицада өлшеулер барысында алынған бұрыштық тәуелділікті пайдалана отырып нейтронның шығуының есептелгенде алынған мәліметтер көрсетілген. Енді осы мәліметтерге тоқталып өтейік.

Кесте 1- Жеңіл элементтерден тұратын нысаналарды ауыр иондармен атқылаған кездегі нейтрондардың шығу (нейтрон/ион).

Атқылаушы ион	Энергия, МэВ/нуклон	Нысана				
		LiF	Be	C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al
<sup>132</sup> Xe <sup>+20</sup>	1,5	$(2,0 \pm 0,7) \cdot 10^{-7}$	$(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$	$(1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-8}$	$(1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}$	$(3,5 \pm 1,2) \cdot 10^{-9}$
	1,4	$(1,9 \pm 0,7) \cdot 10^{-7}$	$(1,4 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$	$(9,6 \pm 3,2) \cdot 10^{-9}$	$(1,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-8}$	$(3,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-9}$
	1,0	$(1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}$	$(9,3 \pm 3,1) \cdot 10^{-7}$	$(7,2 \pm 2,4) \cdot 10^{-9}$	$(3,1 \pm 1,1) \cdot 10^{-9}$	$(4,0 \pm 2,0) \cdot 10^{-10}$
<sup>86</sup> Kr <sup>+15</sup>	1,75	$(1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}$	$(6,9 \pm 2,3) \cdot 10^{-7}$	$(7,6 \pm 2,5) \cdot 10^{-9}$	$(3,9 \pm 1,3) \cdot 10^{-9}$	$(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-9}$
	1,4	$(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-7}$	$(3,8 \pm 1,3) \cdot 10^{-7}$	$(3,8 \pm 1,3) \cdot 10^{-9}$	$(2,0 \pm 0,7) \cdot 10^{-9}$	$(4,9 \pm 1,7) \cdot 10^{-10}$
	0,72	$(3,1 \pm 1,1) \cdot 10^{-8}$	$(1,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-7}$	--	< $4,0 \cdot 10^{-10}$	---
<sup>40</sup> Ar <sup>+8</sup>	1,0	$(8,1 \pm 4,0) \cdot 10^{-9}$	$(3,4 \pm 1,7) \cdot 10^{-8}$	$(1,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-10}$	< $4,0 \cdot 10^{-11}$	---

Бұл жерде ескеретін жағдай, детектордың сезімталдығы өлшенетін нейтронның энергиясынан тәуелді. Ал нейтронның спектрінің тығыздығы оның нысанадан ұшып шығу бұрышынан тәуелді.

Бұл эксперименттегі екінші ретті реакция тек қана жеңіл элементтен жасалған нысананы ауыр ионмен атқылаған кезде ғана байқалатыны анықталды. Таблицадан көретініміздей энергиялардың мәндері әр түрлі болған кезде алынатын нәтижелер де әр түрлі болады. Егер нысана ретінде алынатын жеңіл элементтерді өзгертсек алынатын мәндерде өзгеріп отырады. Бұдан байқайтынымыз ауыр иондар мен жеңіл элементтерден жасалған нысаналардың әр түрлі үйлесімдерінде кең диапазонды қамтитын сандар жиынтығын алуымызға болады.

Бұл эксперимент бізге Жер бетінде сирек кездесетін рудалардың құрамын анықтауда және оған анализ жасауда көмектеседі.

#### Падаланылған әдебиеттер тізімі

1. Гикал Б.Н. Выходы нейтронов из конструкционных металлов при бомбардировке тяжелыми ионами с энергией 2,5 МэВ/нуклон // Писма в ЭЧАЯ. 2014. Т.11. вып. 2 (186). С.293-301.

2. Гикал Б.Н. Циклотронный комплекс ДЦ-60 для научно-прикладных исследований и промышленного применения в области нанотехнологий // АЭ.2007. Т. 103, вып. 6. С. 357-364.
3. Гикал Б.Н. Вторичные реакции слияния при бомбардировке мишеней из легких элементов тяжелыми ионами низких энергий // \_ Писма в ЭЧАЯ. 2014.Т.11. вып. 4 (188).С 716-723.