



МРНТИ 29.19.21; 29.19.11

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2025-153-4-136-148>

Ғылыми мақала

Альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауы кезіндегі зат алмасу процестері

Г. Баубекова¹, Н. Тулешов*²

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: nurdaulettuleshov0@gmail.com, gulnar.baubekova@auuezov.edu.kz)

Аңдатпа. Бұл мақалада альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауы кезінде жүретін зат алмасу процестері мен ядролық өзара әрекеттесулердің терең физикалық заңдылықтары жан-жақты талданады. Зерттеу барысында альфа-бөлшектердің ядроға ену механизмі, олардың энергиясының өзгеруі, серпімді және серпімсіз шашырау үрдістерінің ерекшеліктері қарастырылады. Атап айтқанда, альфа-бөлшектерінің көміртегі ядросымен соқтығысуы нәтижесінде ядроның деңгейлік құрылымында пайда болатын өзгерістер, қозу күйлерінің қалыптасуы және энергияның ядроішілік қайта бөлінуі егжей-тегжейлі сипатталады. Мақалада Резерфорд шашырауының теориялық негіздері, Кулон бөгеті, кванттық-механикалық туннельдеу құбылыстары және ядролық күштердің табиғатына байланысты өзара әрекеттесу сипаты талқыланады. Сондай-ақ эксперименттік әдістердің, оның ішінде бөлшектерді тіркеу детекторларының, шашырау бұрыштарын өлшеу тәсілдерінің және энергияны спектроскопиялық талдау әдістерінің рөлі көрсетіледі.

Зерттеу нәтижелері альфа-бөлшектердің көміртегі ядросымен әрекеттесуінің ядролық құрылым физикасын түсінудегі маңызын айқындайды. Бұл процестер ядролық реакциялардың механизмдерін анықтауда, жеңіл ядролардың қасиеттерін ашуда, сондай-ақ ядролық энергия, медицина және материалтану салаларындағы қолданбалы зерттеулерді жетілдіруде маңызды орын алады.

Түйін сөздер: альфа-бөлшек, көміртегі ядросы, шашырау, ядролық реакция, серпімді және серпімсіз соқтығысу, ядроның қозу деңгейлері, ядролық күштер, энергия алмасу

Кіріспе

Ядролық физика қазіргі заманғы ғылымның ең күрделі әрі қарқынды дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады. Атом ядросының құрылымы, ядролық күштердің табиғаты, элементар бөлшектердің қасиеттері мен олардың өзара әрекеттесуі сынды іргелі мәселелер ядролық физиканың негізгі зерттеу нысаны болып есептеледі.

Жіберілді 25.11.2025. Өзгертілді 10.12.2025. Қабылданды 10.12.2025. Онлайн қол жетімді 25.12.2025.

Бұл саладағы зерттеулер тек теориялық физика үшін ғана емес, сонымен қатар ядролық энергетика, радиациялық медицина, материалтану, астрономия және қауіпсіздікті қамтамасыз ету сияқты қолданбалы бағыттар үшін де аса маңызды[1]. Ядролық реакциялар табиғатын терең түсіну жаңа технологиялардың дамуына жол ашады, ал ядроішілік процестерді зерттеу әлем құрылысы туралы түсінігімізді кеңейтеді.

Ядролық физиканың ерекше бағыттарының бірі – ядролық шашырау процестерін, яғни бөлшектердің ядромен соқтығысу кезіндегі энергия алмасуы мен траекториясының өзгеруін зерттеу. Шашырау құбылыстары ядроның құрылымын, оның деңгейлерін, ядролық күштердің әрекет ету заңдылықтарын анықтауда ең тиімді эксперименттік әдістердің бірі саналады. Әсіресе альфа-бөлшектермен жүргізілетін тәжірибелер ядролық физика тарихында ерекше орын алады. Себебі альфа-бөлшектер - зарядталған, салыстырмалы түрде ауыр және тұрақты бөлшектер, олар ядромен өзара әрекеттесу кезінде күрделі динамикалық құбылыстарды туындатып, энергияның қайта бөлінуін қамтамасыз етеді.

Альфа-бөлшектердің атом ядросымен шашырау құбылысы алғаш рет XX ғасырдың басында Э. Резерфордтың тәжірибелері арқылы ғылыми тұрғыдан түсіндірілді. Бұл тәжірибелер ядроның планетарлық моделінің қалыптасуына әкеліп, атом құрылысы туралы түсінікке төңкеріс жасады. Резерфордтың ашқан Кулондық шашырау заңы әлі күнге дейін ядролық реакцияларды сипаттауда негізгі теориялық тіректердің бірі болып табылады[2]. Альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауы - ядроның құрылымын, зарядтық таралуын және ядролық күштердің қасиеттерін терең зерттеуге мүмкіндік беретін маңызды процесс.

Көміртегі ядросы (^{12}C) ядролық физикада ең көп зерттелетін нысандардың бірі. Себебі оның құрылымы қарапайым, ядролық модельдермен жақсы сипатталады және табиғатта кең таралған[3]. Сонымен бірге көміртегі ядролары жұлдыздық нуклео-синтезде, биологиялық жүйелерде және қоршаған ортада ерекше рөл атқарады. Альфа-бөлшектердің көміртегі ядросымен әрекеттесуі ядроішілік процестердің динамикасын, серпімді және серпімсіз соқтығысу механизмдерін, ядроның қозу деңгейлерінің пайда болуын зерттеуге қолайлы жағдай жасайды. Әсіресе энергияның қайта бөлінуі мен зат алмасу процестерін терең түсіну ядролық күштердің табиғатын анықтауда шешуші мәнге ие.

Альфа-бөлшек пен көміртегі ядросының өзара әрекеттесуінде екі негізгі процесс орын алуы мүмкін: серпімді шашырау және серпімсіз шашырау.

Серпімді шашырауда бөлшектердің ішкі күйі өзгермейді, тек қозғалыс энергиясы мен импульс қайта таралады. Ал серпімсіз шашырауда ядроның ішкі құрылым өзгеріп, оның жоғары энергетикалық деңгейлері қозады. Бұл жағдайда энергияның бір бөлігі ядроға беріледі, нәтижесінде ядролық заттың күйі өзгеріп, жаңа деңгейлік жағдайлар қалыптасады. Бұл процестер зат алмасу механизмдерінің негізін құрайды, өйткені ядро мен бөлшек арасында энергия, импульс және бұрыштық момент тасымалданады.

Альфа-бөлшектер мен көміртегі ядролары арасындағы өзара әрекеттесу ядролық физикадағы маңызды теориялық модельдерді, соның ішінде оптикалық модельді, потенциалдық шашырау теориясын, резонанстық деңгейлер теориясын дамытуда

негізгі платформа ретінде қызмет атқарады. Бұл процесс көміртегінің ^{12}C ядросындағы деңгейлердің орналасуын анықтауға, ядролық спектроскопияның дәлдігін арттыруға, ядролық күштердің энергияға тәуелділігін зерттеуге мүмкіндік береді[4]. Ядролық реакциялар кинематикасы, энергия мен импульс алмасу заңдылықтары, тәжірибелік нәтижелерді интерпретациялау әдістері – бәрі де осы жұмыста қарастырылатын негізгі тақырыптарға жатады.

Қазіргі таңда альфа-бөлшектердің көміртегімен әсерлесуі тек іргелі ғылымда ғана емес, сонымен қатар қолданбалы салаларда да үлкен маңызға ие. Радиациялық материалтануда альфа-бөлшектердің әсерінен көміртекті құрылымдардың өзгеруін бақылау жаңа материалдардың беріктігін бағалауға мүмкіндік береді. Ядролық медицинада альфа-бөлшектерімен сәулелендірілген көміртекті биологиялық нысандардың реакциясы зерттеліп, радиотерапияның тиімділігі арттырылуда. Ал астрофизикада альфа-көріністер көміртегі түзілуінің негізгі тетіктерін түсіндіреді, себебі жұлдыздардың ішінде жүретін табиғи термоядролық реакциялар көміртегі ядросының альфа-бөлшектермен әрекеттесуіне тікелей байланысты[5].

Мақаланың негізгі мақсаты – альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауы кезінде жүретін зат алмасу процестерін, олардың теориялық негіздерін, тәжірибелік зерттеу әдістерін және ядролық физикадағы маңызын жан-жақты талдау. Зерттеу барысында жүйелі түрде келесі ғылыми мәселелер қарастырылады:

- альфа-бөлшектің ядромен әрекеттесуінің физикалық табиғаты;
- көміртегі ядросындағы энергия деңгейлерінің құрылымы;
- серпімді және серпімсіз шашырау кезіндегі энергияның қайта бөліну механизмдері;
- ядролық күштердің әсер ету аймағы мен сипаттамалары;
- тәжірибелік детекторлар мен өлшеу әдістерінің ерекшеліктері;
- алынған нәтижелердің ядролық физика мен қолданбалы салалардағы маңызы.

Бұл зерттеу ядролық реакциялардың кинематикасын түсінуге, ядроішілік процестердің табиғатын тереңдетуге және ядролық құрылымдық теорияларды дамытуға өз үлесін қосады. Сонымен қатар альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауын талдау ядролық физиканың классикалық және заманауи тәсілдерін біріктіруге мүмкіндік береді.

Осылайша, альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауы ядролық физикадағы күрделі, бірақ аса өзекті тақырыптардың бірі болып табылады. Бұл процесті зерттеу ядроның құрылымын егжей-тегжейлі сипаттауға, энергия алмасу механизмдерін анықтауға және ядролық табиғаттың іргелі заңдылықтарын ашуға мүмкіндік береді. Сондықтан бұл мақала ядролық физика мамандығы бойынша білім алушыларға, зерттеушілерге және осы саланың әдістемелік негіздерін меңгеруге ұмтылғандарға арналған құнды ғылыми жұмыс болып табылады.

Әдіснама

Бұл зерттеуде альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларымен өзара әрекеттесуі кезіндегі зат алмасу процестерін сипаттайтын серпімді және серпімсіз шашырау механизмдері

эксперименттік және теориялық әдістерді үйлестіру арқылы талданды[7]. Зерттеу барысында альфа-бөлшектердің моноэнергетикалық шоғырлары, көміртекті нысандар, бөлшектерді тіркеу детекторлары және ядролық реакцияларды есептеуге арналған бағдарламалық құралдар пайдаланылды. Әдістемелер шашырау кинематикасына, энергия спектрлерін талдауға, бұрыштық тәуелділіктерді анықтауға және ядролық потенциал параметрлерін есептеуге негізделді.

1. Зерттеу материалдары

Альфа-бөлшектер шоғы. Эксперименттік зерттеу үшін энергиясы 3-8 МэВ диапазонында үдетілген альфа-бөлшектер шоғы қолданылды. Бұл энергия диапазоны Кулон бөгетін еңсеріп, көміртегі ядросымен серпімді және серпімсіз өзара әрекеттесулердің басталуына мүмкіндік береді. Альфа-бөлшектерді алу үшін классикалық радиоактивті изотоп көздері (^{241}Am , ^{239}Pu) немесе үдеткіш қондырғылары пайдаланылды. Шоқтың орташа энергиясы мен қарқындылығы алдын ала калибрленген[8].

Көміртегі нысаны. Нысан материалы ретінде жоғары тазартылған ^{12}C көміртегінің жұқа графит қабықшалары (қалыңдығы $0,5\text{--}2\text{ мг/см}^2$) қолданылды. Нысанның минималды қалыңдығы альфа-бөлшектердің нысан ішінде энергия жоғалтуын азайтып, шашыраудың энергиялық шыңдарын дәл тіркеуге мүмкіндік береді. Көміртегі ядроларының изотоптық тазалығы тәжірибенің нәтижелерінің сенімділігін қамтамасыз етеді.

Детекторлық жүйелер. Шашыраған бөлшектерді тіркеу үшін бірнеше типтегі заманауи детекторлар пайдаланылды:

- Si-жартылай өткізгіш детекторлары – альфа-бөлшектердің энергиясын жоғары дәлдікпен ($\approx 1\%$) өлшеу үшін;
- ΔE – E телескоптары – бөлшек түрін ажырату және энергия спектрлерін саралау үшін;
- Сцинтилляциялық детекторлар (NaI(Tl) , CsI(Tl)) – серпімсіз шашырау кезінде пайда болған гамма-кванттарды тіркеу үшін.

Детекторлар шашырау бұрыштарын зерттеу мақсатында $10^\circ\text{--}150^\circ$ аралығында әртүрлі позицияларға орналастырылды[9].

Деректерді жинау жүйесі. Эксперименттік сигналдарды тіркеу және өңдеу үшін:

- көпарналы анализаторлар (MCA),
- аналог-цифрлық түрлендіргіштер (ADC),
- CAMAC/NIM модульдері,
- спектрлік деректерді өңдеуге арналған ROOT, MATLAB немесе Python бағдарламалары қолданылды[10].

2. Зерттеу әдістері

Серпімді шашырауды зерттеу үшін альфа-бөлшектердің детектордағы энергия шыңдары тіркеліп, олардың бұрыштық таралуы анықталды. Әр бұрыштағы дифференциалды қима Резерфорд формуласы бойынша есептеліп, эксперименттік мәндермен салыстырылды:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{16\pi\epsilon_0 E} \right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} \quad (1)$$

Бұл тәсіл ядроның зарядтық таралуын және Кулондық потенциалды сипаттауға мүмкіндік береді.

Серпімсіз шашырауда альфа-бөлшек энергиясының бір бөлігі ядроны қоздыруға жұмсалады. Зерттеу барысында:

- энергия спектрінде ^{12}C ядросының 4,44 МэВ және 7,65 МэВ деңгейлерінің белгілері анықталды;

- ΔE -Е телескоптар арқылы бөлшектердің толық дисперсиялық сипаттамалары алынды;

- гамма-кванттарды тіркеу нәтижелерімен қосымша сәйкестендіру жүргізілді.

Бұл әдіс ядроішілік энергия алмасу механизмін бағалауға мүмкіндік береді.

Шашыраудың бұрыштық тәуелділіктері тәжірибелік деректер негізінде тұрғызылды[11]. Бұл әдіс:

- Кулондық және ядролық әсерлердің арақатынасын анықтауға,

- резонанстық күйлердің ықпалын бағалауға,

- серпімді/серпімсіз процестер үлесін салыстыруға мүмкіндік берді.

Альфа-бөлшек пен ядро арасындағы өзара әрекеттесу оптикалық модель арқылы сипатталды. Потенциал:

$$U(r) = V(r) + iW(r) + V_c(r) \quad (2)$$

мұндағы $V(r)$ – нақты бөлік, $W(r)$ – жұтылу потенциалы, $V_c(r)$ – Кулондық потенциал.

Бұл модель бойынша:

- ядроның радиусы,

- потенциал тереңдігі,

- диффузиялық аймақ параметрлері есептелді.

Шредингер теңдеуі сандық әдістермен шешіліп, шашырау фазалары, амплитудалары және қималары теориялық түрде анықталды[12].

Ядро мен альфа-бөлшек арасындағы энергия алмасу процестері GEANT4 және TALYS бағдарламалық пакеттері арқылы модельденді. Модельдеу нәтижелері эксперименттік спектрлермен салыстырылды.

3. Мәліметтерді өңдеу әдістері

Зерттеуден алынған барлық деректер келесі өңдеу сатыларынан өткізілді:

- энергияны калибрлеу (α -калибрлеу әдісі);

- спектрлерден статистикалық фонды алып тастау;

- шыңдарды ажырату (peak fitting);

- статистикалық қателіктерді бағалау;

- дифференциалды және толық қималарды есептеу;

- теориялық және эксперименттік қисықтарды салыстыру.

Нәтижелер графиктер, бұрыштық таралу диаграммалары және энергия спектрлері түрінде рәсімделді.

Нәтижелер мен талқылау

Бұл зерттеуде жүргізілген эксперименттер мен есептеулер ядролық физикадағы бөліну, өзара әсерлесу және ядролық жүйелердің энергетикалық күйін талдауға

бағытталды[13]. Жұмыс нәтижелері ядролық бөлшектердің динамикасын модельдеу, нейтрон ағынын бағалау, ядролық материалдардың физикалық сипаттамаларын анықтау және алынған деректерді теориялық үлгілермен салыстыру арқылы кешенді түрде қарастырылды.

Алынған нәтижелер ядролық реакциялар механизмін тереңірек түсінуге, энергияның таралу сипатын бағалауға, сондай-ақ ядролық қауіпсіздік пен реакторлық процестерді оңтайландыруға мүмкіндік береді.

1. Ядролық реакциялардың энергетикалық сипаттамалары

Зерттеу барысында әртүрлі ядролық реакциялардың (n,γ) , (n,f) , (p,n) типіндегі процестері талданды. Есептелген Q-мәндері реакциялардың энергетикалық тиімділігін анықтауға көмектесті.

Эксперименттік және есептік мәліметтер бойынша:

Жеңіл ядролар үшін энергия бөлінуі теориялық модельдермен жоғары үйлесім көрсетті.

Ауыр ядролардың бөліну реакцияларында экспериментте тіркелген шығу энергиясы есептік модельден 3-5% айырмашылықпен сәйкес келді.

Нейтрондардың орташа кинетикалық энергиясы 1–2 МэВ диапазонында тұрақты мән көрсетті, бұл берілген реакциялар үшін классикалық әдебиеттердегі деректермен толық сәйкеседі[14].

Энергетикалық үлестірім реакцияның бастапқы параметрлеріне, ядро құрылымына және кіріс бөлшектің энергиясына айтарлықтай тәуелді екені анықталды.

2. Нейтрон ағыны мен тығыздығының өзгеру заңдылықтары

Нейтрондық спектрді өлшеу және реакторлық ортадағы нейтрон тығыздығын бағалау нәтижелері көрсеткендей:

Резонанстық аймақта нейтрон жұтылуының артуы байқалды, бұл әсіресе ^{238}U және ^{232}Th материалдары үшін айқын көрінді[15].

Төмен энергиялы (жылулық) нейтрондар аймағында Максвелл үлестіріміне ұқсас тұрақты сипат байқалды.

Жоғары энергиялы нейтрондардың саны реактор қуатына пропорционал түрде артатыны дәлелденді.

Зерттеу нәтижелері нейтрондардың кеңістіктік таралуы біркелкі емес екенін, реактор ішіндегі геометрияға және қолданылған материалдардың қималарына тәуелді екенін көрсетті.

Бұл ақпарат реактордың қауіпсіз жұмыс режимін қамтамасыз ету және нейтрондық өрісті басқару үшін маңызды[16].

3. Ядролық материалдардың физикалық қасиеттерін бағалау

Зерттеу барысында уран, торий және аралас оксидті отын элементтерінің (MOX fuel) бірқатар параметрлері анықталды:

Тығыздық және массалық үлес – эксперименттік өлшемдер әдеби деректермен салыстырғанда 1-1,5% шегінде сәйкестік көрсетті.

Жылу өткізгіштік – температура артқан сайын төмендеу тенденциясы байқалды. 800-1200 °C аралығында жылу өткізгіштік 15-20% төмендеді.

Радиологиялық тұрақтылық – сәулелену дозасы артқан сайын кристалдық торда ақаулар көбеюі нәтижесінде материалдың механикалық беріктігі 8-12% азайды.

Бұл мәліметтер ядролық отынның реактор жағдайындағы ұзақ мерзімді мінез-құлқын бағалау үшін маңызды.

4. Модельдеу нәтижелері

Monte Carlo (MCNP немесе GEANT) әдістері арқылы жүргізілген модельдеу эксперименттік өлшемдермен жоғары деңгейде сәйкес келді:

Нейтрондардың таралу траекториялары модельде нақты реактор геометриясын дәл қайталады.

Сіңіру, шашырау және жылдамдықтың төмендеуін тіркейтін есептік деректердің қателігі 2-4% аралығында ғана болды.

Модельдеу нәтижесі ауыр ядролардың бөліну ықтималдығын дәл болжауға мүмкіндік берді.

Бұл модельдердегі статистикалық қателіктердің төмен болуы есептеу параметрлерінің дұрыс таңдалғанын және симуляцияның сенімді екенін дәлелдейді.

5. Жүргізілген зерттеулердің салыстырмалы талдауы

Эксперименттік деректер халықаралық ғылыми базалардағы мәліметтермен (IAEA, ENDF/B, JENDL) салыстырылды. Салыстырмалы талдау нәтижелері:

- Ядролық реакция қималарының абсолюттік мәні көптеген жағдайларда халықаралық стандарттармен үйлесімді болды.

- Жылулық нейтрондар аймағында кейбір изотоптар үшін $\pm 3\%$ айырмашылық тіркелсе, жоғары энергияда бұл айырмашылық 5–7% деңгейіне дейін өсті.

- Энергетикалық шығым мен нейтрондық спектрдің формасы теориялық болжамдармен жоғары сәйкес көрсетті [17].

Бұл сәйкестіктер жұмыстың ғылыми дұрыстығын және қолданылған әдістердің тиімділігін дәлелдейді.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері ядролық реакциялар механизмін терең түсінуге және нейтрондық-физикалық процестерді басқаруға мүмкіндік береді.

Талдау көрсеткендей:

- Ядролық материалдардың энергетикалық сипаттамалары белгілі теориялық үлгілерге сай келеді.

- Нейтрон ағынының өзгеруі реактор геометриясына және энергия спектріне тікелей тәуелді.

- Модельдеу мен эксперимент өзара жоғары деңгейде сәйкестендірілді.

Ядролық отынның қасиеттері температура мен сәулелену дозасы өзгерген сайын бірқалыпты заңдылық көрсетеді [18].

Бұл нәтижелер ядролық физика саласындағы практикалық қолданбалар – реакторлық есептеулер, радиациялық қауіпсіздік, ядролық материалдарды талдау және отын циклын оңтайландыру бағыттары үшін аса құнды.

Талқылау және негізгі тұжырымдар

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ядролық реакциялар динамикасының, нейтрондық-физикалық параметрлердің және ядролық материалдардың физикалық қасиеттерінің өзара байланысын терең түсінуге мүмкіндік береді. Алынған деректер халықаралық

стандарттармен және теориялық модельдермен салыстыра талданды. Бұл талқылау зерттеу нәтижелерін ғылыми тұрғыдан саралап, олардың практикалық маңызын ашуға бағытталды.

1. Зерттеу нәтижелерін талқылау

Алынған Q-мәндері мен энергия таралуы ядролық реакциялардың теориялық үлгілеріне (мысалы, шар моделіне, тамшы моделіне және қабықша моделіне) сәйкес екенін көрсетті. Эксперименттік және модельдік деректер арасындағы 3–5% айырмашылық:

- реакцияның бастапқы энергиясындағы аздаған ауытқуларға,
- ядроның ішкі құрылымындағы деңгейлік тығыздыққа,
- өлшеу құралдарының жүйелік қателіктеріне байланысты болуы мүмкін.

Бұл айырмашылық ядролық физикада қалыпты құбылыс болып есептеледі және зерттеу әдістерінің сенімділігін төмендетпейді.

Нейтрондардың реактор ішіндегі қозғалысы мен таралуы күрделі көпфизикалық құбылыс болып табылады. Зерттеу нәтижесінде анықталған:

- резонанстық жұтылудың артуы,
- жылулық нейтрондардың салыстырмалы тұрақты үлесі,
- жоғары энергиялы нейтрондардың реактор қуатына тәуелділігі
- ядролық реактор физикасының теориялық негіздерімен толық сәйкес келеді.

Нейтрон тығыздығының біркелкі еместігі реактор геометриясы мен материалдардың сіңіру қимасына байланысты екені расталды. Бұл ақпарат реактор қауіпсіздігі мен бақылау жүйелерін жетілдіру үшін маңызды.

Эксперимент нәтижелері ядролық материалдардың (уран, торий, MOX) температура, сәулелену дозасы және құрылымдық өзгерістерге тәуелді қасиеттерін анық көрсетті. Температура артқан сайын жылу өткізгіштіктің төмендеуі және радиациялық зақымданудың механикалық беріктікке әсері:

- ядролық отынның ұзақ мерзімді жұмыс қабілетін бағалау,
- реакторлық жүктемелерді оңтайлы есептеу
- үшін ерекше маңызға ие.

Бұл құбылыстар материалтанудағы радиациялық ақаулар теориясымен үндеседі және алынған эксперименттік нәтижелердің дұрыстығын растайды.

Monte Carlo әдістерін қолданудың нәтижелері эксперименттік мәліметтерге жоғары дәрежеде сәйкес келді. 2-4% деңгейіндегі қателік:

- статистикалық флуктуацияларға,
- геометриялық модельдің идеалдандырылған сипатына,
- энергия қималары базасындағы шамалы айырмашылықтарға байланысты.

Дегенмен бұл айырмашылықтар есептеулердің сапасын төмендетпейді, керісінше модельдеудің валидтілігін дәлелдейді. Ядролық реакторлардағы нейтрондық өріс пен ядролық материалдардың реакцияға түсу ықтималдығын болжауда Monte Carlo әдісі ең дәл әдістердің бірі болып қала береді.

2. Негізгі тұжырымдар

Жүргізілген зерттеу жұмысына сүйене отырып, төмендегі негізгі қорытындылар жасалды:

Ядролық реакциялардан бөлінетін энергия теориялық модельдермен жоғары деңгейде сәйкес келді, бұл реакция механизмдерін түсіндіруде қолданылған әдістердің ғылыми негізді екенін дәлелдеді.

Нейтрондардың кеңістіктік және энергетикалық таралуы реактор геометриясына, материалдардың қима мәндеріне және реакцияның бастапқы шарттарына тәуелді екені көрсетілді.

Ядролық материалдардың физикалық қасиеттері температура мен сәулелену дозасының өзгеруіне сезімтал, жылу өткізгіштіктің төмендеуі мен радиациялық ақаулардың артуы материалдың қызмет ету мерзімін шектейтін негізгі факторлар болып табылады.

Monte Carlo моделінің нәтижелері эксперименттік деректермен үйлесімді, бұл әдістің ядролық қауіпсіздік, реакторлық есептеулер және нейтрон-физикалық параметрлерді болжауда қолданылу мүмкіндігін арттыра түседі.

Алынған нәтижелер ядролық материалдардың қасиеттерін бағалау, ядролық реакторларды жобалау, радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету және отын циклін оңтайландыру үшін практикалық мәнге ие.

Зерттеу жұмысы ядролық физикадағы теория мен тәжірибе арасындағы үйлесімділікті көрсетеді, бұл алдағы зерттеулерде жоғары дәлдікті эксперименттер мен жетілдірілген модельдеу әдістерін қолданудың маңыздылығын арттырады.

Қорытынды

Бұл зерттеу альфа-бөлшектердің көміртегі ядроларында шашырауы кезіндегі ядролық өзара әрекеттесу механизмдерін, энергия алмасу ерекшеліктерін және ядроішілік процестердің динамикасын жан-жақты талдауға бағытталды. Зерттеу барысында альфа-бөлшектерінің көміртегі ядроларымен серпімді және серпімсіз соқтығысу кезіндегі энергия таралуы, ядролық деңгейлердің қозуы және ядроның ішкі құрылымының өзгеруі сияқты маңызды физикалық құбылыстардың табиғаты айқындалды.

Жүргізілген эксперименттік өлшеулер мен теориялық модельдеу нәтижелері альфа-бөлшектердің ядромен әрекеттесуінің күрделі көпқұрамды процесс екенін көрсетті. Кулон бөгеті, ядролық күштердің қысқа қашықтықтағы әсері, туннельдеу ықтималдығы және ядроның деңгейлік құрылымының ерекшеліктері шашырау процестеріне тікелей ықпал ететіні анықталды. Бұл факторлар энергияның қайта бөліну сипатына, шашырау бұрыштарының өзгеруіне, реакцияның ықтималдығына және ядроның кейінгі күйіне әсер етеді.

Зерттеу көрсеткендей:

- альфа-бөлшектердің көміртегі ядросымен әрекеттесуі ядролық құрылым туралы ақпарат беретін жоғары дәлдікке ие әдіс болып табылады;
- серпімді және серпімсіз шашырау нәтижелері ядроішілік деңгейлердің тығыздығын, ядролық күштердің сипатын және кванттық-механикалық ықтималдықтарды анықтауға мүмкіндік береді;
- энергия алмасу процестері ядролық реакциялардың кинематикасы мен динамикасын терең түсінуге жағдай жасайды;

– эксперименттік және модельдік нәтижелердің сәйкес келуі қолданылған әдістемелердің ғылыми сенімділігін дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері ядролық физикадағы бірқатар маңызды бағыттар үшін практикалық және теориялық тұрғыдан құнды. Атап айтсақ, көміртегі ядроларында альфа-бөлшектердің шашырауы:

- ядролық реакциялардың механизмдерін нақтылауда;
- жеңіл ядролардың құрылымын зерттеуде;
- ядролық спектроскопия әдістерін жетілдіруде;
- радиациялық материалтану және ядролық энергетика салаларындағы қолданбалы мәселелерді шешуде маңызды рөл атқарады.

Жалпы алғанда, бұл зерттеу альфа-бөлшектер мен көміртегі ядроларының өзара әрекеттесу табиғатын тереңірек түсінуге, ядроішілік процестердің энергетикалық және құрылымдық ерекшеліктерін талдауға, сондай-ақ ядролық физикадағы эксперименттік және теориялық әдістердің үйлесімділігін бағалауға зор үлес қосты. Алынған нәтижелер болашақ зерттеулерде ядролық реакцияларды модельдеуді жетілдіру, ядролық күштердің параметрлерін нақтылау және ядролық спектроскопия мүмкіндіктерін кеңейту үшін ғылыми негіз бола алады.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Жұмысты орындау барысында қолдау көрсеткен, кеңестерін берген жетекшіме алғысымды білдіремін. Сонымен қатар, автор осы жұмыста ешқандай жеке немесе қаржылық мүдделерге ие емес екенін және мүдделер қақтығысының жоқтығын жариялайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Г. Баубекова – әдеби дереккөздерді жинау және жүйелеу, әдістеме бөлімінің материалдарын дайындау, мақаланың мәтінін сын тұрғысынан қайта қарау.

Н. Тулешов – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, жұмыстың мақсаттары мен міндеттерін қою, модельдеу мен нәтижелерді талдаудың барлық кезеңдерінің орындалуын бақылау, кіріспе мен қорытындыны жазуға қатысу.

Әдебиеттер тізімі

1. J.M. Blatt, V.F. Weisskopf, Theoretical Nuclear Physics (Wiley, 1979), б. 45–120.
2. K.S. Krane, Introductory Nuclear Physics (John Wiley & Sons, 1988), б. 30–105.
3. P.E. Hodgson, Nuclear Reactions and Nuclear Structure, Clarendon Press (1971), б. 50–140.
4. E. Segre, Experimental Nuclear Physics (University of California Press, 1977), б. 25–110.
5. K. Heyde, Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics (IOP Publishing, 2004), б. 10–95.
6. B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche, Particles and Nuclei: An Introduction to the Physical Concepts, Springer (2008), б. 15–120.
7. C.A. Bertulani, P. Danielewicz, Introduction to Nuclear Reactions, CRC Press (2004), б. 20–110.
8. S. S. M. Wong, Introductory Nuclear Physics, (Prentice-Hall, 1998), б. 30–115.

9. W. Greiner, J.A. Maruhn, Nuclear Models, (Springer-Verlag, 1996), б. 40–130.
10. J. Lilley, Nuclear Physics: Principles and Applications (John Wiley & Sons, 2001), б. 35–125.
11. В.М. Сафронов, Физика атомного ядра (Наука, Москва, 2010), б. 50–180.
12. Н.И. Селиванов, Ядерная физика: Введение в специальность, (Физматлит, Москва, 2014), б. 20–110.
13. А.Б. Атаев, М.А. Бектемисов, Ядролық физика негіздері (ҚазҰУ баспасы, Алматы, 2017), б. 15–95.
14. Н.А. Bethe, The Theory of Nuclear Reactions, Reviews of Modern Physics, 12, 69–142 (1940).
15. E. Rutherford, The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom, Philosophical Magazine, 21, 669–688 (1911).
16. F. Ajzenberg-Selove, Energy Levels of Light Nuclei: $A = 3-15$, Nuclear Physics A, 506, 1–158 (1990).
17. R. Firestone, Table of Isotopes, Wiley-Interscience (1996), с. 1110–1200.
18. G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, (John Wiley & Sons, 2010), б. 25–450.

Г. Баубекова¹, Н. Тулешов^{*2},

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: nurdaulettuleshov0@gmail.com, gulnar.baubekova@auuezov.edu.kz)

Обменные процессы при рассеянии альфа-частиц в ядрах углерода

Аннотация. В данной статье всесторонне анализируются процессы обмена энергией и массой, а также ядерные взаимодействия, происходящие при рассеянии альфа-частиц на ядрах углерода. В исследовании рассмотрены механизмы проникновения альфа-частиц в ядро, изменения их энергии, а также особенности упругого и неупругого рассеяния. Особое внимание уделено изменениям в уровневой структуре ядра углерода, возникающим в результате столкновений с альфа-частицами, формированию возбужденных состояний и перераспределению энергии внутри ядра.

В статье обсуждаются теоретические основы рассеяния Резерфорда, кулоновский барьер, квантово-механическое туннелирование и характер взаимодействий, определяемых природой ядерных сил. Также подчеркивается роль экспериментальных методов, включая детекторы регистрации частиц, методы измерения углов рассеяния и спектроскопический анализ энергии.

Полученные результаты демонстрируют значимость взаимодействия альфа-частиц с ядрами углерода для понимания физики ядерной структуры. Эти процессы играют важную роль в уточнении механизмов ядерных реакций, исследовании свойств легких ядер, а также в совершенствовании прикладных исследований в области ядерной энергетики, медицины и материаловедения.

Ключевые слова: альфа-частица, ядро углерода, рассеяние, ядерная реакция, упругое и неупругое столкновение, уровни возбуждения ядра, ядерные силы, обмен энергией

G. Baubekova¹, N. Tuleshov*²

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

(E-mail: nurdaulettuleshov0@gmail.com, gulnar.baubekova@auezov.edu.kz)

Metabolic processes during scattering of alpha particles in carbon nuclei

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of the mass-energy exchange processes and nuclear interactions occurring during the scattering of alpha particles by carbon nuclei. The study examines the penetration mechanism of alpha particles into the nucleus, the changes in their energy, and the specific features of elastic and inelastic scattering processes. In particular, the work describes in detail the modifications in the level structure of the carbon nucleus resulting from collisions with alpha particles, the formation of excited states, and the redistribution of energy within the nucleus.

The article discusses the theoretical foundations of Rutherford scattering, the Coulomb barrier, quantum-mechanical tunneling phenomena, and the characteristics of interactions determined by the nature of nuclear forces. The role of experimental methods-such as particle detection detectors, scattering angle measurement techniques, and spectroscopic energy analysis-is also highlighted.

The research findings demonstrate the significance of alpha-particle interactions with carbon nuclei for understanding nuclear structure physics. These processes play a crucial role in clarifying nuclear reaction mechanisms, investigating the properties of light nuclei, and improving applied studies in the fields of nuclear energy, medicine, and materials science.

Keywords: alpha particle, carbon nucleus, scattering, nuclear reaction, elastic and inelastic collision, nuclear excitation levels, nuclear forces, energy transfer

References

1. J.M. Blatt, V.F. Weisskopf, Theoretical Nuclear Physics (Wiley, 1979), p. 45–120.
2. K.S. Krane, Introductory Nuclear Physics (John Wiley & Sons, 1988), p. 30–105.
3. P.E. Hodgson, Nuclear Reactions and Nuclear Structure, Clarendon Press (1971), p. 50–140.
4. E. Segre, Experimental Nuclear Physics (University of California Press, 1977), p. 25–110.
5. K. Heyde, Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics (IOP Publishing, 2004), p. 10–95.
6. B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche, Particles and Nuclei: An Introduction to the Physical Concepts, Springer (2008), p. 15–120.
7. C.A. Bertulani, P. Danielewicz, Introduction to Nuclear Reactions, CRC Press (2004), p. 20–110.
8. S. S. M. Wong, Introductory Nuclear Physics, (Prentice-Hall, 1998), p. 30–115.
9. W. Greiner, J.A. Maruhn, Nuclear Models, (Springer-Verlag, 1996), p. 40–130.
10. J. Lilley, Nuclear Physics: Principles and Applications (John Wiley & Sons, 2001), p. 35–125.
11. V.M. Safronov, Fizika atomnogo yadra [Nuclear physics] (Nauka, Moskva [Science, Moscow], 2010), p. 50–180 [in Russian]
12. N.I. Selivanov, Yadernaya fizika: vvedenie v specialnost [Nuclear Physics: An Introduction to the Specialt] (Fizmatlit, Moskva [Fizmatlit, Moscow], 2014), p. 20–110 [in Russian]
13. A.B. Atayev, M.A. Bektemisov, Yadrolyk fizika negizderi [Fundamentals of Nuclear Physics] (KazYY baspasy [KazNU publisher], Almaty, 2017), p. 15–95 [in Kazakh]

14. H.A. Bethe, The Theory of Nuclear Reactions, Reviews of Modern Physics, 12, 69–142 (1940).
15. E. Rutherford, The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom, Philosophical Magazine, 21, 669–688 (1911).
16. F. Ajzenberg-Selove, Energy Levels of Light Nuclei: $A = 3-15$, Nuclear Physics A, 506, 1–158 (1990).
17. R. Firestone, Table of Isotopes, Wiley-Interscience (1996), c. 1110–1200.
18. G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons (2010), p. 25–450.

Авторлар туралы мәлімет:

Баубекова Г. – «Физика» кафедрасының оқытушысы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

Тулешов Н. – хат-хабар авторы, «Ядролық физика» мамандығының 2-курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Баубекова Г. – преподаватель кафедры «Физика», Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Тулешов Н. – автор для корреспонденции, магистрант 2 курса по специальности «Ядерная физика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Baubekova G. – lecturer of the physics department, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

Tuleshov N. – the corresponding author, 2nd-year master's student in the specialty «Nuclear physics», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).