

параметрами экспонент, выбираемыми псевдослучайным образом. Представлены расчеты нерелятивистские энергии основного состояния для атома гелия. Численные результаты расчетов приведены в таблице 1. Были произведены исследования сходимости, в зависимости от числа пробных функций, что позволяет утверждать, что точность достигает  $10^{-35}$  а.е. Эта точность достаточна для получения надежных теоретических предсказаний.

### Список литературы

1. L.I. Ponomarev Review of the  $\mu$ CF Theory after EXAT-98 // *Hyperfine Interactions*, T. – 2001. – Vol. 138. -P. 15-23.
2. L.I. Ponomarev Muon Catalyzed Fusion and Basic Muon Reactions in Deuterium and Hydrogen // *Contemporary Physics* T. -1991. –Vol. 31. –P. 219.
3. P.J. Möhr and B.N. Taylor Precision Physics of Simple Atomic Systems // *Rev. Mod. Phys.* T. – 2000. –Vol. 72. – P. 351-358.
4. V.I. Korobov, D. Bakalov and H.J. Monkhorst New variational expansion for the antiprotonic helium atoms // *Phys. Rev. A.* – 1999. –Vol. 59. – P.919-921.
5. D.T. Aznabaev, A.K. Bekbaev, and V.I. Korobov Nonrelativistic energy levels of helium atoms // *Phys. Rev. A.* -2018. – Vol. 98 . – P.510 -518.

ӘӨЖ 543.429.22

## ТЫРНАҚ ДОЗИМЕТРИЯСЫНЫҢ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙДА ҚОЛДАНЫЛУЫ

**Амандықова А.М., Жанузаков М.М.**

*altyn\_ma@mail.ru*

Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар 2-ші курс магистранты

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ғылыми жетекші – Жумадилов К.Ш.

### Кіріспе

Сәулеленуден кейінгі оқшауланған тіс дозиметриясы және басқа да биологиялық дозиметрия әдістері радиацияның елеулі әсер етуі мүмкін жағдайларды зерттеуде және дозаны қалпына келтіруде өте пайдалы әдістер екендігі дәлелденді [1]. Дегенмен, жарақаттанушылар саны көп төтенше жағдайдан кейін сұрыптау нәтижесін дереу бере алатын қолданыстағы «тірі тіс» дозиметрия әдісінің өткізгіштік қасиеті шектеулі болуы мүмкін. Ал көптеген белгілі дозиметриялық әдістер анық нәтижелерді алғанға дейін уақыт талап етеді. Соңғы зерттеулер, жарақаттанушы адам саны көп болған жағдайда, тырнақ немесе аяқ тырнақтарына жүргізілген ЭПР негізіндегі дозиметрия жағдайды жоғары деңгейде бағалаудың тиімді әдісі болуы мүмкін екендігін көрсетеді. Тырнақтар көп мөлшерде  $\alpha$ -кератинмен қамтылған және бұл компонентте радиация әсерінен пайда болатын радикалдардан бақыланатын ЭПР сигналдары көрінеді. Сол сияқты, шашта да көп мөлшерде  $\alpha$ -кератин бар. Өкінішке орай, шашта сонымен қатар радиация сигналын жасыра алатын кең, қарқынды ЭПР сигналға ие меланин бар.

ЭПР негізіндегі тырнақ дозиметриясының айтарлықтай артықшылықтары бар:

- Дозаны өлшеу үшін үлгілерді оңай алуға болады.
- Дозаны дереу бағалау мүмкіндігі.
- Дозаны өлшеу орындары дененің әр жерінде орналасқан, яғни қолда және аяқта. Бұл өлшемдер ЭПР негізіндегі тіс дозиметриясын өте жақсы толықтырады.
- Өлшеулерді кең таралған және қол жетімді X-диапазонды қарапайым рентген спектрометрлерімен жүргізуге болады.
- Өте сезімтал, шағын өрістегі X-диапазонды ЭПР спектрометрлерінің көптігі.

- Алдыңғы жасалған зерттеулерді негізге ала отырып ЭПР негізіндегі тырнақ дозиметриясы үшін хаттама жасау кезінде ескеру қажет факторлар бар [2]:
- Пайда болған радиациялық сигналдың азаюы (RIS).
- Фондық сигналдың болуы (BKS).
- Үлгіні жинау кезінде механикалық әсерден туындаған сигнал потенциалы (MIS).
- Су құрамының әсері.
- Бірнеше негізгі факторлардың өзара өзгеру мүмкіндігі: RIS және MIS сигналдарының ыдырауы, BKS шамасы мен радиацияға байланысты дозаның өзгерісі.

Төтенше жағдайда қысқа мерзім ішінде үлгілердің көп мөлшерін өлшеуді жүргізу үшін алдын-ала орнатылған нұсқаулықтың немесе хаттаманың болуы өте маңызды. Жұмыстың негізгі мақсаты – төтенше жағдайларда қолданылуы мүмкін, тырнақтағы ЭПР өлшемдеріне негізделген дозаны бағалау үшін операциялық хаттама ұсыну және сипаттау. Хаттама тырнақтағы ЭПР спектрлерінің құрамын зерттеу нәтижелеріне негізделіп жасалған [3,4].

### Материалдар және әдістер

#### 1. Дозиметрияға арналған нұсқаулық

- Тырнақ дозиметриясына арналған нұсқаулық келесі қадамдардан тұрады:
- Үлгіні жинау және сақтау
- ЭПР өлшемдері, соның ішінде үлгіні дайындау  
Дозаны бағалау.

Үш негізгі спектральды компоненттер: радиация әсерінен туындаған сигнал (RIS), ішкі фондық сигнал (BKS) және механикалық әсерден туындаған сигнал (MIS) тырнақтағы ЭПР спектрін анықтай алады. RIS сигналының құрылымы әлі толық зерттелмеген, бірақ оның құрамында кемінде 2 компонент бар екендігін көрсететін кейбір белгілер бар [3]. Негізгі RIS сызығы – бұл MIS және BKS сызықтарымен бірігетін синглет. Сондықтан сәулелену дозасын бағалау үшін MIS және BKS үлестерін түзету қажет.

Негізгі RIS компоненті тырнақ құрамындағы су мөлшері мен температураға тәуелді қатып қалу қасиетіне ие. Дозаны есептеудің ең оңай тәсілі - MIS және BKS үлестерін негізгі синглет қарқындылығынан азайтып, алынған RIS қарқындылығын, (1)-теңдеуде көрсетілгендей, уақыттың өтуімен ыдырауы бойынша түзету [4]:

$$D_{до́за} = (S_{то́лык} - S_{BKS} - S_{MIS}) * F(T, t, H) * D \quad (1)$$

мұндағы,  $S_{total}$  – синглетті сызықтың толық қарқындылығы,  $S_{BKS}$  – фондық сигнал қарқындылығы,  $S_{MIS}$  – механикалық әсерден туындаған сигнал қарқындылығы,  $F$  – өшу коэффициенті,  $D$  – сәулелену сезімталдығының коэффициенті. Тырнақтағы ЭПР дозасының сызықтығы 3-тен 100 Гр аралығында анықталды. RIS-ң өшуін есептеу үшін бұл процесті, (2)-теңдеуде көрсетілгендей,  $t$ (сәулеленуден кейін өткен уақыт),  $T$ (сақтау температурасы) және  $N$ (ылғалдылық) функцияларының экспоненциалымен сипаттауға болады:

$$F(T, t, H) = e^{-e^{\frac{c_1}{kT}} t e^{(c_2 * H)}} \quad (2)$$

#### 2. Үлгіні жинау және сақтау

Әсер еткен дозаның таралуы туралы нақты ақпарат алу үшін үлгілерді бөлек (оң/сол, аяқ/қол) жинаған жөн. Үлгілер мүмкіндігінше үлкен және кесулер саны аз болуы керек. Үлгіні арнайы өңдеудің қажеті жоқ. Сәулеленуден кейін үлгілерді жинау кезінде терінің шамадан тыс терлегіштігіне немесе үлгінің кез-келген сумен әсерлесуіне назар аударып, жазып алу өте маңызды. Себебі, RIS сигналына су елеулі әсер етуі мүмкін. Үлгіні төмен температурада (<0 °C) сақтау RIS сигналының ыдырау жылдамдығын төмендетеді. Демек, әсер етуші дозаның сақтаалу уақыты ұзарады. Мысалы, сәулелендірілген тырнақтарды сұйық азот температурасында сақтау дозаны өлшеуге сәулеленгеннен кейінгі бірнеше айдан кейін де болады. Ал оларды -20°C (үйдегі мұздатқыштарда) ішінде ұстау бірнеше аптаға дейін

нақты дозаны өлшеуді қол жеткізуге болатын уақытты ұзартады. Өлшенген RIS сигналының қарқындылығын өзгерту мүмкіндігі болуы үшін үлгіні сақтау уақыты мен температурасын баяндау өте маңызды. Осы сұрақ бойынша келесі деректер үлгіні жинау кезінде жазылуы керек:

- Тұлға туралы ақпарат (аты-жөні, жасы, жынысы, кәсіби қызметі).
- Сәулелену уақыты, күні, және түрі.
- Субъекттің сәулелену көзіне қатысты шамамен арақашықтығы.
- Субъекттің сәулеленгеннен кейінгі белсенділігі (іс-әрекеті, қол жуу, душ, іс-әрекет жиілігі және дене белсенділігінің ұзақтығы).
- Тырнақ үлгілерін жинау келесі түрде өтуі керек:
- Субъекттерге қол жууға болмайды. Егер де жуылған болса ескерту керек.
- MIS сигналының қарқындылығын төмендету үшін тырнақтарды мүмкіндігінше үлкенірек және кесулер санын минималды етіп алу керек.
- Аяқтағы және қолдағы тырнақ кесектерін екі жағынан (оң/сол) бөлек жинап, белгілеп алу керек.
- Жаңа кесілген тырнақтарды ешқандай арнайы өңдеуден өткізбей, нақты бекітілген, мөрленген шағын түтікке немесе контейнерге салып қою керек.
- Мүмкін болса, контейнерді жаппас бұрын, әрбір үлгіні дәл өлшеп, жазып алыңыз.
- Контейнерлер қол жетімді ең төмен температурада сақталуы керек. Сақтау құрылғысының түрін, уақытын және температурасын жазып алу керек.
- Сақтау мен тасымалдау кезіндегі температура өзгерісін (температура мен уақыт ұзақтығы) хабарлау керек.

Егер тырнақ кесектері лас болса, сусыз тазалауға болады, бірақ MIS сигналы үлкеймеу үшін жырығын аз қылып алу керек. Үлгіден алынған суды өлшеу үшін кептіруге дейін және кейін оның салмағын өлшеу керек.

### *3. Үлгіні дайындау*

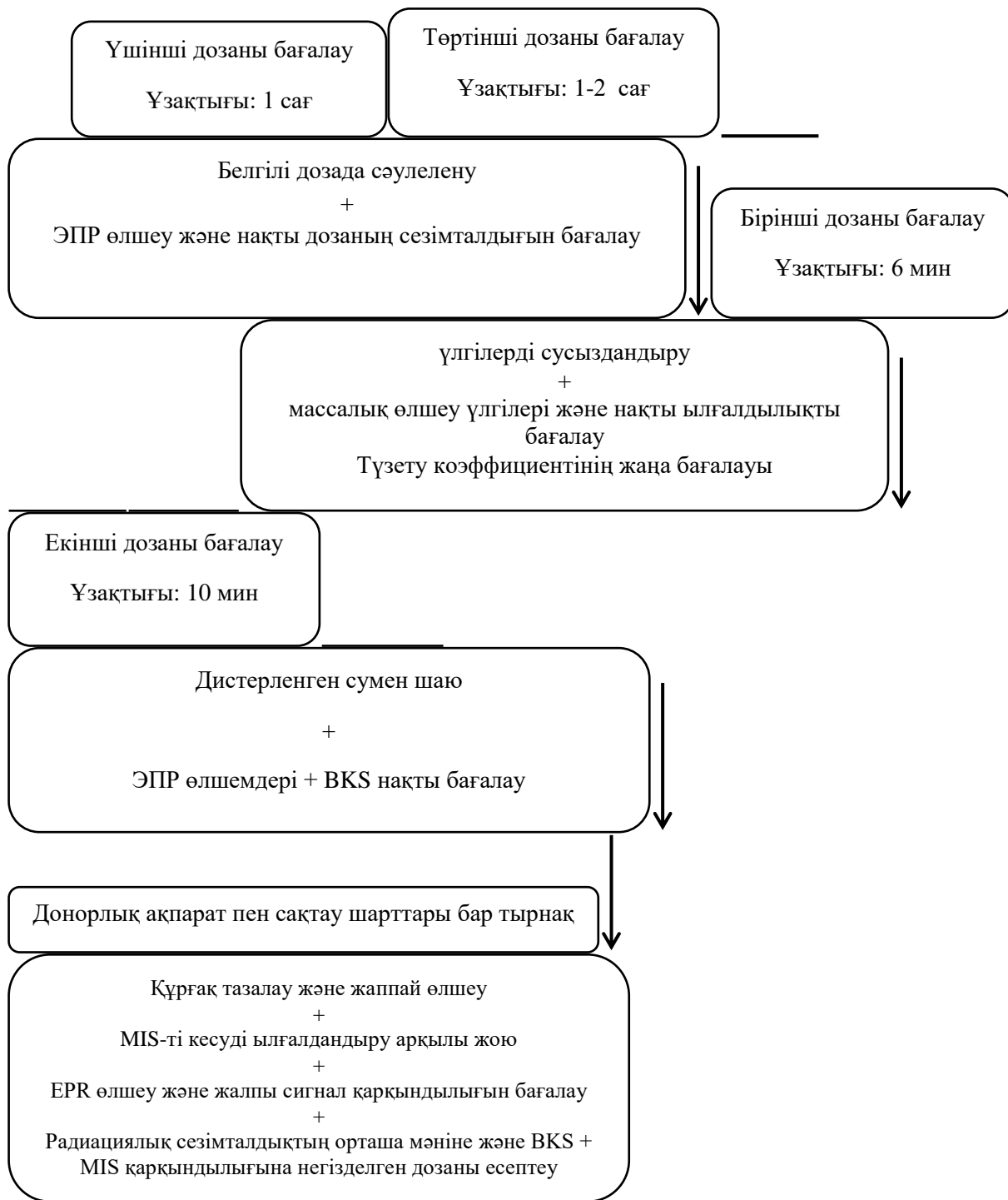
Үлгілерді MIS қарқындылығы минималды болатындай етіп алу керек. Оның қарқындылығы кесілген жиектердің мөлшеріне тікелей байланысты болғандықтан, үлгілер ең аз кесу мөлшерімен және мүмкіндігінше үлкен болуы керек. MIS RIS-ке қарағанда өте тез ыдырайтын болғандықтан, үлгіні алған уақытты жазып алу өте маңызды. Егер мүмкін болса, үлгілер алынғаннан кейін ЭПР өлшемін жасау үшін бірнеше сағат күту пайдалы болуы мүмкін. Үлгі құрамындағы су MIS-ң ыдырау жылдамдығына қатты әсер етеді. Қазіргі таңда MIS сигналын іріктеп жою үшін тырнақтарға химиялық өңдеу әдісі орындалуда, бірақ бұл әдістің нұсқаулығы аяқталмаған. MIS негізінен үлгінің кесілген шетінде болғандықтан, ал RIS бүкіл үлгі бойынша таратылғандықтан, MIS сигналын іріктеп жоюдың әдісі – ылғал щетканы кесілген жиектерге қолдану. Мұндай өңдеу тәсілі оңай орындалады және ол MIS сигналын толық жоюға мүмкіндік береді, ал RIS сигналының төмендеуі 5%-дан аз. Массасы 15-30 мг, ірі мөлшердегі және кесулері минимал үлгілер дәл дозаны өлшеуді қамтамасыз ету үшін жеткілікті.

## **Нәтижелер мен талқылаулар**

### *1. Дозаны бағалау*

Төтенше жағдай кезінде үлгідегі дозаны бастапқы жылдам бағалау алдыңғы өлшемдерден анықталған H, D және BKS қарқындылығының орташа мәндерін қолдана отырып, (1) және (2) теңдеулердің көмегімен жүзеге асырылуы мүмкін. Бұндай алдын ала шамамен дозаны бағалау, өлшеу уақытын қосқанда, 10 минуттан аз уақытты алады. Жас, этникалық шығу тегі, гендер, диеталық факторлар және жылдың маусымы бойынша осы орташа мәндердегі вариациялар әзірге зерттелмеген. Егер болашақ зерттеулер осындай әсерін көрсететін болса, орташа мәндердің әртүрлі жиынтығын анықтауға және табуға болады.

Дозаны бағалаудың дәлдігі протоколдағы BKS, H және D үлгілерінің қосымша қадамдарымен нақты мәнін анықтау арқылы жақсартылуы мүмкін. Төмендегі хаттама 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. Ұсынылған хаттаманың жұмыс үрдісінің диаграммасы BKS, MIS және RIS сигналдарын бөлуге арналған 4 қайталанатын өлшемді көрсетеді. Төртінші өлшем белгілі дозаға сәулелену арқылы радиациялық дозаның сезімталдығын анықтайды

*BKS қарқындылығын анықтау:* үлгілерді дистерленген суда 10 с жуу RIS сигналын толығымен және MIS сигналы қалдығын толығымен кетіреді. Содан кейін ЭПР өлшемі BKS мәнін береді. Бұл қосымша қадамды кемінде 10 минутта жасауға болады.

*Үлгідегі судың құрамын анықтау:* Үлгілердің салмағын өлшеп, содан кейін кептіріліп, содан кейін қайта өлшенеді. Кептіруден бұрынғы және кейінгі массадағы айырмашылық судың мөлшерін бағалау болып табылады; жаңадан кесілген тырнақтар үшін орташа мән 5,5% бағаланады және мәндер 3% -дан 8% -ға дейін. Біздің жағдайда үлгілер термолюминесценция дозиметрі үшін пайдаланылатын пеште 2 сағат бойы 55°C

температурасында кептірілді. Бұл ақпаратты пайдалану судың құрамына байланысты бірқалыпты түзетуге мүмкіндік береді.

*Үлгілердің жеке доза-реакциясын анықтау:* Судың мөлшерін өлшегеннен кейін, үлгіні доза-радиациясын анықтау үшін белгілі дозаға сәулелендіруге болады. Мысалға, мұнда көрсетілген нәтижелер үшін  $Co^{60}$  гамма сәулелерінің 40 Гр дозасы пайдаланылды. Өлшеу бірдей уақыт өткеннен кейін және дозаны бастапқы бағалауды анықтау үшін пайдаланылған бірдей судың құрамымен (құрғақ үлгілер) орындалды.

Бұл протоколдың алғашқы соқыр тәжірибелер 4 немесе 20 Гр мөлшеріне сәулелендірілген жаңа сынамалы тырнақтарда жүргізілді. Сәулелендірілгеннен 2 сағат кейін жүргізілген өлшеулер, бірінші сатыдан қарағанда, бұл протокол орта есеппен 30% -дан төмен қателікпен доза бағасын берді. Кеңейтілген сынақтар осы протоколдың дәлдігін төмен температурада сәулелендіру мен сақтау арасындағы уақытша кешігулерге бағалауға арналған. Бұрын тырнақ үшін дозаның шегі 2 және 5 Гр деп бағаланған. Доза-реакция мен анықталатын шектер арасындағы қатынасты дәл анықтау үшін қосымша эксперименттер жасалғаны жөн.

## *2. Қолдану шектеулері*

Негізгі шектеу факторларының бірі - сәулелендіру мен үлгіні жинау арасындағы кідіріс. Нақты жағдайларда бұл кешіктіру 1-2 сағаттан күндерге дейін созылуы мүмкін. Температураның немесе ылғалдылықтың жоғарылауы сигналдың ыдырауын тездететіндіктен, іріктеуден бұрын осы жағдайларды бағалауда қиындықтар туындағандықтан, түзету коэффициентін дәл есептеу мүмкін емес.

Осы саладағы оқиға орнына техниканы енгізу қабілеті қол жеткізуге болатын болса да, әзірге жасалынбаған. Бұл үлгілерді стандартталған физикалық түрде алу әдістерін әзірлеуді және өлшеулерді тиісті өріспен сипатталатын ЭПР спектрометрімен жасауды қамтиды.

Жоғарыда айтылғандай, доза-реакция қатынасына әсер ететін параметрлердің нақтылығын жақсарту өте қажет. Бұл әр түрлі мөлшердегі үлгілерді өлшеуді қажет етеді, сондай-ақ BKS, MIS жасалуына, RIS-нің дозада-реакциясына және сигналды жоғарылату жылдамдығына қатысты жеке-жеке өзгеруін бағалау. Дегенмен, қазіргі даму күйінде де, хаттаманың бірінші соқырлық сынағынан алынған нәтижелер өте күшті және төтенше жағдайда дереу пайдалану үшін қолданылатын болады.

## **Қорытынды**

Біздің тырнақ дозиметриясы туралы қазіргі білімімізді пайдалана отырып, төтенше жағдайлар кезінде тырнақ үлгілерін жинау, сақтау және ЭПР арқылы өлшеу үшін хаттама жазу мүмкін болды. Үлгілердің сәулеленуден бірнеше сағаттан кейін кешіктірілу кезінде дұрыс жиналған жағдайда 30% дәлдікпен, тез арада және үлкен үлгілерде бірнеше Гр-ден бірнеше ондаған Гр диапазонында дозаны жылдам бағалауға болады. Егер экспозиция асимметриялы болса, ол дозаны бөлудің кейбір маңызды аспектілері туралы мәліметтерді бере алады. Бұл протокол, сондай-ақ, жетімдік радиация көздеріне немесе интенсивті гамма-сәулелену көздеріне байланысты оқиғалар үшін пайдаланылуы мүмкін, себебі олар аяқ-қолдарға өте жоғары дозаларға дейін әсер ете алады. Егер тек бірнеше субъектілер сәулеленсе, өлшемдердің дәлдігін айтарлықтай арттыратын қосымша қадамдар жасауға болады.

## **ӘДЕБИЕТТЕР**

1. Clairand I, Trompier F, Bottollier-Depois J-F, Gourmelon P. Ex vivo ESR measurements associated with Monte Carlo calculations for accident dosimetry: application to the 2001 Georgian accident// Radiation Protection Dosim.- 2006.- Vol.-120.- P. 500–505.
2. Dalgarno BG, McClymont JD. Evaluation of ESR as a radiation accident dosimetry technique// Applied Radiation Isotopes.- 1989.Vol.40.- P. 1013–1020.

3. Romanyukha A, Trompier F, LeBlanc B, Calas C, Clairand I, Mitchell C, Smirniotopoulos JG, Swartz H. EPR dosimetry in chemically treated fingernails// Radiat Measurements.-2007.-Vol.42.- P. 1110-1113.

ӘОЖ 539.143.5

## **PD- ЖӘНЕ DD-ШАШЫРАУ АМПЛИТУДАСЫНЫҢ СПИНДІК ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ**

**Базарова А.Н.**

[alba.9@mail.ru](mailto:alba.9@mail.ru)

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Ғылыми жетекші – Темербаев А.А.

БЯЗИ-да (Бірлескен ядролық зерттеулер институты) NICA/SPD (Nuclotron based Ion Collider facility and Spin Physics Detector) жобасы шеңберінде бұрын қол жетімді емес эксперименттік параметрлер мен шарттарының бөлшектер физикасы саласында зерттеу жүргізу үшін жедел кешен құрылуда. Жоба 2011 жылы басталды. Бұл жоба БЯЗИ ғылыми бағдарламасының бөлігі болып табылады. Жоба аясында іргелі эксперименталды зерттеулер ғылымның әртүрлі салаларында, соның ішінде өзара әрекеттесетін бөлшектердің жоғары және орта энергия ауқымында спин физикасы бойынша жүргізілетін болады. Жоба аясындағы іргелі эксперименттік зерттеулерге өзара әрекеттесетін бөлшектердің жоғары және орта энергиясы саласындағы спиндік физика саласы кіреді [1,2]. NICA/SPD жобасының аясында құрылған қазіргі заманғы үдеткіш кешені бөлшектердің спиндік физика саласындағы әлемдік деңгейдегі зерттеу бағдарламасының ұзақ мерзімді орындалуын қамтамасыз етеді. Үдеткіш кешені алдыңғы қатарлы параметрлері бар зарядталған бөлшектер шоғырын пайдалануға негізделген көптеген зерттеу бағдарламаларын жүзеге асыру кезіндегі икемділігі арқасында әлемдегі басқа үдеткіш қондырғыларымен салыстырғанда бірегей болып табылады. Жобаның негізгі мақсаты-массалық жүйе орталығындағы 11 ГэВ/н-ға дейінгі энергия соқтығысуындағы күшті әсер ететін материяны зерттеу болып табылады.

NICA кешені жұмысының екі режимі бар: келе жатқан шоғыр және белгіленген нысанаға жеткізілетін шоғыр. NICA жобасында поляризацияланған протондар мен дейтрондардың шығарылған (Нуклотрон) және қарама-қарсы (Коллайдер) шоғырындағы спиндік физикасын зерттеу жоспарлануда. Соңғы жағдайда екі соқтығысқан протонның жалпы энергиясы 27 ГэВ-қа жетеді. Мысалы, нуклотрон режимі жоғары энергия кезінде протон-дейтрондық (pd) соқтығысуды, ал коллайдер режимі-дейтрон-дейтрондық (dd) режимін жүзеге асыруға және зерттеуге мүмкіндік береді.

Ұсынылған зерттеу бағдарламасы фазалық өтулерді іздеуге және бариондық материядағы сыни құбылыстарды зерттеуге, сонымен қатар нуклон спин құрылымының мәселесін нақтылауға мүмкіндік береді. Нуклондық спиннің құрылымын зерттеу қазіргі заманғы бөлшектер физикасының маңызды мәселелерінің бірі болып табылады. Бұл мәселе 1987 жылғы әйгілі «спин дағдарысынан» бастап жоғары энергия физикасындағы ең қызықты жұмбақтардың бірі болып қалады. Көптеген жылдар бойы теоретиктердің де, экспериментаторлардың да назарын өзіне аударған бұл мәселенің өзегі-сұраққа жауап: протон спині оның құраушы бөлшектерінің спині мен орбиталық моменттерінен қалай құрылады? Зерттеулер нуклонда Партондарды Үлестіру Функциясының (Parton Distribution Functions -PDF) Концепциясын қалыптастыруға әкелді [3]. NICA Коллайдерінде жүргізілген зерттеулерге қосымша, NICA/SPD жобалары үшін ұсынылған, бірақ төменгі энергия саласындағы есептерді шешу үшін жаңартылған Нуклотронның шоғырындағы зерттеулер жүргізілетін болады. Нуклотрон шоғыры SPD детекторы элементтерін сынау үшін де қолданылады.