



ӘӨЖ 29.15.01

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2024-148-3-54-71>

Ғылыми мақала

## Радонның диффузиялық камерасындағы CR-39 детекторындағы альфа бөлшектерінің таралуы

К.Ш.Жумадилов\*<sup>1</sup>, А.М.Андабаева<sup>1</sup>, В.Ф.Степаненко<sup>2</sup>, А.И.Иванников<sup>2</sup>,  
А.А.Баграмова<sup>1</sup>, С.М.Сарсенова<sup>1</sup>, Ф.У.Абуова<sup>1</sup>, А.К.Амангельдина<sup>1</sup>,  
М.Т.Касымжанов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар халықаралық кафедрасы,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Астана қаласы

<sup>2</sup>Ресей Федерациясының Денсаулық сақтау Министрлігінің «ФМЗО» Федералдық Мемлекеттік бюджеттік  
мекемесінің филиалы А.Ф. Цыб атындағы МРФО, Обнинск қаласы

<sup>3</sup>АҚ "Ядролық технологиялар паркі" Қазақстан, Курчатова қаласы

(E-mail: [zhumadilovk@gmail.com](mailto:zhumadilovk@gmail.com))

**Аңдатпа.** Бұл зерттеудің мақсаты радонның диффузиялық камераларында радон және оның ұрпақтары түзетін альфа бөлшектерінің іздерінің кеңістікте таралуын зерттеу болды. CR-39 (CR-39 қатты күйдегі ядролық трек детекторы.) детекторларымен жабдықталған үш цилиндрлік камера пайдаланылды, радон концентрациясы RAD7 (RAD7 – бүкіл әлем бойынша зерттеуші ғалымдар мен кәсіпқойлар пайдаланатын жан-жақты радон және торон детекторы) құрылғысы арқылы бағаланды. Тіркеу детектордың бетінде альфа бөлшектерінің іздерінің біркелкі емес таралуын анықтады, камера қабырғаларының жанындағы іздердің тығыздығы орталықпен салыстырғанда 30%-ға төмен болды. Бұл нәтижелер камераның бірдей өлшемдеріне негізделген аналитикалық болжамдарға қарама-қайшы болды. Бөлшектердің түсу энергиясына қатысты анықтаудың критикалық бұрышы Track\_vision бағдарламалық жасақтамасының көмегімен анықталды, бұл камера өлшемі мен критикалық бұрыштың трек тығыздығының таралуына айтарлықтай әсерін көрсетті. Сонымен қатар, зерттеу радон мен оның ұрпақтарының көлемдік және шөгінді фракцияларының ішінара үлестерін талдау арқылы трек тығыздығының өзгеру көздерін зерттеді. Бүйірлік қабырға үлесінің артқаны байқалды, ал детектор орталығынан радиалды қашықтықтың ұлғаюымен көлемдік және платформалық үлестер азайды. Камераның өлшемдерін өзгерту осы ішінара үлестердің салыстырмалы әсер етті, нәтижесінде детектордың бетінде көрінетін іздердің әр түрлі таралуы пайда болды. Эксперименттік нәтижелер Монте-Карло әдісіне негізделген бұрын әзірленген бағдарламалық жасақтаманы қолдану арқылы алынған мәндермен салыстырылды. Детектордың жауап беру функциясының бес түрлі өрнегі қолданылды, олардың екеуі эксперимент нәтижелерін айтарлықтай бағаламады. Бұл жан-жақты зерттеу радон диффузиялық камераларындағы альфа бөлшектерінің таралу жолдарының күрделі динамикасына жарық түсіреді және радон концентрациясын сенімді бағалау үшін дәл модельдеудің маңыздылығын көрсетеді.

**Түйінсөздер:** CR-39, Радон, калибрлеу коэффициенті, трек тығыздығы, критикалық бұрыш.

## Кіріспе

Пассивті радонды өлшеу әдетте сүзгі қағазымен немесе радонды өткізетін, бірақ оның ұрпақтары үшін емес басқа мембраналармен жабылған цилиндрлік немесе конус пішінді диффузиялық камералармен қоршалған қатты күйдегі ядролық трек детекторларымен орындалады. Радон газы камераға таралады, онда ол ыдырайды және альфа бөлшектерін шығарады, детектор материалында жасырын іздер жасайды. Дәстүрлі түрде радон ұрпақтары камера көлемінде және оның ішкі беттерінде біркелкі таралады деп болжанғанымен, кейбір зерттеулер біркелкі емес таралуды болжайды [1-3]. Ұрпақтардың қысқа жартылай шығарылу кезеңі детектор бетіндегі альфа-тректердің жалпы тығыздығына ықпал етеді, кейбір ұрпақтардың едәуір бөлігі ыдырауға дейін шөгеді.

Сәулеленуден кейін детекторлар бөлшектердің іздерін көрінетін ету үшін химиялық немесе электрохимиялық өңдеуден өтеді. Содан кейін калибрлеу коэффициенттері тректің тығыздығын радон концентрациясына түрлендіру үшін қолданылады [4-6]. Калибрлеуге эксперименттік немесе теориялық әдістер арқылы қол жеткізуге болады, бұл радонның диффузиялық камералары ішіндегі детекторларда тректің біркелкі таралуын болжайды. Дегенмен, теориялық ойлар камера мен детектордың өлшеміне, пішініне және улау жағдайларына байланысты ықтимал біркелкі емес таралуды көрсетеді [7, 8].

Бұл зерттеу радон диффузиялық камераларындағы дөңгелек CR-39 детекторлары үшін альфа-трек тығыздығы мен калибрлеу коэффициенттерінің таралуын зерттеуге бағытталған. Эксперименттік нәтижелер камераның үш түрлі өлшемі бойынша аналитикалық және Монте-Карло есептеулерімен салыстырылды [9, 10].

## Материалдар мен әдістер

### Эксперимент

Бұл зерттеуде радон диффузиялық камералары ретінде сүзгі қағазымен қапталған үш цилиндрлік шыныаяқ пайдаланылды. Бұл камералардың өлшемдері келесідей болды:

Камера 1: Радиусы  $R=2$  см, биіктігі  $H=3.5$  см

Камера 2: Радиусы  $R=3$  см, биіктігі  $H=9$  см

Камера 3: Радиусы  $R=3.5$  см, биіктігі  $H=6$  см

Әрбір камера дөңгелек CR-39 детекторымен жабдықталған (TASTRACK® , қалыңдығы 1 мм), бүкіл астыңғы бетін жабады. Детекторлар концентрлі шеңберлермен лазермен ойылған, іргелес шеңберлер бір-бірінен 5 мм қашықтықта орналасқан.

Бұл камералар радон көзі ретінде қызмет ететін уран кенінің үлгісімен бірге көлемі 30 Л герметикалық жабылған плексиглас қорабына тығыздалған. Плексиглас қорабының ішіндегі радон концентрациясы RAD7 радон мониторының көмегімен өлшенді.

Детекторлар шамамен 3 ай (93 күн) әсер етті. Экспозиция кезеңінен кейін камералар ашылып, CR-39 детекторлары 6,25 NaOH ерітіндісінде 5 сағат бойы химиялық өңдеуден

өтті. Улау процедурасы су моншасында  $70 \pm 1^\circ$  Сбақыланатын температурада жүргізілді. Кейіннен детекторлар одан әрі улауды тоқтату үшін тазартылған сумен жуылды.

Тректерді санау оптикалық микроскоптың көмегімен жүргізілді. Детектордың әр дөңгелек жолағында кездейсоқ түрде 50-ге жуық визуалды өрістер таңдалды және әр жолақ үшін алынған тректің орташа тығыздығы детектордың ортасынан тиісті радиалды қашықтыққа жатқызылды.

Бұл әдістеме радонның диффузиялық камераларында альфа бөлшектерінің іздерінің таралуын зерттеуге мүмкіндік берді, бұл іздердің кеңістіктікте таралуы және олардың камера өлшемдерімен және экспозиция жағдайларымен байланысы туралы түсінік берді.

### Аналитикалық тәсіл

Маркович және басқа ғалымдар радондарды өлшеуде қолданылатын диффузиялық камералардың егжей-тегжейлі теориялық моделін ұсынды, осы камералардың ішінде орналасқан детекторлардағы іздердің пайда болуының негізінде жатқан іргелі физикалық процестерге назар аударды [11].



Сурет 1. Концентрлік шеңберлері мен радиустары (солдан оңға қарай) ойылған CR-39 детекторлары  $R_1 = 2$  см,  $R_2 = 3$  см және  $R_3 = 3,5$  см сәйкесінше 1, 2 және 3 диффузиялық камераларға орналастырылған

Модель, ең алдымен, диффузиялық камера үшін цилиндрлік пішінді қабылдайды, ол радон өткізгіш сүзгі қағазымен қоршалған. Теориялық құрылымның негізгі аспектілеріне мыналар жатады:

Диффузия процесі: сүзгі қағазы арқылы камераға радонның диффузиясы модельде орталық болып табылады. Бұл диффузия процесі сүзгі қағазына  $D_1$  диффузия коэффициентін тағайындаумен сипатталады.

Ауа құрамы: модель камерада аэрозольдерсіз таза ауа бар деп болжайды.

Радонның таралуы: өткізгіш сүзгі қағазы арқылы камераға түсетін Радон камераның қабырғаларына бекітілмей немесе жиналмай-ақ өзінің газ тәрізді түрін сақтайды деп болжанады. Нәтижесінде радонның барлық белсенділігі камераның ауа көлеміне таралады.

Математикалық өңдеу: радонның және оның ұрпақтарының көлемдік белсенділік концентрациясының таралуы диффузия теңдеуін шешу арқылы анықталады (1), радонның сүзгі арқылы да, камераның ауа көлемінде де диффузиясын ескереді [3, 7, 11].

Бұл теориялық модель диффузиялық камералардағы радондарды өлшеуге қатысатын диффузиялық процестер туралы жан-жақты түсінік береді, мұндай жүйелердегі радондар мен ұрпақтардың концентрациясын дәл болжауға мүмкіндік береді [11].

$$\frac{\partial C_n(r,z,t)}{\partial t} = D \cdot \left( \frac{\partial^2 C_n(r,z,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_n(r,z,t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 C_n(r,z,t)}{\partial z^2} \right) - \lambda_n \cdot C_n(r,z,t) + \lambda_{n-1} \cdot C_{n-1}(r,z,t) \quad (1)$$

мұндағы  $n = 0, 1, 2, 3$  сәйкесінше  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$  және  $^{214}\text{Bi}$  мәндерін білдіреді,  $\lambda_n$  –  $n$ -ші ұрпақтың ыдырау константасы ( $\lambda_{n-1} = 0$   $^{222}\text{Rn}$  үшін).

Камера ішіндегі радон ұрпақтарының мінез-құлқына ыдырау, диффузия және тұндыру процестері әсер етеді. Радон ұрпақтарының диффузиялық теңдеуі олардың прекурсорлардың ыдырауынан, бүкіл камераның диффузиясынан және камера қабырғаларына түсуінен пайда болуын қарастырады. Камера қабырғаларына тұндыру тиісті шекаралық шарттарды белгілеу арқылы шешіледі, әдетте шекарада нөлдік концентрацияны қабылдайды. Диффузия теңдеулерін шешу арқылы радон ұрпақтарының көлемдік белсенділік концентрациясы анықталады. Камера қабырғаларына қарай ағынды есептеу депозитке салынған белсенділік жылдамдығын ( $S_i$ ) анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, дифференциалдық теңдеулердің тағы бір жиынтығы қазірдің өзінде бар ыдырап бара жатқан прекурсорлардың ұрпақтарының депозиттік қызметіне қосқан үлесін бағалау үшін шешілуі керек. Бұл тәсіл ұрпақтардың камера ішіндегі мінез-құлқын жан-жақты түсінуге мүмкіндік береді, олардың концентрациясы мен тұндыру жылдамдығын дәл бағалауды жеңілдетеді.

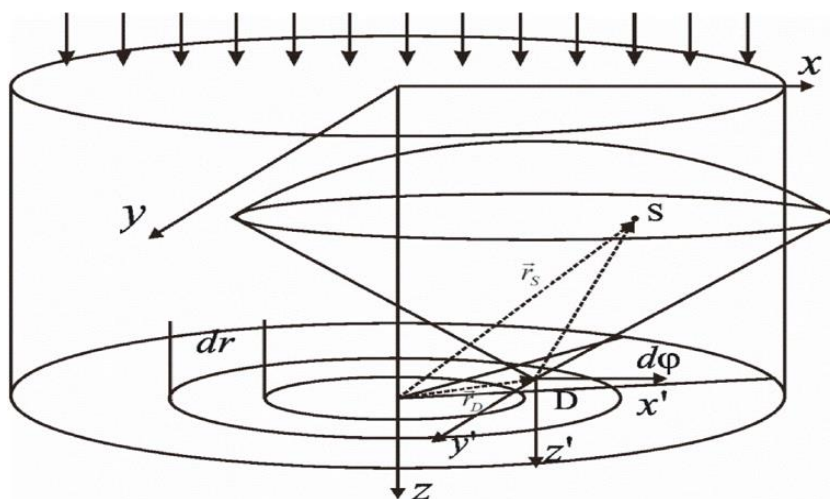
$$\frac{dN_i}{dt} = S_i - \lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1}, \quad (2)$$

мұндағы  $i = 1, 2, 3$   $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$  және  $^{214}\text{Bi}$  және  $\lambda_0 = 0$ -ге қатысты, өйткені қабырғаларда тұндырылған Rn атомдары жоқ.

Сипатталған әдістемеге сәйкес диффузиялық камерадағы көлемдік және депозиттік әрекеттерді есептеуге болады. Диффузия коэффициенттері ретінде көрсетілген  $D_1 = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  сүзгі қағазына арналған және  $D_2 = 0.054 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  камералар ішіндегі ауаға арналған. Маңыздысы, бірдей диффузия коэффициенті радонның да, оның ұрпақтарының атомдарының да камералар ішінде диффузиясы үшін қолданылғанын атап өткен жөн. Қоршаған ауадағы диффузия коэффициенттері аэрозольдерге жабысу үрдісіне байланысты әр түрлі ұрпақ атомдары үшін әр түрлі болуы мүмкін болса да, сүзгі қағазымен жабылған диффузиялық камераларда аэрозольдер жоқ деп болжанған. Осылайша, ұрпақтың диффузиялық коэффициенттері байланыспаған атомдардың коэффициенттері ретінде қарастырылды [12-14]. Әдебиеттерде диапазоны  $0.01-0.1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  радонның диффузиялық коэффициенттері мен оның байланыспаған ұрпақ атомдары үшін сілтеме жасалған [15-21]. Орташа мәні  $0,054 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  [14].

Келесі қадам камера түбінің бүкіл ауданын қамтитын детектордағы альфа бөлшектерінің трек тығыздығының таралуын анықтауды қамтыды. Бұл детектордағы көрінетін іздерді қалдыруға қабілетті альфа бөлшектерін шығаратын барлық ұрпақ үшін көлемдік және шөгінді фракциялардың ыдырауынан түскен үлестерді қорытындылау

арқылы жүзеге асты. Детекторда көрінетін іздерді алу критерийлері альфа бөлшектерінің диапазоны мен критикалық бұрыш арқылы белгіленді [11]. Бұл кешенді тәсіл радонды өлшеуді талдау үшін қажет детектор бетіндегі альфа бөлшектерінің трек тығыздығының таралуын бағалауға мүмкіндік береді.



Сурет 2. Диффузиялық камераның схемалық көрінісі. Жоғарғы көрсеткілер радон диффузиясының бағытын көрсетеді,  $O_{xyz}$  координаталар жүйесі камералық цилиндр үшін бекітілген, ал  $O_{x'y'z'}$  - анықтау нүктесімен байланысқан координаталар жүйесі

$$[rS \cos\varphi_S - rD \cos\varphi_D]^2 + [rS \sin\varphi_S - rD \sin\varphi_D]^2 + [H - zS]^2 \leq \text{Range}^2 \quad (3)$$

$$[rS \cos\varphi_S - rD \cos\varphi_D]^2 + [rS \sin\varphi_S - rD \sin\varphi_D]^2 \leq \tan^2\sigma [H - zS]^2$$

Сурет 2 көрсетілгені бойынша  $Oxyz$  шығу тегі сүзгінің ортасында,  $z$  осі камераның түбіне бағытталған. Эквалайзерде берілген шарттар. (3) конустың көлденең қимасы (саңылауы критикалық бұрыш арқылы анықталған) және сфера (радиусы альфа бөлшектерінің диапазонымен анықталған) түрінде түзілетін балмұздақ тәрізді көлемді анықтаңыз. Осы тиімді көлемде шығарылатын альфа бөлшектері детектордағы іздердің пайда болуына ықпал етуі мүмкін. Детектор бетіне түсу ықтималдығына сәйкес өлшенген тиімді көлемде шығарылатын альфа бөлшектерін қорытындылау детектордың элементар бетінде көрінетін тректердің жалпы санын береді. Бұл процедураны әрбір элементар бет үшін қайталау детектордағы тректердің таралуын береді [11].

#### Критикалық анықтау бұрышы

Сипатталған аналитикалық әдіс анықтаудың критикалық бұрышын бөлшектердің түсу энергиясымен байланыстыратын функцияны қолданады. Бұл функцияны алу үшін TRACK\_VISION компьютерлік бағдарламасының көмегімен бес түрлі өрнек алынды [22]. Бұл бағдарлама ядролық трек материалдарындағы альфа бөлшектерінің іздерін түсу энергиясы, түсу бұрышы және улау кезінде жойылған қабат сияқты факторларға

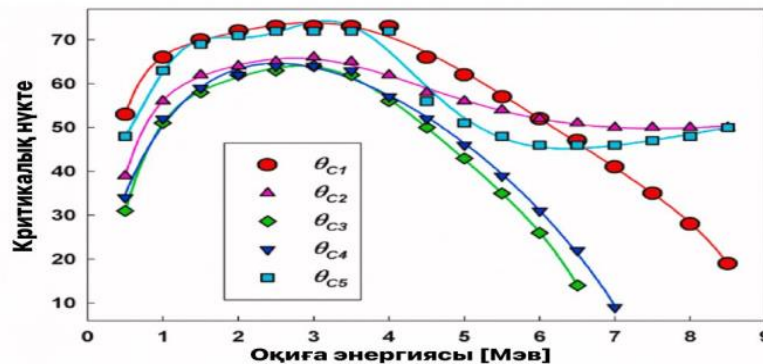
негізделген визуалды түрде көрсетуге қабілетті. Сонымен қатар, ол тректердің параметрлерін, соның ішінде негізгі және кіші осьтерді және трек тереңдігін қамтамасыз етеді. Анықтаудың критикалық бұрышын анықтау үшін бағдарлама альфа бөлшектерінің энергиясының диапазоны бойынша 0,01 Мэв-тан 8,5 Мэв-қа дейін орындалды. Түсу бұрыштары 1° қадаммен 1°-тан 90°-қа дейін өзгерді. Нақты эксперименттік жағдайлар қолданылды, оның ішінде 5 сағаттық улау уақыты және 1,06 мкм/сағ көлемді жылдамдығы. Бағдарламада детектордың жауап беру функциясының бес түрлі өрнегі жүзеге асырылды, олар әртүрлі зерттеулерден алынған: [23-27]. Бұл өрнектер детектордың әр түрлі энергиядағы альфа бөлшектеріне және түсу бұрыштарына реакциясын есептеуге мүмкіндік береді, бұл детектор бетіндегі трек тығыздығының таралуын дәл талдауды жеңілдетеді.

$$V_1 = 1 + (11.45e^{-0.339R'} + 4e^{-0.044R'}) (1 - e^{-0.58R'}) \quad (4)$$

$$V_2 = 1 + e^{-0.1R'+1} - e^{R'+1.27} + e^{1.27} - e^1, \quad (5)$$

$$V_3 = 1 + e^{-0.068R'+1.1784} - e^{-0.6513R'+1.1784} \quad (6)$$

$$V_4 = 1 + e^{-0.06082R'+1.119} - e^{-0.8055R'+1.119} \quad (7)$$



3-сурет. Бөлшектердің түсу энергиясының функциясы ретінде критикалық анықтау бұрышы (TRACK\_VISION software арқылы алынған)

$$V_5 = 1 + \frac{390}{(R'+2)^{2.35}} \cdot \ln(R' + 1) \cdot \left(1 - e^{-R'\frac{1}{5}}\right) + \frac{R'}{80} \quad (8)$$

мұндағы  $R'$  детектор материалындағы альфа бөлшектерінің қалдық диапазонын білдіреді.

Көріну критерийлері ретінде тректің диаметрі мен тереңдігінің 1  $\mu$ м екенін ескере отырып, бөлшектердің түсу энергиясына ( $E$ ) қатысты критикалық анықтау бұрыштары

алынды. Қалыпты детектор бетіне қатысты критикалық бұрыштар  $\theta_{c1}$ ,  $\theta_{c2}, \dots$ , және  $\theta_{c5}$  (3-суретте көрсетілгендей функцияларға  $V_1, V_2, \dots$ , және  $V_5$ , сәйкес келеді). Берілген улау шарттары үшін альфа бөлшектерінің энергиясы 0,1 МэВ-тан төмен тректер жасалмаған. Сонымен қатар,  $V_3$ , және  $V_4$ , жауап беру функцияларын қолдану кезінде энергиясы 7 МэВ-тан жоғары бөлшектер шығаратын тректер қалыпты жағдайда да көріну критерийлеріне сәйкес келмеді.

Сурет 3 келтірілген мәліметтер келесі функциямен сәйкес келеді:

$$\theta_c(E) = \sum_{i=1}^5 a_i \cdot E^{b_i} \cdot e^{-c_i E} \quad (9)$$

$a_i, b_i, c_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) сәйкес параметрлері 1-кестеде келтірілген. Калибрлеу коэффициенттерін теориялық есептеу осы функциялардың әрқайсысын ескерді және олардың болжамын әр жағдай бойынша эксперимент нәтижелерімен салыстырды.

Кесте 1. Критикалық анықтау бұрышының бес функциясының сәйкес параметрлері  $\theta_{c1}-\theta_{c5}$   $V_1-V_5$  жауап функцияларына сәйкес келеді (әрбір сәйкестік үшін  $R^2$  анықтау коэффициенті соңғы қатарда берілген)

	$\theta_{c1}$	$\theta_{c2}$	$\theta_{c3}$	$\theta_{c4}$	$\theta_{c5}$
$a_1$	33.3630	9.4907e-3	30.9627	15.6977	10.5530
$b_1$	2.0951	-5.8437	1.5331	0.7533	0.6160
$c_1$	0.6444	3.4369	1.2099	0.2733	-4.0778e-3
$a_2$	37.0527	19.6300	3.5150	15.1462	0.62998
$b_2$	1.1380	0.3669	7.4133	0.7559	13.8183
$c_2$	1.5517	-0.0131	2.1386	0.2690	3.8767
$a_3$	158.2901	4.9021	18.5699	17.9516	17.7317
$b_3$	0.9874	1.3500	1.1808	0.7444	-0.5616
$c_3$	1.4660	1.0812	0.2808	0.2864	-0.0624
$a_4$	6.6378	342.9751	102.6803	18.2165	116.2258
$b_4$	2.1214	1.9326	1.5515	0.7281	2.1152
$c_4$	0.4321	2.2704	1.3261	0.2982	1.7099
$a_5$	-6.1985e-4	27.1464	-2.594e-3	-0.0592	79.4112
$b_5$	-3.9621	3.0547	0.2571	1.9356	3.4437
$c_5$	-2.1277	1.0639	-1.2805	1-0.3529	1.8776
$R^2$	0.9982	0.9969	0.9996	0.9974	0.9798

### Монте-Карлода есептеу

Fortran 90 бағдарламасы Cr-39\_Sensitivity калибрлеу коэффициенттерін бағалау үшін пайдаланылды [10]. Бұл бағдарлама радон және оның ұрпақтары шығаратын альфа бөлшектерінің CR-39 детекторының ішінара сезімталдығын есептейді. Бағдарлама камера көлеміндегі ыдыраған бөлшектерді, камера қабырғалары мен сүзгіге түскен бөлшектерді, сондай-ақ детектордың өзінде қапталған бөлшектерді ескереді.

Жалпы калибрлеу коэффициенті,  $k_{MC}$ , осы жарналардың барлығын қосу арқылы анықталады:

$$k_{MC} = k_0 + f_1 k_{1a} + (1 - f_1) k_{1w} + k_{4w} + (1 - f_1) k_{1p} + k_{4p} \quad (10)$$

Мұнда,  $f_1$   $^{218}\text{Po}$ -ның көлемдің үлесін білдіреді, бұл  $^{218}\text{Po}$ -ның тұндыру алдындағы ауада ыдырайтын бөлігін, ал,  $k_0, k_{1a}$  тиісінше  $^{222}\text{Rn}$  және  $^{218}\text{Po}$  ішінара сезімталдықты сипаттайды.  $k_{1w}$  және  $k_{4w}$  камера қабырғаларына түскен  $^{218}\text{Po}$  және  $^{214}\text{Po}$ -ға сезімталдықты көрсетеді, ал  $k_{1p}$  және  $k_{4p}$  детектордағы  $^{218}\text{Po}$  және  $^{214}\text{Po}$ -ға сезімталдықты білдіреді. Бағдарлама радон ұрпақтарының камераның ішкі беттеріне, соның ішінде бүйір қабырғаларына, сүзгіге және детекторға біркелкі түсуін болжайды [10]. Экспериментте қолданылған улау шарттары мен камераның өлшемдері бағдарлама үшін кіріс деректер ретінде пайдаланылды.

Улаудың негізгі мөлшерлемесі  $1.06 \mu\text{mh}^{-1}$ . (4)–(8) теңдеулерімен өрнектелген бес V функция бойынша нәтижелер алынды. Бұл тәсіл радонды өлшеуді дәл талдау үшін қажетті калибрлеу коэффициенттерін анықтауға мүмкіндік береді [28].

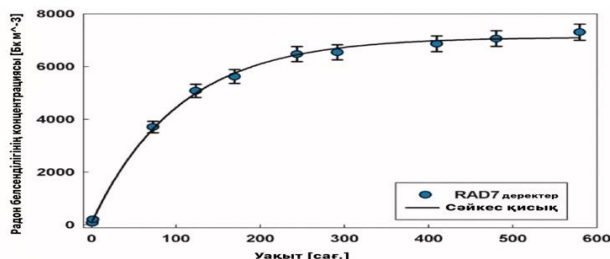
### Нәтижелер және талқылау

Калибрлеу қорабындағы радонның орташа концентрациясы

4-суретте Plexiglas қорабындағы радон концентрациясының жоғарылауы RAD7 құрылғысының көмегімен бақыланды, экспозицияның бірінші айында әр 2-3 күн сайын бір сағаттық өлшеулер жүргізілді. Эксперименттік мәліметтер келесі теңдеуге сәйкес келтірілді [29]:

$$C(t) = \alpha + \beta e^{-\gamma t} \quad (11)$$

Мұндағы,  $\alpha$ ,  $\beta$  және  $\gamma$  қораптағы радон белсенділігінің концентрациясының уақыт эволюциясына әсер ететін үш негізгі процесті білдіреді: кен үлгісінен радонның дем шығаруы, радонның ыдырауы және қораптан радонның ағуы. Параметр  $\alpha$  тепе-теңдік радон концентрациясын білдіреді  $t$  шексіздікке ұмтылады,  $\alpha + \beta$  қораптағы радонның бастапқы концентрациясына тең  $t=0$  және  $\gamma$  радонның ыдырау константасы мен радонның ағып кету константасының қосындысы. Бұл функцияны 93 күндік экспозиция уақытына экстраполяциялау қораптағы радон белсенділігінің орташа концентрациясын келесідей береді:  $C_{Rn} = (6.8 \pm 0.4) \text{кБк/м}^3$ .



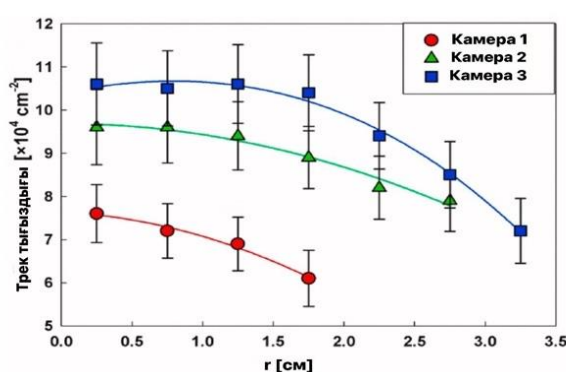
Сурет 4. Радон белсенділігі концентрациясының жинақталуы



Алдыңғы зерттеулер диффузиялық камералардағы радон концентрациясы сыртқы мәннен сәл төмен болуы мүмкін екенін көрсетті [12]. Алайда, қазіргі жағдайларды түзету коэффициентін есептегеннен кейін радон концентрациясының төмендеуі барлық үш камера үшін шамалы екендігі анықталды. Сондықтан әрбір камераның ішіндегі концентрация Plexiglas қорабында өлшенген мәнге тең деп есептелді.

### Калибрлеу коэффициенті

Детектор бетіндегі альфа бөлшектерінің іздерінің таралуы біркелкі емес екені анықталды, орталықтан қашықтық ұлғайған сайын трек тығыздығы төмендеп, әр камераның бүйір қабырғаларына жақындады (Сурет 5). Эксперименттік деректер нүктелері көпмүшелік функциялармен тиімді жабдықталған.



Сурет 5. Орталықтан радиалды қашықтыққа қатысты альфа-трек тығыздығы (эксперимент арқылы алынған)

Камералардағы радон белсенділігінің орташа концентрациясы сыртқы концентрацияға ( $C_{Rn}$ ) тең деп есептелетінін ескере отырып, детектор бетіндегі ( $i$ ) дөңгелек жолақта табылған орташа альфа-трек тығыздығы ( $\rho_i$ ) калибрлеу коэффициентіне ( $k_{EXP,i}$ ) түрлендірілді:

$$k_{EXP,i} = \frac{\rho_i}{C_{Rn} \cdot \Delta t} \quad (12)$$

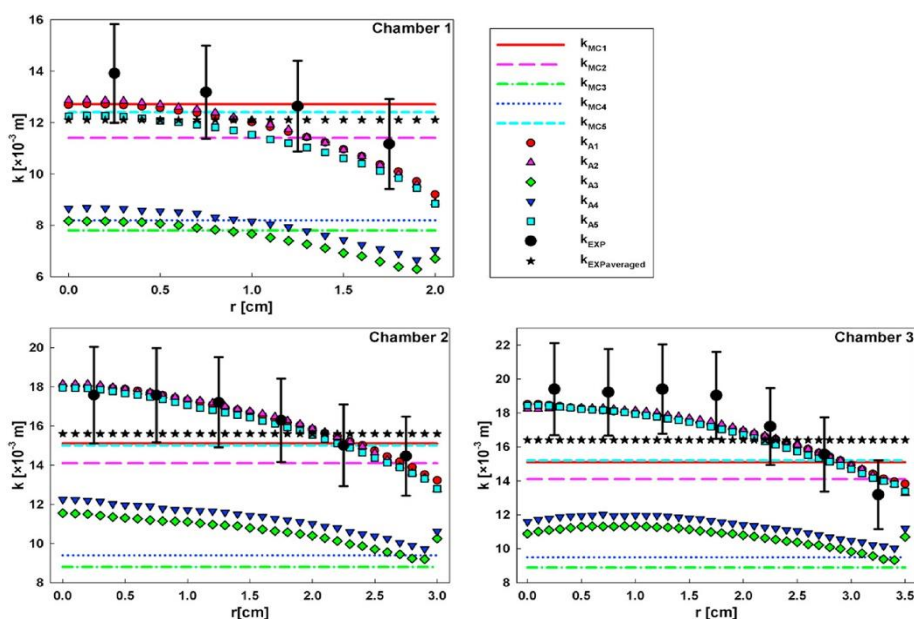
Мұнда  $\Delta t$  экспозиция уақытын білдіреді. Калибрлеу коэффициенті  $k_{(EXP,i)}$  камераның түбінің центрімен сәйкес келетін детектордың центрінен радиалды қашықтықтың функциясы ретінде, 6-суретте көрсетілген экспериментте қолданылатын үш камера үшін, камераның өлшемдеріне байланысты камераның қабырғаларына жақын орналасқан калибрлеу коэффициенті орталықтағыдан 30%-ға төмен болды.

Сурет 6 сонымен қатар теориялық бағалау нәтижелерін көрсетеді. Аналитикалық есептеулер калибрлеу коэффициенттерінің әр түрлі мәндерін берді ( $k_{A1}, k_{A2}, \dots, k_{A5}$ ) критикалық анықтау бұрышы үшін бес түрлі функцияны қолдану арқылы ( $\theta_{C1}, \theta_{C2}, \dots, \theta_{C5}$ , сәйкесінше). Аналитикалық тәсіл  $\theta_{C1}, \theta_{C2}, \dots, \theta_{C5}$  функцияларын қолдану кезінде эксперимент нәтижелерімен жақсы келісетіндігін көрсетті. Ең жақсы сәйкестік 2-ші

камерада байқалды, ал 1-ші және 3-ші камераларға арналған аналитикалық болжамдар да эксперименттік белгісіздік диапазонына түсті.  $\theta_{C1}, \theta_{C2}, \dots, \theta_{C5}$  функциялары ұқсас нәтижелер берді, ал  $\theta_{C3}$  және  $\theta_{C4}$  функциялары эксперименттік мәндерді жете бағаламады.

Жүргізілген зерттеуде CR 39\_sensitivity компьютерлік бағдарламасы 6-суретте көрсетілген бес жауап функциясына ( $V_1-V_5$ ) негізделген калибрлеу коэффициенттерін ( $k_{MC1}, k_{MC2}, \dots$  және  $k_{MC5}$ ) алу үшін пайдаланылды [10].  $^{218}\text{Po}$ -ның көлемдік үлесі шамамен 0,4 деп есептелді, алайда диффузиялық камерадағы ұрпақтар үшін Джейкоби үлгісіне сүйеніп, төмен мән ( $f1 \rightarrow 0$ ) ұсынылды [30, 31]. Бұл зерттеуде аналитикалық модель қолданылып, сәйкесінше 1, 2 және 3 камералар үшін 0,02, 0,06 және 0,06  $^{218}\text{Po}$  көлемдік фракциялары алынған. Осы фракциялар CR39\_Sensitivity бағдарламасының кіріс параметрлері ретінде қолданылды. Қызықтысы,  $V_1$  және  $V_5$  функциялары эксперимент нәтижелерімен ең жақын сәйкестікті көрсетті [22]. Дегенмен,  $V_3$  және  $V_4$  функциялары барлық жағдайларда эксперименттік мәндерді үнемі төмендетіп отырды.

Қорытындылай келе, зерттеу CR39\_Sensitivity бағдарламасы мен аналитикалық модельді калибрлеу коэффициенттерін анықтау үшін тиімді қолданды. Көңілге аударарлығы,  $V_1$  және  $V_5$  функциялары алдыңғы зерттеулермен сәйкес келіп, эксперименттік нәтижелерде жоғары дәлдікпен жұмыс істеді, ал  $V_3$  және  $V_4$  функциялары эксперименттік мәндерді тұрақты түрде төмен бағалады. Бұл жан-жақты талдау  $^{218}\text{Po}$  көлемді бөлшектерді анықтаудың күрделі динамикасын түсіндіреді және дәл модельдеудің мұндай зерттеулердегі маңыздылығын көрсетеді.



Сурет 6. Эксперимент нәтижесінде алынған калибрлеу коэффициенттері ( $k_{EXP}$  және  $k_{EXP, орташа}$ ), аналитикалық әдіс ( $k_{A1} - k_{A5}$ ) және Монте – Карло тәсілі ( $k_{MC1} - k_{MC5}$ )

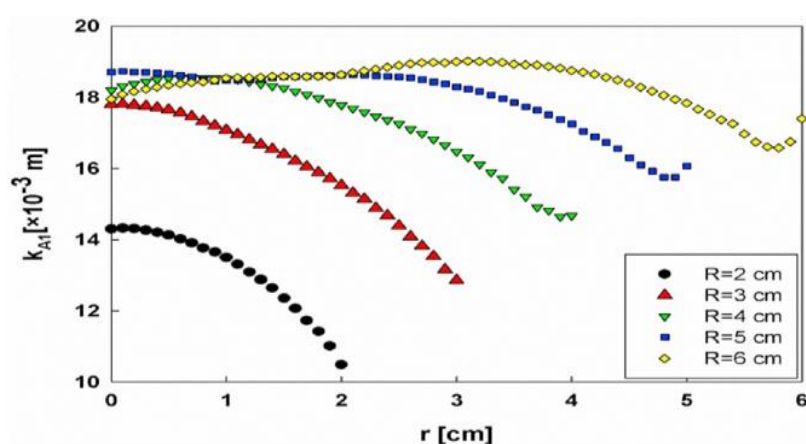
Эксперименттік нәтижелер детектор бетіндегі тректің біркелкі емес таралуына қатысты аналитикалық модельдің болжамдарын растады. Осы біркелкілікке қарамастан,

тректің тығыздығын ( $r = 0$ -ден  $r = R$ ) арақашықтықта орташаландыру  $6,62 \times 10^4$  трек/см<sup>-2</sup>,  $8,55 \times 10^4$  трек/см<sup>-2</sup> және  $8,94 \times 10^4$  трек / см<sup>-2</sup> мәндерін берді. сәйкесінше 1, 2 және 3 камералар үшін. Бұл мәндер 6-суретте жұлдызша таңбалары ретінде бейнеленген калибрлеу коэффициенттерін алу үшін пайдаланылды.

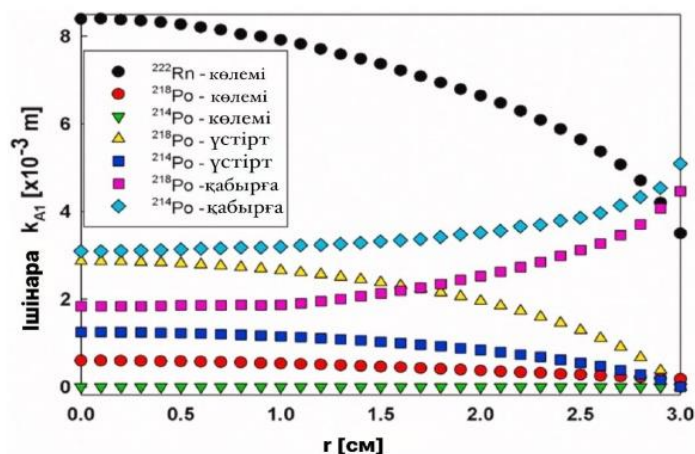
Көңілге аударарлығы, біркелкі бөлінбегеніне қарамастан, орташа мәндер Монте-Карло есептеулерімен, әсіресе радиусы кішірек 1 және 2 камералар үшін, әлі де жақсы жақындатуға болады. Бұл бақылау Монте-Карло моделінің тиімділігін көрсетеді, әсіресе  $V_1$  немесе  $V_5$  жауап беру функцияларын қолданған кезде, тректердің таралуының жалпы тенденциялары мен шамаларын анықтауда. Бұл детектор реакцияларын дәл сипаттау және калибрлеу коэффициенттерін алу үшін эксперименттік деректерді есептеу моделдерімен біріктірудің маңыздылығын айқындайды.

Камера өлшемдерінің өзгеруінің калибрлеу коэффициенттеріне әсерін зерттеу үшін теориялық модель қолданылды. Камераның бекітілген биіктігімен ( $H = 6$  см) радиусы ( $R$ ) жүйелі түрде 2 см-ден 6 см-ге дейін өзгерді.  $\theta_{c1}$  функциясы эксперименттік бақылауларға оңтайлы сәйкестігі үшін таңдалды. Алынған калибрлеу коэффициентінің үлестірімдері 7-суретте көрсетілген.

Калибрлеу коэффициенттерінің таралуы камера радиусына күрделі түрде тәуелді, радиус бойындағы әртүрлі позициялар арасында 30%-ға дейін айырмашылықтар байқалады. Камераның радиусы ауадағы альфа бөлшектерінің диапазонынан асып кеткенде, камераның цилиндр қабырғасындағы шөгінді фракциялар детектордың ортасындағы тректерге әсер етпейді, бұл орталықтан қашықтық ұлғайған сайын трек тығыздығының артуына әкелуі мүмкін. Бұл күрделілік <sup>222</sup>Rn, <sup>218</sup>Po және <sup>214</sup>Po альфа бөлшектерінің көлемдік белсенділіктеріндегі әртүрлі үлестерден, сондай-ақ камераның түбіндегі, цилиндрлік қабырғадағы және сүзгідегі шөгінді әсерлерден туындайды. Осы жарналардың әрқайсысының өзіндік үлестірімі бар, оған камераның өлшемдері әсер етеді. 8-суретте  $\theta_{c1}$  критикалық бұрышына назар аудара отырып, 2-камераның барлық ішінара үлестірімдері көрсетілген.



Сурет 7. Биіктігі  $H=6$  см және радиусы Әр түрлі цилиндрлік диффузиялық камералар үшін калибрлеу коэффициентінің үлестірімдері  $R=2$  см-ден  $R=6$  см-ге дейін



Сурет 8. Радоннан және ұрпақтан алынған көлемді және тұндырылған фракциялардан ішінара калибрлеу коэффициенттері. Сүзгі қабырғасынан фракция кірмейді, өйткені камераның биіктігі альфа бөлшектерінің диапазонынан асады және бұл фракциялардан ешқандай үлес жоқ

Сурет 8 трек тығыздығының үлестірімдері мен калибрлеу коэффициенттері туралы мәліметтер келтірілген. Камераның үлкен биіктігінде сүзгінің ешқандай үлесі жоқ. Детектор орталығындағы негізгі үлес  $^{222}\text{Rn}$  көлемдік үлесінен келеді, бұл шамамен 50% құрайды.  $^{214}\text{Po}$  көлемдік фракциясының әсері шамалы, ал  $^{218}\text{Po}$  үлесі шамамен 5% құрайды.  $^{218}\text{Po}$  және  $^{214}\text{Po}$  үшін төменгі және цилиндр қабырғасындағы фракциялар 50% -ға дейін үлес қосуы мүмкін. Бұл фракциялардың үлестері радиус бойынша әртүрлі болады, себебі тұндырылған фракциялар бүйір қабырғаларының жанында айтарлықтай үлес қосады. Экспозиция геометриясына байланысты детектор орталығынан радиалды қашықтық ұлғайған сайын плато және көлемдік үлестер азаяды; детектордың ортасындағы нүктелер барлық жағынан ( $2\pi$  sr сәулелену) әсер алады, ал камера қабырғаларына жақын нүктелер тек бір жағынан ғана әсер етеді.

### Қорытынды

Эксперименттік әдістер детектор бетіндегі альфа бөлшектерінің іздерінің біркелкі емес таралуын растады, орталықтан қашықтық ұлғайған сайын трек тығыздығы төмендейді. Бұл эксперименттік нәтижелер аналитикалық болжамдарға жақсы сәйкес келеді. Трек тығыздығының таралу формасына камераның радиусы, биіктігі және көрінетін тректерді құрайтын альфа бөлшектерінің критикалық бұрышы әсер етеді.

"Жергілікті" калибрлеу коэффициенттері детектор бетінің әртүрлі аймақтарында айтарлықтай өзгеруі мүмкін, бұл калибрлеу коэффициентінің таралуының камера өлшемдеріне және альфа бөлшектерін шығаратын радионуклидтердің көлемдік және шөгінді фракцияларының үлесіне күрделі тәуелділігін көрсетеді. Камераның пішіні мен өлшемдері тұндырылған радон ұрпақтарының беттерге таралуын және олардың

көрінетін іздер қалдыру қабілетін анықтайды. Радонның көлемдік үлесі мен оның ұрпақтарының тығыздыққа қосқан үлесі де біркелкі емес. Шағын детекторлар үшін калибрлеу коэффициентін тұрақты деп қарастыру жиі негізделген болса да, теориялық зерттеулер камераның радиусы мен биіктігіне байланысты трек тығыздығының өзгеруін болжауға мүмкіндік береді.

Детектордың бетіндегі тректердің таралуы әр жағдайда әр түрлі болуы мүмкін және оларды оңай болжау мүмкін емес. Бұл өзгергіштік радонды өлшеу кезінде радон диффузиялық камераларын практикалық қолдануға әсер етуі мүмкін. Камера радиусының 30% - дан аз радиусы бар детекторларды пайдалану және қателерді азайту үшін калибрлеу және өлшеу кезінде тректерді санаудың біркелкілігін қамтамасыз ету ұсынылады.

Есептеулерде бес Түрлі V функциялары қолданылды, олардың үшеуі бір-бірімен және эксперименттік мәліметтермен жақсы келісімді көрсетті. Дегенмен, әртүрлі әдістермен анықталған  $V_3$  және  $V_4$  функциялары келіспеушіліктерді көрсетеді. Бұл сәйкессіздіктің себебін одан әрі зерттеу орынды.

#### **Алғыс айту, мүдделер қақтығысы**

Жұмыс 2023 жылғы 3 тамыздағы № 269/23-25 келісім-шарт бойынша Ғылым және жоғары білім министрлігінің AR19678341 ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру жобасының қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

#### **Авторлардың қосқан үлесі.**

**К.Ш. Жумадилов:** мәтін жазу және жариялау үшін мақаланың соңғы нұсқасын бекіту; **А.М. Андабаева:** мәтін жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау; **В.Ф. Степаненко:** жазу – шолу және өңдеу; **А.И. Иванников:** мәтін жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау; **А.А. Баграмова:** мәтін жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау; **С.М. Сарсенова** және **Ф.У.Абуова:** жұмыстың барлық аспектілері үшін жауапты болуға келісім беру, деректердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына байланысты мәселелерді дұрыс зерттеу және шешу; **А.К. Амангельдина:** жұмыстың барлық аспектілері үшін жауапты болуға келісім беру, деректердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына байланысты мәселелерді дұрыс зерттеу және шешу; **М.Т. Касымжанов:** жұмыстың барлық аспектілері үшін жауапты болуға келісім беру, деректердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына байланысты мәселелерді дұрыс зерттеу және шешу.

#### **Қолданылған әдебиеттер**

Nikezic, D., Stevanovic, N., Radon progeny behavior in diffusion chamber//Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 239, 399–406(2005).

Palacios, D., Sajo-Bohus, L., Greaves, E.D., Radon progeny distributions inside a diffusion chamber and their contributions to track density in SSNT detectors//Radiat. Meas. 40, 657–661(2005).

- Stevanovic, N., Markovic, V.M., Nikezic, D., Time dependence of  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  and their progeny distributions in a diffusion chamber//Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 872, 93–99(2017).
- Abdalla, A.M., Hajry, A.A., Radon irradiation chamber and its applications//Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 786, 78–82(2015).
- Antovic, N., Vukotic, P., Zekic, R., Svrkota, R., Ilic, R., Indoor radon concentrations in urban settlements on the Montenegrin Coas// Radiat. Meas. 42, 1573–1579(2007).
- Ismail, A.H., Jaafar, M.S., Design and construct optimum dosimeter to detect airborne radon and thoron gas: experimental study//Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 269, 437–439(2011).
- Pressyanov, D., Radon progeny distribution in cylindrical diffusion chambers//Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 596, 446–450(2008).
- Sasaki, T., Gunji, Y., Okuda, T., Transient-diffusion measurement of Radon in Japanese soils from a mathematical viewpoint//J. Nucl. Sci. Technol. 43, 806–810(2006).
- Markovic, V.M., Markovic, A.G., Stevanovic, N., Nikezic, D., Rn progeny diffusion, deposition and track distribution in diffusion chamber with permeable membrane//Radiat. Meas.124,146–157(2019).
- Nikezic, D., Yu, K.N., Stajic, J.M., Computer program for the sensitivity calculation of a CR-39 detector in a diffusion chamber for radon measurements//Rev. Sci. Instrum. 85, 022102(2014).
- Markovic, V.M., Markovic, A.G., Stevanovic, N., Nikezic, D., Rn progeny diffusion, deposition and track distribution in diffusion chamber with permeable membrane//Radiat. Meas.124,146–157(2019).
- Amgarou, K., 2002. Long-Term Measurements of Indoor Radon and its Progeny in the Presence of Thoron Using Nuclear Track Detectors: A Novel Approach. PhD Thesis, available at: <https://ddd.uab.cat/record/37276?ln=en>.
- Durcik, M., Havlik, F., Experimental study of radon and thoron diffusion through barriers//J. Radiat. Nuc. Chem. 209, 307–313(1996).
- Nazaroff, W.W., Nero, A.V., 1988. Radon and its Decay Products in Indoor Air. John Wiley & Sons.
- George, A.C., Knutson, E.O., Particle size of unattached radon progeny in filtered room air//Radiat. Protect. Dosim. 56, 119–121(1994).
- Knutson, E.O., George, A.C., Tu, K.W., The graded screen technique for measuring the diffusion coefficient of radon decay products//Aerosol Sci. Technol. 27, 604–624(1997).
- Leonard, B.E., High  $^{222}\text{Rn}$  levels, enhanced surface deposition, increased diffusion coefficient, humidity, and air exchange effects//Health Phys. 70, 372–387(1996).
- Malet, J., Michielsen, N., Boulaud, D., Renoux, A., Mass transfer of diffusive species with non constant in-flight formation and removal in laminar tube flow: application to unattached short-lived radon daughters//Aerosol Sci. Technol. 32, 168–183(2000).
- Phillips, C.R., Khan, A., Leung, H.M.Y., 1988. The nature and determination of the unattached fraction of radon and thoron progeny. In: Nazaroff, W.W., Nero, A.V. (Eds.), Radon and its Decay Products in Indoor Air. John Wiley & Sons, pp. 203–256.
- Tokonami, S., Determination of the diffusion coefficient of unattached radon progeny with a graded screen array at the EML environmental chamber//Radiat. Protect. Dosim. 81, 285–290(1999).
- Tymen, G., Kerouanton, D., Huet, C., Boulaud, D., An annular diffusion channel equipped with a track detector film for long-term measurements of activity concentration and size distribution of nanometer  $^{218}\text{Po}$  particles//J. Aerosol Sci. 30, 205–216(1999).
- Nikezic, D., Yu, K.N., Computer program TRACK\_VISION for simulating optical appearance of etched tracks in CR-39 nuclear track detectors//Comput. Phys. Commun. 178, 591–595(2008).

Brun, C., Fromm, M., Jouffroy, M., Meyer, P., Groetz, J.E., Abel, F., Chambaudet, A., Dorschel, B., Hermsdorf, D., Bretschneider, R., Kadner, K., Kuhne, H., Intercomparative study of the detection characteristics of the CR-39 SSNTD for light ions: present status of the Besancon-Dresden approaches//Radiat. Meas. 31, 89–98(1999).

Durrani, S.A., Bull, R.K., 1987. Solid State Nuclear Track Detection. Principles Methods and Applications. Pergamon Press.

Hermsdorf, D., Evaluation of the sensitivity function V for registration of  $\alpha$ -particles in PADC CR-39 solid state nuclear track detector material//Radiat. Meas. 44, 283–288(2009).

Yu, K.N., Ho, J.P.Y., Nikezic, D., Yip, C.W.Y., 2005a. Determination of the V function for CR-39 by atomic force microscope. In: Recent Advances in Multidisciplinary Applied Physics. Elsevier, Amsterdam, pp. 29–34.

Yu, K.N., Ng, F.M.F., Nikezic, D., Measuring depths of sub-micron tracks in a CR- 39 detector from replicas using atomic force microscopy//Radiat. Meas. 40, 380–383(2005).

Stajic, J.M., Milenkovic, B., Nikezic, D., Study of CR-39 and Makrofol efficiency for radon measurement// Radiat. Meas. 117, 19–23(2018).

Stajic, J.M., Milenkovic, B., Nikezic, D., Radon concentrations in schools and kindergartens in Kragujevac city, Central Serbia//Clean 43, 1361–1365(2015).

Koo, V.S.Y., Yip, C.W.Y., Ho, J.P.Y., Nikezic, D., Yu, K.N.,. Deposition fractions of  $^{218}\text{Po}$  in diffusion chambers//Appl. Radiat. Isot. 59, 49–52(2003).

McLaughlin, J.P., Fitzgerald, B., Models for determining the response of passive alpha particle detectors to radon and its progeny in cylindrical detecting volumes//Radiat. Protect. Dosim. 56, 241–246(1994).

**К.Ш.Жумадилов<sup>1\*</sup>, А.М.Андабаева<sup>1</sup>, В.Ф.Степаненко<sup>2</sup>, А.И.Иванников<sup>2</sup>, А.А.Баграмова<sup>1</sup>, С.М.Сарсенова<sup>1</sup>, Ф.У.Абуова<sup>1</sup>, А.К.Амангельдина<sup>1</sup>, М.Т.Касымжанов<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Международная кафедра ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, Астана

<sup>2</sup>МРНЦ имени А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии», Обнинск, Россия

<sup>3</sup>АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Казахстан

(\*e-mail: zhumadilovk@gmail.com)

## **Распределение следов альфа-частиц в детекторе CR-39 в диффузионной камере радона**

**Абстракт.** Целью этого исследования было изучение пространственного распределения следов альфа-частиц, образующихся радоном и его потомками в диффузионных камерах радона. Использовались три цилиндрические камеры, оснащенные детекторами CR-39, концентрация радона оценивалась с помощью устройства RAD7. Регистрация выявила неравномерное распределение следов альфа-частиц на поверхности детектора, плотность следов возле стенок камеры была на 30% ниже, чем в центре. Эти результаты контрастировали с аналитическими прогнозами, основанными на одних и тех же размерах камер. Критический угол обнаружения относительно энергии падения частиц был определен с помощью программного обеспечения Track\_vision, которое продемонстрировало значительное влияние размера камеры и

критического угла на распределение плотности пути. Кроме того, в исследовании изучались источники изменения плотности следов путем анализа частичных долей объемных и осадочных фракций радона и его потомков. Наблюдалось увеличение доли боковой стенки, а объемный и платформенный вклад уменьшался с увеличением радиального расстояния от центра детектора. Изменение размеров камеры повлияло на относительный эффект этих частичных вкладов, что привело к различному распределению видимых следов на поверхности детектора. Экспериментальные результаты сравнивались со значениями, полученными с помощью ранее разработанного программного обеспечения, основанного на методе Монте-Карло. Было использовано пять различных выражений функции отклика детектора, два из которых существенно недооценили результаты эксперимента. Это всестороннее исследование проливает свет на сложную динамику путей распространения альфа-частиц в радоновых диффузионных камерах и подчеркивает важность точного моделирования для надежной оценки концентрации радона.

**Ключевые слова:** CR-39, радон, калибровочный коэффициент, плотность трека, критический угол

**K.S.Zhumadilov<sup>1</sup>, A.M. Andabayeva<sup>1</sup>, V.F.Stepanenko<sup>2</sup>, A.I. Ivannikov<sup>2</sup>, A.A.Bagramova<sup>1</sup>,  
S.M.Sarsenova<sup>1</sup>, F.U.Abuova<sup>1</sup>, A.K.Amangeldina<sup>1</sup>, M.T.Kassymzhanov<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>*International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technology,*

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

<sup>2</sup>*A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia*

<sup>3</sup>*JST «Park of Nuclear Technology», Kurchatov, Kazakhstan*

(\*E-mail: zhumadilovk@gmail.com)

### **Distribution of alpha particle tracks on CR-39 detector in radon diffusion chamber**

**Abstract.** The purpose of this study was to study the spatial distribution of traces of alpha particles formed by radon and its descendants in the diffusion chambers of radon. Three cylindrical chambers equipped with CR-39 detectors were used, the radon concentration was estimated using the RAD7 device. Registration revealed an uneven distribution of traces of alpha particles on the surface of the detector, the density of traces near the camera walls was 30% lower than in the center. These results were the opposite of analytical predictions based on the same camera dimensions. The critical angle of detection relative to the particle incidence energy was determined using the Track\_vision software, which showed a significant effect of camera size and critical angle on the distribution of track density. In addition, the study examined the sources of changes in track density by analyzing partial contributions of volumetric and sedimentary fractions of radon and its descendants. There was an increase in the sidewall share, and with an increase in the radial distance from the detector Center, the volume and platform share decreased. Changing the dimensions of the camera affected the relative effects of these partial contributions, resulting in different distributions of visible traces on the detector's surface. The experimental results were compared with the values obtained using previously developed software based on the Monte Carlo method. Five different expressions of the detector response function were



used, two of which greatly underestimated the results of the experiment. This comprehensive study sheds light on the complex dynamics of alpha particle propagation paths in radon diffusion chambers and highlights the importance of accurate modeling for reliable estimation of radon concentrations.

**Keywords:** CR-39, Radon, Calibration coefficient, Track density, Critical angle

#### **Автор туралы мәліметтер:**

**Жумадилов К.Ш.** – корреспондент автор, PhD докторы, профессор, Еуразия ұлттық университеті «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасының меңгерушісі, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

**Андабаева А.М.** – 2 курс магистранті, Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан.

**Степаненко В.Ф.** – биология ғылымдарының докторы, профессор, Ресей Денсаулық сақтау министрлігінің "нмиц радиология" ФМБУ филиалы А. Ф. Цыба атындағы мрнц медициналық-экологиялық дозиметрия және радиациялық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі

**Иванников А.И.** – биология ғылымдарының докторы, профессор, Ресей Денсаулық сақтау министрлігінің "нмиц радиология" ФМБУ филиалы А. Ф. Цыба атындағы мрнц медициналық-экологиялық дозиметрия және радиациялық қауіпсіздік зертханасының жетекші зерттеушісі

**Баграмова А.А.** – PhD докторанты, Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

**Сарсенова С.М.** – PhD докторанты, Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

**Абуова Ф.У.** – PhD докторы, профессор, Еуразия ұлттық университеті «Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар» кафедрасының доценті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

**Амангельдина А.К.** – 2 курс магистранті, Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан.

**Касымжанов М.Т.** – PhD докторанты, Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, Астана, Қазақстан

#### **Сведения об авторах:**

**Жумадилов К.Ш.** – автор для корреспонденции, PhD, профессор, заведующий "Международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий", Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

**Андабаева А.М.** – магистрант 2 курса, Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

**Степаненко В.Ф.** – доктор биологических наук, профессор, заведующий лаборатории медико-экологической дозиметрии и радиационной безопасности МРНЦ имени А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

**Иванников А.И.** – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории медико-экологической дозиметрии и радиационной безопасности МРНЦ имени А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

**Баграмова А.А.** – PhD докторант, Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

**Сарсенова С.М.** – PhD докторант, Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

**Абуова Ф.У.** – PhD, ассоциированный профессор, доцент "Международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий", Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

**Амангельдина А.К.** – магистрант 2 курса, Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

**Касымжанов М.Т.** – PhD докторант, Евразийский национальный университет, Кажымукан 13, г. Астана, Казахстан

#### Information about authors:

**Zhumadilov K.Sh.** – corresponding author, PhD, Professor, Head of the "International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies", Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

**Andabayeva A.M.** – master course student, Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

**Stepanenko V.F.** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Medical-Ecological Dosimetry and Radiation Safety of the MRRC named after A.F. Tsyba - a branch of the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Radiology" of the Russian Ministry of Health.

**Ivannikov A.I.** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading researcher of the Laboratory of Medical-Ecological Dosimetry and Radiation Safety of the MRRC named after A.F. Tsyba - a branch of the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Radiology" of the Russian Ministry of Health.

**Bagramova A.A.** – PhD student, Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

**Sarsenova S.M.** – PhD student, Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

**Abuova F.U.** – PhD, Associate professor, docent "International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies", Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

**Amangeldina A.K.** – master course student, Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan

**Kassymzhanov M.T.** – PhD student, Eurasian National University, Kazhymukan 13, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 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/>).