

ӘОЖ 539.1.06

**СЦИНТИЛЛЯЦИЯЛЫҚ КРИСТАЛДАРДЫ ЯДРОЛЫҚ МЕДИЦИНАДА
ҚОЛДАНУ**

Әбіл Жалғас¹, Сатанова Балжан Маликовна¹, Сейтжапар Нұржігіт Ғабытұлы²

abil-1989@mail.ru

¹Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ физика-техникалық факультеті, ²ҚР президентінің іс басқармасы
медициналық орталығының ауруханасы, Радиациялық қауіпсіздік қызметі, дозиметриялық
бақылау инженері, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекшісі – Абуова Ф.У

NaI(Tl) , CsI(Na) , CsI(Tl) , $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, CdWO_4 , ZnWO_4 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$, $\text{CaF}_2(\text{Eu})$, LSO , $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ сцинтилляциялық кристалдар үшін 1,5-662 кэВ диапазонындағы меншікті жарық шығуының рентген сәулелері мен γ -кванттардың энергиясына тәуелділігін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Алынған тәуелділіктер сцинтиллят түзуші элементтердің К - және L-жиіктерінің диапазонында айқын минимумдармен сызықты емес.

Қазіргі уақытта сцинтилляциялық кристалдардың бірнеше ондаған түрлері белгілі. Сцинтилляциялық кристалдар ядролық медицинаның әртүрлі құрылғыларында сәтті қолданылады. Бұл құрылғылар көптеген ауруларды емдеуді жақсарты алады.

Иондаушы сәулелену спектрлерін өлшеу кезінде маңызды міндеттердің бірі тіркеу жүйесінің шығысындағы импульс амплитудасы мен тіркелген бөлшектердің энергиясы арасындағы пропорционалдылықты қамтамасыз ету болып табылады. Сцинтилляциялық спектрометрлерді қолданған кезде сцинтилляциялық кристалдардың сызықтық проблемалары ерекше назар аударуға тұрарлық[1]. Бірліктерден жүздеген килоэлектронвольтке дейінгі энергия диапазонында рентген және γ - кванттар анықталған кезде алынған фотоэлектрондардың dE/dx меншікті иондану шығындары сцинтилляциялық кристалдарда қатты өзгереді және сіңіру қимасында К - және L-сеңірулер байқалады. Мұның бәрі сцинтилляторлардың нақты жарық шығуына айтарлықтай әсер етеді және егжей-тегжейлі зерттеулерді қажет етеді.

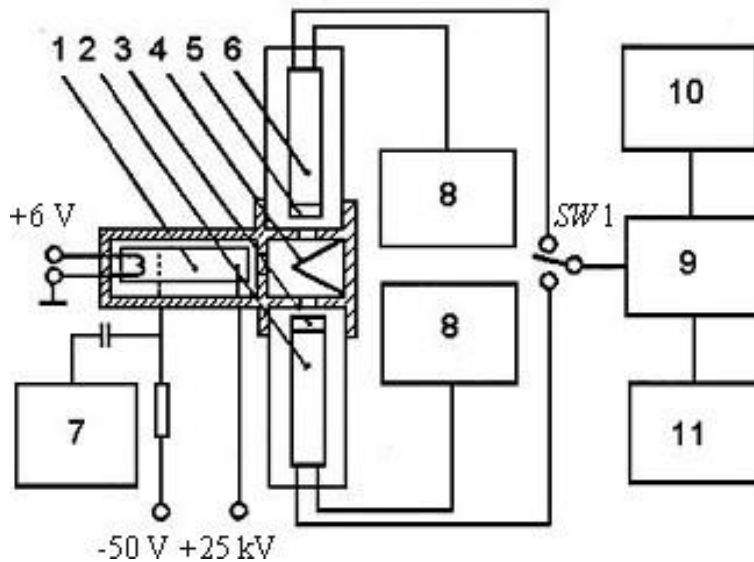
Сцинтиллятордың сызықтығын сипаттайтын параметр ретінде L/E нақты жарық шығымы қолданылады, мұндағы L -энергиясы бар бөлшек қоздыратын сцинтилляциялардың амплитудасы.егер Тіркеуші жүйенің шығысындағы A ($A \sim L$) импульс амплитудасы мен e бөлшегінің энергиясы арасында пропорционал болса, онда L/E нақты жарық шығысының e бөлшегінің энергиясына тәуелділігі тұрақты болады ($L/E = \text{const}$, E өзгерген кезде). Әйтпесе, ол өзгереді ($L/E = f$, мұндағы f - E энергиясының кейбір функциясы).

Бұл жұмыста NaI(Tl) , CsI(Na) , CsI(Tl) , $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, CdWO_4 , ZnWO_4 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$, $\text{CaF}_2(\text{Eu})$, LSO , $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ сцинтилляциялық кристалдары үшін 1,5 - 662 кэВ диапазонындағы γ -және рентгендік кванттардың энергиясына байланысты L/E меншікті жарық шығысын зерттеу рәсімдері мен нәтижелері сипатталған.

Тәжірбелік жоспарлау және өлшеу жүргізу жолдары

Кристалдардың нақты жарық шығуының рентген және γ -квант энергиясына тәуелділігін зерттеу үшін қондырғы құрылды, оның құрылымдық схемасы 1-суретте көрсетілген. 24 кэВ-тан жоғары энергия саласында кристалдардың жарық беруінің үлестік мәні радиоактивті изотоптардан E энергиясы бар γ -кванттардың кристалына әсер еткен кезде амплитудалық спектрдегі фотопиктің орны бойынша анықталды. Бұл жағдайда тек бір өлшеу қондырғысы қолданылды. 1,5–25,2 кэВ энергия диапазонында кристалдың сцинтилляциялық жарқырауы бірнеше элементтердің к-қатарының тән сәулеленуімен қоздырылды. Сипаттамалық сәулелену импульстары радиаторларда импульстің ұзақтығы 100 нс және импульстардың жиілігі 50 Гц болатын рентген түтігінің сәулеленуінің

Өлшеу жүйесінің сызықтығы қос жарық көзі әдісімен бақыланды, ал фотоэлектрлік лампалардың тұрақтылығы анықтамалық радиоактивті көздердің көмегімен бақыланды. K_1 қосқышы зерттелетін және анықтамалық детекторлардан сигналдардың тұрақты сәулелену жағдайында дәйекті тіркелуін қамтамасыз етті. Сәулелену кезінде геометриялық факторлардың әсерін жою үшін өлшеу бөлімінің дизайны зерттелетін және анықтамалық детекторларды өзара алмастыруды қамтамасыз етті.



Сурет 1 - Сцинтилляторлардың меншікті Жарық шығысын өлшеуге арналған эксперименттік қондырғының құрылымдық Сұлбасы:

1) RTI-0.05 импульсті рентген түтігі; 2) Алдын ала күшейткіш; 3) эталонды детектор; 4) рентген сәулесінің ауысымды сипаттамалық эмитенті; 5) зерттелетін үлгі; 6) фотожүктегіш түтік; 7) модуляциялаушы генератор; 8) қоректендіру блоктары; 9) алдын ала заряд сезгіш күшейткіш; 10) импульстердің амплитудалық анализаторы; 11) осциллограф.

Белгілі бір кванттардың белгілі бір энергиясы үшін нақты жарық беруді өлшеу міндеті зерттелетін L_{std}/E моделінің нақты жарық беру мәндері мен L_{ref}/E анықтамалық детекторының арасындағы пропорционалдылық коэффициентін табуға дейін азаяды, мұндағы L_{std} және L_{ref} -тісті детекторлардан сигналдардың амплитудасы:

$$(L_{std}/E) = K(L_{ref}/E) \quad (1)$$

Бұл жағдайда K коэффициентін эксперименттен формула бойынша анықтауға болатындығын көрсетуге болады:

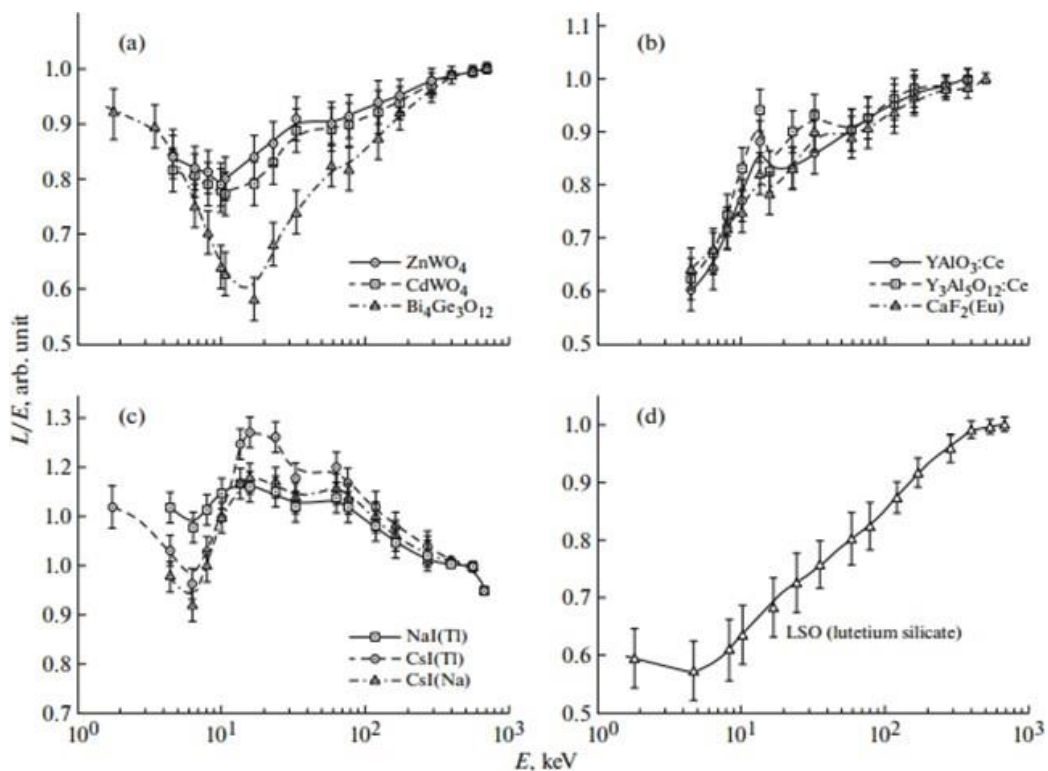
$$K = A_{std}/A_{ref} \quad (2)$$

мұндағы S_{td} және R_{ef} -зерттелетін және эталондық детекторлардан алынған амплитудалық спектрлердегі максимумдардың жағдайы.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

$NaI(Tl)$, $CsI(Na)$, $CsI(Tl)$, $Bi_4Ge_3O_{12}$, $CdWO_4$, $ZnWO_4$, $Y_3Al_5O_{12}:Ce$, $CaF_2(Eu)$, LSO , $YAlO_3:Ce$ кристалдары үшін меншікті жарық шығысының рентген және γ -квант энергиясына тәуелділігінің тәжірбелік нәтижелері 2-суретте көрсетілген.

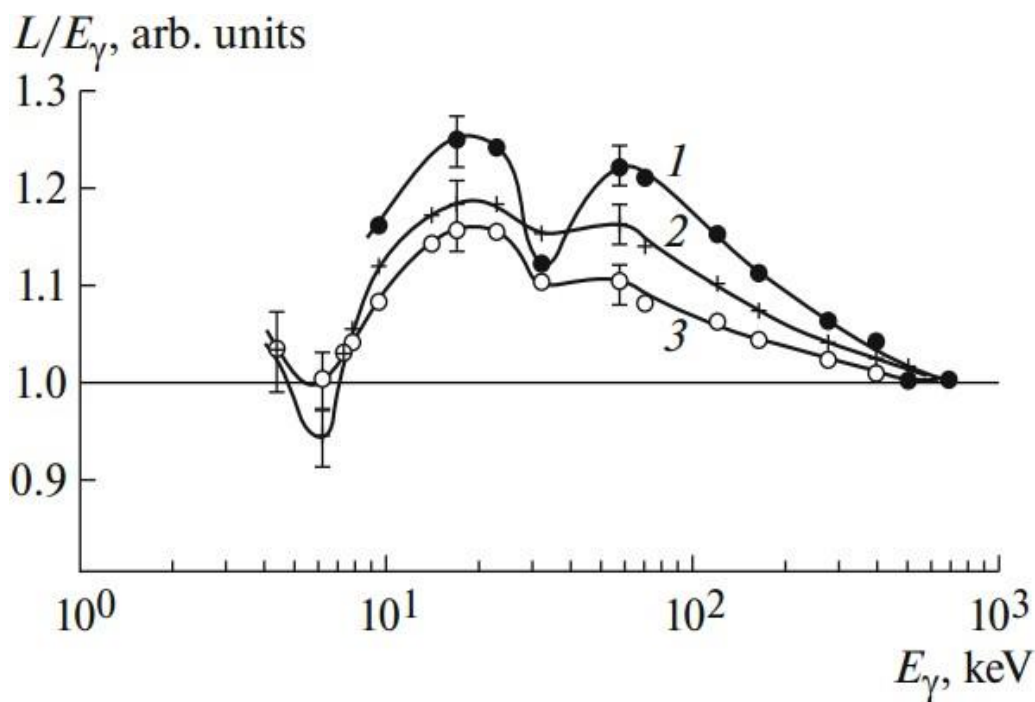
Ыңғайлы болу үшін кейбір кристалдар үшін нақты Жарық шығуының мәні шартты түрде 662 кэВ энергиясымен, ал $CaF_2(Eu)$, $YAlO_3:Ce$ және $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ кристалдары үшін 272 кэВ энергиясымен алынады. Барлық қисықтар үшін сцинтиллят түзуші элементтердің K - және L -жиіктерінде L/E шамасының айқын минимумдарының болуы тән. Бұл тәуелділіктердің өте күрделі түрі кем дегенде екі фактордың жиынтық әсерімен анықталады, атап айтқанда рентген мен γ -сәулеленудің зат атомдарымен өзара әрекеттесу физикасы және сцинтилляциялық сигналдарды қалыптастырудың физикалық процестері. Сонымен қатар, сцинтилляциялық сигналдың пайда болу процесі көбінесе иондаушы бөлшектердің жолындағы тепе-тең емес заряд тасымалдаушылардың кеңістіктік таралуына, яғни жол аймағындағы иондану тығыздығына байланысты.



Сурет 2- Жарықтың нақты шығуының бірнеше сцинтилляциялық кристалдар үшін рентген және γ -кванттардың энергиясына тәуелділігі.

Әр түрлі активатор концентрациясы бар CsI(Tl) кристалдарымен жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, L/E -нің E -ге тәуелділігі белсенді емес CsI кристалдары үшін өте айқын және бұл тәуелділік активатор концентрациясының жоғарылауымен біршама тегістеледі (сурет-3). Сцинтилляторлардың иондаушы бөлшектердің қозуына реакциясының бұл әрекетін табиғи түрде сілтілік-галогендік кристалдардағы сцинтилляциялық процесс моделі аясында түсіндіруге болады [3]. Осы модельге сәйкес, иондаушы бөлшек кристалдан өткен кезде, сцинтиллятордың негізгі заты иондалады. Қозу энергиясын негізгі заттан люминесцентті орталықтарға беру Бейорганикалық сцинтилляторлардың жарық беруін және уақыт параметрлерін анықтайтын негізгі процестердің бірі болып табылады. Осылайша, электрондар энергиясының 10 кэВ-тен жоғары өсуімен нақты жарық шығуының төмендеуі электронды жол аймағындағы иондану тығыздығының төмендеуімен байланысты. Өз кезегінде, бұл сцинтилляциялық фотондар шығарылатын тепе-тең емес заряд тасымалдаушыларының рекомбинация ықтималдығын азайтады. Сілтілі-галогендік кристалдардың меншікті (белсенді емес) жарқылының, сондай-ақ активатордағы радиациялық рекомбинацияның электронды және тесік арналарының ықтималдығы төмендейді.

Электрондардың энергиясы бірнеше килоэлектронвольттан төмен төмендегенде, радиациялық емес рекомбинация арнасы маңызды рөл атқара бастайды. Бұл рекомбинациялық каналдың ықтималдығы иондану тығыздығының жоғарылауымен артады.



Сурет 3- Нақты жарық шығуының әртүрлі активатор құрамы бар CsI (Tl) кристалдары үшін рентгендік және γ -кванттардың энергиясына тәуелділігі: (1) 10^{-6} ; (2) 0.5; және (3) 1 мас.%.

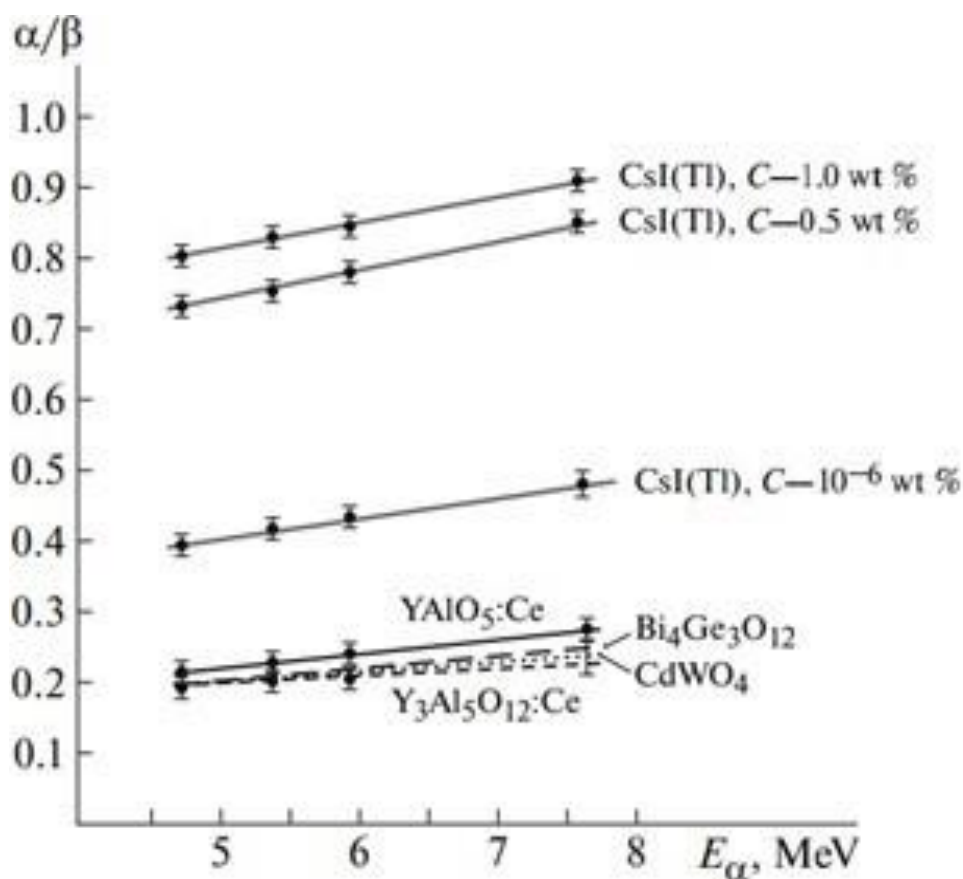
Цезий иодиді кристалдарындағы таллийдің активтендіргіш қоспасы концентрациясының жоғарылауы бөлшектердің жолындағы ионизация тығыздығының нақты шығу мәніне әсерінің төмендеуіне әкеледі. Ионизацияның төмен тығыздығында радиациялық рекомбинация ықтималдығы активатор концентрациясының жоғарылауымен жоғарылайды. Траектория аймағында иондану тығыздығы жоғары болған кезде, активатор орталықтары бос электрондар мен тесіктерді ұстап алады, бұл активтендірілмеген және босаңсыған тесіктермен электрондардың рекомбинация санының азаюына әкеледі [3] [4].

Жарық беру қарқындылығының бөлшектердің иондаушы күшіне тәуелділігі туралы маңызды ақпаратты α/β қатынасын зерттеуден алуға болады:

$$\alpha/\beta = (A_\alpha / E_\alpha) : (A_\beta / E_\beta), \quad (3)$$

мұндағы A_α және A_β сәйкесінше E_α және E_β энергиясымен α -бөлшектен және электроннан сцинтилляциялық детектордың шығысындағы импульстердің амплитудасы. 4-суретте CsI(Tl) кристалдарындағы активатордың әртүрлі концентрацияларындағы α/β қатынасының α -бөлшектердің энергиясына эксперименттік тәуелділігі көрсетілген. Суреттен көріп отырғанымыздай, таллий концентрациясының жоғарылауымен α/β қатынасы артып, активатор концентрациясы $>10^{-1}$ мас болғанда $\sim 0,8$ -ге жетеді. % - ға өмендеуі туралы куәландырады байланысты α/β тығыздығына иондану ұлғаюымен концентрациясы активаторы осы кристалда.

Белгілі бір жарық шығысының басқа кристалдар үшін фотон энергиясына тәуелділігіне келетін болсақ, иондану тығыздығының бұл кристалдарға әсері сілтілі галоидты кристалдарға қарағанда едәуір жоғары екенін ескеру қажет. Сурет 4 зерттелетін кристалдар үшін α/β қатынасының α -бөлшектердің энергиясына тәуелділігін көрсетеді.



Сурет 4 - α/β қатынасы бірнеше сцинтилляторлар мен CsI(Tl) кристалдары үшін әр түрлі белсендіргіш мазмұны бар α -бөлшектердің энергиясына тәуелділігі (қисықтарға жақын суреттер).

Осылайша, сцинтиллятордың меншікті жарық беруінің фотон энергиясына тәуелділігі, яғни сцинтилляциялық детектордың пропорционалдылығы сцинтилляциялық Кристалл элементтерінің атомдық құрылымымен және сцинтилляциялық түзілуді анықтайтын процеспен анықталады (жарық беруінің жол аймағындағы ионизация тығыздығына тәуелділігі) [4].

Bi₄Ge₃O₁₂, LSO, CsI(Tl) және YAlO₃:Ce кристалдары үшін 1,5–662 кэВ энергия диапазонындағы квант энергиясына меншікті Жарық шығысының тәуелділігін зерттеу және NaI(Tl), CsI(Na), CaF₂(Eu), CdWO₄, ZnWO₄, Y₃Al₅O₁₂:Ce кристалдары үшін 4,5–662 кэВ энергия диапазонында сцинтиллятордың сіңірілуінің К – жиектері қалыптастыру элементтері алынған барлық қисықтарға тән. Бұл тәуелділіктердің күрделі формасы кем дегенде екі негізгі фактордың жиынтық әсерімен анықталады, атап айтқанда рентген мен γ -сәулеленудің зат атомдарымен әрекеттесу физикасы және сцинтилляциялық сигналдың қалыптасуының физикалық процестері.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Aitken D.W., Beron K.L., Yenicay, G., IEEE Trans. Nucl. Sci., стр. 468, 1967.
2. Grammaier B.C., IEEE Tran. Nucl. Sci., vol. 31, стр.372, 1984.
3. Takao T., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A: Accel., Spectrom., Detect. Assoc. Equip. Sect., стр.153, 1985.
4. Takao T., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A: Accel., Spectrom., Detect. Assoc. Equip., Sect., стр.177, 1985.