УДК 539.166

А. Д. Скорбун

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

ДЕТЕКТУВАННЯ РОЗСІЯНОГО ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ^{60}Co У ШИРОКІЙ ГЕОМЕТРІЇ

Проведено вимірювання розсіяння гамма-випромінювання ^{60}Co у широкій геометрії: при наявності і відсутності навколо джерела і детектора свинцевого екрана. У такій геометрії на детектор від екрана приходить тільки розсіяне випромінювання. Виявлено зростання інтенсивності лінії 1332 кеВ порівняно з лінією 1172 кеВ у присутності екрана. Виявлений ефект пов'язується з прийманням детектором випромінювання, когерентно розсіяного у великому об'ємі екрана, який оточує детектор. Той факт, що ефект спостерігається для енергій вище порога утворення пар, дозволяє пов'язати його або з наслідком утворення пар, або з розсіянням Дельбрюка. Виявлений ефект обумовлено розсіянням на великі кути (зворотне розсіяння), для яких перерізи відомих механізмів когерентного розсіяння (Релея, Томсона) вважаються малими. Тому здається, що в даній геометрії експеримента виявляється можливим досліджувати механізм когерентного розсіяння, який викликає цей ефект, нехтуючи релеївським і томсонівським.

Ключові слова: розсіяння гамма-випромінювання, ^{60}Co, широка геометрія, свинець.

Вступ

При бета-розпаді ^{60}Co утворюються два гамма-кванти з енергіями 1173 і 1332 кеВ. Квантовий вихід у них однаковий, проте на апаратурному спектрі площа високоенергетичної лінії S2 завжди менша площі S1 лінії 1173 кеВ через властивості детекторів. У наших експериментах вимірюється відношення S2/S1 у спектрах ^{60}Co, одержаних на сцинтиляційному детекторі NaI(Tl). Абсолютна величина цього відношення визначається апаратною функцією детектора й для різних детекторів буде різна. Проте з точки зору чутливості до зміни напруги, температури тощо ця величина надзвичайно стабільна, тому що подібні апаратурні впливи однакові для обох ліній.

При екрануванні кристала детектора свинцевим екраном S2/S1 збільшується [1]. Очевидним поясненням могло б бути те, що високоенергетична лінія менше поглинається у свинцевому екрані, чим і пояснюється такий ефект відносного зростання її інтенсивності. Оцінка величини ефекту для плоского екрана ($I = I_0(\exp(-\mu t)$, де μ - лінійний коефіцієнт поглинання, а t – товщина свинцевого екрана) дає значення змін S2/S1, близькі до експериментальних. Проте ретельне порівняння [1] результатів таких розрахунків з експериментальними даними дає підстави сумніватися, що ефект збільшення S2/S1, який спостерігається, може бути пояснено таким чином. Виникла гіпотеза, що в даній геометрії експеримента спостерігається ефект зростання перерізу когерентного розсіяння для лінії 1332 кеВ відносно лінії 1173 кеВ, який вдається зафіксувати за рахунок вимірювання не абсолютних інтенсивностей, а відносної величини S2/S1.

Вказане вище пояснення, що ефект викликано відмінністю коефіцієнтів поглинання для ліній ^{60}Co, означає, що випромінювання проходить через свинцевий екран. Тому для перевірки гіпотези про розсіяння було поставлено принципово інший експеримент, тобто у принципово іншій геометрії, коли на детектор приходить лише розсіяне випромінювання.

Експеримент

Схему експеримента показано на рис. 1. Точкове джерело випромінювання типу ОСГИ закріплюється безпосередньо на детекторі. Проводиться серія вимірювань S2/S1 без екрана. Потім без зміни положення джерела детектор обкладається мішками із свинцевим дробом і знову виконується серія вимірювань S2/S1. Товщина свинцевого екрана 5÷7 см. У такій геометрії вимірювань відмінності у спектрах, знятих з екраном і без, будуть пов'язані лише з розсіяним у свинцевому екрані випромінюванням**.**

Результати вимірювань для серії послідовних спектрів показано на рис. 2 у вигляді діаграми: кожний стовпчик показує величину S2/S1 для даного спектра. Спектри серії 1 одержано без екрана. Потім детектор було закутано у дріб (спектри серії 2), а потім знову видалено екран. Навіть без статистичної обробки видно, що спектри, одержані з екрануванням детектора, відрізняються від спектрів, одержаних без екрана: значення S2/S1 для екранованого детектора більші порівняно з неекрано-

© А. Д. Скорбун, 2013

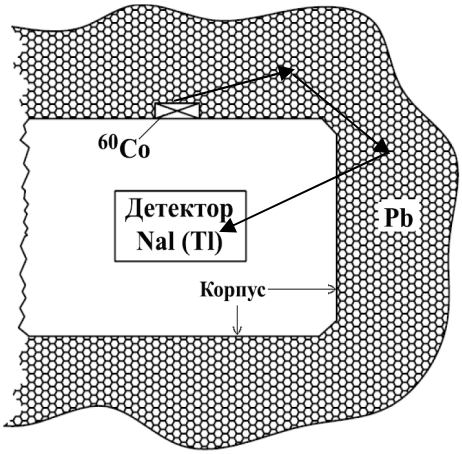

Рис. 1. Схема геометрії експерименту. Стрілками показано можливий шлях гамма-кванта.

ваним. Середні значення S2/S1 для вимірювань з екраном і без становлять 0,86 ± 0,018 та 0,78 ±0,018 відповідно, де похибка ±0,018 є стандартним відхиленням.

Обговорення результатів

З поданої на рис. 1 схеми експеримента по екрануванню детектора із джерелом свинцем (а не при екрануванні детектора, коли джерело залишається зовні) однозначно випливає, що ефект впливу свинцевого екрана, який спостерігається в експерименті, викликано не різницею коефіцієнтів поглинання ліній ^{60}Co, а розсіяним на великі кути випромінюванням. Загальноприйнято [2, 3], що серед можливих механізмів взаємодії гамма-випромінювання з екраном імовірності когерентного (релеївського, томсонівського, дельбруківського) розсіяння для досліджуваного діапазону енергій 1200 – 1400 кеВ на кілька порядків менші порівняно з процесом комптонівського розсіяння. Проте зростання S2/S1 за рахунок комптонівського розсіяння неможливе, бо по самій своїй суті комптонівське розсіяння – це зменшення енергії гамма-кванта при розсіянні на електроні. Тому зростання S2/S1 означає зростання внеску когерентного, тобто без зміни енергії гамма-кванта, розсіяння.

У літературі існують й інші вказівки на те, що така проблема існує. Так, у [4] на основі широкого огляду літератури порівнюються результати розрахунків величини когерентного (релеївського) розсіяння з експериментами. Виявилось, що приблизно з 1200 кеВ і вище для перерізів релеївського розсіяння у свинці є істотне розходження між експериментом і теоретичними розрахунками, включаючи розрахунки методами Монте-Карло (програми MCNP, GEANT): розрахунки дають значно занижені порівняно з експериментом величини перерізів розсіяння для енергій більше 1200 кеВ.

Величина нашого ефекту, яку ми визначимо як відношення середніх значень S2/S1 для випадків екранованого і неекранованого детектора, дорівнює 0,86/0,78 = 1,1 , тобто 10 %.

Звідси начебто випливає, якщо обмежитись відомими механізмами розсіяння [5], що перерізи когерентного розсіяння значно недооцінені. Однак з уважного розгляду рис. 1, де показано можливий шлях розсіяного гамма-кванта, випливає також, що просте збільшення ймовірності когерентного розсіяння не вирішує проблему. Потрібно або помітно збільшити ймовірність когерентного розсіяння у зворотному напрямку, або допустити можливість багатократного розсіяння із збереженням енергії. Друге вимагає настільки великого збільшення ймовірності когерентного розсіяння, що це навряд чи могло б бути досі непоміченим. Більш логічним видається допустити, що при наявності навіть відносно невеликої ймовірності когерентного розсіяння на великі кути починає відігравати значення об'єм свинцевого екрана, який оточує детектор. У цьому випадку мала ймовірність зворотного когерентного розсіяння може компенсуватися збільшеням об'єму, у якому йде процес.

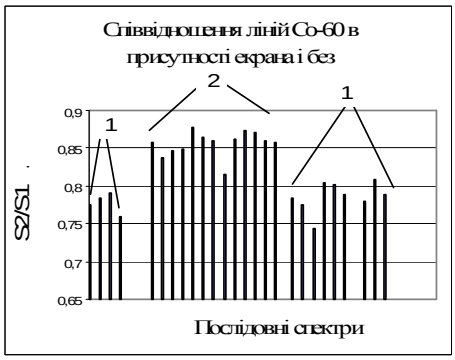

Рис. 2. Співвідношення інтенсивностей ліній ^{60}Co для серії послідовних спектрів: *1* – без екрана; *2* – з екраном.

З [1], а також із представлених у даній роботі результатів випливає, що ефект збільшення величини зворотного когеретного розсіяння починає проявлятися з енергій гамма-квантів, більших 1200 кеВ. Це дає змогу обмежитись лише тими механізмами розсіяння, перерізи яких починають зростати при цих енергіях. Серед відомих механізмів розсіяння можна розглянути два – це процес утворення пар з наступним перевипромінюванням гамма-кванта в бік детектора, і дельбрюківське розсіяння, яке, по-суті, теж іде через утворення пар [6].

Висновки

Проведено порівняльні вимірювання розсіяння гамма-випромінювання ^{60}Co у широкій геометрії: при наявності та відсутності свинцевого екрана. Виявлено зростання інтенсивності лінії 1332 кеВ порівняно з лінією 1172 кеВ у присутності екрана.

Виявлений ефект пов'язується із прийманням детектором когерентно розсіяного у великому об'ємі випромінювання.

Той факт, що ефект спостерігається для енергій вище порога утворення пар, дозволяє пов'язати його або з наслідком утворення пар, або з розсіянням Дельбрюка.

Вибір механізму, який викликає такий ефект, потребує подальших досліджень. Проте якщо припущення про те, що ефект пов'язано з утворенням пар, виявиться правильним, це означає, що вперше виявлено можливість прямого дослідження розсіяння Дельбрюка для енергій 1 – 2 МеВ в умовах, коли цей механізм істотно переважає інші механізми [5, 6] когерентного розсіяння.

Автор вдячний С. М. Рябченку, Е. А. Паширькому і В. О. Желтоножському за цінні критичні дискусії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Скорбун А. Д., Панасюк М. І., Сплошной Б. М., Зеленський О. Ю.* Особливості ефективностей реєстрації сцинтиляційних детекторів із свинцевим захистом // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2012. – Вип. 18. – С. 103 – 109.
2. *Мухин К. Н.* Экспериментальная ядерная физика. Т. 1. Физика атомного ядра. – М.: Атомиздат, 1974. – 584 с.
3. *Roy S. C., Pratt R. H., Kissel L.* Rayleigh scattering by energetic photons: Development of theory and current status // Radiation Physics and Chemistry. – April–May 1993. – Vol. 41. – Iss. 4 – 5. – P. 725 – 738.
4. *Batič M., Hoff G., Pia M. G. and Saracco P.* Photon elastic scattering simulation: validation and improvements to Geant4 // arXiv:1206.0498v1 [physics.comp-ph] 3 Jun 2012.
5. *Papatzakos P., Mork K.* Delbrück scattering // Physics report. - 1975. – Vol. 21. – No. 2 . – P. 81 – 118.
6. *Basavaraju G., Kane P. P.* Elastic scattering of 1.12 MeV and 1.33 MeV γ-rays through 90° and 124.5° by different elements and the real part of the Delbrück scattering amplitudes // Nucl. Phys. – 1970. – A149. – P. 49 – 62.

А. Д. Скорбун

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ РАССЕЯННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ^{60}Co В ШИРОКОЙ ГЕОМЕТРИИ

Проведено измерение рассеяния гамма-излучения ^{60}Co в широкой геометрии: при наличии и отсутствии вокруг источника и детектора свинцового экрана. В такой геометрии на детектор от экрана приходит только рассеянное излучение. Выявлено возрастание интенсивности линии 1332 кэВ по сравнению с линией 1172 кэВ в присутствии экрана. Выявленный эффект связывается с приемом детектором излучения, когерентно рассеянного в большом объеме экрана, который окружает детектор. Величина эффекта возрастает с ростом энергии исходного излучения. Тот факт, что эффект наблюдается для энергий выше порога образования пар, позволяет связать его или со следствием образования пар, или с рассеянием Дельбрюка. Обнаруженный эффект обусловлен рассеянием на большие углы (обратное рассеяние), для которых сечения известных механизмов когерентного рассеяния (релеевского, томсоновского) считаются малыми. Поэтому представляется, что в данной геометрии эксперимента оказывается возможным исследовать механизм когерентного рассеяния, который вызывает этот эффект, пренебрегая релеевским и томсоновским рассеянием.

Ключевые слова: рассеяние гамма-излучения, ^{60}Co, широкая геометрия, свинец.

A. D. Skorbun

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

DETECTING OF SCATTERED ^{60}Co GAMMA EMISSION IN A BROAD BEAM GEOMETRY

Measurements of scattering of ^{60}Co gamma emission in broad-beam geometry – under presence and absence of a lead shield around a source and a detector – have been carried out. In such geometry from a shield to a detector only scattered emission is arrived. Growing of intensity of 1332 keV line comparing to 1332 keV line intensity has been discovered in case of a shield presence. The discovered effect is connected with receiving by detector an emission, which is coherently scattered in the big shield volume, which surrounds a detector. The effect's value is growing with growing of gamma-rays energy. That fact, that the effect is observed for energies above the pairs creation threshold, permits to tie it either with consequences of pairs creation, or with Delbrück scattering. The discovered effect is conditioned by scattering in big angles (backward scattering), for which cross sections of the known mechanisms of coherent scattering (Rayleigh, Thomson) are considered to be small. Therefore it seems that in the given geometry of the experi-

ment it is possible to investigate the coherent scattering mechanism, which causes this effect, in a pure form, neglecting by Rayleigh and Thomson ones.

Keywords: gamma rays scattering, ^{60}Co, broad-beam geometry, lead.

REFERENCES

1. *Skorbun A. D., Panasiuk M. I., Sploshnoy B. M., Zelenskyi O. Yu.* Peculiarities of registration effectiveness of scintillation detectors with lead protection // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of nuclear power plants safety and of Chornobyl). – 2012. – Iss. 18. – P. 103 – 109. (Ukr)
2. *Mukhin K. N.* Experimental nuclear physics. Vol. 1. Nucleus physics. – Moskva: Atomizdat, 1974. – 584 p. (Rus)
3. *Roy S. C., Pratt R. H., Kissel L.* Rayleigh scattering by energetic photons: Development of theory and current status // Radiation Physics and Chemistry. – April–May 1993. – Vol. 41. – Iss. 4 – 5. – P. 725 – 738.
4. *Batič M., Hoff G., Pia M. G. and Saracco P.* Photon elastic scattering simulation: validation and improvements to Geant4 // arXiv:1206.0498v1 [physics.comp-ph] 3 Jun 2012.
5. *Papatzakos P., Mork K.* Delbrück scattering // Physics report. – 1975. – Vol. 21. – No. 2 . – P. 81 – 118.
6. *Basavaraju G., Kane P. P.* Elastic scattering of 1.12 MeV and 1.33 MeV γ-rays through 90° and 124.5° by different elements and the real part of the Delbrück scattering amplitudes // Nucl. Phys. – 1970. – A149. – P. 49 – 62.

Надійшла 30.01.2013
Received 30.01.2013