

П - 676

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

Поярков Виктор Алексеевич

НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ,
СОПРОВОЖДАЮЩЕЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ
(О1.04.16 - физика атомного ядра и
космических лучей)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна - 1975

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

Поярков Виктор Алексеевич

НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ,
СОПРОВОЖДАЮЩЕЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ
(^{60}Co , ^{137}Cs - физика атомного ядра и
космических лучей)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна - 1975

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Работа выполнена на кафедре ядерной физики Киевского
ордена Ленина государственного университета.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
Г.А.ПРОКОПЕН

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
В.И.МАНЬКО /ИАЭ им.И.В.Курчатова/

кандидат физико-математических наук
Ю.П.ПОПОВ /ОИЯИ/

Ведущая организация: Институт ядерных исследований АН УССР

Автореферат разослан 22 " апрель 1975 г.

Защита состоится " 6 " июня 1975 г.

на заседании Объединенного Ученого совета Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба присылать по адресу:

г.Дубна Московской обл.

Объединенный Ученый совет

ЛНФ и ЛЯР

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Ученый секретарь Совета

/ Э.КАРЖАВИНА/

Одной из основных задач ядерной физики является изучение свойств ядерных сил, которые проявляются в характере взаимодействия налетающих частиц с ядрами (упругое рассеяние, неупругие взаимодействия). Решение этой задачи представляет большой научный интерес и позволит решить ряд задач прикладной физики. В настоящее время известно много экспериментальных методов исследования проявлений свойств ядерного взаимодействия (измерение сечений, функций возбуждения, угловых корреляций и т.д.). Однако, каждый из них в отдельности не дает прямой информации о механизме реакции, т.е. характеристик того короткого (10^{-17} - 10^{-23} сек) промежутка времени, когда налетающая частица и продукты реакции еще находятся в поле действия ядерных сил ядра мишени, поэтому для получения ответа на вопрос о механизме конкретной реакции и природе резонансного состояния необходимо их всестороннее изучение (функция возбуждения, угловые распределения, различные каналы заселения и распада). С этой точки зрения наиболее ценными представляются те эксперименты, результаты которых являются качественно новыми и их информация в совокупности с уже имеющимися данными позволяет более определенно судить о механизме реакции.

Излагаемые в диссертации исследования привели к обнаружению низкоэнергетического (30-300 кэВ) γ -излучения, сопровождающего рассеяние нейтронов с энергией 14,9 МэВ ядрами ^{12}C и ^{16}O . Исследуемое излучение интерпретируется как результат $^{12}\text{C}(n, \gamma n')^{12}\text{C}$ и $^{16}\text{O}(n, \gamma n')^{16}\text{O}$ реакции.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе оцелан обзор экспериментальных и теоретических работ, рассматривающих ситуации, когда в ядерных реак-

ниях излучение γ -квантов предшествует испусканию частиц. Такое γ -излучение несет информацию о механизме реакции.

Во второй главе рассмотрены реакции, ведущие к образованию составного ядра ^{13}C и ^{17}O (например, рассеяние нейтронов на ядрах ^{12}C и ^{16}O). Знание функции возбуждения ядер ^{13}C и ^{17}O , угловых распределений нейтронов, рассеянных на ^{12}C и ^{16}O , позволяет судить о структуре высоковозбужденных состояний ядер ^{13}C и ^{17}O и о механизме взаимодействия нейтронов с ядрами. Такая информация необходима для интерпретации исследуемого в работе γ -излучения.

В третьей главе описана использованная аппаратура и вспомогательные измерения, сделанные с целью выяснения ее возможностей. Поскольку исследуемый эффект имеет малое сечение (~ 1 мбарна), были приняты меры для уменьшения фона. С этой целью был использован коллиматор нейтронов, обеспечивающий пучок нейтронов с четкими границами; детектор нейтронов и система n - γ разделения позволяли регистрировать нейтроны и не регистрировать γ -кванты, для регистрации γ -квантов использовался тонкий планарный Ge (Li) детектор, имеющий большую эффективность к исследуемому низкоэнергетическому γ -излучению и малую - к высокоэнергетическому.

В четвертой главе описана методика и результаты исследования низкоэнергетического γ -излучения, сопровождающего рассеяние нейтронов с энергией 14,9 Мэв ядрами ^{12}C и ^{16}O . В начале, используя оригинальную методику последовательного вычитания различных компонент фона, исследовался единичный (без совпадения с нейтронами) спектр низкоэнергетического γ -излучения, возникающего в образце ^{12}C под действием нейтронов с энергией 14,9 Мэв. Такой спектр имеет вид широкого максимума (полу-

ширина ~ 70 кэв) в районе 100 кэв.

В дальнейшем исследовался временной спектр совпадений нейтронов с энергией свыше 3 Мэв с сопутствующим γ -излучением. В этом случае большая часть совпадений связана с совпадением нейтронов, рассеянных на первое возбужденное состояние ядра ^{12}C (4,43 Мэв), с γ -квантами, испущенными при разрядке этого состояния. Для выделения совпадений рассеянных нейтронов с низкоэнергетическим γ -излучением проводились разностные измерения. Ge (Li) детектор закрывался свинцовой пластиной толщиной 1 мм, поглощавшей низкоэнергетическое γ -излучение (0+250 кэв) и "прозрачной" для жесткого γ -излучения, сопровождающего неупругое рассеяние нейтронов на ^{12}C . Полученный таким образом спектр представлял собой совпадения неупруго рассеянных нейтронов с высокоэнергетичным γ -излучением (в основном с энергией 4,43 Мэв). Разность двух спектров (с пластинкой и без нее) дает разностный временной спектр, соответствующий совпадениям нейтронов с гамма-излучением с энергией 20+250 кэв. Такой спектр (рис.1) составляет 9,5% от полного спектра совпадений.

Проверка корректности вычитания спектров для получения низкоэнергетичной компоненты излучения, была проведена на источнике ^{60}Co ($E_{\gamma} = 1,17$ и $1,33$ Мэв). В этом случае разностный спектр был меньше 3%.

Был оценен фон помещения, для чего измерялся разностный спектр в случае отсутствия рассеивателя. Фон (нормированный по потоку нейтронов) составил по интенсивности менее 10% разностного спектра в случае наличия образца.

Изучение энергетического состава γ -излучения образца под действием нейтронов, проведенное в той же геометрии, пока-

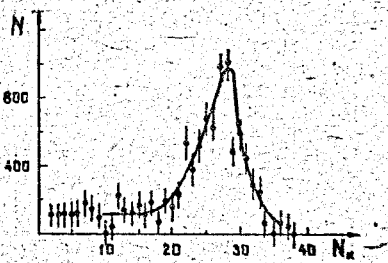


Рис. 1. Разностный временной спектр совпадений нейтронов с энергией выше 3 Мэв, рассеянных ядрами ^{12}C , с низкоэнергетическим гамма-излучением.

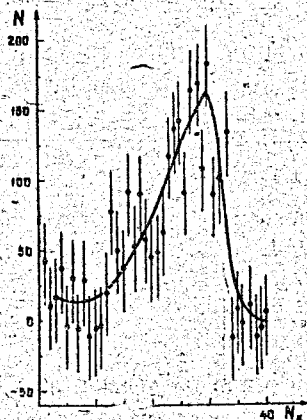


Рис. 2. Разностный временной спектр квазиупруго рассеянных нейтронов с низкоэнергетическим γ -излучением.

вало отсутствие каких-либо γ -линий, связанных с неупругим взаимодействием нейтронов с примесями образца или материалами конструкций, способных дать ощутимый вклад в исследуемый эффект.

На рис. 2 показан такой же временной спектр, как на рис. 1, но управляемый нейтронами с энергией выше 11 Мэв, т.е. совпадения только с упруго рассеянными нейтронами. Как видно из рисунка, имеется мгновенное γ -излучение, сопровождающее квазиупругое рассеяние нейтронов образцом ^{12}C . Квазиупругое в том смысле, что ядро мишени, после рассеяния на нем нейтрона, остается в основном состоянии, но энергия рассеянного нейтрона отличается от энергии падающего нейтрона (с учетом энергии отдачи ядра) на энергию испущенного γ -кванта.

Измерение временного спектра при рассеянии нейтронов на угол $\theta_n = 90^\circ$ показало отсутствие совпадающего γ -излучения. Полученный в этом случае разностный спектр составлял 2% от полного спектра совпадений, что, с учетом поглощения фильтра для γ -квантов с энергией 4,43 Мэв, указывает на отсутствие мягкой компоненты в совпадающем спектре. Полный спектр совпадений, нормированный на падающий поток нейтронов, с изменением угла с 30° до 90° изменился всего в 1,4 раза, что соответствует изменению сечения неупругого рассеяния нейтронов на уровне ^{12}C (4,43 Мэв).

Такие же измерения ($\theta_n = 30^\circ$) были проведены на другом образце углерода, выполненном из полистирола. Полученные результаты полностью согласуются с полученными ранее. Очень важно, что хотя абсолютная интенсивность совпадений, нормированная на падающий поток нейтронов, была различной, отношение интенсивности мягкой компоненты совпадающего спектра к жесткой, связа-

видны линии с энергией 31 и 43 кэв; Кроме этих линий в спектре присутствует линия с энергией 72 и 94 кэв, ширина которых в два раза больше ширины линии калибровочного источника.

С целью увеличения надежности полученных результатов измерения энергетического состава совпадающего мягкого излучения было повторено для образца углерода другого состава (изготовленного из полистирола $C_6H_5CH:CH_2$). Блок-схема измерений показана на рис.4. В отличие от предыдущих измерений, в этих измерениях было улучшено разрешающее время быстрого канала совпадений ($2\tau = 70$ нсек). Полученный спектр полностью повторяет спектр, полученный в предыдущих измерениях. (рис.5).

Большую часть низкоэнергетического совпадающего спектра составляет непрерывный спектр или спектр в виде широких линий, помещенных на комптоновскую подставку высокоэнергетических γ -квантов. Для вычитания комптоновской подставки проводились измерения энергетического спектра при детекторе закрытом пластиной свинца толщиной 1 мм. Эти измерения чередовались с измерениями без свинцового фильтра и проводились короткими сериями.

На рис.6 показан разностный спектр, соответствующий совпадающему мягкому γ -излучению, оплошными кружками показан спектр, исправленный с учетом поглощения фильтра. Грубая структура мягкой компоненты совпадающего спектра имеет два максимума - первый, соответствующий линиям 31 и 43 кэв, второй - соответствующий непрерывному и квазинепрерывному спектру. Уровень случайных совпадений составляет 0,1 от полного спектра.

Особое внимание в проводимых измерениях уделялось достоверности получаемых результатов, поскольку эффект наблюдался впервые, и доказательству связи наблюдаемого мягкого гамма-излучения с рассеянием нейтронов именно на ^{12}C . Основные полученные доказательства этому следующие:

1. Одна и та же величина отношения мягкой компоненты к жесткой, заведомо связанной с рассеянием нейтронов на углероде, для разных образцов.
2. Отсутствие эффекта для рассеяния нейтронов на угол 90° .
3. Наличие эффекта в совпадении с нейтронами с энергией выше 11 Мэв.
4. Повторение энергий γ -линий в измерениях с различными образцами.
5. Отсутствие линий соответствующих энергий в несовпадающем γ -спектре.

Аналогичные измерения были проделаны на ^{16}O . Первое возбужденное состояние ядра ^{16}O имеет энергию 6,05 Мэв, поэтому нейтроны с энергией выше 10 Мэв, используемые в совпадениях, соответствуют только упруго и квазиупруго рассеянным на ядрах ^{16}O .

Аппаратурный спектр γ -излучения, сопровождающего квазиупругое рассеяние нейтронов на ядрах ^{16}O показан на рис.7. На спектре достаточно хорошо выделен максимум в районе 62 кэв с шириной ~ 6 кэв и максимум в районе 250 кэв и с шириной 12 кэв, а также широкое распределение в районе 120 кэв. Важно отметить, что эти максимумы отсутствуют в спектре γ -излучения, сопровождающего квазиупругое рассеяние нейтронов ядрами ^{12}C , что указывает на связь наблюдаемого эффекта с рассеянием именно на ядрах ^{16}O и ^{12}C . На рис.8 показана грубая структура получен-

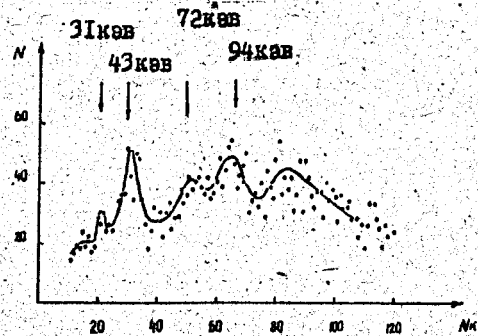


Рис. 5. Спектр γ -излучения, совпадающего с рассеянными нейтронами (полистироловый образец).

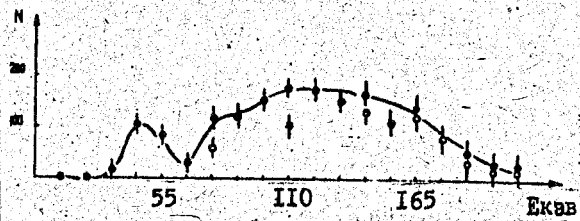


Рис. 6. Аппаратурный спектр мягкой компоненты γ -излучения совпадающего с квазиупруго рассеянными нейтронами.

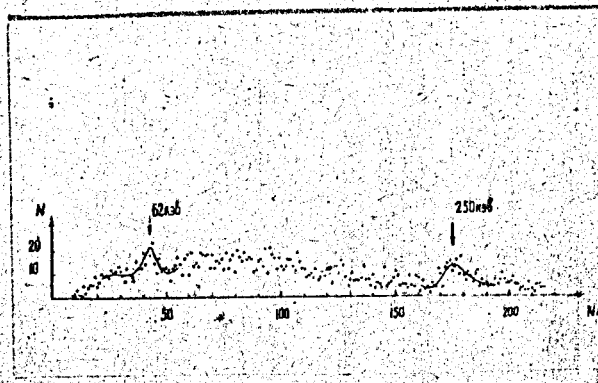


Рис. 7. Спектр γ -излучения, совпадающего с нейтронами, квазиупруго рассеянными на ядрах ^{16}O .

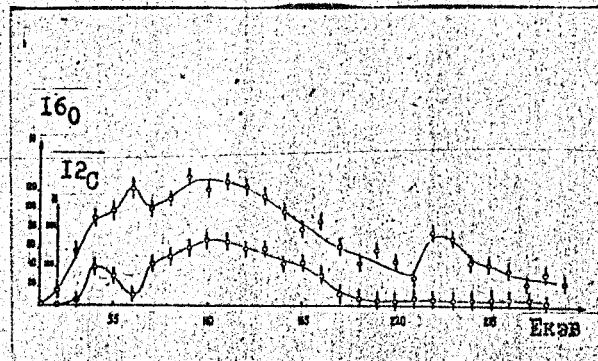


Рис. 8. Мягкая компонента γ -излучения, совпадающего с нейтронами квазиупруго рассеянными ядрами ^{12}C (нижний спектр) и ^{16}O (верхний спектр).

ного γ -спектра. На этом же рисунке для сравнения приведен аналогичный спектр для образца ^{12}C .

В пятой главе обсуждаются полученные результаты и дается их качественная интерпретация.

Проведенные эксперименты указывают на то, что:

1. Наблюдаемое излучение обусловлено $^{12}\text{C}(n\gamma n')$ и $^{16}\text{O}(n\gamma n')$ реакциями (следует заметить, что обозначение $A(n\gamma n')A$ носит условный характер, поскольку в случае тормозного излучения трудно определить очередность вылета частицы и гамма-кванта).

2. Исследуемое излучение сосредоточено в области 30+300 кэв и имеет вид как широких (полуширина ~ 100 кэв), так и узких (~ 10 кэв) максимумов.

3. Сечение испускания исследуемого излучения (соответственно ширина Γ_γ) аномально велика (~ 1 мбарн), по сравнению с аналогичной величиной для переходов между связанными состояниями. Поэтому при интерпретации следовало бы прежде всего ответить на вопросы, связанные с возможностью объяснения величины сечения наблюдаемого эффекта.

В случае γ -переходов между связанными состояниями ядер интенсивность излучения определяется размерами ядра $R \sim 2 \cdot 10^{-13} A^{1/3}$, если интенсивность наблюдаемого излучения связана с размерами ядра, то пришлось бы предположить наличие возбужденного состояния ядра с размерами $R' = 100R$. Выход из этого положения заключается в том, что в случае тормозного излучения, роль размеров ядра играет величина $R = v\tau$, где v - скорость движения излучающей системы, τ время ее жизни [6]. Действительно, если использовать для оценки сечения формулу, полученную Фейслером [7] для случая прямого радиационного захвата на резонансное состояние (тормозное излучение за счет ускорения нуклона ядер-

ным потенциалом), то можно получить правильную по порядку величины оценку сечения. Особенности наблюдаемого спектра можно объяснить если учесть, что тормозное излучение, связанное с рассеянием, обусловлено двумя процессами - ускорением (или замедлением) частицы при влете и при вылете из ядра. При соответствующем сдвиге между этими амплитудами возможна их интерференция, которая и объяснит особенности наблюдаемого спектра. Впервые на существование двух таких интерферирующих амплитуд указали Айсберг, Енни и Уилкисон [8]. Теоретическое рассмотрение было проделано Фешбахом [9], однако, по всей вероятности, это рассмотрение справедливо только для случая $E_\gamma \ll \Gamma$. Общий случай можно сопоставить с теорией Фейслера, но дополнив его рассмотрением интерферирующих амплитуд.

Основные результаты, полученные в работе можно сформулировать следующим образом:

1. Разработана методика изучения малоинтенсивного низкоэнергетического γ -излучения из реакции $(n\gamma n')$.
2. Разработана и создана аппаратура для исследования γ -излучения из реакции $(n\gamma n')$ в совпадении с сопутствующими нейтронами.
3. Проведены эксперименты по исследованию возможных источников фона в проведенных измерениях.
4. С большой степенью достоверности установлено наличие низкоэнергетического γ -излучения, сопровождающего квазиупругое рассеяние нейтронов ядрами ^{12}C и ^{16}O и исследованы спектры этого излучения.
5. Дана качественная интерпретация наблюдаемого эффекта.

Основные результаты диссертации докладывались на XXII и XXIII Сессиях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Киев 1972, Тбилиси 1973) и II-ой Всесоюзной конференции по нейтронной физике (Киев, 1973 г.) и опубликованы в работах

[1 - 5].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.А. ПОЯРКОВ, Г.А. ПРОКОПЕЦ, В.И. СТРИЖАК, ТЕЗИСЫ XXII СЕССИИ ПО ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И СТРУКТУРЕ АТОМНОГО ЯДРА, Ч.П, СТР.7, КИЕВ, 1972.
2. В.А. ПОЯРКОВ, Г.А. ПРОКОПЕЦ, В.И. СТРИЖАК, ТЕЗИСЫ XXIII СЕССИИ ПО ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И СТРУКТУРЕ АТОМНОГО ЯДРА, СТР. 242, ТБИЛИСИ, 1973.
3. В.А. ПОЯРКОВ, Г.А. ПРОКОПЕЦ, В.И. СТРИЖАК, МАТЕРИАЛЫ II-ОЙ ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКЕ, Ч. III, СТР.104, КИЕВ, 1973.
4. В.А. ПОЯРКОВ, Г.А. ПРОКОПЕЦ, В.И. СТРИЖАК, ЯФ 19(1974)705.
5. В.А. ПОЯРКОВ, Г.А. ПРОКОПЕЦ, В.И. СТРИЖАК, УЖ 17(1972)488.
6. F.E. LOW, PHYS. REV. 110, (1958)974.
7. A. FAESSLER, NUCL. PHYS. 65(1965)329.
8. R. EISBERY, D. YENNIE, A. WILKINSON, NUCL. PHYS. 18(1960)336.
9. H. FESHBUCH, P. YENNIE, NUCL. PHYS. 21(1962)150.