



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2686/2-81

1/6-81

P15-81-151

Ю.П.Гангрский, В.Е.Жучко, М.Б.Миллер,
Л.В.Михайлов, И.Ф.Харисов

РЕЗОНАНСНОЕ РАССЕЙЯНИЕ γ -КВАНТОВ
С ЭНЕРГИЯМИ 3-5 МэВ, ИСПУСКАЕМЫХ
ПРИ РАДИОАКТИВНОМ РАСПАДЕ

Направлено на XXXI Собрание по ядерной спектроскопии
и структуре ядра /Самарканд, 1981/

1981

При исследовании процессов, характеризующихся низкими сечениями $\sim 10^{-33} \text{ см}^2$, существенную роль могут играть явления, искажающие получаемый эффект. Например, в работах ^{1,2} наблюдалось деление и возбуждение изомерных состояний, вызываемое жестким β - и γ -излучением, которое испускалось при радиоактивном распаде изотопов, образующихся наряду с исследуемыми ядрами. Возможной причиной, объясняющей это явление, могло быть резонансное рассеяние γ -квантов, связанное с возбуждением ядерных уровней с энергиями 3-5 МэВ. В настоящей работе проведено более подробное исследование этого явления.

Изучалось резонансное рассеяние на ядрах ¹⁸¹Ta и ²³⁸U γ -квантов с энергиями 2-5 МэВ, испускаемых при радиоактивном распаде изотопов ⁶⁶Ga, ⁷⁴Br /основное и изомерное состояние/ и ¹⁴²La. Характеристики этих изотопов ^{3/} /способ распада, период $T_{1/2}$ и энергия Q_{β} β -распада, максимальная энергия γ -квантов $E_{\gamma \text{ max}}$, число γ -квантов с энергией выше 3 МэВ N_{γ} /, а также реакции их получения представлены в таблице. Указанные изотопы получались на изохронном циклотроне У-200 и на микротроне МТ-17 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Их активность составляла $\sim 1 \text{ мCi}$.

В опытах использовалась типичная установка для исследования резонансного рассеяния γ -квантов /рис.1/. Для регистрации рассеянного γ -излучения служил Ge(Li) -детектор объемом 22 см³. Вокруг этого детектора располагался кольцевой рассеиватель из урана или тантала толщиной 1 мм. Для защиты детектора от прямого γ -излучения служил свинцовый экран толщиной 15 см.

Таблица

Характеристики распада используемых изотопов

Изотоп	Тип распада	$T_{1/2}$	Q_{β} МэВ	$E_{\gamma \text{ max}}$ МэВ	N_{γ} / />3 МэВ/	Реакция получения
⁶⁶ Ga	β^+ , К	9,4 ч	5,17	4,81	17	⁶³ Cu (⁴ He, n)
^{74g} Br	β^+ , К	25,3 мин	6,92	4,65	32	⁶⁵ Cu (¹² C, 3n)
^{74m} Br	β^+ , К	41,5 мин	7,11	4,38	22	- " -
¹⁴² La	β^-	92,5 мин	4,52	4,18	26	²³⁸ U (γ , f)



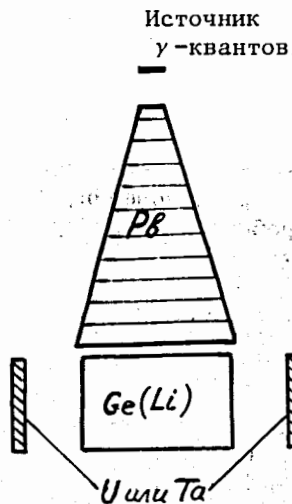


Рис.1. Блок-схема установки.

С помощью 4096-канального амплитудного анализатора измерялись энергетические спектры γ -излучения для каждого из рассеивателей, а также, для сравнения, - без рассеивателя и свинцового экрана /использовался лишь слой свинца толщиной 2,5 см, который поглощал мягкую часть спектра, вызывающего перегрузку детектора/. Измеренные спектры γ -излучения в случае источника ^{74}Br /распад из основного и изомерного состояний/ представлены на рис.2 /в спектре γ -излучения ^{74}Br показаны только наиболее интенсивные линии/. Из рисунка видно, что

спектры в общем подобны, наиболее интенсивные γ -линии наблюдаются во всех спектрах. Отсутствие ряда слабых γ -линий в спектрах рассеяния объясняется меньшей статистикой измерений и более высоким уровнем фона.

Наблюдаемые в спектрах рассеяния γ -линии являются результатом упругого рассеяния γ -квантов на ядрах и атомах вещества. В изучаемой области энергий /3-5 МэВ/ наибольший вклад вносят томсоновское и дельбрюксовское рассеяния. Сечения этих процессов характеризуются гладкой зависимостью от энергии. Один из примеров такой зависимости /сечение, рассчитанное для ядра ^{238}U и угла рассеяния 90° /4/ /, представлен на рис.3. Интенсивности наблюдаемых в спектрах рассеяния γ -линий соответствуют рассчитанным сечениям упругого рассеяния γ -излучения.

Однако в спектрах рассеяния наблюдается целый ряд γ -линий /различных для ^{238}U и ^{181}Ta /, интенсивность которых относительно остальных γ -линий заметно выше, чем в спектре γ -излучения ^{74}Br . Дифференциальные сечения рассеяния для этих γ -линий, как видно из рис.3, почти на порядок превосходят расчетные, а полные сечения /в предположении изотропного рассеяния γ -излучения/ достигают 10^{-26}см^2 . В случае источника ^{66}Ga таких γ -линий с повышенной интенсивностью наблюдалось значительно меньше, в случае ^{142}La - не наблюдалось совсем.

Возможным объяснением повышенных значений сечений рассеяния для ряда γ -линий является резонансное возбуждение ядерных уровней ^{238}U и ^{181}Ta с последующим испусканием γ -квантов

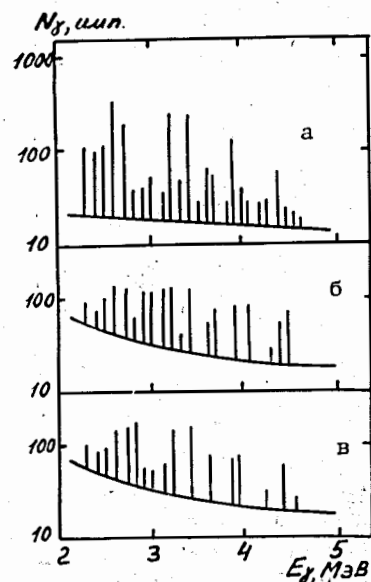


Рис.2. Спектры γ -излучения: а - при распаде изотопа ^{74}Br , б - при рассеянии на ^{238}U , в - при рассеянии на ^{181}Ta , N_γ - число импульсов за время измерения, E_γ - энергия γ -квантов.

/резонансное рассеяние γ -излучения/. Сечение этого процесса определяется выражением:

$$\sigma = \frac{\lambda^2}{8\pi} \frac{2J_1 + 1}{2J_\gamma + 1} \frac{\Gamma_1^2}{(E_0 - E_\gamma)^2 - (\Gamma_0/2)^2} \quad /1/$$

где E_γ и λ - энергия и длина волны γ -излучения; J_1 и J_γ - спины основного и возбужденного состояний ядра E_0 , Γ_0 и Γ_1 - соответственно энергия, полная и радиационная /для перехода в основное состояние/ ширины возбуждаемого уровня. В случае ре-

зонанса ($E_0 = E_\gamma$) сечение возбуждения может достигать больших величин /до 10^{-21}см^2 для γ -квантов с энергиями 3-5 МэВ/. В то же время вдали от резонанса ($E_0 - E_\gamma \gg \Gamma_0$) сечение значительно уменьшается, и возбуждение уровней практически не наблюдается. При энергиях возбуждения ниже 5 МэВ даже в тяжелых ядрах полная ширина уровней много меньше среднего расстояния между ними ($\Gamma_0 \ll D$), поэтому вероятность появления резонанса является очень малой. Резонансное рассеяние становится наблюдаемым лишь при энергии связи нейтрона /6-8 МэВ/, где значения Γ_0 и D оказываются сравнимыми /5/.

Вероятность появления резонанса может значительно вырасти, если используются γ -кванты, испускаемые после β -перехода с большой энергией. В этом случае ядро отдачи может приобрести энергию, достигаемую нескольких сотен эВ. Времена жизни уровней с энергиями 3-5 МэВ, как правило, не превышают 10^{-12}с , что меньше времени торможения ядер отдачи в веществе. В результате этого γ -кванты, испускаемые изотропно из движущегося ядра, будут иметь большое доплеровское уширение, величина которого определяется выражением:

$$\Delta E \approx 2E_\gamma \frac{E_\beta}{Mc^2}, \quad /2/$$

где E_β - энергия β -перехода, включающая массу покоя электрона или нейтрино, M - масса ядра отдачи, c - скорость света. Зависимость доплеровского уширения от энергии γ -кванта /при

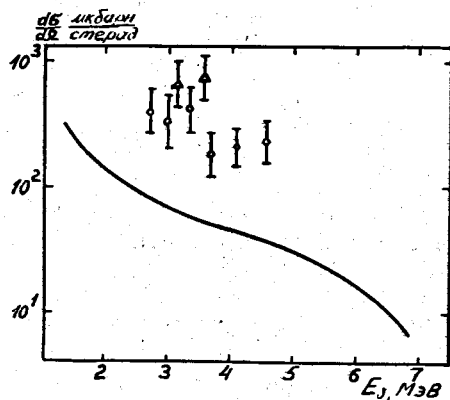


Рис.3. Зависимость дифференциального сечения рассеяния /на угол 90° / от энергии γ -квантов. Сплошная кривая - расчет, точки - экспериментальные данные / \circ - изотоп ^{74}Br , Δ - изотоп ^{66}Ga /.

этом предполагается, что γ -квант испускается с заселяемого при β -распаде уровня в основное состояние / для используемых в наших опытах / ^{66}Ga , ^{74}Br и ^{142}La / представлена на рис.4. Для сравнения показана рассчитанная зависимость среднего расстояния между уровнями ядер-рассеивателей / ^{238}U и ^{181}Ta / от энергии возбуждения. При этих расчетах использовались известные значения D при энергии связи нейтрона 76 / и зависимость $D(E^*)$ в модели ферми-газа. Из рис.4 видно, что в случае γ -квантов с энергиями 3,5-4,0 МэВ, испускаемыми при распаде изотопов ^{66}Ga и ^{74}Br , их доплеровское уширение сравнимо со средним расстоянием между уровнями ядер-рассеивателей / ^{238}U и ^{181}Ta /. Это приводит к тому, что вероятность появления резонансов значительно повышается, но сечение возбуждения падает. В случае резонанса ($E_\gamma = E_0$) и доплеровского уширения γ -линии ΔE сечение возбуждения имеет вид:

$$\sigma = \frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{2J_f + 1}{2J_i + 1} \frac{\Gamma_1^2}{\Gamma_0 \Delta E} \quad /3/$$

При $\Delta E \sim 100$ эВ и Γ_0 и $\Gamma_1 \sim 10^{-3} - 10^{-2}$ эВ, сечения резонансного рассеяния могут составлять $10^{-26} - 10^{-25}$ см². Эти значения сечений близки к полученным на опыте и подтверждают рассмотренный

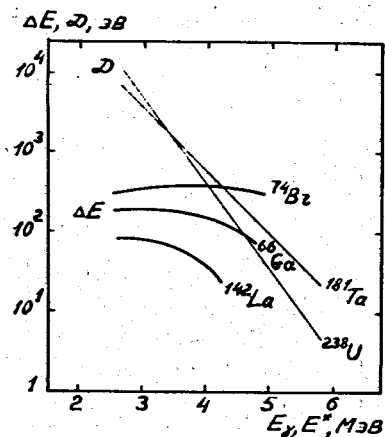


Рис.4. Зависимость величины доплеровского уширения (ΔE) от энергии γ -квантов (E_γ) и зависимость среднего расстояния между уровнями (D) от энергии возбуждения (E^*).

механизм процесса рассеяния. Недавно этот процесс наблюдался и при меньших энергиях γ -квантов и β -переходов /изотопы ^{24}Na и ^{56}Co /^{4/}. При еще более высоких энергиях γ -излучения и β -переходов /например, для изотопа ^{74}Br выше 4 МэВ/ доплеровское уширение γ -квантов становится больше среднего расстояния между уровнями ($\Delta E > D$), и процесс рассеяния становится таким же, как и для непрерывного тормозного спектра.

Таким образом, повышенный выход γ -излучения с энергиями 3-5 МэВ можно объяснить резонансным возбуждением ядерных уровней γ -квантами с большим доплеровским уширением, возникающим вследствие отдачи при β -переходах большой энергии. Это явление позволяет осуществлять селективное возбуждение ядерных уровней, определять их радиационные ширины и возможные способы распада.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за постоянный интерес к работе, а также Н.В.Пронину и А.Г.Белову за помощь при проведении облучений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гангрский Ю.П. и др. ЯФ, 1980, 31, с.306.
2. Гангрский Ю.П. и др. ОИЯИ. Р6-80-153, Дубна, 1980.
3. Lederer C.M., Shirley V.S. Tables of Isotopes, 7th Ed., New York, 1978.
4. Mückenheim W. et al. Phys.Lett., 1980, 92B, p.71.
5. Moreh R. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 166, p.29.
6. Dilg W. et al. Nucl.Phys., 1973, A217, p.269.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 марта 1981 года.