

Изучение двойного распада ^{137m}Ba

М. Д. БОНДАРЬКОВ, В. А. ЖЕЛТОНОЖСКИЙ, А. Г. ЗЕЛИНСКИЙ, Н. В. СТРИЛЬЧУК, В. П. ХОМЕНКОВ

Исследованы эффекты высших порядков в распаде ^{137m}Ba . Показан двойной распад изомерного состояния ^{137m}Ba с вылетом γ -кванта и конверсионного электрона. Вероятность этого эффекта по сравнению с обычной конверсией $T_{e\gamma} / T_K = (7,3 \pm 0,9) 10^{-5}$. Результаты измерений и расчетов обсуждаются.

Higher order effects in ^{137m}Ba decay were investigated. Double decay of isomeric state ^{137m}Ba with emission of γ -quantum and conversion electron has been demonstrated. Probability of this effect in comparison with ordinary conversion $T_{e\gamma} / T_K = (7,3 \pm 0,9) 10^{-5}$. Results of measurements and calculations are discussed.

Экспериментальное исследование эффектов высших порядков в электромагнитных переходах было выполнено в ограниченном числе случаев [1—4]. При этом в основном обнаруженные эффекты были связаны с участием в превращениях орбитальных электронов [1, 4]. Особый интерес представляет исследование двухквантового распада ядерных состояний через виртуальное промежуточное состояние. Нижайшие по порядку диаграммы для этих «ядерных» мод распада приведены на рис. 1, а, б.

Процесс, представленный на диаграмме 1, а (одновременное испускание двух γ -квантов $T_{\gamma\gamma}$), изучался в $0^+ \rightarrow 0^+$ -переходах [3], и было установлено, что вероятность такого процесса имеет порядок 10^{-4} на распад. В [2] наблюдался этот процесс и в ^{137m}Ba (M_4 -переход, $T_{\gamma\gamma} / T_\gamma \approx 10^{-5}$). Представляет определенный интерес исследовать процесс, представленный диаграммой 1, б ($e\gamma$ -процесс, $T_{e\gamma}$). В этом случае один из переходов идет с испусканием конверсионного электрона. Теория такого процесса разработана в [5, 6]. Однако экспериментально этот эффект не наблюдался. Это обусловлено тем, что ядро кроме «ядерного» $e\gamma$ -процесса может девозбуждаться через орбитальный электрон, кото-

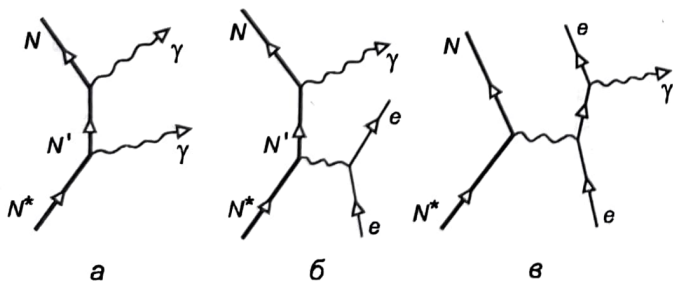


Рис. 1. Диаграммы третьего порядка, описывающие девозбуждение ядра

рый в свою очередь испускает γ -квант. Диаграмма этого «электронного» процесса показана на рис. 1, в и, как видно, в конечном состоянии мы, как и в ядерном случае, имеем γ -квант и электрон. «Электронный» процесс называется внутренним комптон-эффектом $T_{K\gamma}$. Он исследован как экспериментально [1], так и теоретически [7], и наблюдается хорошее согласие между экспериментом и теорией за исключением низкоэнергетической области. Вероятность внутреннего комптон-эффекта на K -оболочке в ^{137m}Ba по отношению к вероятности конверсии T_K составляет $T_{K\gamma} / T_K = 2 \cdot 10^{-3}$. Теоретические оценки «ядерного» $e\gamma$ -процесса показывают, что его вероятность $T_{e\gamma} / T_K \approx 10^{-5}$. Поэтому, чтобы разде-

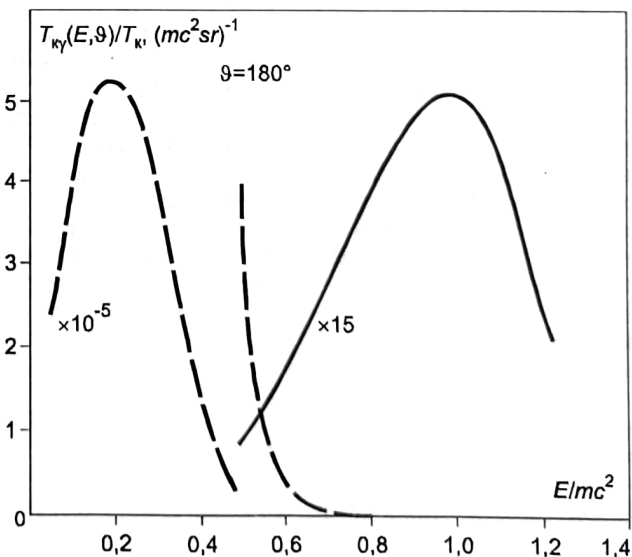


Рис. 2. Относительная энергетическая зависимость внутреннего комптон-эффекта (штриховая линия) и «ядерного» $e\gamma$ -процесса (сплошная линия)

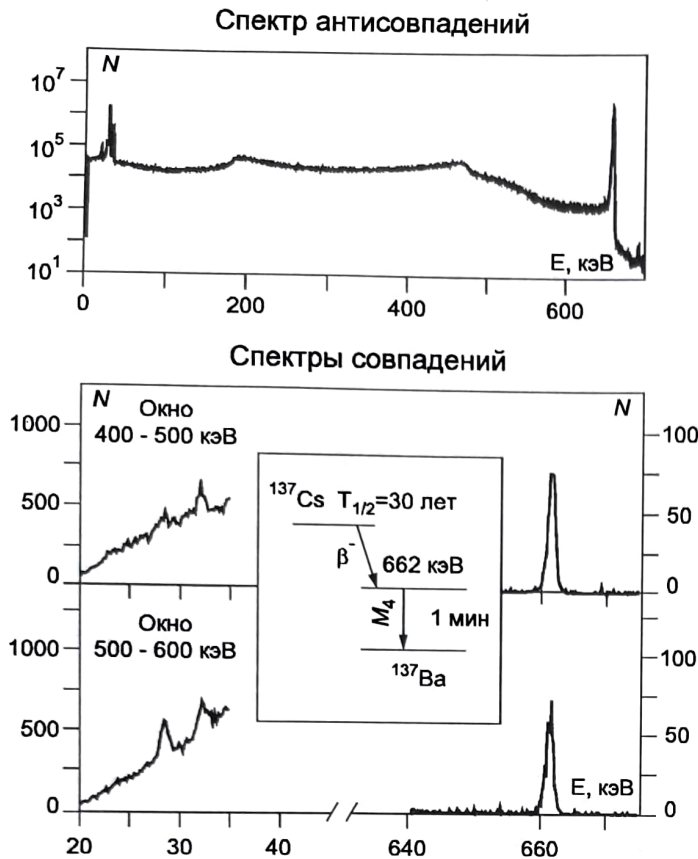


Рис. 3. Гамма-спектры антисовпадений и $K\gamma$ -совпадений

лить эти процессы, необходимо исследовать их энергетическую зависимость. На рис. 2 приведены теоретические оценки энергетической зависимости этих процессов, выполненные в [1].

Как видно, для обнаружения «ядерного» $e\gamma$ -процесса необходимо исследовать его в области 400—600 кэВ. Отметим, что область 50—200 кэВ исследовали в [1], где показано хорошее согласие с теоретическими расчетами для внутреннего комптон-эффекта. В данной работе экспериментально исследовали «ядерный» $e\gamma$ -процесс.

Для исследования вероятности $e\gamma$ -процесса на K -оболочке использовали тот факт, что при вылете конверсионного электрона образуется вакансия на K -оболочке, заполнение которой сопровождается K_x -излучением. Схема заселения и распада ^{137m}Ba приведена на врезке рис. 3.

Как следует из схемы, совпадение K_x -излучения с любым γ -квантом может быть обусловлено $e\gamma$ -процессом. Нами были выполнены измерения вероятности совпадения γ -квантов в области 400—600 кэВ с K_x -излучением. Измерения проводили на антикомптоновском спектрометре фирмы «Самбегга» с коэффициентом подавления в этом диапазоне энергии, равным восьми. Такой коэффициент подавления соответствует тому, что γ -излучение в NaI (TI) регистрируется с вероятностью больше 90 %. Германиевый детектор, который использовали в измерениях, имел входное бериллиевое окно, позволяющее с высокой эффективностью регистрировать K_x -излучение бария. Характерный спектр ^{137m}Ba показан на рис. 3. Для обнаружения $e\gamma$ -процесса на активной NaI (TI)-защите спектрометра выделялись окна с шагом 100 кэВ и измерения проходили как в режиме антисовпадений, так и совпадений. Характерные спектры приведены на рис. 3. В γ -спектрах совпадений наблюдается γ -переход с энергией 662 кэВ. Это связано со случайными совпадениями, и из измерений спектра совпадений и антисовпаде-

Мультипольность	$T_{e\gamma}/T_K \cdot 10^{-5}$, при	
	$E = 450$ кэВ	$E = 550$ кэВ
E_1-M_3	1,8	1,5
E_2-M_2	4,2	3
E_3-M_1	3	7

ний по γ -излучению 662 кэВ получили $N_{\text{сн}} = (2,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-5}$ N_{γ} . Используя эти данные и интенсивность K_x -излучения определили, что в спектрах совпадений наблюдаются $K_x\gamma$ -совпадения, которые соответствуют вероятности $T_{e\gamma}/T_K = (7,3 \pm 0,9) \cdot 10^{-5}$ при $E_{\gamma} = 500 \dots 600$ кэВ и $T_{e\gamma}/T_K = (3,2 \pm 0,9) \cdot 10^{-5}$ при $E_{\gamma} = 400 \dots 500$ кэВ. Измерение внутреннего комптон-эффекта выполнили при измерении совпадений рентгена K -оболочки с γ -квантами в области 50—150 кэВ и получили $T_{K\gamma}/T_K = (2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$. Этот результат хорошо согласуется с данными из [8, 1], где соответственно указано $(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ и $(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$.

Анализ возможных причин $K\gamma$ -совпадений показывает, что единственным «фооновым» каналом совпадений могут быть совпадения K_x -излучения конверсионных электронов M_4 -перехода γ 662 кэВ ($E_K = 630$ кэВ) и тормозного излучения Γ , образующегося при торможении этих электронов в мишени. Оценки дают: полная вероятность такого «фонового» процесса в данной постановке опыта $T_{K\gamma}/T_K \leq 1 \cdot 10^{-3}$. Если воспользоваться расчетами энергетической зависимости [9], то легко оценить, что вклад этого процесса во внутренний комптон-эффект не превышает $5 \cdot 10^{-4}$, т. е. он значительно меньше внутреннего комптон-эффекта и его можно игнорировать. Сложнее ситуация с областью 400—600 кэВ. По этим же оценкам следует, что вклад в совпадения за счет тормозного излучения в области 400—600 кэВ может составлять $(1-2) \cdot 10^{-5}$, т. е. он соизмерим с наблюдаемым явлением. Однако энергетическая зависимость (см. [9]) однозначно указывает, что в этой области вклад тормозного излучения должен быть практически один и тот же, а с учетом экранирования даже увеличиваться с уменьшением энергии γ -квантов. В то же время мы наблюдаем уменьшение $T_{e\gamma}$ -процесса. Поэтому можно сделать вывод, что наблюдаемые нами $K\gamma$ -совпадения, в основном, обусловлены «ядерным» $e\gamma$ -процессом при распаде возбужденного состояния 662 кэВ ^{137m}Ba .

Нами были сделаны теоретические оценки этого процесса для возможных комбинаций спинов и четностей γ -квантов в исследуемом энергетическом диапазоне (таблица).

Таким образом, полученные нами данные находятся в хорошем согласии с теоретическими оценками для комбинации спинов E_3-M_1 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ljubicic A. e. a. // Phys. Rev. — 1970. — V. C3. — P. 824.
2. Beusch W. // Helv. Phys. Acta. — 1960. — V. 33. — P. 363.
3. Kramp J. e. a. // Nucl. Phys. — 1987. — V. A 474. — P. 412.
4. Желтоножский В. А. и др. Радиационные $0^+ \rightarrow 0^+$ переходы. — Препринт КИЯИ-89-13.
5. Eichler J. // Z. Phys. — 1960. — V. 160. — P. 333.
6. Grechukhin D. P. // Yadern. Fiz. — 1966. — V. 4. — P. 497.
7. Меликян Е. Ж. // ЖЭТФ. — 1956. — Т. 31. — С. 1988.
8. Fuschini E. e. a. // Nuovo Cimento. — 1962. — V. 26. — P. 831.
9. Ахиезер А. И., Берестецкий В. Б. // Квантовая электродинамика. — М.: Наука, 1969. — С. 398.