

19

ОБНАРУЖЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ КОНВЕРСИИ И ФОТОЭФФЕКТА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ГАММА-КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 26 кэВ В Dy_2O_3

В.Д.Горобченко, И.И.Лукашевич, В.В.Скляревский, Н.И.Филиппов

Ю.Каган и А.М.Афанасьев обратили наше внимание на существование интересного физического явления, заключающегося в возможности интерференции между процессами внутренней конверсии и фотоэффекта при взаимодействии резонансного мессбауэровского излучения с атомами. Действительно, для этих двух процессов конечные электронные состояния совпадают. Тогда при выполнении условия, что проекция спина ядра остается неизменной в процессе внутренней конверсии, фотоэффект и конверсия становятся физически неразличимыми процессами и для них должна в общем случае иметь место интерференция [1].

В теории, разработанной Каганом, Афанасьевым и Войтовецким [1], показано, что эта интерференция должна в принципе проявляться в энергетической зависимости как сечения $(\gamma - e)$ реакции $\sigma_{\gamma e}$ так и полного сечения поглощения σ_t резонансных гамма-квантов. При этом σ_t дается выражением

$$\sigma_t = \sigma_{ph} + f_{\sigma} \sigma_{\sigma} [(1 + \beta_{\gamma} x) / (1 + x^2)]. \quad (1)$$

Здесь σ_{ph} – сечение фотопоглощения, f_{σ} – вероятность эффекта Мессбауэра в поглотителе, σ_{σ} – резонансное сечение, $x = 2(E_{\gamma} - E_{\sigma})/\Gamma_{\sigma}$ (E_{γ} – энергия гамма-кванта, E_{σ} и Γ_{σ} – положение и ширина линии поглощения, соответственно), и наконец β_{γ} – численный коэффициент, определяющий относительный вклад интерференционного члена в полное сечение.

Величина β_{γ} существенным образом зависит от мультипольности ядерного перехода. При этом почти для всех переходов, кроме переходов $E1$, этот коэффициент очень мал. В случае же $E1$ переходов β_{γ} непосредственно выражается через известные величины и дается формулой

$$\beta_{\gamma} = 2 \sqrt{(1/3)[(2I + 1)/2I_{\sigma} + 1]} \alpha / (\alpha + 1) (\sigma_{ph} / \sigma_{\sigma}), \quad (2)$$

где l_0 и l – спины основного и возбужденного состояний ядра, а α – коэффициент внутренней конверсии.

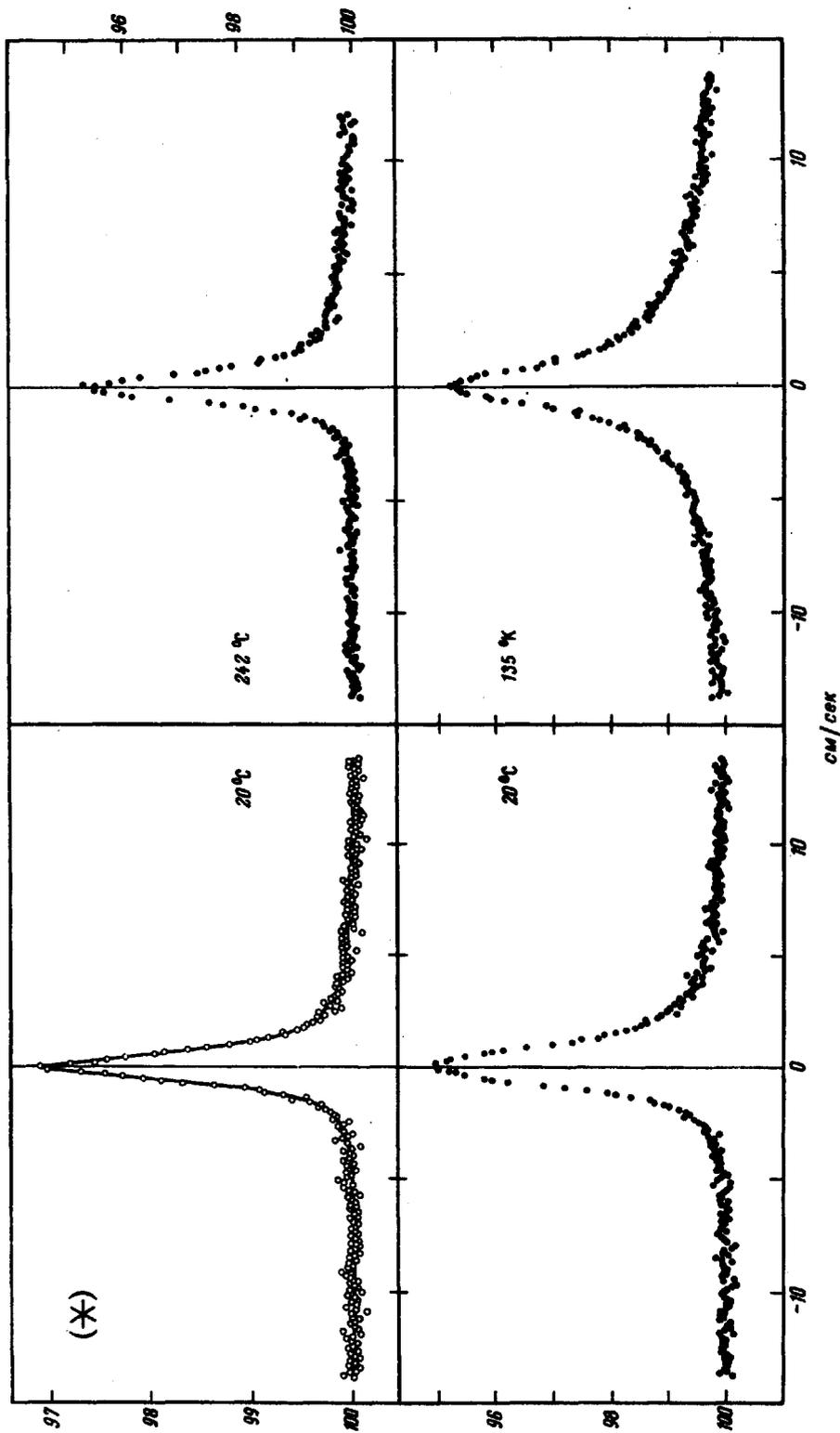
Согласно результатам работы [1], интерференционный член той же природы присутствует и в полном сечении реакции $(\gamma - e)$ и должен проявляться в асимметричном характере формы мессбауэровской линии, измеряемой путем регистрации электронов. Однако, $\sigma_{\gamma e}$ уже естественно не содержит, в симметричной по скорости части члена, соответствующего обычному резонансному рассеянию γ -квантов, что увеличивает относительный вклад интерференционного члена. Энергетическая зависимость реакции $(\gamma - e)$ дается выражением (1), в котором σ_0 следует заменить на $\sigma_0^{(2)}$ (сечение конверсии в резонансе), а параметр β_γ – на параметр $\beta_e = [(\alpha + 1)/\alpha]\beta_\gamma$.

Если провести оценки параметров β_γ и β_e (см. таблицу), то оказывается, что почти для всех мессбауэровских ядер с переходом $E1$ сечение поглощения γ -квантов содержит сильно выраженный интерференционный член.

Ядро	Dy ¹⁶¹		Gd ¹⁵⁵	Np ²³⁷	Ta ¹⁸¹
$E_\gamma, \text{кэВ}$	25,7	74,6	86,5	59,5	6,25
β_γ	0,077	0,152	0,048	0,075	0,291
β_e	0,108	0,386	0,164	0,145	0,297

При этом, как видно из таблицы, наибольшего эффекта следует ожидать в опытах с регистрацией электронов конверсии. Заметим, однако, что обычные мессбауэровские опыты по измерению интенсивности прошедших через поглотитель γ -квантов проще в экспериментальном отношении, чем опыты с регистрацией электронов конверсии.

Поэтому исследование эффекта интерференции между конверсией и фотоэффектом мы начали с изучения формы линии поглощения, выбрав в качестве объекта Dy ¹⁶¹ с энергией перехода 25,7 кэВ. Ниже приводятся результаты этого исследования. Отметим сразу, что недавно Зауэр, Маттиас и Мессбауэр опубликовали результаты опытов по изучению резонансного поглощения γ -квантов в Ta ¹⁸¹. Ими была обнаружена резкая асимметрия линии поглощения. Если учесть, что для Ta ¹⁸¹ параметр $\beta_\gamma = 0,291$, это не оставляет сомнения, что природа указанной асимметрии связана именно с явлением интерференции, которое изучается в настоящей работе.



Мессбауэровские спектры поглощения в $Dy^{161}O_3$. Число импульсов на канал скорости для спектра (*), составляет $3,3 \cdot 10^6$, для остальных спектров $-1,8 \cdot 10^6$

В качестве источника нами использовалась облученная в реакторе окись Gd_2O_3 , обогащенная до 97% изотопом Gd^{160} . Источник находился при комнатной температуре и приводился в движение в режиме постоянного ускорения электродинамическим вибратором, питание которого осуществлялось электронным блоком с обратной связью. При этом сигнал ошибки (разность между сигналом скорости и эталонным сигналом треугольной формы) был меньше 0,1% от величины эталонного сигнала во всем использовавшемся диапазоне скоростей (до 15 см/сек). Мессбауэровские спектры снимались 512-канальным анализатором NTA-512, работавшим во временном режиме.

Поглотителем служил поликристаллический порошок окиси Dy_2O_3 , обогащенный до 90% изотопом Dy^{161} . Использовались два поглотителя с толщинами 18 и 117 мг/см², соответственно.

Измеренные спектры представлены на рисунке, где спектр, помеченный звездочкой, относится к случаю тонкого, а остальные три — к случаю толстого поглотителя. Как видно из рисунка, все спектры носят отчетливо выраженный асимметричный характер, причем наиболее ярко эта асимметрия проявляется для толстого поглотителя. Сплошная кривая на спектре для тонкого поглотителя вычислена в соответствии с теорией Кагана, Афанасьева и Войтовецкого для значения параметра $\beta_\gamma = 0,077$ и находится в хорошем согласии с экспериментальными данными. Заметим, что малая величина β_γ является причиной того, что эффект интерференции конверсии и фотопоглощения выражен сравнительно слабо (хотя и заметен при хорошей статистике).

Имеется, однако, возможность искусственно усилить этот эффект с тем, чтобы он стал визуально наблюдаем. Это достигается простым увеличением толщины поглотителя. Действительно, в случае тонкого поглотителя, а также в случае толстого поглотителя при скоростях v , удовлетворяющих условию $\sigma |1 + \beta_\gamma v| \ll 1 + v^2$ величина поглощения растет пропорционально с увеличением эффективной толщины поглотителя σ . С другой стороны при $v = 0$, начиная с некоторой эффективной толщины σ , поглощение практически достигает насыщения. В то же время при больших скоростях величина поглощения все еще будет продолжать расти с увеличением σ . Это обстоятельство и было использовано нами для того, чтобы усилить вклад интерференционного члена, который наиболее сильно проявляется при скоростях отличных от нуля.

Таким образом, результаты настоящей работы, а также результаты работы [2], показывают наличие интерференции между фотоэффектом

и конверсией при взаимодействии резонансных γ -квантов с мессбауэровскими атомами, а также ее проявление в опытах по обычному мессбауэровскому поглощению в случаях, когда соответствующий ядерный переход имеет характер $E1$, то есть предсказания работы [1] можно считать четко доказанными.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Ю.Кагана и А.М.Афанасьева за постановку проблемы и обсуждение результатов, а также И.Б.Филиппова за приготовление источника.

Поступило в редакцию
6 января 1969 г.

Литература

- [1] Ю.Каган, А.М.Афанасьев, В.К.Войтовецкий. Письма в ЖЭТФ, 8, 342, 1968.
- [2] C. Sayer, E. Matthias, R. L. Mössbauer. Phys. Rev. Lett., 21, 961, 1968.