

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО ПОДАВЛЕНИЯ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЯДЕРНО-РЕЗОНАНСНЫХ ГАММА-КВАНТОВ В ИДЕАЛЬНОМ КРИСТАЛЛЕ

Г.В.Смирнов, Ю.В.Швыдько

Впервые наблюдалось подавление резонансного упругого рассеяния гамма-квантов ядрами при распространении излучения в идеальном кристалле вне угла Брэгга.

Как было показано в ^{1, 2}, параметры ядерного γ -резонанса, свойственные одиночному ядру, могут претерпевать существенные изменения при рассеянии γ -квантов на системах идентичных ядер. γ -квант, попадая в систему ядер, настроенных с ним на резонанс, захватывается в ней так, что возникает коллективное возбужденное состояние, в котором с известной амплитудой вероятности возбуждено каждое ядро. Система ядер в определенном смысле ведет себя при взаимодействии с квантом как единый ансамбль, имеющий свои эффективные резонансные параметры; см., например, ³. Характер резонансного отклика этого ансамбля существенным образом зависит от того является ядерная система регулярной или нет. Например, высвечивание γ -кванта, который был захвачен регулярной системой ядер (в идеальном замороженном кристалле) должно происходить только по направлению движения первичного излучения (рассматривается случай падения лучей на кристалл вне угла Брэгга). Т. е. упругое резонансное рассеяние γ -квантов должно полностью отсутствовать. Этот результат эквивалентен предсказанному в ² эффекту исчезновения упругой ширины ядерного уровня при поглощении квантов в идеальном кристалле.

Очевидно, чтобы наблюдать подавление упругого рассеяния γ -квантов, нужно использовать кристаллы высокой степени совершенства и свести до минимума любые причины, приводящие к локализации ядерного возбуждения в кристалле. Кристаллы требуемого качества были выращены в Физическом институте Чехословацкой АН. Это были кристаллы бора железа $Fe^{57}VO_3$, обогащенные резонансным изотопом до 85%. Одной из причин, приводящей к локализации возбуждения в кристалле, является поворот спина в основном состоянии ядра в процессе рассеяния. В условиях магнитного сверхтонкого расщепления, которому подвергается основной и возбужденный уровни ядер Fe^{57} в рассматриваемых кристаллах, имеется возможность исключить этот канал. В верхней части рисунка приведена схема ядерных переходов между подуровнями основного и первого возбужденного состояний рассматриваемого ядра. Имеется принципиальное отличие 1 и 6 резонансов от всех остальных. Оно заключается в том, что возбуждение ядерных переходов $1/2 \rightarrow 3/2$ и $-1/2 \rightarrow -3/2$ в силу правил отбора для $M1$ переходов может сопровождаться распадом только в исходные по проекции

спина состояния; в то время как с каждого из подуровней $\pm 1/2$ возбужденного состояния правилами отбора допускается возврат на любой подуровень основного состояния. В последнем случае в процессе рассеяния возможен поворот ядерного спина и излучение γ -кванта другой энергии⁴. Таким образом, 1 и 6 резонансы предоставляют исключительную возможность изучать рассеяние квантов в отсутствии неупругого некогерентного канала, связанного с поворотом спина ядра в основном состоянии. Более того, наличие в одном мессбауэровском спектре двух рассмотренных типов переходов позволяет непосредственно сравнивать упругое рассеяние квантов с неупругим по интенсивности соответствующих резонансных линий.

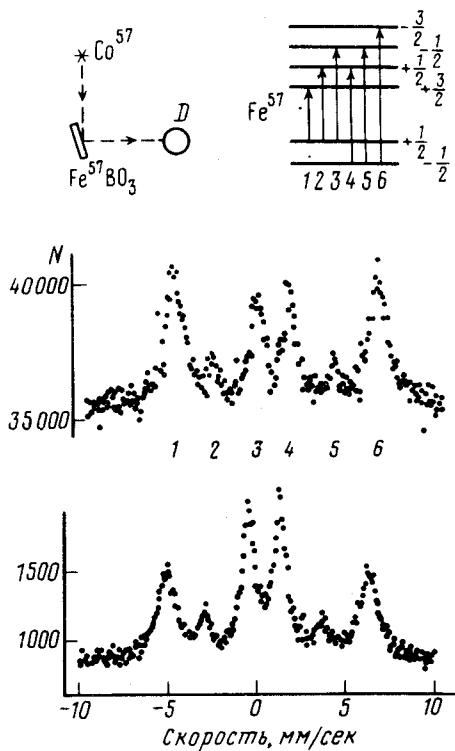


Схема опыта показана на рисунке. Кристаллы были ориентированы по отношению к падающему пучку так, чтобы избежать брэгговского рассеяния. На поверхность кристалла выходила кристаллографическая плоскость (111) — плоскость легкого намагничивания. Использовался источник мессбауэровского излучения 14,4 КэВ Co^{57} в матрице хрома суммарной активностью 100 мКю. Раствор падающих на кристалл лучей был $0 - 5^\circ$. Девяностоградусная геометрия позволила снизить фон от релеевского электронного рассеяния. На кристаллы накладывалось внешнее магнитное поле перпендикулярно плоскости рассеяния. Оно переводило кристаллы в однодоменное состояние, в котором эффективные магнитные поля на ядрах лежали в плоскости рассеяния (FeBO_3 — скошенный антиферромагнетик). При заданной ориентации магнитных полей по отношению к падающим лучам из шести возможных ядерных переходов эффективно могли возбуждаться лишь четыре 1, 6, 3, 4 для которых изменение магнитного квантового числа $\Delta m = \pm 1$. Ядерные резонансные сечения для этих переходов имеют одинаковую поляризационную зависимость. В заданной геометрии они приближались к своим максимальным значениям. В возбуждении переходов одинаково принимали участие обе ортогонально поляризованные компоненты падающего пучка

Два приведенных на рисунке мессбауэровских спектра, отличаются тем, что в одном случае (верхний спектр) детектором регистрировалось вторичное излучение 6,3 КэВ, сопровождающее распад возбужденных ядер, а в другом (нижний спектр) — резонансно рассеянное излучение 14,4 КэВ. Верхний спектр фактически отражает картину резонансного поглощения γ -квантов в кристалле в заданной геометрии. Он в частности показывает, что более интенсивными являются переходы 1 и 6. Действительно, как хорошо известно, соответствующие резонансные сечения в три раза больше, чем сечения для резонансов 3, 4. Реально отношение интенсивностей внешних и внутренних линий получилось меньше чем 3, что связано с эффектом насыщения при поглощении излучения в толстом образце.

Обратимся теперь к нижнему спектру. Прежде всего бросается в глаза, что при переходе к рассеянию произошла необычная инверсия в соотношении интенсивностей внутренних и внешних линий. Более интенсивными оказались теперь линии 3 и 4. Это как раз те резонансы, при возбуждении которых открыты процессы рассеяния с результирующим поворотом спина ядра $\pm 1/2 \rightarrow \mp 1/2 \rightarrow \mp 1/2$. Напомним, что для резонансов 1, 6 подобные процессы запрещены.

Преобладание внутренних линий 3 и 4, в которые дает вклад неупругое рассеяние над внешними 1 и 6, в условиях обратного соотношения резонансных сечений возбуждения соответствующих переходов, доказывает подавление упругого процесса рассеяния γ -квантов в системе ядер совершенного кристалла.

В измеренном спектре все же наблюдается остаточное рассеяние 14,4 КэВ γ -квантов при возбуждении 1 и 6 резонансов. Остановимся подробнее на причинах, которые могли бы вызвать это рассеяние. Оно прежде всего обусловлено спиновой некогерентностью. При комнатной температуре оба ядерных подуровня в основном состоянии заселены практически одинаково, поэтому только половина ядер Fe^{57} взаимодействует с квантами определенной резонансной энергии. Свой вклад дает также изотопическая некогерентность — 15% ядер железа составляют нерезонансный изотоп. В какой-то части некогерентное рассеяние обусловлено неупругими процессами, связанными с тепловыми колебаниями кристаллической решетки и колебаниями в спиновой системе кристалла.

Что касается 3 и 4 резонансов, то там, наряду с перечисленными причинами, действует еще, как уже говорилось, неупругий процесс, связанный с поворотом ядерного спина, и, как видно, при небрэгговском рассеянии — квантов этот процесс доминирует над остальными.

Литература

1. Каган Ю., Афанасьев А.М. ЖЭТФ, 1966, 50, 271.
2. Афанасьев А.М., Каган Ю. ЖЭТФ, 1967, 52, 191.
3. Van Börck U., Smirnov G.V., Mössbauer R.L., Maoros H.J., Semioschkina N.A. J. Phys. C: Solid St. Phys., 1980, 13, 4511.
4. Артемьев А.Н., Смирнов Г.В., Степанов Е.П. ЖЭТФ, 1968, 54, 1028.