

роятности поглощения без отдачи (f_M) и вероятности испускания без отдачи (f'_M):

$$\sigma_{\text{упр}} = f_M \cdot f'_M \cdot G_0(\mathcal{E}). \quad (7)$$

Сечение упругого нерезонансного рассеяния γ -квантов и рентг. лучей (напр., на атомарных электронах) пропорц. фактору Дебая — Уоллера, зависящему лишь от передаваемого твёрдому телу импульса.

Процесс упругого резонансного рассеяния происходит как бы в два этапа: резонансное поглощение и затем резонансное испускание. И тем не менее часть упруго рассеянных γ -квантов рассеивается когерентно, т. е. разность фаз падающей и рассеянных волн имеет строго определённое значение, зависящее от энергии падающих γ -квантов.

Когерентные эффекты. Волны, соответствующие когерентно рассеянным γ -квантам от двух рассеивателей, могут интерферировать друг с другом, а в случае, когда резонансно рассеивающие ядра регулярно внедрены в кристаллич. решётку, возможна резонансная ядерная дифракция γ -квантов. При определённых направлениях падения γ -квантов на кристалл, определяемых Брэгга — Вульфа условием, возникает сильное дифракц. рассеяние, во многом аналогичное дифракц. рассеянию рентг. лучей. Благодаря резонансной ядерной дифракции появляется возможность выделения резонансных γ -квантов из синхротронного излучения.

При резонансной ядерной дифракции на совершенных кристаллах, содержащих высокую концентрацию резонансно рассеивающих ядер, имеет место подавление неупругих каналов ядерной реакции. При точном выполнении условия Брэгга — Вульфа по мере увеличения амплитуды дифрагированной волны сечение резонансного поглощения уменьшается и может строго обратиться в 0. При этом полностью прекращаются все неупругие процессы, сопровождающие резонансное поглощение (напр., процесс внутр. конверсии, неупругое испускание γ -квантов), а когерентная суперпозиция из падающей и дифрагированной волн распространяется по кристаллу без поглощения. Особенность эффекта подавления состоит в том, что колебания атомов в кристалле не восстанавливают даже частично резонансное поглощение.

Анализ когерентных явлений базируется на концепции коллективного возбуждённого ядра, согласно которой невозможно указать положение возбуждённого ядра, образовавшегося после поглощения γ -кванта.

Лит.: Эффект Мёссбауэра. Сб. ст. [Переводы], М., 1962; Каган Ю., К теории температурного красного смещения и уширения линии Мёссбауэра, «ЖЭТФ», 1964, т. 47, в. 1, с. 366; Bauer S., Matthias E., Mössbauer R. L., Recoilless resonance absorption and hyperfine structure of the 6. 2-keV state in ^{141}Ta , «Phys. Rev. Lett.», 1968, v. 21, p. 961; Каган Ю. М., Афанасьев А. М., Войтовецкий В. К., Интерференция процессов конверсии и фотоэффекта при поглощении мёссбауэровского излучения, «Письма в ЖЭТФ», 1969, т. 9, с. 155; Мёссбауэр Р. Л., Стохастические движения атомов в белках, «Химическая физика», 1982, № 10, с. 1299; Gerlach E. и др., Nuclear bragg diffraction of synchrotron radiation in yttrium iron garnet, «Phys. Rev. Lett.», 1985, v. 54, p. 835; Van Burck U., Coherent effects in resonant diffraction theory, «Hyperfine Interactions», 1986, v. 27, p. 289; Smith G. V., Coherent effects in resonant diffraction: experiment, там же, p. 203. А. М. Афанасьев.

МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ — совокупность основанных на использовании Мёссбауэра эффекта методов исследования физ. и хим. свойств конденсиров. сред (гл. обр. твёрдых тел), а также исследования микроскопич. объектов (ядер, ионов, хим. и биол. комплексов) в твёрдых телах. Для М. с. харак-

терна высокая информативность. Измерения вероятности эффекта Мёссбауэра и температурного сдвига резонансных линий дают сведения о среднеквадратичных смещениях и скоростях атомов, содержащих резонансное ядро. Они используются как способ исследования колебат. движений частиц в твёрдых телах и их особенностей вблизи структурных и магн. фазовых переходов. Введение атомов, содержащих резонансное ядро, в качестве примесей в твёрдое тело позволяет исследовать локальные и квазилокальные колебат. моды (см. Колебания кристаллической решётки). Зависимость положения линии Мёссбауэра от скорости движения источника γ -излучения относительно поглотителя (или наоборот) используется для измерения малых скоростей ($\sim 0,1$ мм/с) макроскопич. объектов (напр., при стыковке космич. кораблей), а также спектра скоростей разл. акустич. систем в звуковом и гиперзвуковом диапазоне частот.

Наиб. важные применения М. с. связаны с возможностью фиксировать сдвиги и сверхтонкие расщепления мёссбауэровских линий, связанные с взаимодействием электрич. и магн. моментов ядра с внутренними электрич. и магн. полями, вызывающими расщепление ядерных уровней (см. Внутрикристаллическое поле). Для этого используется эффект Доплера: источнику (или поглотителю) γ -лучей сообщается скорость v , при этом энергия γ -кванта изменяется на величину $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}v/c$ (\mathcal{E} — энергия перехода). Скорости $v \sim 0,1$ — 1 см/с смещают линию на величину порядка её естеств. ширины (см. Ширина спектральной линии). Мёссбауэровские спектрометры измеряют зависимость резонансного поглощения от v (скоростной спектр).

Сверхтонкие расщепления и сдвиги

Химический (изомерный) сдвиг мёссбауэровской линии наблюдается, если источник и поглотитель химически не тождественны. Он обусловлен тем, что при переходе ядра из осн. состояния в возбуждённое несколько изменяется распределение электрич. заряда в ядре. Это приводит к изменению энергии кулоновского взаимодействия ядра с электронной оболочкой, к-рая пропорц. произведению ср. квадрата радиуса ядерного заряда $\langle r^2 \rangle$ (точнее, радиуса эквивалентной равномерно заряженной сферы) на плотность электронов в месте расположения ядра $[\psi_s(0)]^2$, где $\psi_s(0)$ — волновая ф-ция s -электронов в центре атома. Если $\langle r^2 \rangle$ для возбуждённого и осн. состояний ядра не одинаковы, то энергия γ -перехода будет отличаться от энергии γ -перехода в случае точечного ядра на величину

$$\Delta S = C \Delta \langle r^2 \rangle |\psi_s(0)|^2,$$

где $\Delta \langle r^2 \rangle = \langle r_b^2 \rangle - \langle r_0^2 \rangle$ — разность ср. квадратов радиусов для возбуждённого и осн. состояний ядра, C — коэф. пропорциональности. Изменение энергии ΔS непосредственно ненаблюдаемо. Однако величина $|\psi_s(0)|^2$ меняется при изменении хим. связей атома, и если хим. состав или кристаллографич. модификация источника и поглотителя различны, то возникает сдвиг линий испускания и поглощения:

$$\delta = \mathcal{E}_{\text{полг}} - \mathcal{E}_{\text{ист}} = \frac{2}{5} \pi Z e^2 \left(\langle r_b^2 \rangle - \langle r_0^2 \rangle \right) \times \left\{ |\psi_s(0)|^2_{\text{полг}} - |\psi_s(0)|^2_{\text{ист}} \right\}. \quad (1)$$

Здесь e — элементарный заряд, Z — порядковый номер ядра.

Вариации δ при изменении заряда иона в десятки и даже сотни раз (напр., для нуклидов ^{237}Np , ^{57}Fe , ^{119}Sn) превосходят точность измерения. Напр., различие δ для ионов Np^{4+} и Np^{5+} составляет 32 мм/с при точности измерений $\sim 0,1$ мм/с (рис. 1). Это даёт возможность провести тонкую градацию хим. связей в твёр-

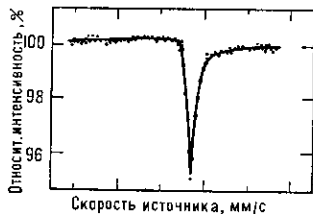


Рис. 6. Спектр поглощения мёссбауэровского γ -таблического Ta ; источник в квантам от двух рассеивателей, могут интерферировать друг с другом, а в случае, когда резонансно рассеивающие ядра регулярно внедрены в кристаллич. решётку, возможна резонансная ядерная дифракция γ -квантов. При определённых направлениях падения γ -квантов на кристалл, определяемых Брэгга — Вульфа условием, возникает сильное дифракц. рассеяние, во многом аналогичное дифракц. рассеянию рентг. лучей. Благодаря резонансной ядерной дифракции появляется возможность выделения резонансных γ -квантов из синхротронного излучения.