



# МЁССБАУЭРА ЭФФЕКТ

Авторы: М. А. Чуев

---

**МЁССБАУЭРА ЭФФЕКТ** (ядерный гамма-резонанс), резонансное испускание или поглощение

$\gamma$ -квантов ядрами сильно связанных атомов (в твёрдом теле или вязкой жидкости) без потери энергии на отдачу ядра. Открыт Р. [Мёссбауэром](#) в 1958.

Резонансное излучение

$\gamma$ -квантов возникает при переходе ядер из возбуждённого состояния (с большей энергией) в основное (с меньшей энергией), причём энергия

$\gamma$ -кванта равна разности энергий

$E_0$  этих состояний ядра; поглощение

$\gamma$ -квантов переводит ядра в возбуждённое состояние. Каждому из таких переходов соответствует т. н. лоренцева линия в энергетич. спектре излучения или поглощения: центр линии соответствует значению

$E_0$ , а естественная ширина линии

$\Gamma$  (наблюдаемая без дополнит. воздействий на ядро) обратно пропорциональна ср. времени жизни

$\tau$  возбуждённого состояния ядра.

Гамма-кванты, испускаемые или поглощаемые свободным и неподвижным ядром, теряют часть энергии

$R$  на отдачу ядра (т. е. на изменение его кинетич. энергии). Эта величина равна

$R = E^2/(2Mc^2)$ , где

$M$  – масса ядра,

$E$  – энергия

$\gamma$ -кванта,

$c$  – скорость света. Для ядерных переходов

$\Gamma \ll R$ , так что линии испускания и поглощения, смещённые друг относительно друга на величину

$2R$ , практически не перекрываются. Т. о., вероятность резонансного поглощения испущенного

$\gamma$ -кванта таким же ядром чрезвычайно мала. Однако в реальных веществах происходит уширение линий испускания и поглощения на величину

$\Delta$  за счёт теплового движения частиц:

$$\Delta = 2\sqrt{RkT}, \text{ где}$$

$kT$  – ср. энергия фононов в твёрдых телах и тепловых возбуждений в жидкостях (

$k$  – постоянная Больцмана,

$T$  – абсолютная темп-ра). Для величины

$\Delta$  выполняется соотношение

$\Gamma \ll \Delta \ll R$ , поэтому перекрытие линий испускания и поглощения остаётся незначительным. Возможно искусств. увеличение перекрытия линий, возникающее при нагреве источника и поглотителя

$\gamma$ -квантов или сдвиге спектральных линий за счёт [Доплера эффекта](#). В последнем случае реализуется встречное движение излучающих и поглощающих ядер с относит. скоростями в сотни м/с. При проведении подобных экспериментов Р. Мёссбауэр обнаружил, что в твёрдом теле, ядра которого имеют

$\gamma$ -переходы с низким значением

$E_0$ , в спектрах испускания и поглощения наблюдаются несмещённые узкие линии с энергией

$E_0$  и шириной, близкой к

$\Gamma$ , причём интенсивность этих линий увеличивается с понижением темп-ры. В 1960-х гг. такое явление обнаружено и в вязких жидкостях.

Это явление, получившее назв. М. э., обусловлено сильным взаимодействием атомов, благодаря которому энергия отдачи при испускании или поглощении

$\gamma$ -кванта передаётся не отд. ядру, а всей кристаллич. решётке, т. е. происходит испускание или поглощение фононов (или возбуждение молекул жидкости). В среднем один испущенный

$\gamma$ -квант передаёт кристаллу энергию, равную

R. Однако сам процесс взаимодействия

$\gamma$ -кванта с ядром приобретает вероятностный характер: наряду с испусканием или поглощением

$\gamma$ -квантов, сопровождающимся возбуждением (при

$E < E_0$ ) или поглощением (при

$E > E_0$ ) фононов, появляется вероятность бесфононных процессов (при

$E = E_0$ ). Вероятность последнего процесса (М. э.) становится довольно большой, когда энергия отдачи меньше ср. энергии фононов, характерной для данного кристалла.

Тогда отдача не изменяет внутр. энергию кристалла, а кинетич. энергия, которую приобретает кристалл в целом, пренебрежимо мала. В этом случае положение линий испускания в спектре будет точно соответствовать энергии перехода

$E_0$ . Вероятность М. э. (и, соответственно, интенсивность несмещённой линии) тем больше, чем больше характерная энергия фононов (или темп-ра Дебая), и растёт с понижением темп-ры.

М. э. позволяет проводить измерения спектров испускания, поглощения и резонансного рассеяния

$\gamma$ -квантов с рекордным разрешением

$\Gamma = 10^{-5} - 10^{-10}$  эВ для возбуждённых уровней ядер с

$E_0 < 200$  кэВ и

$\tau = 10^{-5} - 10^{-11}$  с. Чрезвычайно малая ширина несмещённой линии позволяет легко нарушить условие резонанса путём реализации небольших (порядка 1 мм/с) скоростей относит. движения источника и поглотителя, благодаря чему М. э. довольно быстро превратился из лабораторного эксперимента в мощный метод исследования материалов (см. [Мёссбауэровская спектроскопия](#)). На нач. 21 в. М. э. наблюдался для более чем 100 нуклидов и 120 возбуждённых состояний ядер. Измерения мёссбауэровских спектров позволяют с высокой точностью детектировать сдвиги и расщепления спектральных линий, обусловленные взаимодействием ядра с внутр. электрич. и магнитными полями, обеспечивая получение информации о структуре, составе, химич. связях, магнитных и термодинамич. свойствах материала, содержащего резонансный нуклид. Благодаря этому М. э. широко применяется в качестве метода исследования твёрдых тел и вязких жидкостей в разл. областях

науки и техники.

## Литература

Лит.: Эффект Мессбауэра. Сб. ст. / Под ред. Ю. Кагана. М., 1962; Шпинель В. С.

Резонанс гамма-лучей в кристаллах. М., 1969. См. также лит. при ст. [Мёссбауэровская спектроскопия](#).

Processing math: 100%