

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА

*Г. М. Айвазян, Ю. М. Айвазян, В. И. Гольданский,
Р. Н. Кочарян, Е. Ф. Макаров, А. Р. Мкртчян*

В настоящей работе показано, что возбуждение акустических колебаний в поглотителе, содержащем мессбауэровские ядра, приводит к изменению параметров мессбауэровских спектров поглощения и к появлению сильной анизотропии вероятности эффекта Мессбауэра. Это по-видимому, дает возможность исследовать некоторые тонкие физические явления, происходящие в кристаллах. Рассмотрим влияние стоячих ультразвуковых волн на вероятность и анизотропию безотдачного поглощения и испускания γ -квантов мессбауэровскими ядрами в кристалле. Предположим, что в кристалле в одном из нормальных направлений [1] возбуждается стоячая акустическая волна, и что в нем имеется возбужденный мессбауэровский атом. Под влиянием стоячих акустических волн и тепловых фононов возбужденный атом смещается из своего положения равновесия r_0 по закону:

$$r(t) = r_0 + A \cos qr \cos \Omega t + R(t). \quad (1)$$

Здесь A – вектор смещения атома под действием акустических колебаний с волновым вектором q и частотой Ω , $R(t)$ – смещение за счет тепловых колебаний с учетом слабого изменения фононного поля стоячими акустическими волнами. Вероятность мессбауэровского испускания γ -квантов возбужденным ядром может быть вычислена классически, аналогично, например, тому, как это делалось в работе [2].

Пришима во внимание, что возмущение фононного поля за счет взаимодействия с акустическими колебаниями малó и пренебрегая в общем выражении для фазы волны членами, в которых $n\Omega + \sum n_m \Omega_m = 0$, где Ω_m – собственные частоты колебаний кристалла, а n и n_m принимают следующие целочисленные значения $n = \pm 1, \pm 2, \pm \dots, n_m = 0, \pm 1, \pm 2 \pm \dots$ [2], для вероятности мессбауэровского испускания ядром γ -кванта с волновым вектором k получим

$$F = f_1 f_2, \tag{2}$$

где f_1 – вероятность безотдачного испускания γ -квантов при отсутствии ультразвука, а $f_2 = I_0^2(\alpha \cos q r)$ – множитель, описывающий изменение вероятности эффекта за счет акустических колебаний. В выражении для $f_2 \alpha = A n / \lambda = A \cos \alpha / \lambda$, $\lambda^{-1} = 2\pi / \lambda$, где λ – длина волны мессбауэровского γ -кванта, а α – угол между вектором A и направлением испускания γ -кванта (вектор n , $|n| = 1$).

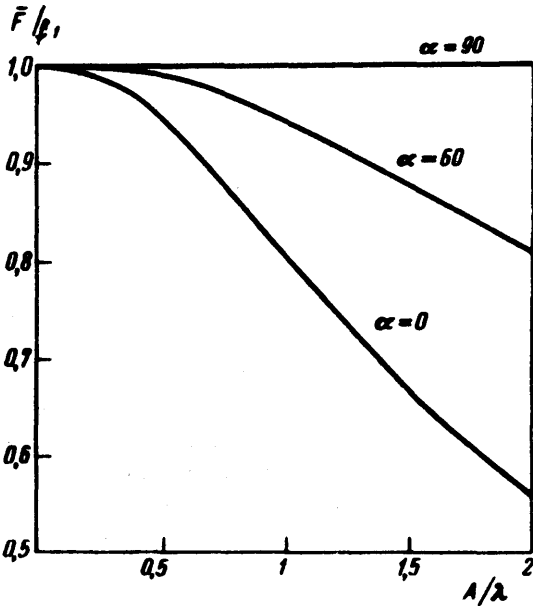


Рис. 1. Теоретические кривые зависимости средней вероятности эффекта Мессбауэра от параметров A/λ и $\cos \alpha$

Как видно из выражения (2), вероятность эффекта Мессбауэра зависит от точки, в которой находится возбужденное ядро. Для нахождения средней вероятности эффекта Мессбауэра, которая наблюдается в эксперименте, выражение (2) необходимо усреднить по объему кристалла. В результате такого усреднения из (2) получим

$$F = f_1 \bar{F}_2, \quad \bar{F}_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} I_0^2(\alpha \cos z) dz = \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \alpha^{2j} \frac{[(2j-1)!!]^2}{[(2j)!!]^2}. \tag{3}$$

Средняя вероятность мессбауэровского поглощения γ -кванта в поглотителе очевидно равна $\bar{F}' = f_1' \bar{f}_2'$, где $\bar{f}_2' = \bar{f}_2$, а f_1' – вероятность безотдачного поглощения γ -квантов в поглотителе при отсутствии ультразвука. На рис. 1 приведены графики величины \bar{F}'/f_1' в зависимости от параметров A/λ и α , полученные из формулы (3). Как видно из рис. 1 вероятность эффекта Мессбауэра сильно зависит от угла α и величины A/λ .

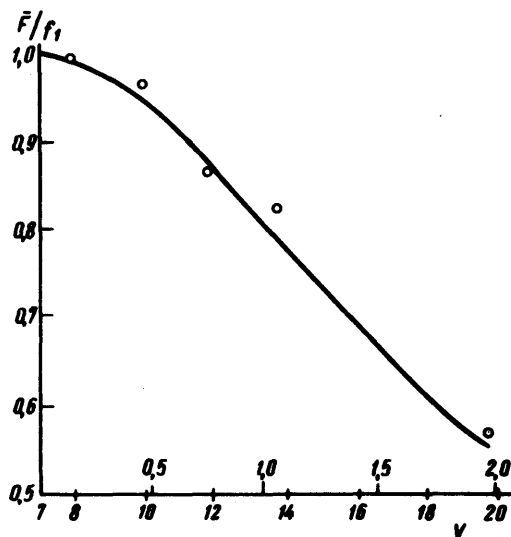


Рис. 2. Зависимость среднего значения вероятности эффекта Мессбауэра в LiNbO_3 (0,5% Sn^{119}) от напряжения на преобразователе. Экспериментальные данные сопоставлены с теоретической кривой (рис. 1). Направление распространения ультразвуковых волн совпадает с осью кристалла C ($\cos \alpha = 1$). Напряжение, при котором начинается генерация, зависит от толщины масляной подушки между кристаллами кварца и LiNbO_3 и в данном случае составляет 7 в

Для проверки полученных выше результатов было проведено экспериментальное исследование методом поглощения γ -квантов зависимости вероятности эффекта от параметра A/λ (эффективного напряжения V^* на преобразователе) в сегнетоэлектрическом кристалле LiNbO_3 (пространственная группа ниобата лития C_{3v} [3]), содержащем 0,5 мол.% Sn^{119} .

Спектры снимались на спектрометре электродинамического типа, источником γ -лучей служил Sn^{119m} в виде $\text{Sn}^{119m}\text{O}_2$ с активностью 5 мкюри.

Эксперименты проводились на монокристаллических пластинках метаниобата лития с полированными поверхностями при температуре 300°К. Толщина пластинки равнялась $0,39 \pm 0,03$ мм. Полуволновая стоячая акустическая волна вдоль оси C кристалла воз-

буждалась на частоте $4,19$ мГц. Направление распространения γ -квантов совпадало с осью C .

Экспериментальные результаты для LiNbO_3 приведены на рис.2. На этом же рисунке для сравнения приведена и расчетная кривая для $\cos \alpha = 1$ из рис. 1. Из сопоставления этих кривых видно, что расчетная кривая вероятности эффекта Мессбауэра в зависимости от A/λ (см. рис. 2) совпадает в пределах экспериментальной ошибки с экспериментальной кривой \bar{F} при определенном значении коэффициента пропорциональности C , $A/\lambda = CV^*$, $V^* = V - V_0$, где V — напряжение на преобразователе, а V_0 — напряжение, при котором начинается генерация. Отметим, что величина C может быть в принципе определена расчетным путем (см., например, [4]).

Таким образом, возбуждение ультразвуковых колебаний в кристаллах дает возможность изменить значение средней вероятности эффекта Мессбауэра, а появление сильной зависимости f_2' от угла между направлениями распространения γ -квантов и смещением атомов под действием акустических колебаний, может найти широкое применение в области исследования физических явлений в кристаллофизике.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 апреля 1971 г.

Литература

- [1] Физическая акустика (под редакцией У.Мезона), том IV, часть А.
- [2] Ф.Л.Шапиро. УФН, 72, 685, 1960.
- [3] В.Кенциг. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики, М., ИИЛ, 1960.
- [4] G.A.Alers, P.A.Fleury. J. Acoust. Soc. Amer., 36, 1297, 1964.