

Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 484 – 487

5 ноября 1971 г.

АНИЗОТРОПИЯ ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА В МОНОКРИСТАЛЛАХ СУРЬМЫ

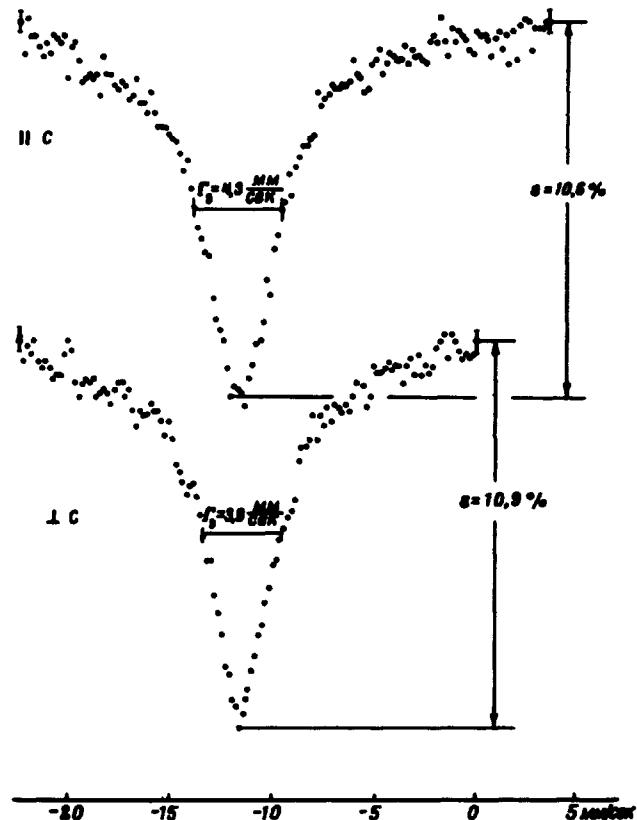
И. А. Авениариус, Р. Н. Кузьмин, А. А. Опаленко

Наибольший интерес для исследования анизотропии эффекта Мессбауэра в чистых элементах представляют монокристаллы олова, теллура и сурьмы. Монокристаллы олова и теллура были исследованы в работах [1 – 3]. Ниже сообщаются результаты по изучению анизотропии вероятности резонансного поглощения γ -квантов с энергией 37,2 кэв ядрами Sb^{121} в монокристаллах сурьмы при температуре жидкого азота.

Кристаллическая сурьма принадлежит к ромбоздрической сингонии, пространственная группа $R\bar{3}m$ с параметрами решетки: $a = 4,4928 \text{ \AA}$, $\alpha = 57^\circ 12'$ при температуре жидкого азота [4]. На элементарную ячейку приходится два атома, которые располагаются на телесной диагонали ромбоздра [111], являющейся инверсионной осью третьего порядка C . Каждый атом имеет три ближайших соседа на расстоянии $2,87 \text{ \AA}$, связанных с ними ковалентной связью и образует складчатый слой. Крат-

чайшее расстояние между атомами различных слоев $3,47 \text{ \AA}$, силы связи между слоями значительно слабее. Поэтому наибольшая прочность кристалла наблюдается в плоскостях (111), параллельных складчатым слоям атомов, и кристалл относительно легко разрушается в направлениях, перпендикулярных этим слоям. Сурьма обладает анизотропией физических свойств. Коэффициент линейного расширения в интервале температур $78 - 90^\circ\text{K}$ имеет значения $a_{||} = 15,48 \cdot 10^{-6}$ и $a_{\perp} = 5,27 \cdot 10^{-6}$.

Мессбауэровские спектры были получены для монокристаллов, выращенных методом зонной плавки. Поглотители имели две ориентации: в первом поглотителе, толщиной $37,5 \text{ мкм}/\text{см}^2$ у-излучение распространялось \parallel оси С, во втором, толщиной $23,2 \text{ мкм}/\text{см}^2$ \perp оси С. Опыты осуществлялись на электродинамической установке с постоянным ускорением, источник у-квантов – соединение $\text{BaSn}^{121}\text{O}_3$ с шириной линии $\Gamma_s = 1,6 \pm 0,1 \text{ мм}/\text{сек}$. Регистрация у-квантов велась сцинтилляционным счетчиком с кристаллом $\text{NaI}(\text{Tl})$ толщиной $0,2 \text{ мм}$ по пику вылета. Источник и поглотитель находились в низкотемпературной камере при температуре жидкого азота, в движение приводился поглотитель.



Мессбауэровские спектры монокристаллов сурьмы двух ориентаций приведены на рисунке с указанием величины эффекта ϵ и ширины линии Γ_s . Изомерный сдвиг относительно источника $\text{BaSn}^{121}\text{O}_3$ для обеих ориентаций одинаков: $\delta = -11,6 \pm 0,1 \text{ мм}/\text{сек}$. Экспериментальные результаты по определению f' приведены в таблице.

Направление γ -квантов в кристалле	Толщина кристалла m/cm^2	Площадь под кривой, исправленная на фон	Вероятность резонансного поглощения f'
$\parallel C$	$37,5 \pm 0,3$	$S_{\parallel} = 1,69 \pm 0,07$	$f_{\parallel}' = 0,117 \pm 0,010$
$\perp C$	$23,2 \pm 0,4$	$S_{\perp} = 1,51 \pm 0,06$	$f_{\perp}' = 0,160 \pm 0,010$

Для нахождения f' из экспериментальных данных была использована зависимость площади под кривой от эффективной толщины поглотителя $C_A = n\sigma f'$:

$$S = \kappa f \pi e^{-\frac{C_A}{2}} \left[I_0 \left(\frac{C_A}{2} \right) + I_1 \left(\frac{C_A}{2} \right) \right], \quad (1)$$

где κ – доля резонансных γ -квантов в числе зарегистрированных, I_0 и I_1 – функции Бесселя нулевого и первого порядка от мнимого аргумента, f – вероятность резонансного испускания γ -квантов с энергией 37,2 кэВ, ее величину можно оценить, используя данные по вероятности эффекта Мессбауэра для γ -квантов с энергией 23,8 кэВ Sn^{119}

в решетке $BaSnO_3$. $f_{BaSnO_3}(Sn^{119}) = e^{-const(23,8)^2}$, $f_{BaSnO_3}(Sb^{121}) = e^{-const(37,2)^2}$, откуда при $f_{BaSnO_3}(Sn^{119}) = 0,72$ [5], получается $f_{BaSnO_3}(Sb^{121}) = 0,45$. Эта величина и была использована при вычислении абсолютных значений вероятности резонансного поглощения f_{\parallel}' и f_{\perp}' . Для определения анизотропии $f_{\parallel}'/f_{\perp}'$ были построены кривые зависимости S_{\parallel}/S_{\perp} , рассчитанные по формуле (1), от f' для толщин поглотителей, использованных в данном эксперименте, при разных значениях анизотропии $f_{\parallel}'/f_{\perp}'$. Сопоставление результатов эксперимента и рассчитанных зависимостей позволило определить: $f_{\parallel}'/f_{\perp}' = 0,73 \pm 0,09$.

Монокристаллы сурьмы обладают осевой симметрией, поэтому угловая зависимость величины вероятности эффекта Мессбауэра для сурьмы может быть записана в следующем виде:

$$f'(\theta) = \exp \left\{ -\frac{4\pi^2}{\lambda^2} [\langle z^2 \rangle + (\langle z^2 \rangle - \langle x^2 \rangle) \cos^2 \theta] \right\}, \quad (2)$$

где θ – угол между осью C и направлением распространения γ -квантов, λ – длина волны резонансных γ -квантов, $\langle z^2 \rangle$ – средний квадрат смещений атома из положения равновесия вдоль оси C и $\langle x^2 \rangle$ – средний квадрат смещений в направлении, перпендикулярном оси C . Для сурьмы при температуре жидкого азота выражение (2) принимает вид:

$$f'(\theta) = \exp \{ -1,83 - 0,32 \cos^2 \theta \}. \quad (3)$$

Это показывает, что $\langle z^2 \rangle > \langle x^2 \rangle$.

Проинтегрировав (3) по всем углам от $-\pi/2$ до $\pi/2$, можно получить, что вероятность резонансного поглощения в поликристалле $f' = 0,145 \pm 0,015$. Для проверки правильности найденной анизотропии был снят мессбауэровский спектр с поликристаллического поглотителя. Из экспериментальных данных получено $f' = 0,15 \pm 0,01$, что в пределах ошибки измерений совпадает с вычисленной из найденного значения анизотропии $f'_\parallel f'_\perp = 0,73 \pm 0,09$ величиной.

Физический факультет
Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
10 сентября 1971 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, А.Н.Кирьянов, В.И.Нижанковский, Ю.А.Самарский. Письма в ЖЭТФ, 2, 269, 1965.
- [2] Н.Е.Алексеевский, А.Н.Кирьянов. Письма в ЖЭТФ, 9, 92, 1969.
- [3] Р.И.Кузьмин, А.А.Опаленко, В.С.Шпинель, И.А.Авениарис. ЖЭТФ, 56, 168, 1969.
- [4] T.P.Das, E.H Hygh Phys. Rev., 143, 452, 1966.
- [5] С.М.Иркаев, Р.И.Кузьмин, А.А.Опаленко. Ядерный γ -резонанс. Изд. МГУ, 1970, стр. 65.