

ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОЛОВЕ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 110 КБАР

В.Н.Панюшкин, Ф.Ф.Воронов

В последнее время появилось несколько экспериментальных работ [1-4], использовавших эффект Мёссбауэра для изучения свойств твердых тел при высоких давлениях. В частности, работы по эффекту Мёссбауэра в железе при высоких давлениях [3] дали важные сведения о свойствах металлического железа до давлений в 240 кбар. Наряду с экспериментальными работами проведены также некоторые теоретические исследования [5, 6], связанные с применением эффекта Мёссбауэра в физике высоких давлений. Интересным объектом в подобных исследованиях является металлическое олово (β -Sn). Его большая сжимаемость позволяет надеяться получить хорошо заметные эффекты давления. В частности, можно ожидать большого увеличения вероятности излучения γ -квантов без отдачи [5], а также изомерных сдвигов с давлением.

Камера высокого давления, использованная в описываемых исследованиях, аналогична камерам с плоскими наковальнями и таблеткой из аморфного бора, применяемым в работах по рентгеноструктурному анализу при высоких давлениях [7]. Использование в данной камере бора позволяет выводить из зоны давления исследуемые γ -кванты. В камеру давления помещался источник β -Sn в виде фольги толщиной в 20 мк, содержащий изотоп Sn^{119m} . Градуировка давления в камере производилась по скачкам электросопротивления при известных

полиморфных переходах в висмуте (25,3; 26,8 и 89 кбар), в таллик (37 кбар) и в барии (59 кбар)^[8]. Градуировочная кривая имела линейный вид и линейно экстраполировалась до давления в 110 кбар. Кроме предварительной градуировки камеры, в каждом рабочем опыте в камеру помещался контрольный образец висмута, дававший проверку градуировки в соответствующих точках.

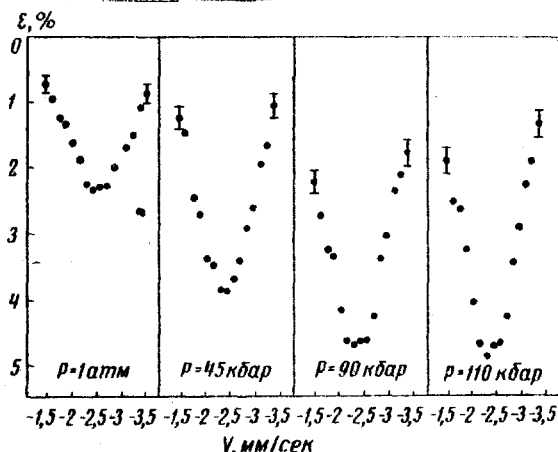


Рис. 1. Резонансные кривые для различных давлений

Установка для наблюдения эффекта Мёсбауэра подобна описанной в [9] установке с постоянными скоростями. Электродинамический вибратор градуировался по скорости по мёсбауэровскому спектру $\text{Fe}_2^{57}\text{O}_3$ с источником Co^{57} в нержавеющей стали. Нестабильность скорости вибратора за сутки составляла 0,5%. Допплеровский сдвиг энергии γ -квантов создавался за счет движения резонансного поглотителя относительно источника. В качестве поглотителя в экспериментах использовалась двуокись олова. Толщина поглотителя 20 мг/см². Все измерения проводились для комнатных температур источника и поглотителя.

Резонансные кривые для каждого опыта снимались при давлениях 1 атм, 45, 90 и 110 кбар. В каждом опыте для одного давления эффект снимался по 15–20 раз, причем за это время для одной точки спектра набирался счет в двести–пятьсот тысяч. Пример резонансных кривых для разных давлений приведен на рис. 1. Здесь $\varepsilon(\%)$ -

величина эффекта, ν - скорость поглотителя. Эффект наблюдается при движении поглотителя от источника (отрицательные относительные скорости). Как видно из рисунка, с повышением давления наблюдается увеличение глубины резонанса, а полуширина резонансных кривых остается постоянной (в пределах ошибок). Сравнивая площади

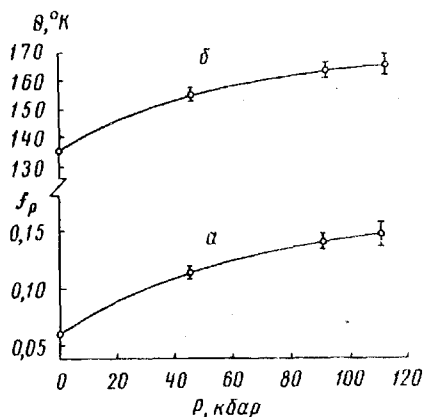


Рис. 2. Зависимость от давления P: а - вероятности излучения γ -квантов без отдачи f_p , б - эффективной температуры Дебая θ

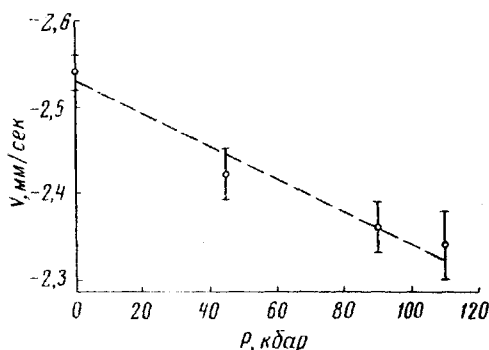


Рис. 3. Зависимость от давления положения резонансной линии β -Sn относительно энергии резонанса в SnO_2

резонансных кривых при разных давлениях с площадью кривой при атмосферном давлении, получим зависимость от давления вероятности излучения γ -квантов без отдачи. Взяв для атмосферного давления абсолютное значение вероятности эффекта в β -Sn $f = 0,06 \pm 0,006$, определенное в работе [10], получим абсолютные значения f_p для разных давлений (рис. 2) (значение f при атмосферном давлении принято точным). Если принять, что для грубой оценки величины эффекта в нашем случае возможно использовать дебаевское приближение [11], то на основании зависимости f_p от давления можно оценить рост с давлением соответствующей "эффективной температуры Дебая θ " (рис. 2). Из полученной зависимости можно оценить константу Грнрайзена для атмосферного давления. Она равна $\gamma = 2,4 \pm 0,3$, что хорошо согласуется с величиной $\gamma = 2,25$, вычисленной по формуле Грнрайзена [12].

Другим результатом, вытекающим из экспериментальных кривых, является сдвиг энергии резонанса в β -Sn к энергии резонанса в SnO₂ (рис. 3). На начальном участке этот сдвиг составляет $\sim 2,5 \cdot 10^{-4}$ см/сек.кбар, что примерно в три раза больше соответствующей величины для металлического железа [3]. Интересно отметить, что сжимаемость у олова тоже в три раза больше, чем у железа.

В заключение обратим внимание на следующее. Известно [II], что с уменьшением плотности валентных электронов на атоме олова энергия излучаемых резонансных γ -квантов уменьшается. Например, энергия γ -квантов, испущенных SnO₂, меньше, чем у SnO, у SnCl₄ меньше, чем у SnCl₂, и т.д. С этой точки зрения уменьшение энергии резонанса в β -Sn с давлением как бы эквивалентно уменьшению плотности валентных электронов на атоме металлического олова. Необходимо отметить, что все наблюдаемые на β -Sn эффекты давления, в пределах ошибок, полностью обратимы.

Считаем своим долгом выразить глубокую благодарность Л.Ф. Верещагину и Е.Н. Яковлеву за поддержку и интерес к работе, В.В.Скляревскому, Н.Н.Филиппову и К.П.Алешину за помощь при создании мёссбауэровского спектрометра, Н.Н.Делягину за полезное обсуждение результатов, а также Д.Т.Баботину и В.А.Гузову, участвовавшим в проведении экспериментов.

Институт физики высоких давлений
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
9 июня 1965 г.

Литература

- [1] R.V.Pound, G.B.Benedek, R.Drever. Phys. Rev. Lett., 7, 405, 1961.
- [2] M.Nicol, G.Jura. Science, 141, 1035, 1963.
- [3] D.N.Pipkorn, C.K.Edge, P.Debrunner, G.De Pasquali, H.G.Drickamer, H.Frauenfelder. Phys.Rev., 135, A1604, 1964.
- [4] J.A.Stone, N.Malcolm, J.O.Rasmussen, G.Jura. University of California Lawrence Radiation Lab., Rept. # I0706, 29-33, 1963.

- [5] R.V.Nanka. Phys. Rev., 124, 1319, 1961.
- [6] J.Dlouha. Чехосл. физ.ж., VI4, 570, 1964.
- [7] С.С.Кабалкина, З.В.Тромцкая. Докл. АН СССР, 151, 1068, 1963.
- [8] Современная техника сверхвысоких давлений, пер. с англ., под ред. Е.Г.Понятовского, М., 1964.
- [9] К.П.Аленин, И.И.Лукашевич, Б.Н.Самойлов, В.В.Скляревский, В.П.Степанов, Н.И.Филиппов. ПТЭ, №4, 43-49, 1964.
- [10] В.Г.Шапиро, В.С.Шинель. ИЭТФ, 46, 1960, 1964.
- [11] В.И.Гольданский. Эффект Мёссбауэра и его применения в химии. М., 1963.
- [12] Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела, пер. с англ., М., 1962.