

и шириной спектральной линии $\Delta f = 20$ кГц. Для сравнения напомним, что в опытах по рассеянию излучения CO_2 лазера - приходится использовать мощности масштаба десятков кВт. Усовершенствование приемной аппаратуры и повышение мощности зондирующего излучения могут существенно повысить чувствительность метода.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Александров В.О., Будников В.Н., Герасименко Г.В. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. термоядерный синтез. 1986. В. 1. С. 30.
- [2] Аскинази Л.Г., Буланин В.В., Есипов Л.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 24. С. 1517-1520.
- [3] Шестопалов В.П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т. 2. 1985. Киев: Наукова думка. 256 с.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
12 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
02; 05.2

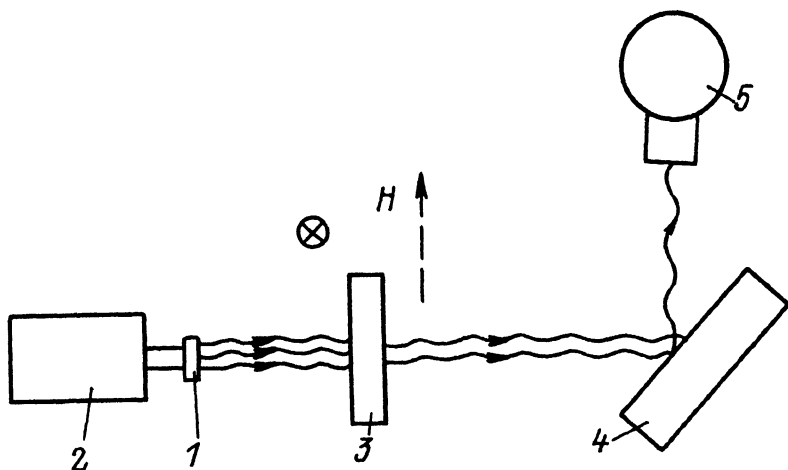
12 апреля 1989 г.

ДИФРАКЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ИСПУСКАНИЯ ФОТОНОВ МЕССБАУЭРОВСКИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Д я н Ч е р, В.А. С а р к и с я н

Излучение мессбауэровских источников состоит из резонансных и нерезонансных гамма-квантов, испускаемых при мессбауэровском ядерном переходе, а также может содержать другие линии, создающие фон в окне амплитудного дискриминатора измерителя интенсивности. В ряде экспериментов для количественного анализа результатов необходимо измерять долю f безотдачных гамма-квантов, испускаемых данным источником. Такая необходимость обусловлена тем, что значение f , входящего в выражения для сечения мессбауэровского поглощения и рассеяния [1], изменяется с течением времени. Это изменение особенно ощутимо для источников, имеющих большую активность, применяемых, в частности, в мессбауэровских дифракционных исследованиях.

Обычно эту долю определяют путем измерения интенсивности излучения, прошедшего через "черный" поглотитель, в окне дискриминатора при выполнении условия ядерного резонанса и вне резонанса [2]. В измеренных значениях интенсивности вклад фона от других



Геометрия измерений: 1 - источник, 2 - вибратор, 3 - фильтр-поляризатор, 4 - кристалл, 5 - детектор, H - магнитное поле.

линий излучения источника, других источников излучения и собственных шумов детектора, которые необходимо учесть. Однако в геометрии „на пропускание“ интенсивность фонового излучения не может быть непосредственно измерена, поэтому ее определяют из нескольких измерений с использованием различных фильтров [3]. Это приводит к большой суммарной погрешности определения f , в частности, из-за неравномерности толщины и неопределенности элементного состава фильтров.

В настоящей работе показано, что непосредственное измерение фона в окне дискриминатора возможно, если использовать дифракцию мессбауэровского излучения на кристаллах, не содержащих резонансные ядра. Предлагаемый метод определения f основан на поляризационных свойствах мессбауэровского поглощения и дифракции на электронах. Реализуется он с помощью мессбауэровского поляризационного дифрактометра, схематически изображенного на рисунке.

Неполяризованное излучение мессбауэровского источника 1, закрепленного на штоке вибратора 2, проходит через резонансный фильтр-поляризатор 3, пропускающий линейную поляризацию и падает на кристалл 4. Детектор 5 устанавливается под двойным брэгговским углом для выбранного рефлекса. Измеряется интенсивность дифрагировавшего на кристалл излучения, когда плоскость поляризации падающего на кристалл излучения параллельна (\mathcal{X} - поляризация) и когда она перпендикулярна (\mathcal{C} - поляризация) плоскости рассеяния. Измеренные значения интенсивности можно представить в виде:

$$I_{\mathcal{X}(\mathcal{C})} = \frac{K}{2} \exp[-(\mu_0 t + 2M)] \{ I_p [\sigma A + \beta(1 + \rho - \gamma)] + I_H(1 + \rho) \} + I_{\varphi} \quad (1)$$

Здесь K – интегральный коэффициент отражения кристалла, μ_3 и t – коэффициент электронного линейного поглощения и толщина поляризатора соответственно, M – фактор Дебая–Валлера, $I_p(I_H)$ – интенсивность участвующего в дифракции резонансного (нерезонансного) излучения источника, ρ – дифракционный поляризационный фактор, I_φ – интенсивность фона; $\mathcal{J} = 1$, если поляризатор пропускает \mathcal{C} -поляризацию, $\mathcal{J} = \rho$, если он поглощает \mathcal{C} -поляризацию; A – параметр, учитывающий поглощение, обусловленное „крыльями“ соседних линий в спектре поглощения поляризатора; \mathcal{B} – относительная интенсивность прошедшей через поляризатор сильно поглощаемой компоненты резонансного излучения. Затем измеряется интенсивность отражения вдали от резонанса, которую запишем в виде:

$$I_\infty = \frac{1}{2} K \exp\{\mu_3 t + 2M\} (1 + \rho)(I_p + I_H) + I_\varphi. \quad (2)$$

Наконец, кристалл выводится из отражающего положения и измеряется интенсивность фона I_φ . Значение f может быть определено из (1) и (2) по следующей формуле:

$$f = \frac{I_p}{I_p + I_H} = \frac{2I_\infty - I_H - I_\varphi}{(I_\infty - I_\varphi)(2 - A - \mathcal{B})}. \quad (3)$$

Отметим, что A и \mathcal{B} характеризуют поглощение свойства поляризатора и зависят, в частности, от его эффективной толщины.

Найдем связь между параметрами A и \mathcal{B} , выраженную через измеренные в обычной геометрии пропускания значения интенсивности. Рассмотрим случай, когда в качестве источника используются ^{57}Co в хrome, а поляризатор представляет собой достаточно толстую железную фольгу, установленную перпендикулярно пучку гамма-квантов и намагниченную до насыщения в своей плоскости с помощью внешнего магнитного поля в направлении, параллельном или перпендикулярном плоскости рассеяния. Если источник движется с резонансной для одного из ядерных переходов поляризатора скоростью, то прошедшее через нее излучение будет частично динейно поляризовано. Причем плоскость поляризации этого излучения будет параллельна плоскости рассеяния (\mathcal{X} – поляризация), или перпендикулярна ей (\mathcal{C} – поляризация), в зависимости от направления намагниченности фольги и возбуждаемого ядерного перехода [4]. Пусть для определенности скорость движения соответствует одному из переходов $\Delta m = 0$. Обозначим α часть поглощенного излучения, обусловленную ближайшей крайней линией $\Delta m = \pm 1$ (ее „крылом“). Поглощение, обусловленное ближайшей внутренней линией, будет составлять $1/3 \alpha$. Тогда для $\alpha \ll 1$

$$A = 1 - \frac{4}{3} \alpha. \quad (4)$$

Интенсивность прошедшего через поляризатор излучения при трех различных значениях скорости движения источника: по обе стороны от крайней линии $\Delta m = \pm 1$ на расстоянии, равном расстоянию между ближайшими крайними линиями в спектре поглощения (I_1'' и I_2''), и вдали от резонанса (I_∞'') можно записать в виде:

$$I_1'' = \exp(-\mu_3 t) \left[\frac{1}{2} I_p'' \left(1 - \frac{4}{3} \alpha \right) + \frac{1}{2} I_p'' \beta + I_H \right] + I_\varphi''$$

$$I_2'' = \exp(-\mu_3 t) \left[\frac{1}{2} I_p'' (1 - \alpha) + \frac{1}{2} I_p'' + I_H \right] + I_\varphi'' \quad (5)$$

$$I_\infty'' = \exp(-\mu_3 t) (I_p'' + I_H) + I_\varphi'' ,$$

где индекс „п” обозначает геометрию пропускания. Отсюда – простая связь между параметрами α и β :

$$1 - \beta = \alpha F, \quad (6)$$

где величина F определяется из измеренных значений интенсивности с помощью следующего соотношения:

$$F = \frac{\frac{3}{4} I_2'' - I_1'' - \frac{1}{2} I_\infty''}{I_\infty'' - I_2''} . \quad (7)$$

Подставляя (6) в (3) и, учитывая (4) получим:

$$f = \frac{2 I_\infty - I_x - I_G}{(I_\infty - I_\varphi)(1 - \beta) \left(1 + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{F} \right)} . \quad (8)$$

Параметр β можно определить, например, из формулы (20) работы [2].

Таким образом, в описанном методе впервые решена проблема прямого измерения фона, что позволяет избежать влияния на измеренное значение f ряда важных факторов, подробно рассмотренных в работе [2, 5].

В качестве примера приведем результаты измерений, проведенных с использованием источника ^{57}Co (Cr) с начальной активностью $0.83 \cdot 10^{10}$ Бк и паспортным значением $f = 0.75$. Измерения проводились спустя семь месяцев после его аттестации предприятием-изготовителем. Поляризатором служила отожженная железная фольга толщиной 20 ± 1 мкм, обогащенная по изотопу ^{57}Fe до 95%. К фольге было приложено магнитное поле напряженностью 0.15 мТ. По кривой намагничивания, снятой методом Фонэра, мы убедились, что этого значения поля достаточно для полного намагничивания фольги. Для регистрации излучения использовался $Si(Li)$ полупроводниковый блок детектирования, имеющий

разрешающую способность 350 эВ по линии 14.4 кэВ и рабочую площадь 50 мм². Измерялась интенсивность симметричного брэгговского отражения (333) от бездислокационного кристалла кремния. Ширина линий поглощения $\Delta m = 0$ составляла 17.6 ± 0.5 Г (Г – естественная ширина мессбауэровского перехода). Соответствующее значение $\beta = 0.034 \pm 0.001$ было найдено из [2]. Значение f , вычисленное по формуле (8), составило 0.706 ± 0.009 . Время измерения – 3600 мин.

Следует отметить, что значение f , определяемое с помощью описанного метода, оказывается независимым от структурных несовершенств и коэффициента отражения кристалла, в то время как интегральная интенсивность отражения сильно зависит от этих факторов. Это подтверждают результаты измерений, проведенных в тех же условиях, но с использованием кристаллов кремния, имеющих различную плотность дислокаций. Например, для кристалла с плотностью дислокаций $5 \cdot 10^7$ см⁻² $f = 0.694 \pm 0.008$, время измерения – 900 мин.

Использование детекторов с большой рабочей площадью и кристаллов, обладающих более высокой отражающей способностью, позволит существенно сократить время и повысить точность измерений.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Беляков В.А. // УФН. 1975. Т. 115. № 4. С. 553–601.
- [2] Housley R.M., Erickson N.E., Dash J.G. // Nucl. Instr. and Meth. 1964. P. 29–37.
- [3] Пермяков Ю.В., Варганов В.С., Земсков Б.Г. В кн.: Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений. Труды ВНИИФТРИ. М.: 1976. В. 30(60). С. 67.
- [4] Frauenfelder H., Nagle D.E., Taylor R.D., Cochran D.R.F., Visscher W.M. // Rays. Phys. Rev. 1962. V. 126. No. 3. P. 1065–1075.
- [5] Варнек В.А., Волегжанин В.И. // ПТЭ. 1982. № 2. С. 46–47.

Поступило в Редакцию
14 декабря 1989 г.