

ОБНАРУЖЕНИЕ УСИЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО КАНАЛА ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЯДРАМИ В КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ ПОГЛОТИТЕЛЕ

С.Л.Попов, Г.В.Смирнов, Ю.В.Швыдько

Непрозрачный резонансный поглотитель из нержавеющей стали после приведения его в колебательное движение с частотой $f = 23,79$ МГц начинал излучать в первичном направлении резонансные гамма-кванты с энергиями $E_0 \pm 2\pi n h f$ (E_0 — энергия падающего излучения, $n = 1, 2, \dots$). Интенсивность вторичного излучения достигала 37,8% от падающего, что прямо указывало на усиление радиационного канала в исследованной реакции рассеяния.

Влияние ультразвука на спектры мессбауэровского излучения исследовалось во многих экспериментах ¹⁻⁴. В присутствии ультразвука достаточно высокой частоты f одиночная резонансная линия расщепляется и в спектре излучения наряду с основной линией при энергии E_0 появляются сателлиты, положения которых задаются соотношением $E_0 \pm 2\pi n h f$ ($n = 1, 2, \dots$). При взаимодействии мессбауэровского излучения с поглотителем, в котором возбуждаются ультразвуковые колебания ^{5,6}, происходит такое же расщепление резонансной линии поглощения. При заданной частоте структура спектра поглощения — количество линий и соотношение их интенсивностей — в первую очередь определяется амплитудой колебаний, но существенной оказывается также степень однородности колебаний по образцу. Многие экспериментальные работы были нацелены на исследование этих особенностей спектров поглощения, и, насколько нам известно, нигде еще не поднимался вопрос о спектральном составе излучения, проходящего в этих условиях через поглотитель. Между тем, очевидно, что исследование такого рода могло бы дать дополнительную информацию о природе взаимодействия мессбауэровского излучения с ядерной решеткой, возбуждаемой ультразвуком. В настоящей работе как раз ставится задача изучения энергетического спектра и определения интенсивности гамма-излучения, проходящего через колеблющийся с ультразвуковой частотой резонансный поглотитель.

На рис. 1 показан эскиз экспериментальной установки. В хорошо знакомую схему мессбауэровского спектрометра на пропускание добавлен новый элемент: анализатор спектра резонансного гамма-излучения, выходящего из исследуемого образца в первичном направлении. В состав анализатора входит вибратор V_2 с соответствующим электронным управлением и анализирующий резонансный фильтр. В качестве фильтра использовалась фольга из нержавеющей стали (SS) толщиной 16 мкм с естественным содержанием изотопа ^{57}Fe . Источник $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$ приводился в движение независимо своим вибратором — V_1 . Ширина линии источника составляла 0,14 мм/с. Исследуемый образец был приготовлен из нержавеющей стали, обогащенной изотопом ^{57}Fe до 95% (^{57}SS), в виде фольги толщиной 12 мкм и \varnothing 6 мм (вес $2,4 \pm 0,1$ мг). Таким образом использовалась толстая мишень, в которой резонансное поглощение гамма-квантов должно было быть близко к насыщению (μt 60). Фольга приклеивалась к пьезоэлектрической кварцевой пластине (X-срез, \varnothing 18 × 0,12 мм) с помощью клея БФ-2. Собственная частота колебаний пьезокристалла с приклеенной фольгой составляла $f = 23,79$ МГц. Регистрация гамма-излучения производилась сцинтилляционным счетчиком с кристаллом $\text{NaI}(\text{Tl})-\text{D}$. Сечение падающего пучка ограничивалось коллиматором К до \varnothing 3 мм для того, чтобы засвечивать только центральную часть мишени. Приемный телесный угол излучения, выходящего из мишени в первичном направлении, составлял $4 \cdot 10^{-5}$ ср.

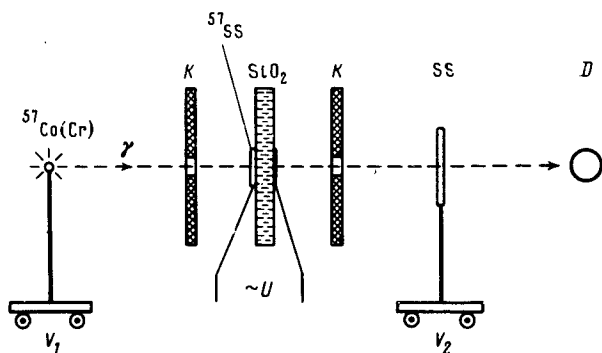


Рис. 1. Схема эксперимента. Вибратор V_2 и резонансный фильтр-анализатор SS устанавливались только во второй части эксперимента — при измерении спектров излучения, выходящего из мишени ^{57}SS

В предварительных измерениях анализатор не ставился на пучок, снимались обычные спектры поглощения мессбауэровского излучения в исследуемом образце. На рис. 2а показан спектр невозбужденной ультразвуком фольги ^{57}SS . По этому спектру можно судить о масштабе насыщения резонансного поглощения в используемой ядерной мишени. За вычетом линии источника ширина линии поглощения составляла 1,11 мм/с, что в ≈ 5 раз больше собственной ширины ядерного резонанса в образце ^{57}SS (последняя определялась с помощью мессбауэровского спектрометра конверсионных электронов, т.е. методом, который не дает уширения, связанного с толщиной поглотителя). Дальнейшие измерения проводились с возбужденным пьезокристаллом.

На рис. 2б-г, представлены мессбауэровские спектры, полученные для разных амплитуд U синусоидального напряжения на обкладках пьезокристалла. Как и следовало ожидать, при возбуждении ультразвуковых колебаний появляются дополнительные резонансы в спектре поглощения. По мере увеличения амплитуды ультразвука число и интенсивность боковых линий возрастает. Обратим внимание на интересную особенность полученных спектров. Ширина центральной линии поглощения при росте амплитуды ультразвуковых колебаний практически не меняется и такую же приблизительно ширину имеют рождающиеся боковые линии. Это обстоятельство свидетельствует о том, что и в условиях возбуждения ультразвуковых колебаний резонансное поглощение достигает в исследуемом образце насыщения. С другой стороны,

как хорошо видно из рис. 2б-г, глубина центральной линии с ростом амплитуды колебаний уменьшается, следовательно, мишень, настроенная в резонанс с гамма-излучением, становится для излучения все более прозрачной. Спрашивается, как можно совместить эти два факта?

Если бы через мишень проходили резонансные кванты, то они могли бы быть обнаружены с помощью мессбауэровского анализатора. Выяснению этого вопроса была посвящена вторая серия наших экспериментов. В ней уже использовался фильтр-анализатор резонансного гамма-излучения, приводившийся в движение по закону постоянного ускорения. Мессбауэровские спектры поглощения в анализирующей фольге показывают фактически присутствие резонансных гамма-квантов в падающем на нее пучке, т.е. в нашем случае в пучке, выходящем

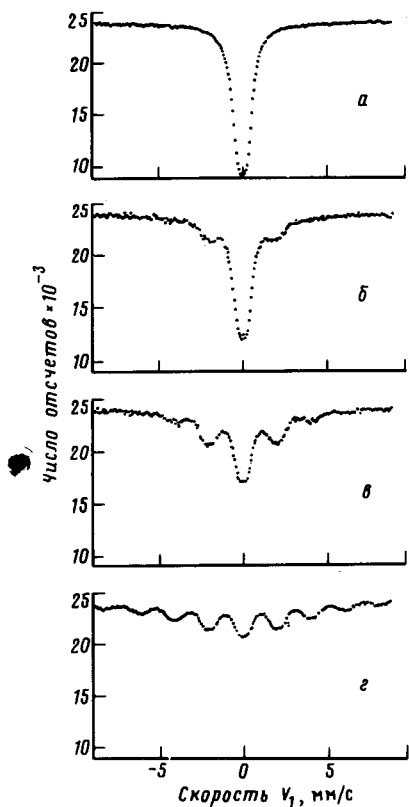


Рис. 2. Спектр поглощения в мишени ^{57}Fe , закрепленной на пластине пьезокварца (X-срез): а) мишень в покое; б-г) на пьезокварц подан синусоидальный сигнал напряжения с частотой $f = 23,79$ МГц и амплитудой $U = 0,63$ В – б, 1,38 В – в, 2,45 В – г

из вибрирующей мишени. Полученные спектры поглощения приведены на рис. 3. С учетом сказанного выше они отражают с известной степенью точности энергетические спектры выходящего из исследуемой мишени гамма-излучения.

Вначале был измерен спектр гамма-излучения, проходящего через образец вдали от резонанса – рис. 3а'. При этом скорость источника была постоянной и равнялась $-7,0$ мм/с. Полученный спектр определяет форму линии источника и дает возможность оценить интенсивность резонансного излучения источника с учетом поглощения гамма-квантов на электронах в мишени. В дальнейших измерениях излучение находилось в резонансе с ядрами ^{57}Fe . Источник при этом покоился.

На рис. 3а'' показан спектр выходящего из мишени излучения в отсутствии ультразвукового возбуждения. Сравнение спектров на рис. 3а' и 3а'' прямо показывает насколько непрозрачной является исследуемая резонансная мишень. Лишь небольшая часть – 3,5% излучения источника, принадлежавшая крыльям энергетического распределения, могла через нее проходить. Посмотрим, что произошло при включении ультразвукового возбуждения.

Уже при небольшой амплитуде возбуждения $U = 0,63$ В (рис. 3б) видно, что в спектре появляются и начинают сразу доминировать линии со смещенной частотой. Они располагаются там же, где линии поглощения в вибрирующей мишени. Однако отметим, что ширины линий в спектре излучения, выходящего из мишени, совпадают с шириной линии источника. По мере возрастания амплитуды ультразвука число и интенсивность смещенных линий увеличивается. Наряду со смещенными появляется центральная линия, совпадающая по энергии с падающим излучением. Суммарные площади смещенных линий в спектре проходящего гамма-излучения относительно площади спектра падающего излучения (рис. 3а') составляют 23,7% на рис. 3б, 35,1% — рис. 3в и 37,8% — рис. 3г.

Итак, получены данные, которые позволяют теперь ответить на вопрос о происхождении гамма-излучения, выходящего из вибрирующей мишени. Измеренные спектры наглядно показывают, что мы имеем дело со вторичным, неупруго рассеянным резонансным гамма-излучением. Процесс рассеяния происходит с поглощением или рождением ультразвуковых фононов — одного, двух или более. Отметим, что рассеяние в первичном направлении с передачей импульса может идти только через образование промежуточного ядерного возбужденного состояния. Вклад малоуглового электронного рассеяния в формирование спектров неупругого рассеяния в контрольном опыте не обнаружен. Таким образом, спектры формируются за счет рассеяния на ядрах. Тот факт, что доля вторичного резонансного гамма-излучения

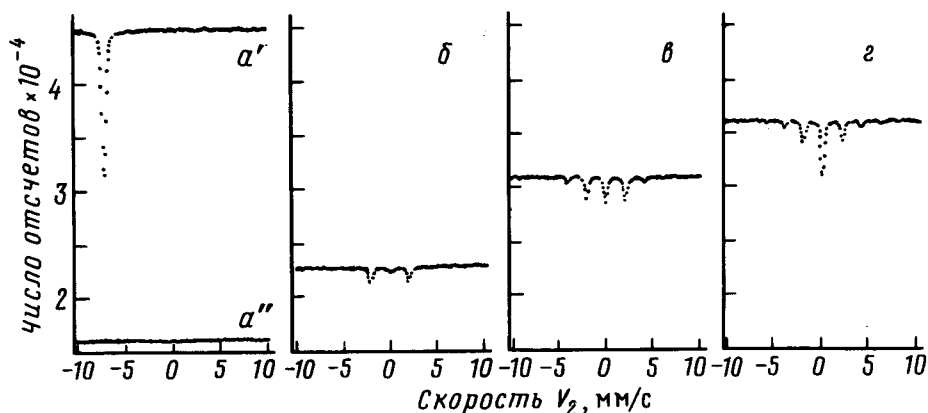


Рис. 3. Спектры гамма-излучения, выходящего вперед из мишени ^{57}SS , закрепленной на пластине пьезокварца (X-срез): а') мишень в покое, источник $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$ движется с постоянной скоростью $V_1 = -7,0$ мм/с; а'') то же самое, но $V_1 = 0$; б-г) $V_1 = 0$, но на пластину пьезокварца подан синусоидальный сигнал напряжения с частотой $f = 23,79$ МГц и амплитудой $U = 0,63$ В — б, 1,38 В — в, 2,45 В — г. Продолжительность измерения всех спектров одинакова

существенно превышает предел, устанавливаемый для данной ядерной реакции рассеяния процессом электронной конверсии ($\Gamma_\gamma/\Gamma_0 = (1 + \alpha)^{-1} = 0,11$), свидетельствует о значительном усилении радиационного канала рассеяния. Поскольку переизлучение квантов ядрами в нашем случае концентрируется в малом телесном угле, т.е. является направленным, то это дает основание говорить о когерентном характере неупругого рассеяния гамма-излучения ядерной мишенью. Таким образом, наблюдаемый эффект усиления радиационного канала является следствием когерентного неупругого рассеяния гамма-квантов ядрами в колеблющейся мишени. Теоретический анализ явления и его детальное экспериментальное исследование будут вскоре опубликованы.

В заключение авторы выражают благодарность М.А.Волкову и А.С.Субботину за помощь в подготовке эксперимента, В.В.Рожкову за изготовление пластин пьезокварца, Е.В.Мельникову за приготовление сплава нержавеющей стали из материала, обогащенного изотопом ^{57}Fe .

Мы признательны акад. Ю.М.Кагану за проявленный интерес к работе и обсуждение результатов.



Литература

1. *Ruby S.L., Bolef D.I.* Phys. Rev. Lett., 1960, 5, 5.
2. *Monahan J.E., Perlow G.J.* Phys. Rev. A, 1979, 20, 1499.
3. *Perlow G.J. et al.* J. de Phys. Coll., 1980, 41, C1-85.
4. *Du Marchie van Voorthuysen E.H. et al.* Phys. Rev. A, 1984, 30, 2356.
5. *Mkrtchan A.R. et al.* Phys. Stat. Sol. (b), 1979, 92, 23.
6. *Koch R., Realo E.* Proc. Int. Conf. on Appl. of Mossbauer Effect, Alma-Ata 1983, Gordon & Breach, London, 1985, p. 34.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
17 мая 1989 г.
