

Институт гидродинамики
СО АН СССР,
Новосибирск

Поступило в Редакцию
26 сентября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 3

12 февраля 1990 г.

05.2; 08

© 1990

ФАЗОВЫЙ И ДИСТАНЦИОННЫЙ ЭФФЕКТЫ
В ЯДЕРНОМ ГАММА-РЕЗОНАНСЕ ПРИ НАЛИЧИИ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

А.С. Л о б к о, Е.Е. Р у б а ц к а я

Изучение распространения мессбауэровского γ -излучения через вещество, подверженное воздействию высокочастотных полей, представляет большой интерес благодаря возможности исследования как динамических процессов в твердом теле, так и характеристик самих ВЧ-полей [1]. Эффекты, возникающие в системах, содержащих более одного мессбауэровского объекта (источника или поглотителя), подверженного воздействию ультразвука, в настоящее время детально исследованы теоретически [2-4], но не имеют достаточного экспериментального подтверждения. Единственный известный нам в этой области эксперимент опубликован в [5].

В настоящей статье представлены результаты первых экспериментов по изучению зависимости интенсивности мессбауэровского γ -излучения, прошедшего через систему из двух поглотителей, подверженных воздействию ультразвука, от разности фаз ультразвуковых колебаний и от расстояния между поглотителями (так называемые фазовый и дистанционный эффекты).

Теоретические расчеты на основе работ [2-4] показывают, что при наличии когерентного ультразвукового возбуждения в тонких поглотителях, отсутствии сверхтонкого расщепления в источнике и поглотителях и равенстве частот и амплитуд ультразвука в обоих модуляторах, частотно-модулированный спектр когерентного мессбауэровского γ -излучения будет представлять собой набор эквидистантных линий с частотами $\omega_n = \omega_0 + n\Omega$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), где ω_0 - частота мессбауэровского γ -перехода, Ω - частота ультразвука, и интенсивностями

$$I_n \sim J_n^2 \left(2k\vec{a} \sin \frac{\theta}{2} \right),$$
$$\theta = \Delta\varphi + \frac{L\Omega}{c}, \quad (1)$$

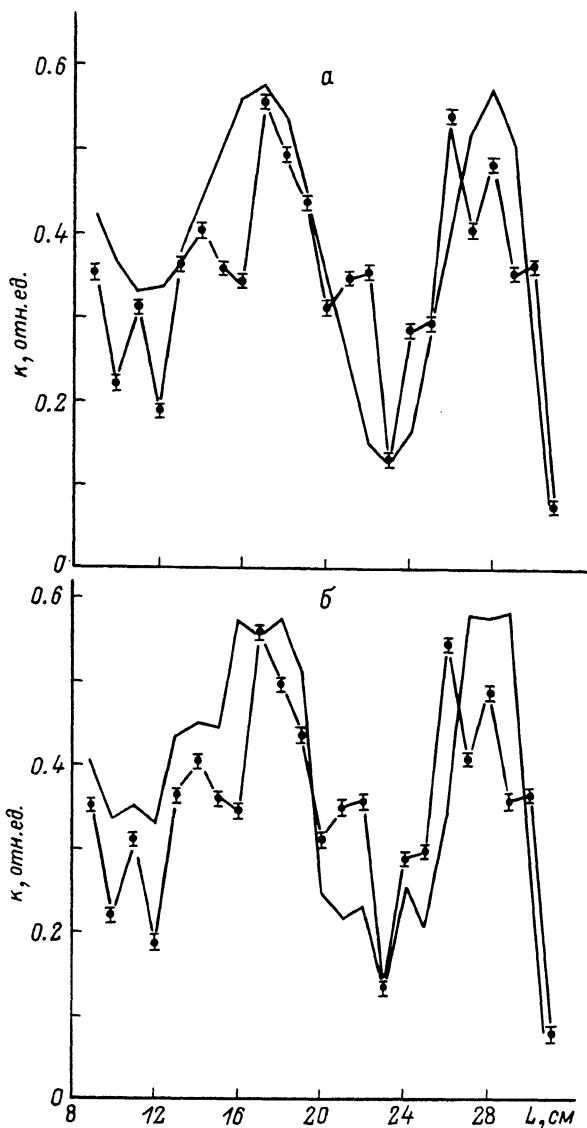


Рис. 1. Зависимость коэффициента модуляции K от расстояния между модуляторами L . Теоретическая функция вычислялась только в точках, где измерялись экспериментальные данные. $\Omega/2\pi = 14.794$ МГц, $U = 1.2$ В. а - теоретическая функция вычислена по соотношению (1); б - теоретическая функция вычислена с учетом некогерентности возбуждения.

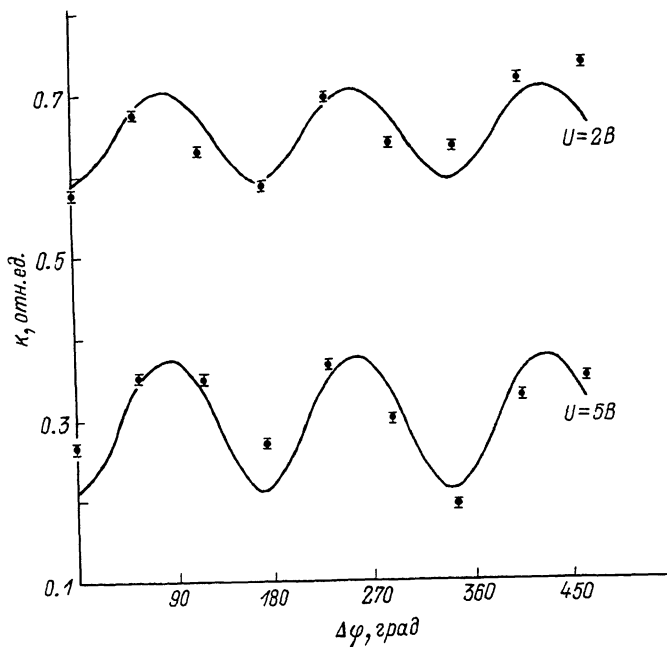


Рис. 2. Характерные фазовые зависимости при двух напряжениях возбуждения при $\Omega/2\pi = 10.0$ МГц.

где $J_n(z)$ – функция Бесселя первого рода порядка n , \vec{k} – волновой вектор γ -излучения, \vec{a} – амплитуда колебаний резонансных ядер, θ – эффективный фазовый угол, $\Delta\varphi$ – разность фаз ультразвука в поглотителях, L – расстояние между поглотителями, c – скорость света.

Для получения зависимостей, предсказываемых моделью (1), были произведены следующие измерения. В качестве УЗ-модуляторов γ -излучения использовались близкие по параметрам акустические вибраторы, состоящие из кварцевого резонатора λ -среза размерами 10×20 мм² с резонансной частотой ~ 14.8 МГц и приклеенной БФ-2 к нему фольги из нержавеющей стали толщиной ~ 30 мкм. Склейки были термически полимеризованы при температуре 150°C для улучшения передачи ультразвука в фольгу. Каких-либо особых мер для повышения степени когерентности модуляции не предпринималось. Образцы крепились на свинцовые коллиматоры с диаметром отверстий 3 мм, которые устанавливались на оптический рельс, что позволило перемещать их относительно друг друга. С целью упрощения интерпретации экспериментальных данных анализировалось поведение только основной (несмещенной) линии, для чего в режиме постоянных скоростей мессбауэровского спектрометра на выходе дискриминатора измерялись скорости счета

N_{y3} и N_0 – при наличии ультразвука и без него (относительная скорость $V_{отн} = 0$), а также N_{∞} – вне резонанса ($V_{отн} \approx 100$ мм/с). Далее вычислялся коэффициент модуляции $K = (N_{\infty} - N_{y3}) / (N_{\infty} - N_0)$, введение которого позволяет учитывать изменения величины эффекта, возникающие из-за переменной геометрии измерений. Так как изомерный сдвиг использованного мессбауэровского источника $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$ относительно нержавеющей стали практически равен нулю, то при $V_{отн} = 0$ наблюдался гамма-резонанс с величиной эффекта $\mathcal{E} = 18\text{--}28\%$ в зависимости от геометрии. Возбуждение подавалось на модуляторы от ВЧ-генератора Г4-154, причем на один из образцов непосредственно, а на второй через регулируемую линию задержки для формирования фазового сдвига и широкополосный усилитель. Напряжения на модуляторах $U_{\pm 2}$ контролировались ВЧ-вольтметрами, и величина индекса модуляции $m = \bar{k}a$ оценивалась по зависимости $K(U)$ для каждого из образцов и на всех использованных частотах ω . Кроме того, из зависимости $K(U)$ определялась степень когерентности модуляции α [6], находящаяся для всех частот в диапазоне 0,2–0,4, что позволяет с достаточной достоверностью пользоваться для интерпретации функцией (1).

Зависимость коэффициента модуляции K от расстояния между модуляторами L (дистанционный эффект) измерялась в диапазоне $L = 5\text{--}30$ см (рис. 1). На графике видна характерная осцилляционная зависимость. Было достигнуто удовлетворительное совпадение формы теоретической и экспериментальной кривых, однако измеренный период осцилляций значительно (\sim в 6 раз) меньше, чем следует из формулы (1). Это показывает, что простейшая модель (1) описывает рассматриваемые эффекты лишь качественно. Отметим, что размах нерегулярностей в экспериментальной кривой значительно превышает уровень 3σ . Их наличие может объясняться тем, что в условиях частично когерентной модуляции результатом усреднения множителя $\exp(-ik_0 \vec{r}_i)$ в [4], где \vec{k}_0 – волновой вектор ультразвука, \vec{r}_i – радиус-вектор i -го резонансного ядра, не является дельта-функция. Учесть этот факт можно введением в эффективный фазовый угол θ слагаемого $k_0 L$. Результирующая функция (рис. 1, б) в большей степени совпадает с экспериментальными данными. Недостаточно хорошее совпадение теоретической и экспериментальной кривых при малых L , видимо, объясняется реализацией в этой области так называемой „плохой геометрии“, т.е. рассеянные волны не являются здесь плоскими.

Фазовые зависимости (рис. 2) были получены с помощью введения регулируемой временной задержки в сигнал возбуждения между первым и вторым модуляторами. Удовлетворительное совпадение теории и эксперимента имеется и в этом случае. В частности, реализуется полученное в [4] предсказание, что максимумы фазовой зависимости должны наблюдаться при $\Delta\varphi = \pm \pi/2$. Существование рассмотренных эффектов определяется наличием интерференции между падающим и неупруго рассеянным резонансным γ -излучением, т.е. рассеяние в таких мишенях имеет когерентный характер.

Рассмотренные в настоящей статье эксперименты по исследованию фазового и дистанционного эффектов подтверждают основные выводы теории и могут служить для поисков новых возможностей по управлению процессами взаимодействия жесткого излучения с веществом.

Авторы благодарят профессора В.Г. Барышевского за постановку задачи и И.В. Поликарпова за плодотворное обсуждение полученных результатов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Макаров Е.Ф., Митин А.В. // УФН. 1976. Т. 120. В. 1. С. 55-84.
- [2] Митин А.В. // Квантовая электроника. 1976. Т. 3. № 4. С. 840-843.
- [3] O g n j a n o v N.I., T s a n k o v L.T. // J. Physique (Paris). 1983. V. 44. N 7. P. 865-870.
- [4] B a r y s h e v s k y V.G. // J. Phys.: C. 1985. V. 18. P. 191-201.
- [5] B ö m m e l H.E. // Proc. 2-nd Int. Conf. Mössb. Effect. J. Wiley and Sons. N.Y. 1962. P. 229-232.
- [6] Л о б к о А.С., Р у б а ц к а я Е.Е. // Изв. АН БССР (сер. физ.-мат. наук). 1988. №3. С. 90-93.

Научно-исследовательский институт
ядерных проблем при
Белорусском государственном
университете им В.И. Ленина

Поступило в Редакцию
28 августа 1989 г.
В окончательной редакции
8 декабря 1989 г.