

## ЭФФЕКТ АСИММЕТРИИ ФОНА В МЕССБАУРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ПОЛНОМ ВНЕШНЕМ ОТРАЖЕНИИ

*М.А.Андреева, Г.Н.Белозерский<sup>1)</sup>, О.В.Гришин<sup>1)</sup>, С.М.Иркаев<sup>2)</sup>,  
В.И.Николаев<sup>2)</sup>, В.Г.Семенов<sup>1)</sup>*

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
119899, Москва*

*<sup>1)</sup>Санкт-Петербургский университет  
199164, Санкт-Петербург*

*<sup>2)</sup>Институт аналитического приборостроения АН СССР  
198103, Санкт-Петербург*

Поступила в редакцию 25 ноября 1991 г.

Экспериментально обнаружено необычное поведение базовой линии для мессбауэровских спектров конверсионных электронов в условиях полного внешнего отражения. Наблюдаемая асимметрия "хвостов" спектра объясняется возникновением резонансной зависимости у выхода фотоэлектронов.

В настоящее время исследования по мессбауэровской оптике скользящего падения преобретают все большую актуальность. Прежде всего, наметилась реальная возможность резонансной сверхмонокроматизации синхротронного излучения с помощью многослойных покрытий и мессбауэровских зеркал <sup>1,2</sup>. Другая не менее важная часть исследований связана с попытками создания нового метода изучения поверхности: мессбауэровская спектроскопия при скользящих углах падения в условиях полного внешнего отражения дает возможность получать информацию о профилях распределения сверхтонких взаимодействий в ультратонких поверхностных слоях и пленках  $\sim 1 \div 50$  нм. Селективность по глубине мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов при варьировании угла скольжения по меньшей мере лучше на порядок, чем та, что достигается за счет энергоанализа вылетающих электронов. Это подтверждено недавними экспериментальными исследованиями <sup>3,4</sup>.

Взаимодействие мессбауэровского излучения с резонансными ядрами вблизи поверхности в условиях полного внешнего отражения существенно усложняется, что приводит к нетривиальным особенностям мессбауэровских спектров конверсионных электронов. Одна из таких особенностей нами была обнаружена экспериментально, что и составляет предмет данной работы.

На рис.1 представлены экспериментальные мессбауэровские спектры конверсионных электронов в условиях полного внешнего отражения (*а, б*) и спектры зеркального отражения (*в, г*) от пленки металлического железа, обогащенного до  $\sim 90\%$  <sup>57</sup>Fe, толщиной  $\sim 40$  нм, напыленной в вакууме на бериллиевую подложку, для двух различных углов скольжения падающего излучения  $\theta = 3,5$  и  $4,2$  мрад. Измерения проводились на спектрометре SM 2101 TER. Детали экспериментальной установки описаны в <sup>4</sup>. Поскольку эти спектры сняты в большом интервале скоростей, на них легко заметить, что базовая линия справа и слева от резонансной области асимметрична, причем ее асимметрия изменяет знак при переходе через критический угол  $\theta_c$  (для металлического железа  $\theta_c \cong 3,8$  мрад.) При дальнейшем увеличении  $\theta$  асимметрия базовой линии исчезает.

Расчет резонансного спектра выхода конверсионных электронов в условиях полного внешнего отражения <sup>4</sup>, правильно описывая характерные особенности

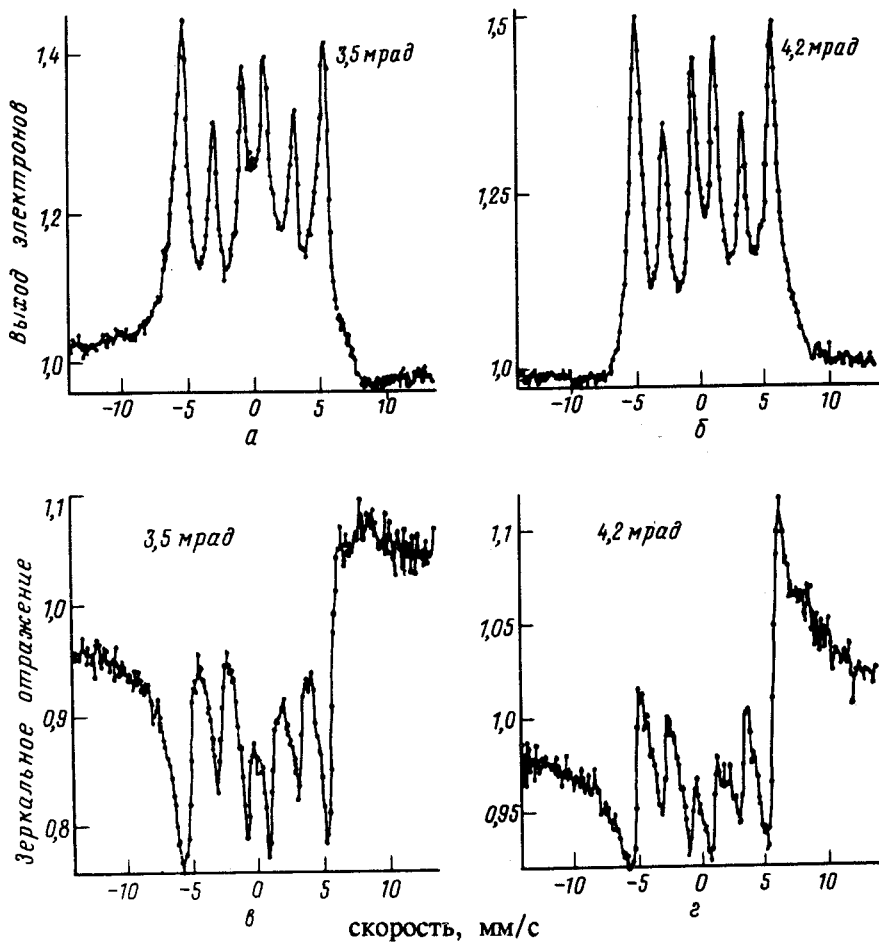


Рис. 1. Экспериментальные мессбауэровские спектры конверсионных электронов в условиях полного внешнего отражения (а, б) и мессбауэровские спектры зеркального отражения (в, г) для углов скольжения  $\theta = 3,5$  и  $4,2$  град. Спектры нормированы на скорость при  $v = \infty$

изменения формы спектра с углом скольжения, не описывал асимметрии "хвостов" экспериментального спектра.

Наблюдаемый необычный эффект может быть объяснен с учетом возникновения резонансной зависимости у нерезонансного фона. Обычно в мессбауэровской спектроскопии фон может влиять лишь на величину относительного эффекта, но никак не изменяет форму спектра. В условиях полного внешнего отражения ситуация радикально меняется. Структура поля излучения в среде зависит от амплитуды зеркально отраженной волны, имеющей сильную резонансную зависимость, поэтому резонансную зависимость приобретает и выход фотоэлектронов.

Расчет для простейшей модели однослойной среды, характеризуемой одиночным резонансом (ширина линии  $\Gamma \cong 6\Gamma_0$ ,  $\Gamma_0$  - естественная ширина линии; амплитуда линии  $A \cong 0,3A_0$ ,  $A_0$  - амплитуда нерасщепленной линии, остальные параметры соответствуют металлическому железу) подтверждает наблюдаемую закономерность поведения "хвостов" мессбауэровских спектров конверсионных электронов в условиях полного внешнего отражения - рис.2а-г.

При  $\theta < \theta_c$  глубина проникновения излучения в среду заведомо меньше

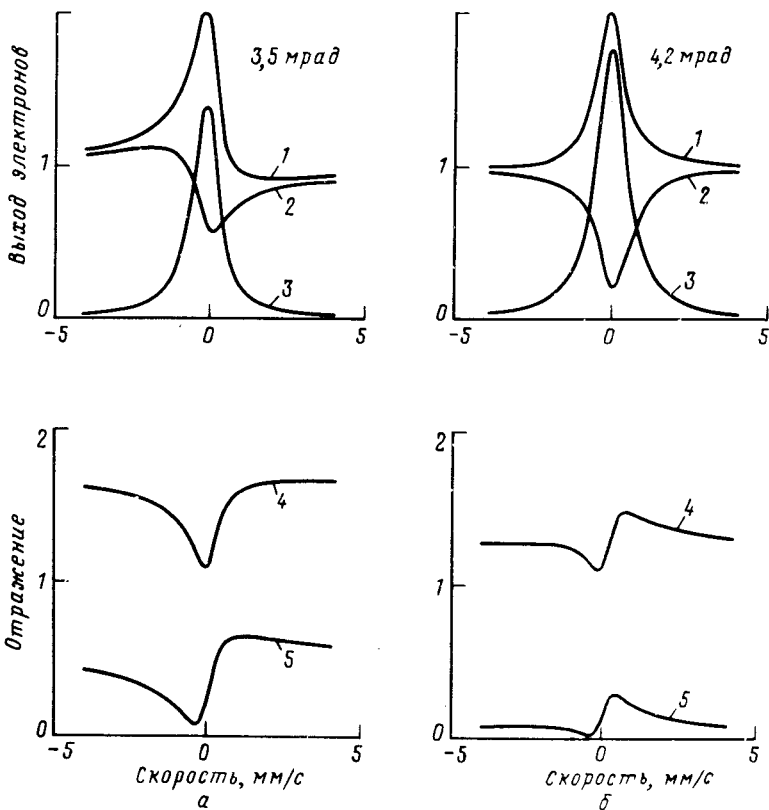


Рис. 2. Модельные расчеты энергетических зависимостей суммарного выхода электронов (1), выхода фотоэлектронов (2), выхода конверсионных электронов (3), амплитуды поля на поверхности (4) и коэффициента зеркального отражения (5) для углов скольжения  $\theta = 3,5$  (а) и  $4,2$  град. (б). Кривые 1, 2 и 3 нормированы на значения этих функций при  $v = \infty$ , постоянная составляющая фона учитывается частично; кривые 4, 5 нормированы на падающую волну

толщины пленки и глубины выхода фотоэлектронов, так что все излучение, которое не отразилось, может быть преобразовано в регистрируемое вторичное излучение. При этом зависимость выхода нерезонансных фотоэлектронов от энергии напоминает по форме перевернутую энергетическую кривую зеркального отражения: выход фотоэлектронов больше там, где коэффициент зеркального отражения меньше. Заметим, что такой эффект на угловых зависимостях выхода флуоресцентного излучения (вторичного излучения с большой глубиной выхода) в области полного внешнего отражения наблюдался в <sup>5,6</sup>.

При  $\theta > \theta_c$  глубина проникновения излучения резко возрастает и становится сопоставимой с глубиной выхода фотоэлектронов и толщиной пленки. При этом резонансная кривая выхода фотоэлектронов становится более чувствительной к амплитуде поля излучения вблизи поверхности, то есть выход фотоэлектронов становится больше в той области, где больше амплитуда поля на поверхности. Асимметрия "хвостов" изменяет знак. Аналогичная зависимость выхода фотоэлектронов с малой глубиной выхода от амплитуды поля на поверхности (всплеск вблизи  $\theta_c$  на угловых зависимостях) наблюдалась в работах <sup>7-9</sup>.

Отметим, что хотя особенности выхода вторичного излучения при полном внешнем отражении рентгеновского излучения сейчас известны <sup>5-10</sup>, эти данные не привлекались для интерпретации мессбауэровских спектров конвер-

сионных электронов в условиях полного внешнего отражения, так как сечение фотопоглощения существенно меньше сечения резонансного поглощения.

Величина асимметрии "хвостов" существенно зависит от соотношения величин выхода конверсионных и фотоэлектронов. Теоретический расчет этого соотношения сложен в многокомпонентных системах с учетом размножения электронов различных энергетических групп. В расчетах, результаты которого приведены на рис.2, принято, что выход фотоэлектронов составляет десятую часть выхода конверсионных электронов в точном резонансе.

Наблюдаемая величина асимметрии "хвостов" экспериментального спектра свидетельствует, что при исследованиях мессбауэровских спектров конверсионных электронов в условиях полного внешнего отражения даже для обогащенных образцов нельзя пренебрегать выходом фотоэлектронов. В условиях когерентного взаимодействия мессбауэровского излучения с резонансной средой при полном внешнем отражении или динамической мессбауэровской дифракции резонансная зависимость фона может существенно исказить форму спектра и изменить интерпретацию результатов.

- 
1. Hannon J.P., Trammell G.T., Mueller M. et al., *Phys. Rev. Lett.*, 1979, 43, 636.
  2. Чумаков А.И., Смирнов Г.В., Андреев С.С. и др., *Письма в ЖЭТФ*, 1991, 54, 220.
  3. Frost J.C., Cowie D.C.C., Chapman S.N., Marshall J.P., *Appl. Phys. Lett.*, 1985, 47, 581.
  4. Andreeva M.A., Belozerskii G.N., Irkaev S.M. et al., *Phys. Stat. Sol. (a)*, 1991, 127, 315.
  5. Yoneda Y., *Phys. Lett. A.*, 1980, 76, 152.
  6. Becker R.S., Golovchenko J.A., Patel J.R., *Phys. Rev. Lett.*, 1983, 50, 153.
  7. Henke B.L., *Phys. Rev. A*, 1972, 6, 94.
  8. Соломин И.К., Круглов М.В., *ФГТ*, 1984, 26, 519.
  9. Чумаков А.И., Смирнов Г.В., *ЖЭТФ*, 1985, 89, 1810.
  10. Желудева С.И., Ковальчук М.В., Лагомарзино С. и др., *Письма в ЖЭТФ*, 1991, 52, 804.