

8. Sarkisyan L. A. Higher energies of meson facilities in perspective.— Nuclear Instruments and Methods, 1977, 142, p. 393—397.
9. Craddock M. K., Kost C. J., Richardson J. R. A ring cyclotron kaon factory.— IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1979, NS-26(2), p. 2065—2069.
10. John W. Present and future developments at S.I.N.— IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1979, NS-26(2), p. 1950—1957.

Поступила в редакцию
18.09.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980, т. 21, № 5

УДК 539.17.014

О. В. БОРМОТ, Ю. В. МЕЛИКОВ, В. А. РЯБОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕНИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ КРИСТАЛЛА ПРИ СМЕЩЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ЧАСТИЦ

В процессе разработки метода измерения времен жизни возбужденных ядерных состояний, основанного на эффекте теней, возникают различные проблемы. Удобным средством их исследования являются резонансные ядерные реакции с возбуждением изолированного состояния составного ядра. Связано это с возможностью точной фиксации глубины слоя кристалла, в котором протекает реакция, и плавного изменения глубины путем регулирования энергии ускоренных частиц. В частности, с помощью резонансных реакций можно, в принципе, изучать влияние смещения за время жизни составного ядра из узла кристаллической решетки на форму тени в условиях, когда толщина слоя кристалла, через который проходят частицы — продукты реакции, настолько мала, что не успевает установиться статистическое равновесие в фазовом пространстве поперечного движения. Подобные ситуации привлекают внимание в связи с поисками возможностей повышения чувствительности метода и расширения диапазона доступных измерению времен жизни в сторону меньших значений [1].

Однако на пути экспериментального исследования этих явлений стоит ряд трудностей, связанных с несовершенством структуры приповерхностных слоев и недостаточной радиационной стойкостью кристалла, малой величиной выхода реакции в случае представляющих наибольший интерес узких резонансов и др. Поэтому в данной работе применен метод численного моделирования на ЭВМ процесса прохождения заряженных частиц через тонкие слои кристалла. Этим методом изучалось влияние толщины слоя на такие параметры тени, чувствительные к смещению составного ядра из узла решетки, как $\chi_{\text{мин}}$ — интенсивность в минимуме углового распределения и $\Delta\psi$ — смещение центра осевой тени относительно направления кристаллографической оси.

Проводилось численное моделирование траекторий заряженных частиц, падающих на кристалл под небольшим углом к кристаллографической оси, и вычислялась вероятность их взаимодействия с ядрами, смещенными из узлов решетки кристалла, т. е. использовалась геометрия «обратной тени». Распределение смещения ядер задавалось в виде суперпозиции гауссовой функции и экспоненты, что отражает тепловые колебания ядер и смещение составного ядра за время его жизни под действием импульса частицы, вызвавшей реакцию.

Расчет проводился применительно к резонансной реакции (p, α) на монокристалле алюминия. Ширина резонанса ~ 650 эВ соответствовала толщине слоя, в котором протекает реакция ($\Delta L = 7,5$ нм). Резонансная область располагалась сначала непосредственно у поверхности кристалла, а затем постепенно заглублялась до 220 нм. Энергия α -частиц принималась равной 2 МэВ. Направление падения α -частиц варьировалось около кристаллографической оси $\langle 110 \rangle$ в плоскости (110). Величине среднего смещения ядер за счет импульса частиц, вызывающих реакцию, задавались значения $vt = 0; 0,02; 0,04$ нм. Для

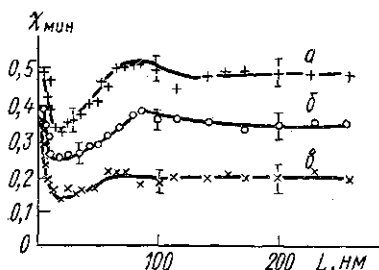


Рис. 1. Зависимость параметра $\chi_{\text{мин}}$ от глубины расположения резонансной области для среднего смещения составного ядра: 0,04 нм (а), 0,02 нм (б), без смещения (в)

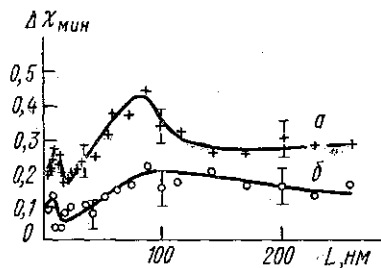


Рис. 2. Зависимость величины $\Delta\chi_{\text{мин}}$ от глубины расположения резонансной области для среднего смещения составного ядра: 0,04 нм (а) и 0,02 нм (б)

того чтобы величина интенсивности в минимуме углового распределения при $vt = 0$ соответствовала характерному экспериментальному значению $\chi_{\text{мин}} \approx 0,2$ [2], производился дополнительный разброс направлений α -частиц, моделирующий их рассеяние аморфной пленкой на поверхности кристалла. Поскольку рассматривались достаточно тонкие слои кристалла, энергетические потери α -частиц и многократное рассеяние на электронах не учитывались. Результаты расчетов зависимости параметра $\chi_{\text{мин}}$ от глубины расположения резонансной области для различных значений среднего смещения составного ядра vt приведены на рис. 1. Существенной особенностью полученных зависимостей является их осциллирующий характер. Наличие максимума при глубинах, близких к нулю, связано с рассеянием некоторых частиц атомами поверхности кристалла, которое предшествует захвату определенной доли частиц в режим каналирования. Дальнейшие вариации $\chi_{\text{мин}}$ с глубиной являются следствием рассеяния частиц на атомах цепочек, окружающих ту, с которой произошло первое взаимодействие частиц при попадании в кристалл, а также результатом действия механизма фокусировки в поперечной плоскости [3]. Причем не исключено, что наблюдающийся на некоторой глубине максимум появляется вследствие усреднения по нескольким пикам в зависимости $\chi_{\text{мин}}$ от глубины.

На рис. 2 показано изменение с глубиной величины

$$\Delta\chi = \chi_{\text{мин}}(vt \neq 0) - \chi_{\text{мин}}(vt = 0),$$

которая несет основную информацию в экспериментах по определению времени жизни составного ядра методом эффекта теней. Как видно, величина $\Delta\chi$ также имеет хорошо выраженные осцилляции с глубиной. Поэтому одинаковые или близкие значения $\Delta\chi$ могут соответствовать различным величинам средних смещений vt и, следовательно, различ-

ным временам жизни составного ядра, если резонансная реакция протекает на разных глубинах. Так, в рассмотренном случае близкие значения $\Delta\chi$ имеем при $v\tau=0,04$ нм и глубине 14 нм и при $v\tau=0,02$ нм и глубине 84 нм. Результаты расчетов зависимости от глубины параметра $\Delta\psi$ — сдвига центра осевой тени при смещенном источнике относительно центра при несмещенном источнике — приведены на рис. 3. Особенностью полученных зависимостей является их немонотонный характер.

В приповерхностной области (до 70 нм) величина углового сдвига равнялась $\Delta\psi=0,2^\circ$ ($\psi_{1/2}=0,44^\circ$) для смещения источника $v\tau=0,02$ нм и $\Delta\psi=0,3^\circ$ ($\psi_{1/2}=0,39^\circ$) для смещения $v\tau=0,04$ нм ($\psi_{1/2}$ — полуширина тени). На возможность такого сдвига указывалось и ранее в теоретических [4] и экспериментальных [2] работах, в которых наблюдаемый сдвиг связывался со смещением источника излучений. Однако наличие осцилляций с глубиной приводит к тому, что одинаковые или близкие значения $\Delta\psi$ могут опять-таки соответствовать раз-

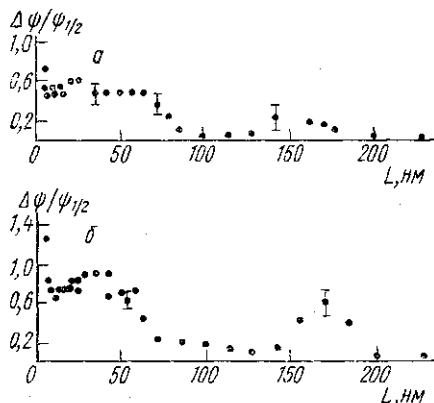


Рис. 3. Зависимость относительной величины углового сдвига центра осевой тени $\langle 110 \rangle$ алюминия от толщины кристалла L для случаев смещения источника: $v\tau=0,02$ (а) и $0,04$ (б) нм

личным величинам средних смещений $v\tau$ и, следовательно, различным временам жизни составного ядра, если резонансная реакция протекает на разных глубинах.

В связи со сказанным следует обратить внимание на два момента, которые могут иметь практическое значение. Во-первых, при извлечении значений времени жизни возбужденных состояний из прямых измерений методом эффекта теней в приповерхностных областях кристалла необходимо учитывать глубинные зависимости исследуемых параметров тени. Во-вторых, результаты настоящей работы указывают на принципиальную возможность повышения чувствительности метода измерения времен жизни, основанного на эффекте теней, путем такого выбора глубины протекания резонансной реакции, когда величины $\Delta\chi$ и $\Delta\psi$ достигают максимального значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меликов Ю. В., Тулинов А. Ф., Чеченин Н. Г. О возможности измерения более коротких времен жизни составных ядер методом эффекта теней.— Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон., 1976, 17, № 2, с. 224—227.
2. Бормот О. В., Гранкина Т. В., Гуртовенко Ю. Ф., Меликов Ю. В., Тулинов А. Ф. О новых элементах теневой картины, чувствительных к смещению составного ядра.— Тр. VI Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами. М., 1975, с. 285—289.
3. Barrett J. H. Breakdown of the statistical equilibrium hypothesis in channeling.— Phys. Rev. Lett., 1973, 31, p. 1542—1545.
4. Sona P. On the possibility of measuring the compound nucleus lifetime using the blocking effect.— Nuovo Cim. 1970, LXVI A, N 4, p. 663—674.

Поступила в редакцию
03.10.79