

ЛИТЕРАТУРА

1. Барышевский В. Р. Ядерная физика, 1966, т. 4, с. 1045.
2. Барышевский В. Г. Ядерная оптика поляризованных сред.— Минск, 1976.
3. Андреева М. А., Кузьмин Р. Н., Мессбауэровская гамма-оптика.— М., 1982.
4. Blum M., Klotner O.— Phys. Rev., 1968, vol. 171, p. 417.

Поступила в редакцию
08.04.83.

Кафедра ядерной физики и мирного
использования атомной энергии

УДК 539.1+539.2

О. М. АНШАКОВ, В. Л. ГУРАЧЕВСКИЙ,
А. Л. ХОЛМЕЦКИЙ, В. А. ЧУДАКОВ

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК С РЕГИСТРАЦИЕЙ КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В настоящее время заметно возрос интерес к мессбауэровской спектроскопии тонких поверхностных слоев и покрытий материалов [1]. Если традиционная методика измерений (геометрия прохождения) дает информацию об объемной структуре вещества и при этом накладывается ограничение на толщину образца (несколько десятков микрон при работе с изотопом ^{57}Co), то методика обратного рассеяния позволяет исследовать поверхностные слои, причем каких-либо ограничений на толщину образца не накладывается. Кроме того, в геометрии обратного рассеяния существует возможность варьирования диапазона глубины изучаемого поверхностного слоя, связанная с тем, что снятие возбуждения мессбауэровского ядра может осуществляться через несколько каналов с испусканием различных видов излучений, пробеги которых в веществе неодинаковы. Так, вероятность переизлучения гамма-кванта с энергией 14,4 кэВ 10 %, в 90 % случаев ядро передает энергию возбуждения конверсионному электрону, имеющему энергию 7,3 КэВ. Этот процесс сопровождается испусканием характеристического рентгеновского кванта с энергией 6,3 КэВ, который, в свою очередь, с вероятностью 63 % выбивает оже-электрон с энергией 5,6 КэВ. Диапазон исследуемой глубины поверхностного слоя определяется тем, какой из перечисленных видов излучений регистрируют. Например, пробеги гамма-квантов с энергиями 14,4 и 6,3 КэВ в железе составляют несколько десятков микрон, максимальный пробег конверсионных электронов $\sim 4000 \text{ \AA}$.

Регистрация обратно-рассеянных 14,4 и 6,3 КэВ гамма-квантов производится либо сцинтилляционным детектором с тонким ($\sim 1 \text{ мм}$) кристаллом NaI(Tl), либо аргоно-метановым пропорциональным счетчиком, либо германиевым полупроводниковым детектором.

Во многих случаях возникает необходимость изучения очень тонких поверхностных слоев ($\sim 10^2\text{--}10^3 \text{ \AA}$), например, при исследовании процессов поверхностного окисления материалов [2], механизмов радиационного повреждения веществ и т. д. [3, 4]. При этом следует регистрировать конверсионные и оже-электроны. Регистрация низкоэнергетических электронов сопряжена с определенными трудностями. Например, использование проточного He-метанового пропорционального счетчика ограничено узким диапазоном его рабочих температур, в то время как в мессбауэровских экспериментах зачастую требуются измерения в очень широком интервале температур. Регистрация электронов с помощью магнитных или электростатических систем с малой светосилой [5] приводит к значительному увеличению времени эксперимента.

В настоящей работе предложена сравнительно простая методика для регистрации конверсионных и оже-электронов ^{57}Fe при помощи сцинтилляционного детектора с тонким пластмассовым сцинтиллятором. На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки, реализующей предложенную методику. Детектор электронов включает в себя фотоэлектронный умножитель (ф. э. у.) 1 и тонкий пластмассовый сцинтиллятор 2. Исследуемый образец 3, толщина которого должна быть меньше пробега

гамма-квантов с энергией 14,4 КэВ, помещается вплотную на поверхность сцинтиллятора 2. Излучение источника ^{57}Co падает на поверхность образца 3. Источник приводится в возвратно-поступательное движение с помощью вибратора 5. Импульсы с выхода ф. э. у. 1 через усилитель 7 и дифференциальный дискриминатор 8 поступают на многоканальный анализатор 9, работающий во временном режиме. Переключение каналов анализатора осуществляется с помощью блока управления 6 синхронно с изменением скорости источника 4.

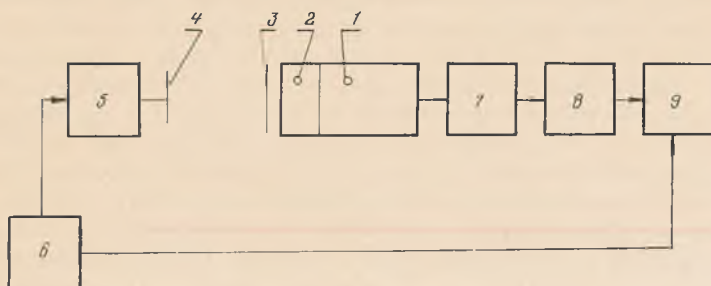


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

При резонансном возбуждении мессбауэровских ядер в образце 3 испускаются все перечисленные виды излучения (гамма- и рентгеновские кванты, конверсионные и оже-электроны). Сцинтилляционный детектор осуществляет в геометрии 2л регистрацию этих излучений со стороны поверхности образца, прилегающей к пластмассовому сцинтиллятору. Кроме того, часть гамма- и рентгеновских квантов, прошедших без взаимодействия через образец 3, также может регистрироваться детектором. Однако при достаточно малой толщине пластмассового сцинтиллятора эффективность регистрации гамма- и рентгеновского излучения близка к нулю, в то время как эффективность регистрации электронов близка к 100 % (в силу резкого различия пробегов гамма-квантов и электронов в веществе). В этом случае подавляющий вклад в регистрируемый спектр вносят конверсионные и оже-электроны, испускаемые из тонкого ($\sim 10^3 \text{ \AA}$) слоя вещества образца, прилегающего к поверхности пластмассового сцинтиллятора. Отметим, что по сравнению с обычной геометрией рассеяния, облучение исследуемого образца ведется «на просвет», поэтому на его толщину накладываются такие же ограничения, как и при измерении в геометрии прохождения — она не должна превышать нескольких десятков микрон.

Для изучения зависимости эффективности регистрации гамма- и рентгеновских лучей от толщины пластмассового сцинтиллятора было изготовлено несколько сцинтилляторов одинакового диа-

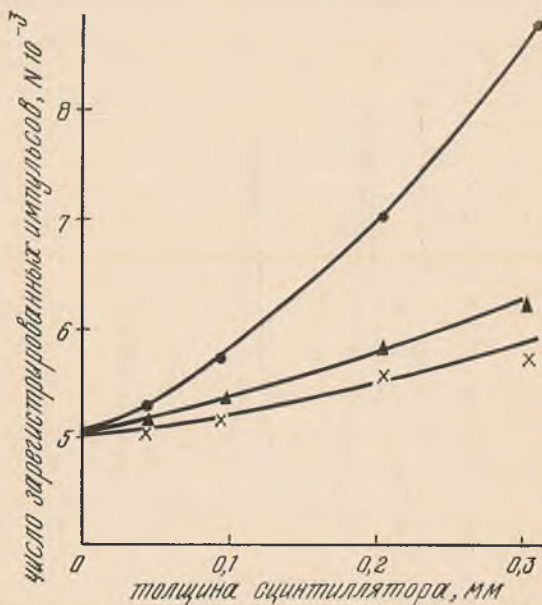


Рис. 2. Зависимости числа зарегистрированных импульсов N от толщины пластмассового сцинтиллятора:

O — геометрия измерения 1; ▲ — геометрия измерения 2; X — геометрия измерения 3

метра (2 см) и толщиной от 1,2 мм до 50 мкм. Для каждого сцинтиллятора измерялся амплитудный спектр выходных импульсов детектора при облучении источником ^{57}Co (геометрия измерений 1). Далее между источником и детектором прокладывался алюминиевый фильтр толщиной 0,2 мм, практически полностью поглощающий рентгеновские кванты с энергией 6,3 КэВ и мало влияющий на интенсивность линии с энергией 14,4 КэВ (геометрия измерений 2), а затем — медный фильтр толщиной 0,1 мм, поглощающий как 6,3 КэВ, так и 14,4 КэВ кванты (геометрия 3), и в обоих случаях измерялись амплитудные спектры выходных импульсов детектора при различных толщинах сцинтилляторов. Все измерения проводились за одно и то же время. При использовании сцинтиллятора толщиной 1,2 мм строились разностные спектры, полученные вычитанием амплитудных распределений импульсов, измеренных в геометриях 1,2 и 1,3. Очевидно, что эти разностные спектры представляют собой амплитудные распределения импульсов, соответствующих 6,3 и 14,4 КэВ квантам. Оба разностных спектра имели непрерывное распределение от нуля до некоторых максимальных значений, определяемых границами поглощения квантов с энергиями 6,3 и 14,4 КэВ. По положению этих границ проводилась калибровка амплитудной шкалы анализатора. Затем в амплитудных спектрах, полученных с помощью сцинтилляторов различных толщин в геометриях 1, 2, 3, выделялась энергетическая зона от 1 до 7,3 КэВ и подсчитывалось число импульсов, зарегистрированных в этой зоне. На рис. 2 представлены зависимости числа зарегистрированных импульсов в выделенной зоне за фиксированное время от толщины пластмассового сцинтиллятора. Верхняя кривая соответствует геометрии измерений 1, средняя кривая — геометрии измерений 2, нижняя — геометрии измерений 3. Полученные зависимости позволяют сделать вывод, что при толщине сцинтилляторов меньше 0,1 мм, эффективность регистрации гамма- и рентгеновских квантов с энергиями 14,4 и 6,3 КэВ пренебрежимо мала. Из рис. 2 видно, что при экстраполяции толщины сцинтиллятора к нулю, скорость счета выходных импульсов детектора стремится к некоторому постоянному значению, что обусловлено наличием собственных радиационных шумов ф. э. у., основной вклад в которые связан с процессами взаимодействия гамма-излучения

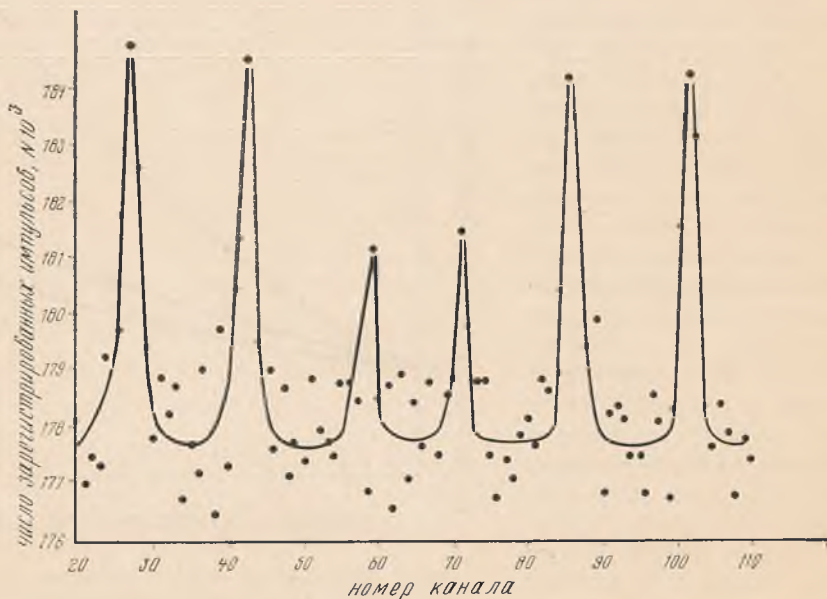


Рис. 3. Мессбауэровский спектр фольги из α -железа, измеренный по регистрации конверсионных электронов. Источник $^{57}\text{Co}(\text{Pd})$

источника ^{57}Co с конструктивными элементами входной камеры ф. э. у. [6], причем при использовании сцинтилляторов толщиной меньше 0,1 мм, радиационные шумы вносят определяющий вклад в фон.

По описанной методике измерен мессбауэровский спектр конверсионных электронов фольги из α -железа толщиной ~ 10 мкм с использованием пластмассового детектора толщиной 50 мкм (рис. 3). Активность источника ^{57}Co — 20 мкюри, время накопления спектра — 12 ч.

Немаловажным достоинством предложенного метода является простота его реализации, кроме того, возможность измерений при низких температурах и высокая эффективность регистрации электронов выгодно отличают предложенный метод от традиционных методик, связанных с применением He-метанового пропорционального счетчика и магнитных или электростатических систем. Отметим также, что описанный метод может иметь преимущество с точки зрения отношения эффект-фон по сравнению с методикой прохождения при исследовании образцов, толщины которых составляют $\approx 10^3$ Å.

В то же время толщина исследуемого образца не должна превышать характерной величины пробега мессбауэровских гамма-квантов (\sim несколько десятков микрон), что накладывает известные ограничения на возможные применения метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева М. А., Кузьмин Р. Н. Мессбауэровская гамма-оптика.— М.: 1982, с. 217.
2. Keune W., Genser U., Wollmar H.— In: Handbuch der zerstörungsfreien Materialprüfung, vol. 10 ed E. H. W. Müller. Oldenbourg-Verlag-München-Wien, 1974.
3. Picone P. J., Morrish A. H.— J. Appl. Phys., 1982, vol. 53(3), p. 2471.
4. Wagner F. E.— J. Phys., 1976, vol. 56A, p. 117.
5. Torigama T., Sanegoshi K., Hisatuke K.— J. Phys., 1979, vol. 40, № 3, collog. № 2, p. 14.
6. Аншаков О. М., Налибоцкий Б. В., Перцев А. Н., Холмечкий А. Л., Чудаков В. А.— ПТЭ, 1983, № 5, с. 44.

Поступила в редакцию
16.05.83.

Кафедра ядерной физики и мирного
использования атомной энергии

УДК 539.43

В. Г. БАРЫШЕВСКИЙ, С. В. ЧЕРЕПИЦА

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ПРЕЦЕССИЮ СПИНА НЕЙТРОНОВ

Прецессия спина нейтронов в постоянном однородном магнитном поле в условиях динамической дифракции нейтронов в немагнитном неполяризованном кристалле претерпевает существенные изменения [1, 2]. В этом случае имеет место явление многочастотной прецессии спина нейтронов в постоянном однородном магнитном поле.

В данной работе на основании теории [1, 2] исследовано влияние гравитационного поля Земли на прецессию спина нейтронов. Обнаружено, что гравитационное поле Земли заметно влияет на прецессию спина нейтронов, движущихся в кристалле, помещенном в постоянное магнитное поле в условиях динамической дифракции.

Так, например, добавочное изменение угла поворота спина нейтронов, пролетевших через монокристалл кремния толщиной 1 см, обусловленное гравитационным полем, составляет величину 0,5 рад при напряженности магнитного поля в области кристалла 10^4 Гс. В то же время в отсутствие дифракции добавочный угол поворота спина, обусловленный гравитационным полем, очень мал ($\Delta\nu = 10^{-4}$ рад).

В самом деле, пусть пучок нейтронов влетает в область, занятую постоянным однородным магнитным полем напряженностью \vec{H} . По мере прохождения в глубь указанной области спин нейтрона будет поворачи-