

УДК 537.2:539.1.87 : 548.7

© В. Н. Гитцович, С. М. Иркаев, Н. И. Комяк, Ю. Н. Мальцев, В. Г. Семенов

ПРЕЦИЗИОННЫЙ МЕССБАУЭРОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Описаны устройство, работа и функциональные возможности спектрометра, предназначенного для мессбауэровских исследований динамических процессов в конденсированных средах, как содержащих (режим селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра), так и не содержащих в своем составе (режим релеевского рассеяния мессбауэровского излучения) ядер резонансного изотопа. На примере экспериментов по селективному возбуждению приведены результаты исследований по оптимизации гамма-оптических схем спектрометра. Разнообразие этих схем обусловлено особенностями детекторов, применяемых для регистрации рассеянного излучения. Показано, что введение в схему экспериментов по селективному возбуждению резонансных детекторов приводит к увеличению чувствительности, точности и сокращению времени этих экспериментов до 10 раз. Спектрометр оснащен двумя системами доплеровской модуляции, которые могут работать в синхронном и асинхронном режимах. Точность настройки на требуемое значение постоянной скорости и отработки заданного закона движения составляет 0,04 %. Спектрометр позволяет сделать новый шаг вперед в исследованиях динамических процессов.

ВВЕДЕНИЕ

Основными методами исследования динамических процессов при взаимодействии ядра с электронной оболочкой на протяжении ряда лет являлись ядерный магнитный (ЯМР) и электронный парамагнитный (ЭПР) резонансы. Метод мессбауэровской спектроскопии, благодаря высокой чувствительности к особенностям сверхтонких взаимодействий между ядром и его окружением, значительно расширил диапазон исследуемых веществ, а в ряде случаев стал уникальным методом для изучения этих явлений.

Большинство экспериментальных работ [1–6], в которых методом мессбауэровской спектроскопии изучались различные динамические процессы (например, диффузия, парамагнитная, спин-спиновая, спин-решеточная релаксации и т.п.), были выполнены в обычной геометрии пропускания. Эта методика достаточно проста, однако в ряде случаев она приводит к результатам, в которых возникают сложности при выделении вкладов от динамических процессов в суммарный спектр. Например, в случае медленной релаксации спектр на пропускание характеризуется только уширением линий [7]. Однако причиной уширения могут служить также аппаратные эффекты, конечная толщина исследуемого объекта, неоднородность, неразрешенные электрическое и магнитное сверхтонкие взаимодействия, что приводит к неоднозначности в интерпретации спектров.

Эти трудности могут быть преодолены при использовании метода селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра [8–14].

Физической основой этого метода служит воз-

буждение определенного подуровня сверхтонкой структуры ядра и последующий энергетический анализ рассеянного исследуемым образцом излучения с помощью резонансного фильтра-анализатора.

Измеренный в этом случае мессбауэровский спектр несет в себе информацию о процессах в твердом теле, происходящих за время жизни ядра: если за это время ядро успевает обменяться энергией с окружающей средой, то энергия переизлученного гамма-кванта будет отличаться от энергии гамма-кванта, возбуждающего ядро. Поэтому из спектров селективного возбуждения может быть получено прямое доказательство существования, определена скорость и кинетика динамических процессов.

Диапазон времен релаксации τ_R , которые можно исследовать при помощи этого метода, находится в области среднего времени жизни ядра в возбужденном состоянии τ (например, для изотопа ^{57}Fe τ составляет 10^{-8} с).

Если время релаксации очень мало (τ_R много меньше τ) — достигается равная заселенность между подуровнями и спектр рассеяния становится нечувствительным к изменениям в τ_R . При τ_R много больше τ за время жизни ядра не происходит заметного перераспределения энергии, и дополнительные линии в спектре рассеянного излучения становятся очень слабыми для наблюдения.

Обычно используемая гамма-оптическая схема экспериментов по селективному возбуждению показана на рис. 1, а.

Для проведения экспериментов по селективному возбуждению необходимо использование двух доплеровских модуляторов. Источник S,

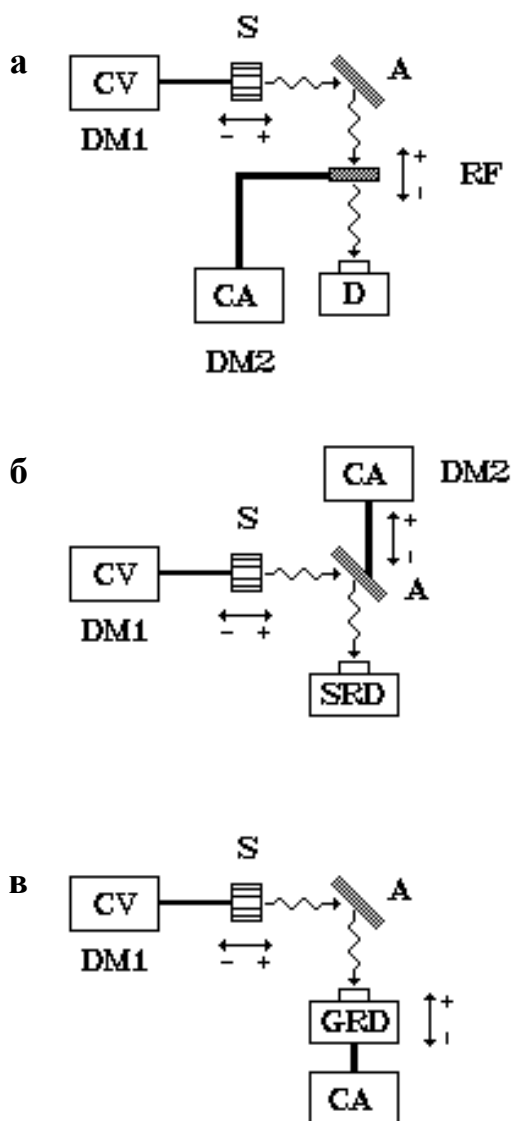


Рис. 1. Гамма-оптические схемы экспериментальных установок для наблюдения селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра: а — традиционная, б — с использованием резонансного сцинтилляционного детектора SRD и в — с использованием газового резонансного детектора GRD

служащий для возбуждения выбранного подуровня возбужденного состояния в исследуемом образце А, жестко закрепляется на первый доплеровский модулятор DM1, движущийся с постоянной скоростью. Спектральный анализ резонансно-рассеянного излучения проводится с помощью фильтра-анализатора RF, имеющего узкую одиночную линию и приводимого в движение вторым доплеровским модулятором DM2, работающим в режиме постоянного ускорения.

Впервые спектрометрия селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра была реализована в работах [8–9]. В работе [8] описана лабораторная установка, представляющая собой

комбинацию двух мессбауэровских спектрометров [10], системы движения которых независимы, а канал регистрации гамма-излучения объединен. Использование независимой системы движения источника, по мнению авторов [8–10], имеет принципиальное значение, так как любые повторяющиеся от периода к периоду неоднородности относительной скорости источник–рассеиватель, оказываются однозначно связанными с соответствующими каналами многоканального накопителя. В результате этого в мессбауэровском спектре рассеянного излучения наблюдается паразитная модуляция, отражающая все неоднородности относительной скорости. Причинами таких неоднородностей обычно являются: несовершенство системы движения и сложность прецизионной настройки на требуемую постоянную скорость. В описанном спектрометре для устранения паразитной модуляции было использовано движение источника и поглотителя с различными некрратными частотами. При этом специальное коммутирующее устройство открывало вход многоканального накопителя только на те промежутки времени, когда скорость источника была строго постоянна.

В работе [11] описана установка для исследования селективного возбуждения, созданная на базе двух спектрометров ЯГРС-4М, в которых были изменены схемы управления движением, причем работа обоих доплеровских модуляторов была строго синхронизована.

Методические вопросы селективного возбуждения подробно рассмотрены в исследованиях Б. Балко и Г. Хоя [7, 12–14], где проводился теоретический анализ экспериментальной формы линии и получены экспериментальные данные, показывающие возможности метода при характеристике динамических процессов.

Несмотря на очевидные преимущества метода селективного индуцирования по сравнению с методом мессбауэровской спектрометрии на пропускание, он до настоящего времени не нашел широкого применения. Основной причиной этого является отсутствие серийного спектрометра, в котором были бы эффективно преодолены проблемы, возникающие при постановке экспериментов по селективному возбуждению.

Основная трудность в исследованиях такого рода заключается в слабой светосиле эксперимента: интенсивность рассеянного в заданный телесный угол гамма-излучения очень мала и становится еще меньше из-за потерь, обусловленных внутренней конверсией и поглощением излучения при прохождении через фильтр-анализатор. Более того, соотношение сигнал/шум, определяемое произведением вероятностей резонансного излучения и поглощения на квадрат вероятности резонансного рассеяния, где каждый из сомножителей меньше единицы, имеет очень малую величину, и для

получения качественного спектра требуется проведение долговременных измерений (средняя продолжительность эксперимента составляет десятки дней). Для преодоления этих трудностей предлагались следующие решения: использовать в экспериментальных исследованиях мощные радиоактивные источники (активностью не менее 100 мКи), максимально обогатить исследуемое вещество и фильтр-анализатор резонансным изотопом, оптимально защитить детектор от постороннего излучения, минимизировать расстояния между источником, исследуемым веществом и детектором и обеспечить долговременную стабильность аппаратуры.

В настоящей работе описан автоматизированный мессбауэровский спектрометр, предназначенный для исследования селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра и отличающийся от существующих лабораторных установок тем, что для регистрации резонансно-рассеянного излучения используются резонансные детекторы, что позволяет при энергетическом анализе рассеянного излучения отказаться от применения фильтра-анализатора, повысить чувствительность и уменьшить время измерений.

Следует также отметить, что гамма-оптические схемы разработанного спектрометра позволяют проводить высокочувствительные и экспрессные исследования процессов когерентного релеевского рассеяния мессбауэровского излучения. Это расширяет функциональные возможности и области применения прибора при изучении таких динамических процессов, связанных с атомными и моле-

кулярными движениями в диапазоне частот 10^7 – 10^9 с⁻¹, как фононные спектры, диффузия, низкочастотные возбуждения вблизи фазовых переходов, ближний порядок в жидкостях, биологических объектах, аморфных телах, монокристаллах и т.д. В этом случае объектами исследования могут служить вещества как содержащие, так и не содержащие в своем составе ядра резонансного изотопа.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СПЕКТРОМЕТРА

Основными требованиями, которые предъявляются к мессбауэровскому спектрометру, предназначенному для исследований с помощью метода селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра, являются: а) простота и надежная настройка на резонансную линию; б) максимальная оптимизация условий эксперимента с помощью специальных коллиматоров-насадок и фильтров; в) возможность смены образца без нарушения геометрии эксперимента; г) долговременная стабильность — надежная работа всех блоков и узлов в течение длительного времени.

Блок-схема мессбауэровского спектрометра приведена на рис. 2. Спектрометр состоит из аналитической стойки и электронной части.

Аналитическая стойка спектрометра состоит из виброгасящей платформы и амортизационной системы. На платформе размещаются: доплеровские модуляторы (DM1, DM2), коллимирующие уст-

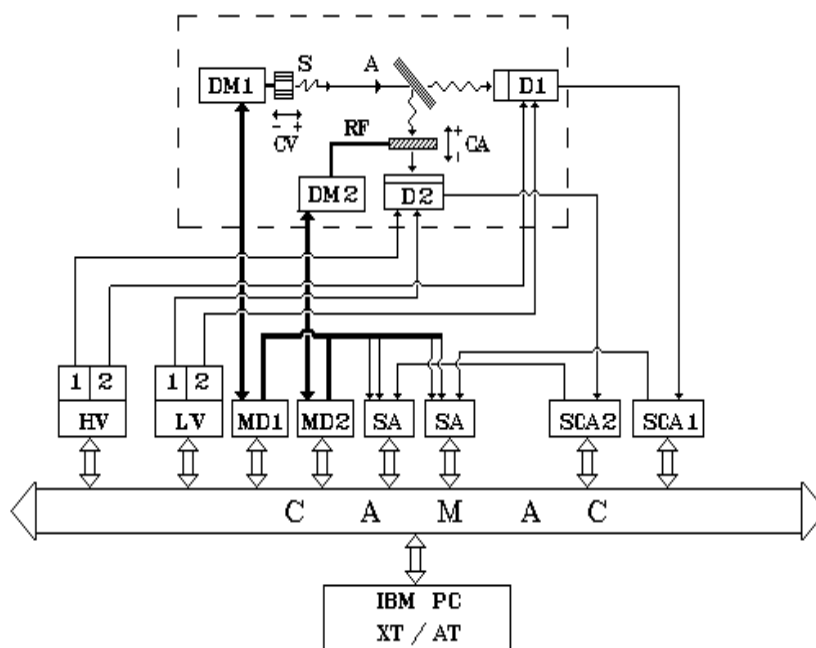


Рис. 2. Блок-схема мессбауэровского спектрометра

ройства, гониометрическое устройство для установки исследуемого образца и детекторы с предусилителями (D1, D2).

Гониометрическое устройство позволяет при повороте образца на угол ϑ автоматически поворачивать детектор на угол 2ϑ .

Электронная часть спектрометра содержит систему управления и накопления спектрометрической информации и систему обработки данных.

Система управления и накопления спектрометрической информации представляет собой: два драйвера модуляторов (MD1, MD2), два дискриминатора (одноканальные амплитудные анализаторы) со встроенными усилителями (SCA1, SCA2), двухканальный блок стабилизированных напряжений (LV), двухканальный высоковольтный источник питания детекторов (HV), два специализированных многоканальных накопителя (SA1, SA2), контроллер крейта CAMAC и адаптер IBM-CAMAC.

В качестве управляющего компьютера используется компьютер типа IBM PC.

Рис. 2 соответствует наиболее простой гамма-оптической схеме эксперимента по селективному возбуждению. Радиоактивный источник S помещается на подвижную часть доплеровского модулятора DM1, которая перемещается в режиме постоянной скорости CV. Резонансный анализатор-фильтр (RF) устанавливается на второй доплеровский модулятор DM2, работающий в режиме постоянного ускорения CA. Драйверы модуляторов MD1 и MD2 генерируют соответствующие сигналы для DM1 и DM2, заставляя их колебаться в соответствии с заданными законами движения, причем работа вибраторов DM1 и DM2 строго синхронизирована. Один из драйверов модуляторов, например MD1, являющийся ведущим, выдает

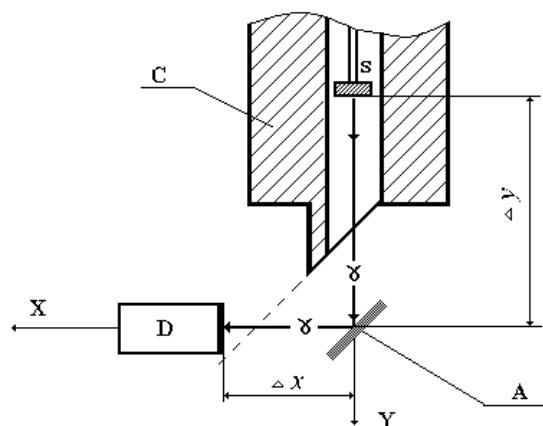


Рис. 3. Общий вид геометрии оптимизационного эксперимента

стартовые и каналные импульсы для многоканальных накопителей.

Сигналы от гамма-квантов, зарегистрированных детекторами, попадают в предусилители, вмонтированные в корпуса детекторов. После усиления и формирования импульсы с предусилителей поступают на входы встроенных в дискриминаторы усилителей.

Выделенные по амплитуде и нормализованные импульсы с выходов дискриминаторов подаются для пересчета на информационные входы накопителей.

Точное соответствие между рабочей частью цикла движения и каналами накопителей обеспечивается стартовыми и каналными импульсами.

Высоковольтные напряжения для детекторов подаются с модуля HV, а стабилизированные низковольтные напряжения для предусилителей обеспечиваются модулем LV.

Цикл накопления начинается с приходом стартового импульса и прекращается после прохождения 4096 каналных импульсов.

Специальная программа управления и обработки данных позволяет обеспечить автоматическую работу спектрометра в трех режимах: режиме амплитудного анализа и двух режимах измерения мессбауэровского спектра (сканирование с постоянной скоростью и с постоянным ускорением).

В этих случаях она позволяет устанавливать: величину высокого напряжения на модуле HV, параметры дискриминатора, закон перемещения, диапазон изменения и направление скорости для доплеровских модуляторов, номер ячейки памяти многоканального накопителя и ее содержимое, а также обеспечивает визуализацию на экране монитора амплитудного или мессбауэровского спектра.

Пакет математической обработки данных, входящий в программное обеспечение спектрометра, предназначен для проведения подгонки экспериментально измеренных результатов методом наименьших квадратов.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГАММА-ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ

Как было отмечено выше, постановка мессбауэровских экспериментов по рассеянию требует тщательного выбора оптимальной геометрии. Эта задача сводится, во-первых, к выбору условий коллимации падающего и рассеянного пучков и необходимости обеспечения надежной защиты детектора от прямого излучения источника, т. е. к максимальному снижению фонового счета.

На рис. 3 представлен общий вид геометрии оптимизационного эксперимента. Незначительной, на первый взгляд, особенностью является то,

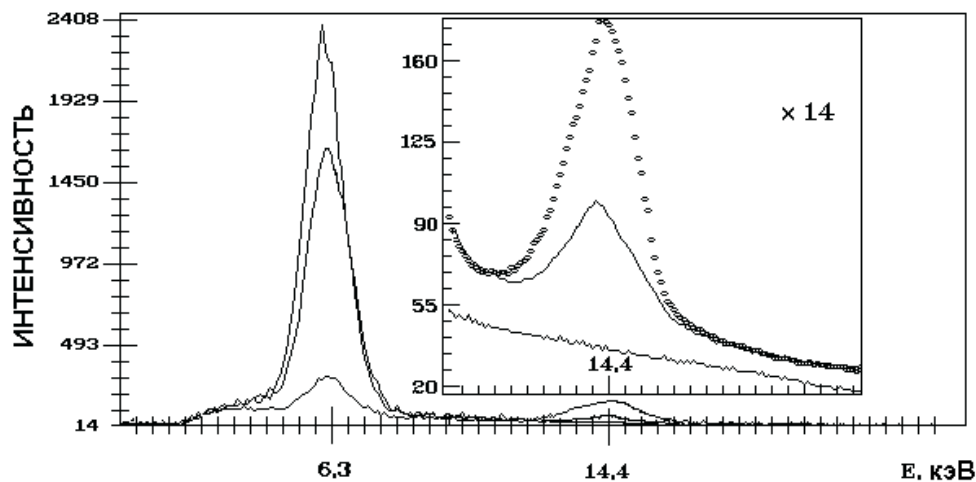


Рис. 4. Амплитудные спектры перерассеянного излучения

что коллиматор С, внутрь которого помещается колеблющийся источник, имеет на выходе скошенный участок. Наличие этого скоса приводит к тому, что рассеянные стенками коллиматора гамма-кванты не попадают в детектор.

Второй особенностью геометрии экспериментов по селективному возбуждению является максимальное сближение детектора, рассеивателя и источника, т. е. минимизация расстояний Δx и Δy .

Как показали эксперименты, это приводит к заметному возрастанию наблюдаемой величины эффекта.

Сравнительный анализ геометрии эксперимента можно проводить по крайней мере двумя способами. Первый, очевидный, но весьма трудоемкий, заключается в регистрации мессбауэровских спектров одного и того же образца для разных вариантов геометрии и с последующим сравнением их. Другой способ, существенно более экспрессный, состоит в регистрации лишь амплитудных спектров для двух значений скорости относительного движения: для скорости V_0 , точно равной резонансной, и для скорости V_1 , намного отличающейся от резонансной. Сравнение таких амплитудных спектров не только дает возможность оценить качество геометрии, но и определить пути ее улучшения.

Для оптимизации геометрии нами был выбран второй способ.

В качестве примера на рис. 4 представлены три амплитудных спектра для оптимального варианта геометрии эксперимента. В качестве детектора использовался пропорциональный газовый детектор. Время набора спектров было одинаковым.

Спектр с минимальной интенсивностью получен в отсутствие рассеивателя. Средний спектр — результат рассеяния от фольги металлического

железа толщиной 9 мкм, обогащенной до 90 % изотопом ^{57}Fe . При этом доплеровская скорость источника равна V_1 . Спектр с наибольшей интенсивностью набора соответствует рассеянию резонансных гамма-квантов от той же фольги, но при $V = V_0$. Такой вариант геометрии эксперимента и был оставлен для последующих измерений.

Рассмотрим теперь вопрос о настройке на резонансную скорость с точки зрения отработки заданного закона движения с определенной точностью, достаточной для уверенного наблюдения эффекта.

О наблюдении явления релаксации по спектрам селективного возбуждения, на наш взгляд, можно судить, если в спектре имеется линия с величиной эффекта не менее 2 %. Рассмотрим пример настройки на резонансную скорость, приняв, что величина эффекта составляет 2 %. На рис. 5 приведены форма линии мессбауэровского спектра в виде функции Лоренца (рис. 5, а) и производная от этой функции (рис. 5, б). Ширина линии на полувысоте принята равной 250 мкм/с. По форме производной можно определить три наиболее критические точки: 1 — точная настройка на резонансную скорость (производная равна нулю), 2 и 2' — настройка вне резонанса (производная максимальна по модулю и равна ± 1). Перенеся эти точки на рис. 5, а, получим, что в случае 1 величина эффекта будет составлять 100 %, а в случаях 2 и 2' — 70 %. Оценим теперь точность настройки в том и другом случаях. Как следует из этого рисунка, при настройке на резонансную скорость (случай 1), для наблюдения изменения величины эффекта в 2 %, точность настройки должна быть ± 18 мкм/с, а в случае попадания на склон линии (случаи 2 и 2') точность настройки уже должна составлять величину $\pm 1,9$ мкм/с, что приводит к тому, что при

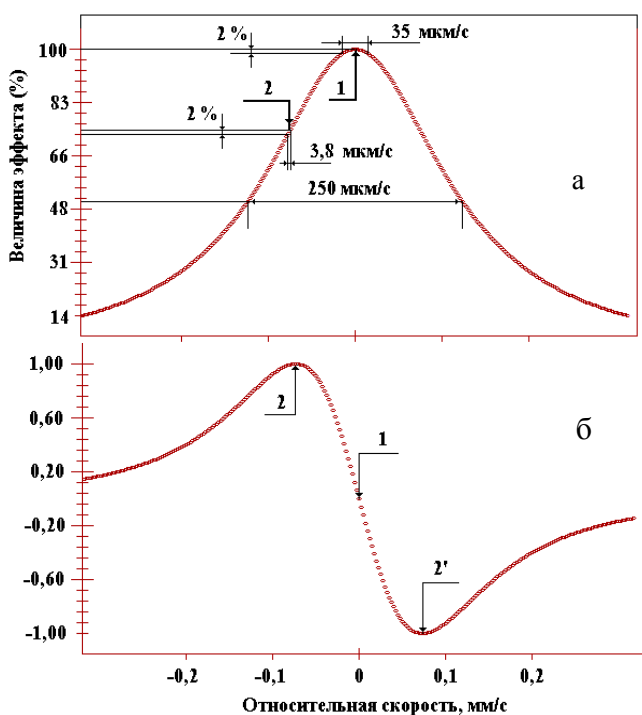


Рис. 5. Линия мессбауэровского спектра (а) и ее производная (б)

настройке на первую или шестую линии металлического железа необходимо обеспечить точность не хуже 0,04 %.

Отсюда следует, что в экспериментах по селективному возбуждению точность настройки доплеровского модулятора на постоянную скорость и отработка им заданного закона движения должны быть не хуже 0,04 %, или 0,02 мкм/с.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Традиционно применяемая схема эксперимента [6] представлена на рис. 1, а. Для этой схемы использовался пропорциональный детектор на основе счетчика СИ11-Р3.

Радиоактивный источник S (см. рис. 2), помещенный на подвижную часть доплеровского модулятора DM1, перемещается с постоянной скоростью. С помощью детектора D1 измеряется мессбауэровский спектр образца, представляющего собой обогащенную фольгу металлического железа. Исследуемый образец А устанавливается на гониометрическом устройстве под углом 45° к направлению падающего пучка гамма-квантов. Детектор D1 неподвижен. После измерения мессбауэровского спектра в режиме сканирования с постоянной скоростью проводится математическая обработка полученного спектра, с тем чтобы

определить значение резонансной скорости для любой из шести линий спектра.

После этого, для первого вибратора устанавливается режим движения с постоянной скоростью, которая соответствует выбранной для селективного возбуждения линии.

Для вибратора DM2 устанавливается режим движения с постоянным ускорением, а мессбауэровский спектр регистрируется с помощью детектора D2 (см. рис. 2), установленного с помощью гониометрического устройства под углом 90° по отношению к направлению падающего пучка. Мессбауэровские спектры, получаемые по такой схеме, аналогичны спектрам на поглощение, следовательно, величина эффекта ограничена сверху величиной резонансного поглощения в резонансном фильтре-анализаторе RF.

Этот недостаток можно устранить, если ввести в схему эксперимента резонансный детектор. В этом случае отпадает необходимость в использовании резонансного фильтра-анализатора, а для анализа рассеянного излучения возникает необходимость создать относительное движение рассеивателя и резонансного детектора.

При регистрации мессбауэровских спектров с помощью резонансного детектора наблюдаемая величина эффекта должна быть значительно выше. Это объясняется тем, что величина эффекта самого резонансного детектора может составлять от нескольких сотен (500 % для SRD) до нескольких тысяч процентов (1500 % для GRD), и в идеальном случае равна отношению эффективностей регистрации резонансных гамма-квантов в резонансе и вне его.

На рис. 1, б и в изображены схемы экспериментов с колеблющимся рассеивателем и с колеблющимся резонансным детектором соответственно. Из-за дополнительных искажений спектра, возникающих при движении рассеивателя (см. рис 1, б) за счет поперечного эффекта Доплера второго порядка и угловой расходимости пучка гамма-квантов, схема рис. 1, в эксперимента предпочтительнее. Необходимо, однако, обеспечить высокое качество движения резонансного детектора, что в принципе возможно, если детектор достаточно легкий и обладает малыми размерами. Для этого случая использовался газовый резонансный детектор (GRD). В случае применения сцинтилляционного резонансного детектора (SRD) приходилось приводить в движение рассеиватель.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 6 приведены экспериментальные мессбауэровские спектры для одного и того же рассеивателя α-Fe, обогащенного изотопом Fe на 90 %, полученные для трех гамма-оптических схем экспериментов по селективному возбуждению (см. рис. 1). Спектры 4 и 7 на рис. 6 соответствуют

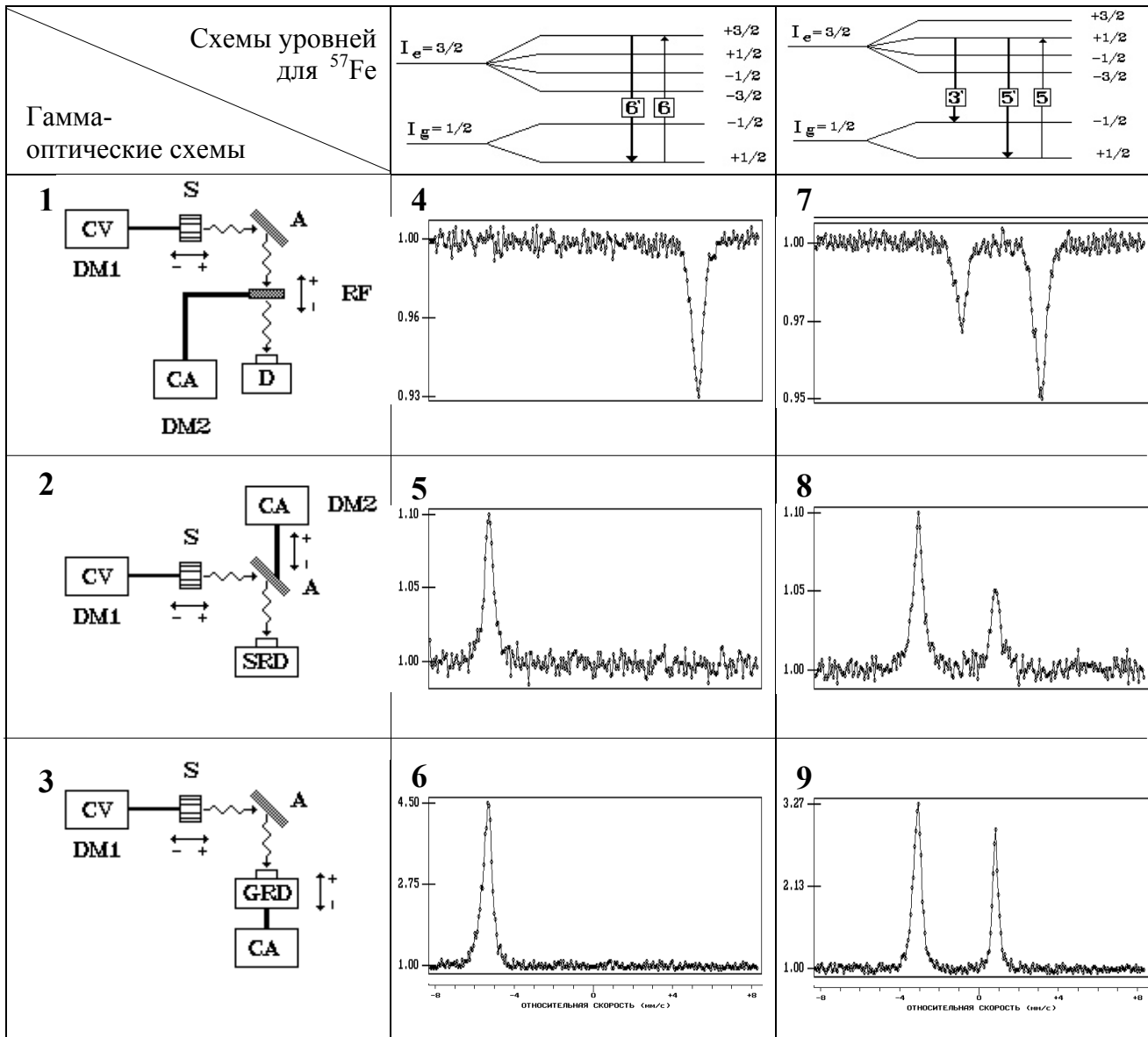


Рис. 6. Мессбауэровские спектры $\alpha\text{-Fe}$ для трех гамма-оптических схем

традиционной методике. В качестве фильтра-анализатора использовалась фольга из нержавеющей стали. Спектры 5 и 8 получены с использованием сцинтилляционного, а 6 и 9 — газового резонансных детекторов соответственно. Важно отметить, что во всех экспериментах сохранялись неизменными: средние расстояния между источником и рассеивателем, рассеивателем и детектором, защита детектора от прямого излучения источника, а также система коллиматоров.

Для сравнения качества полученных спектров воспользуемся формулой для определения относительной ошибки величины эффекта ϵ , которую можно записать в виде:

для схемы рис. 1, а

$$\Delta\epsilon/\epsilon = [(1-\epsilon) + \sqrt{1-\epsilon}] / \epsilon\sqrt{N_\infty}, \quad (1)$$

для схемы рис. 1, б и в

$$\Delta\epsilon/\epsilon = [(1+\epsilon) + \sqrt{1+\epsilon}] / \epsilon\sqrt{N_\infty}, \quad (2)$$

Тип детектора	ϵ	$\Delta\epsilon/\epsilon$	J	N_∞	t
Пропорциональный (схема рис. 1, а)	7	0,20	614	17200	28,0
Сцинтилляционный SRD (схема рис. 1, б)	10	0,20	860	11180	13,0
Газовый GRD (схема рис. 1, в)	350	0,20	35	88	2,5

где N_0 — число импульсов на канал в резонансе; N_∞ — число импульсов на канал вдали от резонанса; $\epsilon = \frac{N_\infty - N_0}{N_\infty}$ или $\epsilon = \frac{N_0 - N_\infty}{N_\infty}$ — величина эффекта на поглощение или рассеяние соответственно.

Зная время накопления спектра t , можно N_i представить как $J \times t$.

Тогда, сравнивая выражения (1) и (2), получим

$$t_1 / t_2 = \frac{\epsilon_2^2 J_2 [(1 - \epsilon_1) + \sqrt{1 - \epsilon_1}]^2}{\epsilon_1^2 J_1 [(1 + \epsilon_2) + \sqrt{1 + \epsilon_2}]^2}. \quad (3)$$

Данные, полученные после обработки экспериментальных спектров для всех трех схем, а также результаты вычислений по приведенным выше формулам сведены в таблицу.

Как видно из таблицы, в традиционной методике с использованием пропорционального счетчика величина эффекта составила 7 %, что примерно равно величине, достигаемой в подобных экспериментах. При регистрации излучения с помощью неподвижного SRD величина эффекта составляет 10 %, хотя характерное значение отношения сигнал/шум для самого SRD составляет 500 %. Малую величину эффекта можно объяснить достаточно высокой эффективностью регистрации сопутствующего излучения (скорость фонового счета была равна 860 имп/(канал·ч)). Такая регистрация может происходить за счет поглощения гамма-квантов в объеме световода и входного окна фотоэлектронного умножителя.

Для GRD фон от источника при той же геометрии составлял 35 имп/(канал·ч), т. е. GRD слабо чувствителен к жесткому излучению источника: в GRD тонкие металлизированные пленки конвертора помещены в газовый объем, и возникающие электроны внутренней конверсии регистрируются, как в обычном пропорциональном счетчике. Таким образом, при использовании газового резонансного детектора величина эффекта составила 350 %.

Для достижения одинакового значения относи-

тельной ошибки величины эффекта, равного, например, $\Delta\epsilon/\epsilon = 0,20$, время измерений спектра со сцинтилляционным резонансным детектором составляет 13 ч.

Анализ результатов с учетом формулы для газового резонансного детектора и пропорционального детектора показывает, что для достижения такой же относительной ошибки $\Delta\epsilon/\epsilon = 0,20$ необходимое время измерений с использованием пропорционального счетчика составит уже 28 ч, тогда как время набора спектра с помощью газового резонансного детектора всего 2,5 ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и изготовлен спектрометр для проведения исследований селективно-индуцированного двойного эффекта Мессбауэра и когерентного релеевского рассеяния резонансного излучения. Конструкция спектрометра позволяет проводить эксперименты как по классической схеме с применением пропорционального детектора, так и по схеме с использованием сцинтилляционных и газовых резонансных детекторов, а также максимально оптимизировать схемы экспериментов и добиться увеличения величины эффекта.

Возможности спектрометра продемонстрированы при исследовании спектров селективного возбуждения для фольги α -Fe, обогащенной на 90 % изотопом ^{57}Fe , толщиной 9 мкм. Оптимизация схемы детектирования и использование газовых резонансных детекторов позволили получить спектры при величине эффекта 350 %.

Показано также преимущество использования резонансных детекторов в экспериментах по селективному возбуждению, позволяющих ускорить процесс проведения измерений и получать спектры одинакового качества во много раз быстрее (при использовании газового резонансного детектора примерно в 10 раз), чем при измерениях по традиционной методике.

Работа поддержана грантом РФФИ № 99-02-17838 и Федеральной целевой программой «Интеграция» (проекты № 326.75 и 670).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wickman H.H., Wertheim G.R. // Phys. Rev. 1966. V. 148. P. 211–214.
2. Boyle A.I.F., Gabriel I.R. // Phys. Lett. 1965. V. 19. P. 451–453.
3. Van der Woude F. // Phys. Status Solidi. 1966. V. 17. P. 417–425.
4. Shenoy G.R.K., Dunlap B.D., Dattagupta S. // Phys. Rev. 1975. V. 12. P. 3584–3592.
5. Advances in Mössbauer Spectroscopy / Eds. Thosar B.V., Srivastava I.K. // Studies in Physical and Theoretical Chemistry. Amsterdam and New York: Elsevier, 1983. V. 25. 924 p.
6. Суздалев И.П. Динамические эффекты в гамма-резонансной спектроскопии. М.: Атомиздат., 1979. 191 с.
7. Balko B., Hoy G.R. // Phys. Rev. 1974. V. 10. P. 36–49.
8. Артемьев А.Н., Смирнов Г.В., Степанов Е.П. // ЖЭТФ. 1968. Т. 54. С. 1028–1034.
9. Heiman N.D., Pfeiffer L., Walker J.C. // Phys. Rev. Lett. 1968. V. 21. P. 93–94.
10. Алешин К.П., Лукашевич И.И., Скляревский В.В. и др. // ПТЭ. 1967. Т. 2. С. 53–58.
11. Алексеев В.П., Смирнов П.В. // Взаимодействие мессбауэровского излучения с веществом. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 36–39.
12. Balko B., Hoy G.R. // Mössbauer Effect Methodology / Eds. I.J. Gruverman. New York: Plenum Press, 1974. V. 9. P. 10–21.
13. Balko B., Hoy G.R. // Phys. Rev. 1974. V. B10. P. 4523–4534.
14. Balko B. // Phys. Rev. 1986. V. B33. P. 7421–7430.

*Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург
(С.М. Иркаев, Н.И. Комяк, Ю.Н. Мальцев)*

*Санкт-Петербургский государственный университет
(В.Н. Гитцович, В.Г. Семенов)*

Материал поступил в редакцию 17.02.2000.

HIGHLY SENSITIVE MÖSSBAUER SPECTROMETER FOR INVESTIGATIONS OF DYNAMIC PROCESSES

V. N. Gittsovich¹, S. M. Irkaev, N. I. Komyak, Yu. N. Maltsev, V. G. Semenov¹

Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg

¹*Saint-Petersburg State University*

The performance, operation and functional capabilities of the spectrometer are described. The spectrometer is intended for Mössbauer investigations of dynamic processes in condensed media containing resonance isotope nuclei (Selective Excitation Double Mössbauer Effect, SEDM) or not (Rayleigh Scattering of Mössbauer Radiation, RSMR). The results of investigations on the optimization of gamma optics of the spectrometer as illustrated by experiments on selective excitation are presented. The variety of the gamma optics depends on the characteristics of detectors employed for registration of scattered radiation. It is shown that introduction of resonance detectors increases the sensitivity, accuracy and reduces the acquisition time by a factor of 10. The spectrometer is equipped with two Doppler modulation systems which can operate in both synchronous and asynchronous modes. The accuracy of adjustment to a required constant velocity value and of reproducibility is 0.04%. The spectrometer allows one to make a further step forward in the study of dynamic processes.