

В
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 539.172

МИСЕВИЧ Олег Валентинович

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ
МЕССБАУЭРОВСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
В ГЕОМЕТРИИ ПРОПУСКАНИЯ И РАССЕЯНИЯ

01.04.01 - техника физического эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических исследований

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Минск - 2000

Работа выполнена в НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
ХОЛМЕЦКИЙ Александр Леонидович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Анищик Виктор Михайлович,
кандидат технических наук
Муравский Владимир Александрович.

Оппонирующая организация – Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси

Защита состоится “ 02 ” июня 2000 г. в 10⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.10 в Белорусском государственном университете по адресу: 220050, г. Минск, проспект Скорины, 4, телефон ученого секретаря 226-55-41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белгосуниверситета.

Автореферат разослан “ _____ ” _____ 2000 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
доктор физ.-мат. наук,
профессор



В.В. Апанасович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

В настоящее время мессбауэровская спектроскопия сформировалась как один из самых мощных структурно-аналитических методов исследования конденсированных сред. Ее основная особенность – высокая чувствительность к локальным электрическим и магнитным полям на резонансных ядрах – позволяет проводить уникальные исследования структуры различных материалов как в их объеме, так и на поверхности. Огромный опыт, накопленный в применении эффекта Мессбауэра для различных объектов, содержащих резонансные ядра, позволяет сформулировать целый ряд направлений не только научного, но и практического применения данного метода. Вместе с тем, можно указать на очевидное противоречие, существующее в практике мессбауэровской спектроскопии: при большом и постоянно возрастающем объеме работ по научному применению ядерного гамма-резонанса, существуют лишь единичные попытки его практического использования в задачах промышленного контроля качества изделий и материалов. Фундаментальной причиной, обуславливающей такую ситуацию, является то, что в отличие от многих других методов анализа вещества, ядерный гамма-резонанс требует существенной методологической модификации при его распространении из области уникальных в область рутинных измерений. Главная проблема на этом пути – повышение производительности мессбауэровских измерений. Действительно, типичное время накопления мессбауэровских спектров составляет от нескольких часов до нескольких суток, что вполне допустимо при уникальных измерениях, но крайне ограничивает круг возможных прикладных задач, связанных с точным анализом тех или иных промышленных изделий. Существует два основных метода повышения производительности гамма-резонансных измерений, один из которых направлен на увеличение чувствительности (величины резонансного эффекта), а второй – на повышение допустимой грузочной способности детекторов мессбауэровского излучения. Подходы к разработке обоих этих методов не имеют универсальных рецептов в силу сложности и разнообразия задач мессбауэровской спектроскопии. Вместе с тем, анализ возможных приложений эффекта Мессбауэра показывает, что повышение чувствительности гамма-резонансных измерений имеет большое значение в плане расширения круга как практических, так и научных задач мессбауэровской спектроскопии, а оптимальная энергетическая селекция мессбауэровского излучения в условиях высоких нагрузок детекторов не только многократно уменьшает время накопления мессбауэровских спектров, но и способна внести качественно новый вклад в такое бурно развивающееся направление, как мессбауэровская спектроскопия на синхротронном излучении. В силу сказанного тема настоящей диссертационной работы, связанная с разработкой методов повышения точности и про-



изводительности мессбауэровских измерений при всех основных способах их реализации, представляется актуальной.

Связь работы с крупными научными программами, темами

Работы по указанным проблемам выполнялись по постановлению ГКНТ N 543.228 от 21.10.85, и в соответствии с планом НИР Министерства образования и науки РБ.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей диссертационной работы является разработка комплекса методов и аппаратуры для повышения производительности и точности гамма-резонансных измерений и апробация созданных методов и аппаратуры в прикладных и научных исследованиях.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать основные пути повышения производительности и точности гамма-резонансных измерений и выявить направления их наиболее эффективного использования.
2. Разработать способ резонансного детектирования мессбауэровского излучения в геометрии обратного рассеяния применительно к задаче мессбауэровской концентратометрии.
3. Разработать мессбауэровские концентратометры для анализа фазового и элементного состава олова и минимизировать влияние вещественного состава проб на результаты измерений.
4. Исследовать зависимость производительности трансмиссионных мессбауэровских измерений от временных и спектрометрических характеристик детекторов гамма-излучения и разработать спектрометрический тракт мессбауэровского спектрометра на основе оптимизированных детекторов.
5. С помощью созданных методов и аппаратуры провести ряд научных и прикладных исследований, невозможных в традиционной методологии эффекта Мессбауэра.

Объект и предмет исследования

Исследуются основные характеристики мессбауэровских спектрометров и их зависимость от параметров спектрометрического тракта. В разделе диссертационной работы, посвященном применению созданных методов и аппаратуры, исследуются объекты с малым содержанием резонансного изотопа, а также тонкие поверхностные слои материалов.

Методология и методы проведенного исследования

Использовались:

- трансмиссионная мессбауэровская спектроскопия;
- резонансное детектирование безотдачного излучения;
- регистрация вторичных излучений в мессбауэровской спектроскопии;

- метод наименьших квадратов и метод регуляризации для математической обработки спектрометрической информации.

Научная новизна полученных результатов

1. Предложен комплекс методов для минимизации методических погрешностей измерений в мессбауэровской концентратометрии и принципы их аппаратной и программной реализации в серии мессбауэровских концентратометров олова: использование резонансного сцинтилляционного детектора в геометрии обратного рассеяния, совместный анализ данных гамма-резонансных и рентгенорадиометрических измерений с использованием вспомогательной мишени.
2. Предложен и апробирован способ стабилизации энергетической шкалы детекторов вторичных излучений в мессбауэровской спектроскопии, основанный на применении светового и радиоактивного реперных источников и позволяющий реализовать спектрометрический режим работы в жестких климатических условиях.
3. Проведен теоретический анализ зависимости производительности трансмиссионных гамма-резонансных измерений от параметров спектрометрического тракта мессбауэровского спектрометра и предложены новые быстродействующие детекторы для регистрации гамма- и вторичных излучений, сопровождающих эффект Мессбауэра.
4. На количественном уровне проанализирован ряд железосодержащих объектов с малой величиной резонансного эффекта.

Новизна результатов диссертационной работы подтверждена 17 авторскими свидетельствами.

Практическая значимость полученных результатов

Разработанная серия мессбауэровских концентратометров оксидного и элементного олова: АСК-01, АСК-01М, анализатора фазового состава олова – представляет собой качественно новый класс аппаратуры для геофизических исследований, позволяющий существенно повысить информативность, производительность и целенаправленность геолого-разведочных работ.

Многokратное повышение производительности трансмиссионных мессбауэровских измерений за счет применения быстродействующих сцинтилляционных детекторов открывает реальную возможность для широкого промышленного применения мессбауэровской спектроскопии, а также существенно расширяет круг фундаментальных структурно-аналитических задач, связанных с регистрацией малых резонансных эффектов. Перспективными направлениями в развитии мессбауэровской спектроскопии малых эффектов выступают исследование структурных и конформационных изменений молекул гемоглобина при различных заболеваниях человека и изучение модифицированных тонких поверхностных слоев материалов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Мессбауэровская спектроскопия с резонансной регистрацией обратно рассеянного от образца гамма-излучения обеспечивает микрофазовый анализ вещества до нижних значений концентрации резонансного элемента в составе заданных соединений порядка 10^{-3} весовых % за время измерения до нескольких минут.
2. Снижение влияния вещественного состава проб в мессбауэровских концентратомерах оксидного олова и расширение диапазона измеряемых концентраций до 40 весовых % обеспечиваются при учете дополнительной информации об элементном и химическом составе образца, содержащейся в компонентах нерезонансного фона и характеристического излучения олова.
3. Сформулированные критерии по выбору спектрометрических и временных характеристик детекторов гамма- и вторичных излучений позволили с помощью сцинтилляционных детекторов $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ многократно (в 5-10 раз) сократить время трансмиссионных мессбауэровских измерений по сравнению с традиционными значениями.

Личный вклад соискателя

Работы в области методологии эффекта Мессбауэра, направленные на повышение производительности гамма-резонансных измерений и создание специализированных экспрессных мессбауэровских спектрометров ведутся научной группой под руководством А.Л. Холмецкого с 1985 года. С 1993 года эти исследования проводятся совместно с лабораторией физики высоких энергий НИИ ядерных проблем при Белгосуниверситете. Соискатель работал в группе Холмецкого А.Л. в период с 1985 по 1992 год. На этом этапе им выполнены теоретические и экспериментальные исследования по развитию метода мессбауэровской концентратометрии, предложенного Холмецким А.Л. Совместно с руководителем предложены все способы минимизации методических погрешностей в мессбауэровской концентратометрии оксидного олова. Лично соискателем разработаны принципы построения систем регистрации мессбауэровских концентратометров оксидного олова нескольких поколений и выполнены исследования по определению метрологических характеристик мессбауэровских концентратометров.

Анализ зависимости производительности мессбауэровских измерений от временных и спектрометрических характеристик детекторов выполнен лично соискателем. Им лично предложен быстродействующий сцинтилляционный детектор $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ для трансмиссионной мессбауэровской спектроскопии и разработана аналоговая система для съема и обработки спектрометрической информации.

Соискатель внес основной вклад в разработку и создание лабораторного комплекса мессбауэровской аппаратуры для научных и прикладных исследований. Все результаты экспериментов, приведенные в диссертации с

использованием этого комплекса аппаратуры, получены лично соискателем.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты работы докладывались:

- I, II и III Всесоюзных совещаниях по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий (Москва, 1985, Грозный, 1987, Алма-Ата, 1989);
- IV и V Всесоюзных совещаниях по когерентному взаимодействию излучения с веществом (Юрмала, 1988, Лиманчик, 1990);
- Всесоюзной конференции по прикладной мессбауэровской спектроскопии (Москва, 1988);
- V Всесоюзном семинаре по автоматизации исследований в ядерной физике (Ташкент, 1988);
- III Международной конференции по применению радиоактивных изотопов в промышленности (Лейпциг, 1988);
- Всесоюзной конференции по производству и применению изотопов (Ленинград, 1988);
- Уральской конференции по применению эффекта Мессбауэра (Ижевск, 1989);
- 9-я Чехословацкой спектроскопической конференции с иностранными участниками (Чешске Будевице, Республика Чехия, 1992);
- IV семинаре LUFTHANSA по мессбауэровской спектроскопии (Майнц, Германия, 1994);
- Международных конференция по применению эффекта Мессбауэра ICAME'95 (Римини, Италия) и ICAME'99 (Мюнхен, Германия);
- Международной конференции "Мессбауэровская спектроскопия в материаловедении" (Леднице, Республика Чехия, 1996).

Мессбауэровские анализаторы касситерита АСК-01 и АСК-01М успешно выдержали межведомственные испытания во Всесоюзном Институте минерального сырья (Москва, 1988) и в 1989-1991 г.г. прошли производственные испытания в геологических партиях и на горно-обогатительных комбинатах Дальнего Востока и Крайнего Севера.

Опубликованность результатов

Результаты исследований опубликованы в 65 печатных работах, из которых 1 монография, 24 статьи в научных изданиях (журналах), 23 тезиса докладов в сборниках конференций и 17 изобретений. Общий объем опубликованных материалов составляет 241 страницу.

Структура и объем диссертации

Диссертация написана на русском языке, состоит из общей характеристики работы, четырех глав и списка использованных источников.

Объем диссертации составляет 112 страниц, включая 39 рисунков и 2 таблицы на 7 стр. и по тексту, общую характеристику работы на 6 стр., библиографию из 144 наименований на 11 стр.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 проанализированы методологические особенности мессбауэровской спектроскопии применительно к задаче повышения точности и производительности измерений при регистрации в различных геометриях основных видов вторичных излучений эффекта Мессбауэра. Подчеркивается, что решение этой задачи не имеет универсальных рецептов в силу значительного различия физических условий измерения мессбауэровских спектров в геометриях пропускания и рассеяния. Это требует развития качественно новых идей в области методологии эффекта Мессбауэра. В частности, резонансный метод детектирования рассеянных мессбауэровских гамма-квантов открывает принципиальную возможность сокращения времени проведения мессбауэровских измерений более чем на два порядка, если в гамма-резонансном спектре исследовать отдельные наиболее информативные фрагменты. Примером задачи такого рода является мессбауэровская концентратометрия, где эффект Мессбауэра с резонансным детектированием рассеянного излучения потенциально становится самым точным и высокопроизводительным физическим методом фазового анализа вещества.

В главе 2 рассмотрены принципы построения анализаторов содержания касситерита, основанных на резонансном детектировании мессбауэровского излучения в геометрии рассеяния, и позволяющих на практике реализовать быстрый микрофазовый анализ. В 2.1 выводится зависимость величины резонансного эффекта ε от концентрации оксидного олова в исследуемом образце C . Показано, что эта зависимость имеет вид кривой с насыщением

$$\varepsilon = \frac{kC + \gamma}{1 + aC}, \quad (1)$$

где k , γ , a – аналитически выражаемые калибровочные коэффициенты. При этом коэффициент начального наклона k не зависит от вещественного состава проб, что определяет принципиальное преимущество метода мессбауэровской концентратометрии при измерении содержания оксидного олова до значений 0,1 вес. %. В то же время, параметр насыщения существенно варьируется при изменении химического состава образцов. Для исключения этой зависимости и расширения диапазона измеряемых концентраций в сторону верхних значений предложен способ измерения, основанный на учете дополнительной информации об элементном составе образца, содержащейся в компоненте нерезонансного фона.

В 2.2 формулируются критерии на оптимальный выбор основных функциональных узлов и элементов мобильного мессбауэровского концентратометра. В 2.2.1 предложено использовать источник резонансного излучения $^{119\text{m}}\text{SnO}_2$ кольцевой формы, минимизирующий эффекты самопоглощения гамма-излучения. Геометрия измерений реализует максимально возможные углы рассеяния для снижения вклада рэлеевского излучения в результирующий сигнал концентратометра. Кольцевой источник $^{119\text{m}}\text{SnO}_2$ с внешним диаметром 73 мм, внутренним диаметром 53 мм и начальной активностью 2 ГБк был разработан в Радиовом институте им. В.Г. Хлопина (С.-Петербург) и использовался во всех модификациях разработанных концентратометров. Его движение производится биморфными пьезоэлементами размерами $70 \times 12 \times 2$ мм.

В 2.2.2 описана комбинированная система стабилизации энергетической шкалы резонансного спинтиляционного детектора (РСД) с конвертором SnO_2 , попеременно использующей реперные сигналы от светового и радиоактивного источников. Реперные сигналы от радиоактивного источника формируются при регистрации рассеянного гамма-излучения от вспомогательной мишени SnO_2 в перерывах между измерениями при удалении образца из зоны измерения. В этом случае формируемый на энергетической шкале РСД пик от конверсионных электронов используется как абсолютный репер для стабилизации энергетической шкалы РСД в дифференциальном режиме. При этом одновременно производится корректировка величины тока через светоизлучающий диод (СИД), являющийся источником вспомогательного реперного сигнала, так, чтобы пик от СИД занимал строго определенное положение на энергетической шкале. При измерении на образце излучение от вспомогательной мишени полностью перекрывается, и система переходит в интегральный режим стабилизации по пику СИД. Такая организация системы позволяет обеспечить непрерывную стабилизацию коэффициента преобразования РСД с погрешностью не хуже 0,1%. Ее применение в мессбауэровских концентратометрах позволило реализовать их предельные точностные характеристики, в том числе в полевых условиях.

Описание системы регистрации мессбауэровского концентратометра, построенной на микросхемах малой и средней интеграции, приведено в 2.2.3. Ее особенностью является использование "N" режима для накопления интенсивности нерезонансного фона, что позволяет автоматически выбирать требуемый предел погрешности измерений. Для вычисления концентрации оксидного олова используется соотношение

$$C = \frac{\varepsilon - \gamma}{k - L\varepsilon_{\text{BM}}}, \quad (2)$$

полученное аналитически при анализе основной зависимости мессбауэровской концентратометрии и позволяющее минимизировать влияние вещественного состава проб на показания концентратометра. Здесь γ , k , L – калиб-

ровочные коэффициенты; $\varepsilon_{BM} = \frac{I(0) - I(\infty)}{I_{BM}}$, где $I(0)$ – интенсивность регистрируемых событий в резонансе; $I(\infty)$ – интенсивность регистрируемых событий при рассогласовании резонансных условий взаимодействия; I_{BM} – интенсивность излучения, регистрируемого от вспомогательной мишени SnO_2 .

Решение уравнения (2) производится с помощью процессора на основе аналого-цифрового преобразователя двойного интегрирования с дифференциальными входами.

Разработанные принципы построения основных узлов мессбауэровских концентромеров легли в основу функционирования экспресс-анализаторов касситерита АСК-01 и АСК-01М. Оба прибора конструктивно близки друг к другу. Их отличие состоит в том, что в приборе АСК-01 для вычисления концентрации касситерита используется решение уравнения (1), тогда как в более поздней разработке АСК-01М вычисление C производится по (2), что позволило расширить диапазон измеряемых концентраций в сторону верхних значений до 40% и существенно ограничить влияние вещественного состава проб на показания концентромера. Основные технические характеристики прибора АСК-01М приведены в таблице 1.

В 1990-1991 годах в СКТБ с ОП при Белгосуниверситете было освоено серийное производство АСК-01М, внедренных в геологические партии и горно-обогатительные комбинаты СССР. Результаты практической эксплуатации приборов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока, Крайнего Севера и некоторых других регионов показали их высокую надежность работы, хорошую воспроизводимость результатов при рекордном для методов фазового анализа вещества минимально определяемой концентрации оксидного олова.

Таблица 1

Основные технические характеристики АСК-01М:

диапазон измеряемых концентраций оксидного олова	0,005... 40 вес. %
относительная погрешность измерений в поддиапазонах:	
0,005...0,01 вес. %	30...20%
0,01...0,05 вес. %	20...5%
0,05...0,1 вес. %	5...3%
0,1...10 вес. %	< 5%
10...40 вес. %	<10%
время анализа	от нескольких секунд до 3-4 минут в зависимости от величины концентрации
масса порошковой пробы	0,03...0,05 кг
масса прибора	8 кг

габариты прибора	380×220×150 мм
питание прибора	от аккумулятора, 9...13 В
потребляемая мощность	6 ВА.

В 2.3 описаны принципы построения мессбауэровского анализатора фазового состава олова, позволяющего проводить одновременное определение концентрации общего и оксидного олова с помощью радиометрических и гамма-резонансных измерений соответственно. Идея создания такого прибора основана на том, что совместный анализ данных мессбауэровских и радиометрических измерений позволяет дополнительно подавить источники методических погрешностей, связанные с вкладом характеристического излучения примесных элементов исследуемых образцов.

В 2.3.1 проведен теоретический анализ влияния характеристического излучения различных элементов, содержащихся в образце, на величину резонансного эффекта ε . Показано, что при наличии примесных элементов связь между ε и C приобретает вид

$$\varepsilon = \frac{kC + \gamma}{(1 + k_x C_x)(1 + aC)}, \quad (3)$$

где C_x – концентрация примесного элемента в образце, и

$$k_x \approx \frac{4\sigma_{\text{фх}} P_x}{\sigma_{\text{кк}} A_x} d, \quad (4)$$

$\sigma_{\text{фх}}$ – сечение фотопоглощения атомами примеси иницирующего излучения источника;

P_x – вероятность выхода характеристического излучения из атома примеси x ;

$\sigma_{\text{кк}}$ – сечение комптоновского рассеяния на одном электроны;

A_x – атомное массовое число примесного элемента;

d – коэффициент, характеризующий кратность ослабления интенсивности характеристического излучения фильтром на РСД.

Численные оценки показывают, что для ряда элементов средней и верхней части таблицы Менделеева (Zn, Mo, Pb, Bi и другие) коэффициент k_x варьируется в пределах 10...100, что вызывает заметные изменения величины резонансного эффекта при содержании таких примесных элементов в пробах на уровне 0,1...1 вес. %.

В 2.3.2 предложен и обоснован способ совместного анализа данных гамма-резонансных и радиометрических измерений концентрации общего и оксидного олова, позволяющий дополнительно подавить источники систематических погрешностей, присущие обоим методам. При рентгеновских измерениях используется разновидность известного метода «стандартафона», в котором в качестве стандарта используется интенсивность излучения $I(\infty)$, измеряемая в мессбауэровском канале. В этом случае концентрация общего олова определяется по формуле:

$$C_{\text{общ}} = A_1 \frac{\Delta I}{I(\infty)} + A_2 \frac{\Delta I}{I_k}, \quad (5)$$

где ΔI – интенсивность регистрируемого характеристического излучения олова;

I_k – интенсивность комптоновски рассеянного излучения в рентгенометрическом канале измерений;

A_1, A_2 – некоторые коэффициенты, практически не зависящие от вещественного состава проб.

С другой стороны, данные рентгеновских измерений позволяют непосредственно вычитать вклад характеристического излучения примесных элементов из интенсивности $I(\infty)$ и тем самым исключить множитель $1/(1+k_x C_x)$ из функциональной зависимости $\alpha(C)$.

Разработанные алгоритмы измерения концентрации реализованы в анализаторе фазового состава олова, описанном в 2.3.3. Прибор содержит два измерительных тракта: мессбауэровский (МТ) и рентгеновский (РТ). Конструктивно МТ близок в структуре измерительного тракта прибора АСК-01М. РТ включает в себя сцинтилляционный детектор NaI(Tl) ($\varnothing 25 \times 25$ мм) и два источника ^{153}Gd , реализующих геометрию обратного рассеяния. В качестве рабочей используется линия гамма-излучения 41 кэВ. Сигналы с выходов детекторов через соответствующие амплитудные селекторы поступают на счетчики системы накопления, построенной на базе микропроцессора I8085. Время измерения контролируется таймером. В микро-ЭВМ производится вычисление общей концентрации олова и концентрации оксидного олова по формулам (5) и (2). Система индикации прибора содержит два четырехразрядных цифровых индикатора с буферной памятью для отображения результатов измерения концентрации общего и оксидного олова. Система также содержит три светодиода для индикации погрешности измерений.

Таблица 2

Основные технические характеристики анализатора фазового состава олова:

диапазон измеряемых концентраций общего и оксидного олова	0,005-40 вес. %
относительная погрешность измерений (для мессбауэровского и рентгеновского трактов)	
0,005...0,01 вес. %	30...20%
0,01...0,05 вес. %	20...5%
0,05...0,1 вес. %	5...3%
0,1...10 вес. %	< 5%
10...40 вес. %	<10%
время анализа	3-5 минут
масса порошковой пробы	30-50 г
размеры	500×560×240 мм

вес

20 кг

питание

220 В × 50 Гц.

Испытания анализатора фазового состава олова проходили во Всероссийском институте минерального сырья (Москва, Россия) в 1991 г. Результаты испытаний подтвердили технические характеристики анализатора, и он был рекомендован к серийному производству.

В главе 3 проводится анализ спектрометрических и временных характеристик различных типов детекторов с целью определения их оптимального сочетания для повышения производительности трансмиссионных мессбауэровских измерений. Приводятся результаты исследований, реализующих экспрессные мессбауэровские спектрометры.

В п. 3.1 выводится аналитическая зависимость производительности мессбауэровских измерений в геометрии пропускания от условий измерения спектров в случаях малых и предельных нагрузок детекторов гамма-квантов. Показано, что эта зависимость является многопараметрической, однако отношение производительности измерений Q при использовании двух различных детекторов определяется главным образом параметрами самих детекторов. В частности, при малых нагрузках

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\eta_{01} I_{01} S_{a1} S_{s1} [f S_{a2} S_{s2} + (1-f) S_{s2} + 1]}{\eta_{02} I_{02} S_{a2} S_{s2} [f S_{a1} S_{s1} + (1-f) S_{s1} + 1]}, \quad (6)$$

где η_0 - эффективность регистрации детектором резонансных гамма-квантов;

I_0 - интенсивность гамма-резонансного излучения на входном окне детектора;

f - вероятность испускания источником безотдачных гамма-квантов;

$S_a = \eta_0 / \eta_\infty$ - абсолютная селективность детектора (η_∞ - эффективность регистрации нерезонансных гамма-квантов);

S_s - спектрометрическая селективность детектора, определяемая как отношение доли регистрируемых мессбауэровских гамма-квантов к общему числу зарегистрированных событий в рабочем энергетическом окне детектора.

При предельно реализуемых нагрузках детекторов I_L ,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I_{L1} (S_{a1} S_{s1})^2 [f S_{a2} S_{s2} + (1-f) S_{s2} + 1]^2}{I_{L2} (S_{a2} S_{s2})^2 [f S_{a1} S_{s1} + (1-f) S_{s1} + 1]^2}. \quad (7)$$

Полученные соотношения (6) и (7) позволяют сравнить между собой различные типы детекторов, применяемых в трансмиссионной мессбауэровской спектроскопии: полупроводниковые (ППД), пропорциональные, сцинтилляционные детекторы и РСД. Показано, что в случае малых нагрузок наиболее эффективно применение ППД. В случае предельных нагрузок оптимален РСД, позволяющий получить повышение производительности измерений в 3-4 раза по сравнению с ППД.

В 3.2 описан быстродействующий спектрометрический тракт мессбауэровского спектрометра с РСД на железе-57. Особенность такого де-

тектора – малое, около 5 нс, время высвечивания и малая амплитуда спектрометрического сигнала. В этих условиях особенно важно обеспечить оптимальный сбор зарядов с выхода ФЭУ и высокий коэффициент усиления при предельно коротком выходном сигнале предусилителя. Рассмотрена структурная схема разработанного предусилителя/усилителя, обеспечивающего коэффициент усиления 2000 и длительность выходного импульса 20 нс.

В 3.3 предложен новый тип детектора для трансмиссионной мессбауэровской спектроскопии – сцинтиллятор $YAlO_3:Ce$ (иттриво-алюминиевый перовскит, или YAP). В сравнении с кристаллом $NaI(Tl)$ такой сцинтиллятор имеет худшие спектрометрические характеристики (конверсионная эффективность 40% от $NaI(Tl)$), но меньшее почти на порядок время высвечивания – 28 нс. При этом эффективность регистрации резонансных гамма-квантов железа близка к единице при толщине сцинтиллятора 0,35 мм. При нагрузках детекторов, близких к предельным, из (7) получены следующие сравнительные оценки для детектора YAP:

$$\frac{Q_{YAP}}{Q_{пдд}} = 5,6; \quad \frac{Q_{YAP}}{Q_{проп}} = 6,8; \quad \frac{Q_{YAP}}{Q_{NaI}} = 8,8.$$

При этом практически важно, что предельная нагрузочная способность детектора YAP может быть реализована уже при обычных активностях источников, используемых в мессбауэровской спектроскопии. Это означает, что оцененное выше повышение производительности трансмиссионных измерений с помощью YAP по сравнению с традиционными детекторами действительно реализуется на практике.

В 3.4 описан лабораторный комплекс мессбауэровской аппаратуры для научных и прикладных исследований, созданный на основе разработанных методов и аппаратуры экспрессной мессбауэровской спектроскопии.

В п. 3.4.1 рассмотрена система движения, построенная на основе малогабаритных доплеровских модуляторов. Одна из основных технических идей в их разработке – использование полимерных нитей в качестве подвеса для подвижной части (штока). Это позволило предельно минимизировать габариты подвеса при отсутствии в нем паразитных механических резонансов. В частности, размеры модулятора составили $\varnothing 34 \times 62$ мм при весе 360 г.

Модуляционно-временной тракт регистрации спектрометра, реализованный на плате стандарта ПК IBM, описан в 3.4.2. В его основу положен принцип работы в режиме прерываний для накопления мессбауэровских и амплитудных спектров с промежуточной аппаратной буферизацией.

Методика приготовления образцов для исследований, конструкция держателя образца и система охлаждения описаны в 3.4.3. Спектрометр позволяет проводить измерения как на жидких, так и твердотельных образцах в диапазоне температур от -196°C до комнатной.

В главе 4 рассмотрены примеры применения разработанных методов и аппаратуры экспрессной мессбауэровской спектроскопии в научных исследованиях.

В 4.1. приведены результаты исследований структуры мелкодисперсных частиц Fe_3O_4 для ферромагнитных жидкостей (ФМЖ), полученных из водных коллоидных растворов двумя разными способами.

В соответствии с первым (традиционным) методом высокодисперсный оксид железа (II, III) формировался в результате щелочного гидролиза солей двух- и трехвалентного железа в реакции



Стабилизация Fe_3O_4 осуществлялась в результате обработки полученного осадка олеиновой кислотой. В новом способе, разработанном на химическом факультете Белгосуниверситета, получение высокодисперсного оксида железа (II, III) осуществлялось в результате щелочного гидролиза солей двух- и трехвалентного железа в присутствии олеата натрия и соляной кислоты с последующим диспергированием полученного осадка в декане, что обеспечивало получение олеиновой кислоты непосредственно в процессе синтеза и, как следствие, более эффективную стабилизацию высокодисперсного оксида железа (II, III). Результаты проведенных исследований показали, что при втором способе получения частиц ФМЖ их размеры существенно меньше, чем для первого способа (4,3 нм и 9,6 нм, соответственно), но при этом присутствуют парамагнитные олеаты железа в концентрации около 15%, ухудшающие качество ФМЖ. Поэтому требуется дальнейшая работа по совершенствованию технологии получения ФМЖ для удаления этих парамагнитных соединений.

В 4.2 исследуются мессбауэровские спектры гемоглобина в составе эритроцитов здорового человека, пациента в гипоксическом состоянии и беременной женщины в гипоксическом состоянии. Показано различие в соотношении оху- и деоху-форм гемоглобина для здорового человека и пациента с патологиями, а также появление связанной формы гемоглобина в крови беременной женщины. Полученные предварительные результаты демонстрируют высокую потенциальную эффективность экспрессной мессбауэровской спектроскопии в медико-биологических исследованиях.

В 4.3 представлены результаты исследований модификации тонких поверхностных слоев металлов при различных видах механической обработки. Мессбауэровские спектры получали как при регистрации конверсионных и оже-электронов, так и характеристических рентгеновских квантов железа. При изучении процесса полирования поверхности нержавеющей стали 12X18H9T подтвержден известный факт превращения γ -железа в магнитные фазы. Установлено, что влияние внешнего магнитного поля через эффект магнитострикции приводит в более интенсивному превращению парамагнитного железа в магнитное и образованию зон чистого феррита за счет процессов окисления легирующих элементов.

При исследовании процессов шлифования поверхности серого чугуна СЧ 21-36 показано, что холодная абразивная обработка вызывает распад остаточного аустенита, тогда как повторное сухое шлифование снова приводит к его образованию. Шлифование в смазке БНЗ-4 предотвращает появление аустенита, а шлифование в смазочной композиции БНЗ-4+Cu (15 вес.%) +Ni (3 вес.%) приводит к образованию тонкой пленки частиц меди и никеля на поверхности металла и внедрению атомов этих металлов в решетку магнитного железа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе мессбауэровской спектроскопии с резонансной регистрацией рассеянного гамма-излучения предложены и разработаны физико-технические принципы построения мессбауэровских концентраторов оксидного олова, предназначенных для микрофазового анализа объектов геологических исследований: использование резонансного сцинтилляционного детектора в геометрии обратного рассеяния, совместный анализ данных гамма-резонансных и рентгено-радиометрических измерений с использованием вспомогательной мишени. Освоен серийный выпуск мессбауэровских анализаторов касситерита АСК-01 и АСК-01М, которые впервые в мировой практике позволили реализовать в полевых условиях экспрессные мессбауэровские измерения (2-3 минуты на один образец) с абсолютной погрешностью измерения концентрации оксидных фаз олова не хуже 0,002 вес. % в области концентраций 0,005...0,01 вес. % [25].
2. Теоретический анализ процессов регистрации прошедшего через поглотитель резонансного гамма-излучения при учете спектрометрической селективности детектора позволил в аналитическом виде получить зависимость производительности измерений от параметров спектрометрического тракта. На этой основе выявлены количественные критерии, основанные на селективности и быстродействии детектора, для целенаправленного поиска оптимальных типов детекторов в трансмиссионной мессбауэровской спектроскопии. Выбор детекторов по сформулированным критериям позволяет многократно сократить время накопления мессбауэровских спектров. В частности, для трансмиссионной мессбауэровской спектроскопии железа-57 быстродействующий сцинтилляционный детектор с кристаллом $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ позволяет в условиях предельных нагрузок снизить время накопления мессбауэровских спектров:
 - по сравнению с полупроводниковыми и пропорциональными детекторами – в 6-7 раз;
 - по сравнению со сцинтилляционными детекторами с тонкими кристаллами $\text{NaI}(\text{Tl})$ – примерно в 9 раз [45].

3. На основе предложенных методов и принципов построения высокопроизводительных мессбауэровских спектрометров разработан лабораторный комплекс гамма-резонансной аппаратуры, обеспечивающий повышение производительности гамма-резонансных измерений при основных способах регистрации мессбауэровских спектров и позволяющий исследовать объекты с малыми величинами резонансного эффекта (тонкие пленки, низкоразмерные объекты, образцы крови и др.) [1, 33, 46].
4. Созданный комплекс экспрессной мессбауэровской аппаратуры использован для проведения структурно-аналитических исследований, крайне затрудненных в традиционной методологии эффекта Мессбауэра. В частности, исследован фазовый состав низкоразмерных частиц Fe_3O_4 , используемых для магнитных жидкостей; в мессбауэровских спектрах гемоглобина крови здорового человека и пациентов в гипоксическом состоянии выявлен ряд структурных различий; обнаружен ряд новых закономерностей процессов модификации поверхностей металлов, подверженных различным видам механической обработки [8, 9, 11, 12, 20-22].
5. Научная новизна разработанных методов и аппаратуры подтверждена 17 авторскими свидетельствами на изобретения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич. Мессбауэровские концентратометры. Минск: Изд-во Университетское, 1992.–96 с.
2. Метод мессбауэровский спектроскопии с регистрацией конверсионных электронов / В.Л. Гурачевский, М. Машлан, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // Докл. АН БССР.–1985.–Т. 29, № 6.–С. 329-333.
3. Метод ядерной гамма-резонансной спектроскопии тонких поверхностных слоев материалов / В.Л. Гурачевский, М. Машлан, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // ПТЭ.–1985.–№ 6.–С. 38-41.
4. Экспресс-обработка данных гамма-резонансных экспериментов на линии с компьютером / Е.В. Бильдюкевич, В.Л. Гурачевский, М. Машлан, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // Вестник БГУ, сер. 1 физ., мат. и мех.–1985.–№ 3.–С. 32-35.
5. Гамма-резонансный комплекс на линии с микро-ЭВМ / Е.В. Бильдюкевич, В.Л. Гурачевский, Ю.М. Литвинович, М. Машлан, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // ПТЭ.–1986.–№ 6.–С. 62-63.
6. Мессбауэровские исследования поверхностного слоя стали после полирования / О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, Г.П. Шпеньков // Докл. АН БССР.–1988.–Т. 32.–С. 518-522.
7. Изучение магнитных свойств поверхностных слоев ферромагнетика в слабых магнитных полях методом конверсионной мессбауэровской

- спектроскопии / В.Л. Гурачевский, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // Поверхность.–1988.–Т. 4.–С. 110-113.
8. Эффективность изучения износостойкости методом ядерного гамма-резонанса / Г.П. Шпеньков, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, О.В. Мисевич // Долговечность трущихся деталей механизмов / Под ред. И.А. Гаркунова.–М.: Машиностроение, 1990.–С. 80-86.
 9. Электронная мессбауэровская спектроскопия при полном внешнем отражении мессбауэровского излучения / А.Л. Холмецкий, А.Р. Лопатик, О.В. Мисевич, А.К. Хаджо // Вестник БГУ, сер. I: физ., мат. и мех.–1991.–№ 1.–С. 29-35.
 10. A.L. Kholmetskii, M. Mashlan, V.A Chudakov, G.L. Gurachevskii, O.V. Misevich. A time-modulation method for Mössbauer spectra registration // Nucl. Instr. and Meth.–1992.–Vol. B71.–P. 461-465.
 11. A driving system for Mössbauer spectrometer / M. Maslan, A.L. Kholmetskii, V.A. Evdokimov, O.V. Misevich, A.Fedorov, D. Zak // Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Physica XXXIII.–1993.–Vol. 111.–P. 9-17.
 12. Scintillation detector for Mössbauer spectrometer / M. Mashlan, A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, A.R. Lopatik // Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Physica XXXII.–1993.–Vol. 111.–P. 19-25.
 13. A Mössbauer spectrometer with non-linear velocity signal / A.L. Kholmetskii, M. Mashlan, V.A. Chudakov, V.L. Gurachevskii, O.V. Misevich // Nucl. Instrum. & Meth.–1994.–Vol. B84.–P. 120-121.
 14. High-performance transmission Mössbauer spectroscopy / A.A. Fyodorov, A.L. Kholmetskii, M.V. Korzhik, A.R. Lopatik, M. Mashlan, O.V. Misevich // Nucl. Instr. and Meth.–1994.–Vol. B88.–P. 462-464.
 15. Mössbauer concentratometry as a new analytical method / A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, N.M. Abramchuk, S.M. Leshkov // Nucl. Instr. and Meth.–1994.–Vol. B94.–P. 493-498.
 16. The PC-AT based Mössbauer spectrometer / M. Mashlan, D. Zak, A.L. Kholmetskii, V.A. Evdokimov, O.V. Misevich, A.Fedorov, A.R. Lopatik, V. Snasel // Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Physica XXXIII.–1994.–Vol. 116.–P. 9-19.
 17. Высокоэкспрессный персональный мессбауэровский спектрометр / А.Л. Холмецкий, М. Машлан, О.В. Мисевич, Евдокимов В.А., Лопатик А.Р., Жак Д., Федоров А.А., В. Снашел // ПТЭ.–1995.–№ 2.–С. 206-207.
 18. Mini and micro transducers for Mössbauer spectroscopy / V.A. Evdokimov, M. Mashlan, D. Zak, A.A. Fyodorov, A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich // Nucl. Instr. and Meth.–1995.–Vol. B95.–P. 278-280.
 19. Mössbauer spectrometer based on personal computer equipped with the YAlO₃:Ce scintillation detector / D. Zak, M. Mashlan, A.L. Kholmetskii V.A. Evdokimov, A.R. Lopatik, O.V. Misevich, A.A. Fyodorov // Acta Physica Slovaca.–1995.–Vol. 45, № 1.–P. 85-88.
 20. Mössbauer tin concentratometer with Roentgen measurements / A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, N.M. Abramchuk, S.M. Leshkov // Nucl. Instr. and

- Meth.–1996.–Vol. B111.–P. 133-136.
21. Comparison of the productivity of fast detectors for Mössbauer spectroscopy / A.L. Kholmetskii, M. Mashlan, O.V. Misevich, V.A. Chudakov, A.R. Lopatik, D. Zak // Nucl. Instr. and Meth.–1997.–Vol. B124.–P. 143-144.
 22. Air scintillation detector for conversion electron Mössbauer spectroscopy / A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, M. Mashlan, V.A. Chudakov, A.F. Anashkevich, V.L. Gurachevskii // Nucl. Instr. and Meth.–1997.–Vol. B129.–P. 110-115.
 23. LED light pulser for high precision monitoring of the scintillation calorimeter energy scale / A.Fyodorov, M. Korzhik, A. Lopatik, O. Missevitch // Nucl. Instr. and Meth.–1998.–Vol. A413.–P. 352-356.
 24. Автоматизированная система сбора и обработки информации для многомерного параметрического мессбауэровского спектрометра / Е.В. Бильдюкевич, В.Л. Гурачевский, С.М. Иркаев, В.В. Куприянов, Ю.Н. Мальцев, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, Чудаков В.А. // I Всес. совещ. по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий. Тез. докл.–М.: Изд-во МГУ.–1985.–С. 99.
 25. Мессбауэровская спектроскопия с регистрацией конверсионных электронов / А.Л. Холмецкий, В.Л. Гурачевский, М. Машлан, О.В. Мисевич // 3 Респ. конф. молодых ученых.–Минск: Изд-во Университетское.–1986.–С. 86.
 26. Мессбауэровские исследования кристаллографической текстуры в поверхностном слое нержавеющей стали после шлифования / А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич, В.А. Чудаков, Г.П. Шпеньков // II Всес. совещ. по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий. Тез. докл.–Грозный, 1987.–С. 214.
 27. Воздушный сцинтилляционный детектор ЭМС для олово-содержащих образцов / А.Л. Холмецкий, Агтия эль Сайед, О.В. Мисевич, В.А. Чудаков // Всесоюзная конф. по прикладной мессбауэровской спектроскопии.–М.: Изд-во МИФИ.–1988.–С. 19.
 28. Исследование модификации поверхностей при трении методом электронной мессбауэровской спектроскопии / А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич, В.А. Чудаков, Г.П. Шпеньков // Всес. конф. по прикладной мессбауэровской спектроскопии. Тез. докл.–М.: Изд-во МИФИ, 1988.–С. 70.
 29. Система автоматизации гамма-резонансных экспериментов / Е.В. Бильдюкевич, В.Л. Гурачевский, Н.Б. Измайлова, В.А. Коробов, А.Р. Лопатик, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий // V Всес. совещ. “Автоматизация исследований в ядерной физике и смежных областях”. Тез. докл.–Ташкент: Изд-во ФАН, 1988.–С. 22.
 30. Мобильная система для накопления и обработки мессбауэровских данных в геофизических исследованиях / В.Л. Гурачевский, А.Р. Лопатик, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // V Всес. семинар “Автоматизация исследований в ядерной физике и смежных облас-

- тях".—Ташкент: Изд-во ФАН.—1988.—С. 191.
31. Мессбауэровский анализатор содержания олова со встроенным микропроцессором / Н.М. Абрамчук, С.М. Лешков, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий // V Всес. семинар "Автоматизация исследований в ядерной физике и смежных областях".—Ташкент: Изд-во ФАН.—1988.—С. 192.
 32. Модуль накопления спектрометрической информации / А.Р. Лопатик, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков // IV Всес. совещ. по когерентному взаимодействию излучения с веществом. Тез. докл.—М.: Изд-во МГУ, 1988.—С. 282.
 33. Предусилитель для резонансного сцинтилляционного детектора на железе-57 / А.Р. Лопатик, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, Н.М. Ярош // 4 Всес. конф. по когерентному взаимодействию излучения с веществом. Тез. докл.—М.: Изд-во МГУ.—1988.—С. 283.
 34. Высокочувствительный гамма-резонансный экспресс-анализатор содержания касситерита / А.А. Антипов, А.В. Балугев, Л.В. Ботов, А.В. Васильев, Н.В. Киреев, В.Н. Линеv, Е.Ф. Макаров, О.В. Мисевич, Б.И. Рогозев, А.Л. Холмецкий // Всес. конф. "Проблемы производства и применения радиоизотопов и источников ядерного излучения": Тез. докл.—М.: ЦНИИатоминформ, 1988.—С. 229.
 35. High-sensitive, gamma-resonance express-analyzer of tin / A.L. Kholmetskii, V.N. Linev, O.V. Misevich, A.A. Antipov, A.V. Baluev, A.A. Vasilev, B.I. Rogozev, L.V. Botov, N.V. Kireev, E.F. Makarov // 4th Conference on Radioisotope Application and Radiation Processing in Industry.—Leipzig, 1988.—No. 229.
 36. Конверсионные мессбауэровские исследования структурных и фазовых изменений после магнитно-абразивного шлифования / А.Л. Холмецкий, Г.П. Шпеньков, О.В. Мисевич, Г.В. Лобко // Уральская научно-техническая конф. по применению эффекта Мессбауэра. Тез. докл.—Ижевск, 1989.—С. 39.
 37. Тракт регистрации ЯГР спектрометра на источнике синхротронного излучения / М.В. Зелепухин, А.Р. Лопатик, О.В. Мисевич, Г.В. Смирнов, А.Л. Холмецкий, А.В. Чумаков // V Всес. совещ. по когерентному взаимодействию излучения с веществом. Тез. докл.—М.: Изд-во МГУ.—1990.—С. 103.
 38. The PC-AT based Mössbauer spectrometer / M. Maslan, D. Zak, A.L. Kholmetskii, V.A. Evdokimov, O.V. Misevich, A.A. Fedorov, A.R. Lopatik, V. Snel // 9th Czechoslovak spectroscopic conf. with international participants. Book of Abstracts.—Ceske Budejovice.—1992.—P. 517.
 39. High-expressed personal Mössbauer spectrometer / V.A. Evdokimov, A.A. Fedorov, A.L. Kholmetskii, A.R. Lopatik, M. Mashlan, O.V. Misevich // Intern. Conf. ICAME'93. Book of Abstracts.—Vancouver.—1993.—P. 25.
 40. A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, S.M. Leshkov. Mössbauer concentration // Intern. Conf. ICAME-93. Book of Abstracts.—Vancouver, 1993.—

P. 25.

41. A micro-drive system for cosmic Mössbauer spectrometer / V.A. Evdokimov, A.A. Fyodorov, A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, A.R. Lopatik // Intern. Conf. ICAME'93. Book of Abstracts.-Vancouver.-1993.-P. 56.
42. YAlO₃:Ce scintillation detector for transmission Mössbauer spectroscopy / A.L. Kholmetskii, M.V. Korzhik, O.V. Misevich, A.A. Fyodorov, A.R. Lopatik // 4th Seeheim workshop on Mössbauer spectroscopy. Book of Abstracts.-Universitat Mainz.-1994.-P. 126.
43. Simple high-performance Mössbauer spectrometer / M. Mashlan, D. Zak, V. Snaesel, V.A. Evdokimov, A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, A.R. Lopatik, A.A. Fedorov // 4th Seeheim workshop on Mössbauer spectroscopy. Book of Abstracts.-Universitat Mainz.-1994.-P. 133.
44. Fast detectors for Mössbauer spectroscopy / A.L. Kholmetskii, M. Mashlan, O.V. Misevich, V.A. Chudakov, A.R. Lopatik, D Zak. // Intern. conf. ICAME-95. Book of Abstracts.-Rimini (Italy).-No 13-30.
45. Tin concentratometers / A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, S.M. Leshkov, N.M. Abramchuk // Intern. Simposium on the Industrial Application of the Mössbauer effect. Book of Abstracts.-Johannesburg, 1996.-P. 237.
46. Unusual methodology of the Mössbauer effect / A.L. Kholmetskii, O.V. Misevich, M. Mashlan // Intern. conf. ICAME'99. Book of Abstracts.-Garmish-Partenkirchen, 1999.-P. T9/37.
47. А.с. 1223742 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, В.Л. Гурачевский, О.В. Мисевич.-№ 3677518/24-25; Заявл. 23.12.83.
48. А.с. 1223743 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, В.Л. Гурачевский, О.В. Мисевич.-№ 3780845/24-25; Заявл. 15.05.84.
49. А.с. 1228663 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, В.Л. Гурачевский.-№ 3714971/24-25; Заявл. 23.03.84.
50. А.с. 1263074 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, В.Л. Гурачевский, О.В. Мисевич, М. Mashlan.-№ 3826870/24-25; Заявл. 19.12.84.
51. А.с. 1264722 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, В.Л. Гурачевский.-№ 3811158/24-25; Заявл. 11.11.84.
52. А.с. 1295920 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков, О.В. Мисевич, В.Л. Гурачевский.-№ 3922691/31-25; Заявл. 28.06.85.
53. А.с. 1365925 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Ядерный гамма-резонансный спектрометр / В.Л. Гурачевский, С.М. Иркаев, В.В. Куприянов, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А. Чудаков.-№ 3893877/31-25; Заявл. 12.05.85.
54. А.с. 1376017 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Устройство для определения

- содержания олова / В.И. Гольданский, А.Л. Холмецкий, Е.Ф. Макаров, В.А. Чудаков, В.Н. Линев, О.В. Мисевич, Л.В. Ботов, В.Л. Гурачевский, Н.В. Киреев, И.Н. Грознов.-№ 4121763/31-25; Заявл. 23.06.86.
55. А.с. 1415160 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Устройство для определения содержания олова / В.И. Гольданский, Е.Ф. Макаров, И.Н. Грознов, Н.В. Киреев, Л.В. Ботов, А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич, В.Н. Линев, В.А. Чудаков, В.Л. Гурачевский.-№ 4135646/31-25; Заявл. 17.10.86; Опубл. 07.08.88, Бюл. № 29 // Открытия. Изобретения.-1988.-№ 29.
56. А.с. 1484110 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, Н.М. Ярош, А.Р. Лопатик.-№ 4283292/31-25; Заявл. 08.05.87.
57. А.с. 1516920 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Устройство для определения содержания олова / Н.М. Абрамчук, Л.В. Ботов, Н.В. Киреев, В.И. Кононович, С.М. Лешков, В.Н. Линев, Е.Ф. Макаров, О.В. Мисевич, В.А. Сосенко, А.Л. Холмецкий.-№ 4375340/31-25; Заявл. 31.12.87; Опубл. 23.10.89, Бюл. № 39 // Открытия. Изобретения.-1989.-№ 39.
58. А.с. 1518748 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Устройство для определения содержания олова / А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич, В.Н. Линев, Н.М. Абрамчук.-№ 4377025/31-25; Заявл. 10.02.88; Опубл. 30.10.89, Бюл. № 40 // Открытия. Изобретения.-1989.-№ 40.
59. А.с. 1539620 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Способ определения содержания олова / В.И. Кононович, В.Н. Линев, О.В. Мисевич, В.А. Сосенко, А.Л. Холмецкий.-№ 4336669/31-25; Заявл. 02.11.87; Опубл. 30.01.90, Бюл. № 4 // Открытия. Изобретения.-1990.-№ 4.
60. А.с. 1554608 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Мессбауэровский спектрометр / О.В. Мисевич, Н.М. Ярош А.Л. Холмецкий, Д.А. Сарычев, А.Р. Лопатик.-№ 4440510/31-25; Заявл. 14.06.88.
61. А.с. 1616346 СССР, МКИ³ G 01 T 1/36. Устройство для измерения малых сдвигов мессбауэровских линий / А.Л. Холмецкий, Н.М. Ярош, О.В. Мисевич, А.Р. Лопатик.-№ 4649430/31-25; Заявл. 09.02.89.
62. А.с. 1631380 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Устройство для определения содержания олова / А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич, А.К. Хаджо, Н.М. Ярош.-№ 4649473/25; Заявл. 09.02.91; Опубл. 28.02.91, Бюл. № 8 // Открытия. Изобретения.-1991.-№ 8.
63. А.с. 1681213 СССР, МКИ³ G 01 N 23/00. Способ определения содержания олова / Н.М. Абрамчук, Л.В. Ботов, Н.В. Киреев, В.И. Кононович, С.М. Лешков, В.Н. Линев, Е.Ф. Макаров, О.В. Мисевич, Б.И. Рогозов, В.А. Сосенко, А.Л. Холмецкий.-№ 4687668/25; Заявл. 09.02.89; Опубл. 30.09.91, Бюл. № 36 // Открытия. Изобретения.-1990.-№ 36.
64. Гамма-резонансный комплекс на линии с микро-ЭВМ / Е.В. Бильдюкевич, В.Л. Гурачевский, М. Машлан, О.В. Мисевич, А.Л. Холмецкий, В.А.Чудаков; Бел. гос. ун-т.-Минск, 1984.-37 с.-Деп. в ВИНТИ 1985.-№ 4112-85 // ПТЭ.-1985.-№ 6.-С. 62-63.

65. Мессбауэровские исследования структурной анизотропии поверхностного слоя нержавеющей стали после шлифования / А.Л. Холмецкий, О.В. Мисевич, В.А. Чудаков, Г.П. Шленьков; Бел. гос. ун-т.—Минск, 1989.—25 с. / Деп. в ВИНТИИ 31.01.1989, № 693-В-89.



РЕЗЮМЕ

Мисевич Олег Валентинович

Повышение производительности и точности мессбауэровских измерений в геометрии пропускания и рассеяния

Ключевые слова: эффект Мессбауэра, детекторы излучений, производительность измерений, резонансный эффект, концентратометрия.

Исследована проблема производительности мессбауэровских измерений и ее связь с параметрами спектрометрического тракта.

- Предложен комплекс методов для минимизации методических погрешностей измерений в мессбауэровской концентратометрии и принципы их аппаратной и программной реализации в серии мессбауэровских концентратометров олова.
- Предложен и апробирован способ стабилизации энергетической шкалы детекторов вторичных излучений в мессбауэровской спектроскопии, позволяющий реализовать спектрометрический режим работы в жестких климатических условиях.
- Проведен теоретический анализ зависимости производительности трансмиссионных гамма-резонансных измерений от параметров спектрометрического тракта мессбауэровского спектрометра и предложены новые быстродействующие детекторы для регистрации гамма- и вторичных излучений, сопровождающих эффект Мессбауэра.
- На количественном уровне проанализирован ряд железосодержащих объектов с малой величиной резонансного эффекта.

Разработанная серия мессбауэровских концентратометров оксидного и элементного олова: АСК-01, АСК-01М, анализатора фазового состава олова — представляет собой качественно новый класс аппаратуры для геофизических исследований, позволяющий существенно повысить информативность, производительность и целенаправленность геолого-разведочных работ.

Многokратное повышение производительности трансмиссионных мессбауэровских измерений за счет применения быстродействующих сцинтилляционных детекторов открывает реальную возможность для широкого промышленного применения мессбауэровской спектроскопии, а также существенно расширяет круг решаемых фундаментальных структурно-

аналитических задач, связанных с регистрацией малых резонансных эффектов.

Р Э З Ю М Э

Місевіч Алег Валянцінавіч

Павышэнне прадукцыйнасці і дакладнасці мёсбаўэраўскіх вымярэнняў у геаметрыі прапускання і рассеяння

Ключавыя словы: эффект Мёсбаўэра, дэтэктары выпраменняў, прадукцыйнасць вымярэнняў, рэзанансны эффект, канцэнтратаметрыя.

Даследавана праблема прадукцыйнасці мёсбаўэраўскіх вымярэнняў і яе сувязь з параметрамі спектраметрычнага тракта.

- Прапанаваны комплекс метадаў для мінімізацыі метадычных памылак вымярэнняў у мёсбаўэраўскай канцэнтратаметрыі і прынцыпы іх апаратнай і праграмнай рэалізацыі у шэрагу мёсбаўэраўскіх канцэнтратамераў волава.
- Прапанаваны і апрабаваны спосаб стабілізацыі энергетычнай шкалы дэтэктараў паўторных выпраменняў у мёсбаўэраўскай спектраскапіі, дазваляючы рэалізаваць спектраметрычны рэжым працы ў жорсткіх кліматычных умовах.
- Праведзены тэарэтычны аналіз залежнасці прадукцыйнасці трансмісійных гама-рэзанансных вымярэнняў ад параметраў спектраметрычнага тракта мёсбаўэраўскага спектрометра і прапанаваны новыя хуткадзейючыя дэтэктары для рэгістрацыі гама- і паўторных выпраменняў, саправаджаючых эффект Мёсбаўэра.
- На колькасным узроўне прааналізаваны шэраг жалеаўтрымліваючых аб'ектаў з малай велічынёй рэзананснага эффекта.

Распрацаваны шэраг мёсбаўэраўскіх канцэнтратамераў аксіднага і элементнага волава: АСК-01, АСК-01М, аналізатара фазавага склада волава – прадстаўляе сабой якасна новы клас апаратуры для геафізічных даследаванняў, дазваляючы істотна павысіць інфарматыўнасць, прадукцыйнасць і мэтанакіраванасць геолога-вышукальных работ.

Шмагразовае павышэнне прадукцыйнасці трансмісійных мёсбаўэраўскіх вымярэнняў за кошт ужывання хуткадзейючых спынціляцыйных дэтэктараў адчыняе рэальную магчымасць для шырокага прамысловага ўжывання мёсбаўэраўскай спектраскапіі, а таксама істотна пашырае кола вырашымых фундаментальных структурна-аналітычных задач, звязаных з рэгістрацыяй малых рэзанансных эффектаў.

SUMMARY

Oleg V. Missevitch

Increase of the productivity and accuracy of Mossbauer measurements for transmission and scattering geometry

Keywords: Mossbauer effect, radiation detectors, measurement productivity, resonance effect, concentratometry.

The Mossbauer measurement productivity problem and its relation to spectrometry chain are investigated.

- Set of methods for minimization of systematic error in Mossbauer concentratometry are proposed along with its hardware and software implementation principles for a family of Mossbauer tin concentratometers.
- Energy scale stabilization method for detectors of secondary emission in Mossbauer spectroscopy is proposed and tested. Method provides pulse height analysis mode at harsh climatic environment.
- Theoretical analysis of transmission gamma-resonance measurement throughput dependence on spectroscopy chain of Mossbauer spectrometer parameters is performed. New fast detectors for γ - and secondary emission in Mossbauer effect are proposed.
- A series of samples with small value of resonance effect are investigated at qualitative level.

A family of Mossbauer tin concentratometers are developed: ASK-01, ASK-01M, tin phase composition analyzer – represents a qualitatively new class of equipment for geophysical investigations, allowing to increase substantially information capacity, throughput and purposefulness of geologic exploration.

Multiple times increased throughput of transmission Mossbauer measurement by use of fast scintillation detectors opens a real opportunity for wide application of Mossbauer spectroscopy in industry and substantially widens an area of fundamental structure analytical problems related to small resonance effects observation which can be solved.



Подписано в печать 25.04.00. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Тираж 100 экз. Заказ № 288.

Белорусский государственный университет.
Лицензия ЛВ № 315 от 14.07.98.
220050, Минск, пр. Ф. Скорины, 4.
Отпечатано в Издательском центре БГУ.
220030, г. Минск, ул. Красноармейская, 6.

2Hg 41663



8000000 1998542