

XIII Международная конференция

“МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ”



ПРОГРАММА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

Суздаль, 11-15 октября 2014

УДК 53/55(082)
ББК 22/24+26.3я43
П78

П78 XIII Международная конференция “МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ”. Суздаль, 11-15 октября 2014 / Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2014, 167 с.

ISBN 978-5-4253-0757-6

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ

- Российская Академия Наук
- Совет РАН “Общая химия и наука о материалах”
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
- Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики
- Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова
- ЗАО "РИТВЕРЦ"

Конференция поддержана РФФИ: грант 14-02-20250-г
Материалы публикуются в авторской редакции.
Сборник материалов доступен на сайте <http://icmsa.imetran.ru/>

ISBN 978-5-4253-0757-6



9 785425 307576 >

© ИМЕТ РАН 2014

Организационный комитет

Председатель Оргкомитета: Сигов Александр Сергеевич, академик, Москва

Сопредседатель Оргкомитета: Бурханов Геннадий Сергеевич, чл.-корр. РАН, Москва

Заместитель председателя: Годовиков Сергей Константинович, Москва

Члены оргкомитета:

Аржников А.К., Ижевск	Покатилов В.С. Москва
Баринов С.М., чл.-корр. РАН, Москва	Радченко В.В., Москва
Воронина Е.В. Казань	Русаков В.С., Москва
Григорович К.В. , чл.-корр. РАН, Москва	Савченко А.Г. Москва
Елсуков Е.П., Ижевск	Сагарадзе В.В. чл.-корр. РАН Екатеринбург
Кадыржанов К.К., Казахстан	Садыков Э.К., Казань
Камнев А.А., Саратов	Сарычев Д.А., Ростов-на-Дону
Колмаков А.Г., Москва	Семенкин В.А., Екатеринбург
Морозов А.И., Москва	Семенов В.Г., С.-Петербург
Mašlan M., Czech Republic	Тагиров Л.Р. Казань
Miglierini M., Slovakia	Чуев М.А., Москва
Nagy D.L., Hungary	Чумаков А.И., Москва
Надутов В.М., Украина	Шабашов В.А., Екатеринбург
Перфильев Ю.Д., Москва	

Программный комитет конференции:

Председатель: Воронина Елена Валентиновна, Казань

Члены программного комитета:

Сагарадзе В.В. Екатеринбург

Годовиков С.К., Москва

Елсуков Е.П., Ижевск

Русаков В.С., Москва

Шабашов В.А., Екатеринбург

Локальный комитет конференции:

Председатель: Просвирнин Дмитрий Викторович, Москва

Члены локального комитета:

Никитин С.М.

Ромашкина И.Л.

Козин М.Г.

Огарков А.И.

Лещинская К.В.

Родионов В.В.

Программа
XIII Международной конференции
«Мессбауровская спектроскопия и ее
применения»

Суббота, 11 октября 2014 г.

День заезда участников.

Воскресенье, 12 октября 2014 г.

9:30

Открытие конференции.

Секция 1: «Физика твердого тела и магнетизм»

9:45

**РОЛЬ БЕСПОРЯДКА В АТОМНОЙ ДИНАМИКЕ И ТЕРМОДИНАМИКЕ
СТЁКОЛ**

Чумаков А.И., Monaco G., Fontana A., Босак А, Hermann R.P., Bessas D., Wehinger B., Crichton W.A., Krisch M., Ruffer R., Baldi G., Carini Jr. G., Carini G., D'Angelo G., Gilioli E., Tripodo G., Zanatta M., Winkler B., Milman V., Refson K., Dove M.T., Дубровинская Н., Дубровинский Л., Keding R., Yue Y.Z.

10:00

**MAGNETIC PROPERTIES OF NEW MULTIFERROICS $Ba_3MFe_3Si_2O_{14}$ STUDIED
BY MOSSBAUER SPECTROSCOPY AND NMR**

Lyubutin I.S., Naumov P.G., Gavriliuk A.G., Trojan I., Davydova Yu.A., Starchikov S.S., Mironovich A.A., Aksenov S.N., Tkachev A.V., Gippius A.A.

10:30

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРОВСКИТА $La_{0.75}Sr_{0.25}Co_{0.98}^{57}Fe_{0.02}O_{3-\gamma}$ МЕТОДАМИ ЯМР
И ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА**

Макарова А.О., Покатилов В.С., Русаков В.С., Сигов А.С., Покатилов В.В.

10:45

**МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРРОИКА $CuCrO_2$ НА
ЗОНДОВЫХ АТОМАХ ^{57}Fe**

Русаков В.С., Пресняков И.А., Гапочка А.М., Соболев А.В., Мацнев М.Е., Лекина Ю.О.

11:00

**ЗОНДОВАЯ МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ
ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ МАНГАНИТОВ**

Глазкова Я.С., Белик А.А., Соболев А.В., Пресняков И.А.

11:15

**КИНЕТИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОРЯДКА В γ -
ОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ $BiFeO_3$**

Годовиков С.К.

11:45

Кофе-брейк

12:05

EFFECT OF CONCENTRATION AND TYPE OF A DOPING ELEMENT ON THE STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN LANTHANUM MANGANITES

$\text{La}_{1-x}\text{Me}_x\text{MnO}_{3+\delta}$ (ME = Ca, Sr, Ba)

Sedykh V.D., Rusakov V.S.

12:20

HYPERFINE INTERACTIONS AND MAGNETIC ORDERING IN $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x)_2$

Vershinin A.V., Serikov V.V., Kleinerman N.M., Mushnikov N.V., Rusakov V.S.

12:35

МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЕДИНЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА FeSeTe

Фролов К.В., Васюков Д.М., Перунов И.В., Наумов П.Г., Коротков Н.Ю., Любутин И.С., Беликов В.В., Казаков С.М., Пудалов В.М., Гаврилкин С.Ю.

12:50

АНИЗОТРОПНЫЕ МАГНИТНЫЕ СВЕРХТОНКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ФОСФИДЕ FeP

Пресняков И.А., Соболев А.В., Чернявский И.О., Панкратов Д.А., Морозов И.В.

13:05

Обед

14:15

STUDY OF THE Si-RICH REGION OF THE Fe-Si SYSTEM WITH FIRST-PRINCIPLES CALCULATIONS

Dobysheva L.V.

14:30

OXIDATION OF IRON. EFFECT OF DIFFERENT ISOTOP COMPOSITION

Baldokhin Yu.V., Perfiliev Yu.D., Kulikov L.A., Burnazyan M.A., Pustov Yu. A.

Расширенные сообщения

По секции №7

14:45

**ЧЕМ ВАМ МОЖЕТ БЫТЬ ПОЛЕЗНА СИНХРОТРОННАЯ СТАНЦИЯ
ЯДЕРНОГО РАССЕЯНИЯ В ГРЕНОБЛЕ**

Чумаков А.И.

15:30

Кофе-брейк

По секции №8

15:50

**ДЕМОНСТРАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММЫ
SpectrRelax ПРИ ОБРАБОТКЕ И АНАЛИЗЕ МЁССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ**

Русаков В.С., Мацнев М.Е

16:35 – 19:30

Стендовые доклады

Секция №1: «: «Физика твердого тела и магнетизм»

Секция №2: «Структура поверхности, тонких пленок, многослойных и наносистем»

Секция №5: «Химия, катализ, структура и связь»

Понедельник, 13 октября 2014 г.

**Секция 2: «Структура поверхности, тонких пленок, многослойных и
наносистем»**

9:30

**ТЕРМО- И МАГНИТНАЯ ДИНАМИКА НЕФЕРРОМАГНИТНЫХ
НАНОЧАСТИЦ В ЗЕРКАЛЕ МЁССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Чуев М.А.

10:00

**IRON AND IRON OXIDE NANOSTRUCTURED SYSTEMS – SYNTHESIS,
CHARACTERIZATION, APPLICATION**

Mashlan M.

10:30

**МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ
ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА,**

Савченко А.Г., Коровушкин В.В., Щетинин И.В., Бордюжин И.Г.

10:45

**EMISSION MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF GRAIN BOUNDARIES IN
POLYCRYSTALLINE METALS**

Popov V.V.

11:00

МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОПОРОШКОВ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Савченко А.Г., Гребенников И.С., Салихов С.В., Коровушкин В.В., Щетинин И.В., Юртов Е.В., Мурадова А.Г

11:15

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРИМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ $Zn_xFe_{3-x}Y_{1-y}O_4$, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Петрова Е.Г., Котиков Д.А., Паньков В.В., Филимонов Д.С., Похолок К.В.

11:30

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ПРОИЗВОДСТВА “ОСЕАН НАНОТЕСН” ПОСРЕДСТВОМ МЕССБАУЭРОВСКИХ, МАГНИТНЫХ И РЕНТГЕНОВСКИХ МЕТОДОВ

Габбасов Р.Р., Поликарпов М.А., Черепанов В.М., Чуев М.А., Ломов А.А., Ванг А.Ю., Панченко В.Я.

11:45

Кофе-брейк

12:05

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ И КОНТИНУАЛЬНАЯ МОДЕЛИ МАГНИТНОЙ ДИНАМИКИ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ В АНАЛИЗЕ МЁССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ

Мищенко И.Н., Чуев М.А.

12:20

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМИКРО- И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА МЕТОДАМИ ЯМР И ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА

Покатилов В.С.

12:35

РОЛЬ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ТЕХНОЛОГИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Киселева Т.Ю., Новакова А.А.

12:50

STUDY OF [001]-ORDERED $L1_0$ FePt $_{1-x}$ Rh $_x$ FILMS

Kamzin A.S., Ishio S., Hasegawa T., Valiullin A.A., Ganeev V.R.3, Tagirov L.R. Zaripova L.D.

13:05

Обед

Секция 5: «Химия, катализ, структура и связь»

14:15

ЛОКАЛЬНОЕ ОКРУЖЕНИЕ ЗОНДОВЫХ ИОНОВ $^{119}Sn^{4+}$ В ОРТОХРОМИТАХ СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА ПРИ ГЕТЕРОВАЛЕНТНЫХ ЗАМЕЩЕНИЯХ

Фабричный П.Б., Афанасов М.И., Межуев Е., Ваттио А., Лабрюжер К., Дельмас К.

14:30

ПРИМЕНЕНИЕ МЕССБАУЭРОВСКИХ ЗОНДОВЫХ ДОБАВОК ^{121}Sb ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ TiO_2

Короленко М.В., Фабричный П.Б., Афанасов М.И., Лабрюжер К.

14:45

МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ, ПРОЯВЛЯЮЩИХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫЕ СВОЙСТВА

Соболев А.В., Пресняков И.А., Русаков В.С., Белик А.А., Глазкова Я.С., Мацнев М.Е., Гапочка А.М.,

15:15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯГРС ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ФЕРРАТОВ

Перфильев Ю.Д., Куликов Л.А., Попова Е.В., Дурягина Е.В. Зобнин В.А.

15:30

Кофе-брейк

15:50

CHANGE OF IRON STATE IN FERROSPHERES UNDER THE INFLUENCE OF THE REACTION MIXTURE IN THE PROCESS OF OXIDATIVE COUPLING OF METHANE

Rabchevskii E.V., Pletnev O.N., Anshits N.N, Bayukov O.A., Anshits A.G.

16:05

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТИПА ЦИГЛЕРА-НАТТА НА ОСНОВЕ ТРИС-АЦЕТИЛАЦЕТОНАТА ЖЕЛЕЗА И ТРИЭТИЛАЛЮМИНИЯ

Бродский А.Р.

16:20

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕССБАУЭРОВСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КАНЦЕРОГЕНОВ

Бяков В.М., Перфильев Ю.Д., Куликов Л.А., Степанов С.В.

16:35

ФЕРРОМАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ПО МЕХАНИЗМУ ДВОЙНОГО ОБМЕНА В СМЕШАННО-ВАЛЕНТНЫХ В СОЕДИНЕНИЯХ ЖЕЛЕЗА С РЕДОКС-АКТИВНЫМИ ЛИГАНДАМИ, $[\text{Fe}_2(\text{C}_6\text{X}_2\text{O}_4)_3]^{2-}$ (X=H, Cl, Br)

Ованесян Н. С., Никитина З. К., Шилов Г. В., Алдошин С. М., Трэн С., Ли Я., Грюзель М.

16:50-19:30

Стендовые доклады

Секция 3: «Новые материалы и интенсивные воздействия на вещество (термическое, радиационное, деформационное и др.)»

Секция 4: «Биологические применения»

Секция 6: «Геология и минералогия»

Секция 8: «Новые методики и техника эксперимента»

Вторник, 14 октября 2014 г.

Секция 3: «Новые материалы и интенсивные воздействия на вещество (термическое, радиационное, деформационное и др.)»

9:30

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКОГО СПЛАВЛЕНИЯ В НАНОСИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ЖЕЛЕЗО

Елсуков Е.П

10:00

HIGH CORROSION RESISTANT STEEL FOR APPLICATIONS IN NUCLEAR FACILITIES

Adriana Lancok, Milan Štefánik, Tomas Kmjec, Petr Svora, Lubomír Sklenka, Marcel Miglierini

10:15

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ В СЛОИСТОЙ СИСТЕМЕ Fe–Ve ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА

Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Русаков В.С.

10:30

РЕЛАКСАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА

Шабашов В.А.

10:45

МЁССБАУЭРОВСКИЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОФАЗНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АЗОТИСТОГО ХРОМО-НИКЕЛЕВОГО И ХРОМО-МАРГАНЦЕВОГО АУСТЕНИТА

Козлов К.А., Заматовский А.Е

11:00

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ $Li_xFe_{1-y}M_yPO_4/C$ (M=Mn,Co,Ni; $y \leq x \leq 1$), КАК КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ Li-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Русаков В.С., Ярославцев С.А., Скундин А.М., Кулова Т.Л., Ярославцев А.Б

11:15

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ
ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ (Nd, Pr, Dy, Tb)-Fe-
В МЕТОДОМ МЁССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Бурханов Г.С., Кольчугина Н.Б., Лукин А.А., Годовиков С.К., Кошкидько Ю.С.

11:30

**ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОЛОВА В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ
ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ КОРРОЗИИ**

Филиппов В.П.

11:45

Кофе-брейк

12:05

**МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ
СТАЛИ 20ХГНМ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
ПЛАЗМЫ**

Филиппов В.П., Боков А.В.

12:20

**МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛЕГИРОВАННОГО CR(MN) ЦЕМЕНТИТА В ПРОЦЕССЕ
МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И ПОСЛЕДУЮЩИХ ОТЖИГОВ**

Ульянов А.И., Ульянов А.Л., Чулкина А.А., Протасов А.В., Елсуков Е.П.

12:35

**МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СПЛАВЛЕНИЯ
В БИНАРНЫХ ПОРОШКОВЫХ СИСТЕМАХ Cr₉₉⁵⁷Fe И Cr₈₀Fe₂₀**

Елсуков Е.П., Ульянов А.Л., Колодкин Д.А., Порсев В.Е.

Секция 4: «Биологические применения»

12:50

**МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА В
МИКРОБНЫХ КЛЕТКАХ: ИССЛЕДОВАНИЕ РИЗОБАКТЕРИИ
AZOSPIRILLUM BRASILENSE МЕТОДОМ МЁССБАУЭРОВСКОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ**

Камнев А.А., Тугарова А.В.1, Ковач К., Кузманн Э., Хомоннаи З., Куликов Л.А.,
Перфильев Ю.Д.

13:05

**ANOMALOUS BEHAVIOR OF MÖSSBAUER PARAMETERS FOR HUMAN LIVER
FERRITIN AND ITS PHARMACEUTICAL ANALOGUE FERRUM LEK IN THE
TEMPERATURE RANGE 295–90 K: AN ANALYSIS WITHIN THE
HOMOGENEOUS AND HETEROGENEOUS IRON CORE MODELS**

Alenkina I.V. Oshtrakh M.I., Klencsár Z., Kuzmann E., Semionkin V.A.

Секция 6: «Геология и минералогия»

13:20

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF CHELYABINSK LL5 ORDINARY CHONDRITE FRAGMENTS WITH DIFFERENT LITHOLOGY

Maksimova A.A., Oshtrakh M.I., Klencsár Z., Petrova E.V., Grokhovsky V.I., Kuzmann E., Homonnay Z., Semionkin V.A.

13:35

ЯДЕРНАЯ ГАММА-РЕЗОНАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НА Fe⁵⁷ И МАГНИТОМЕТРИЯ НА АТОМАХ ЕСТЕСТВЕННОЙ СМЕСИ В ПОЧВАХ.

Бабанин В.Ф., Иванов А.В., Иванов П.А., Морозов В.В., Залуцкий А.А.

13:50

СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ ТРАДИЦИОННОГО ГОНЧАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА БИЛЯРСКОЙ МОНОЦЕНТРИЧЕСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Манапов Р.А., Пятаев А.В., Валиулина С.И., Иванова А.Г.

14:05

Обед

15:15

Экскурсии

20:00

Банкет

Среда, 15 октября 2014 г.

Секция 8: «Новые методики и техника эксперимента»

9:30

КОГЕРЕНТНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МЁССБАУЭРОВСКИМИ ФОТОНАМИ

Вагизов Ф.Г., Шахмуратов Р.Н., Кочаровская О.А., Нурмехамитов Р.Н

10:00

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБРАЗЦОВ - ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Садыков Э.К., Юричук А.А.

10:15

ПОИСК Р,Т-НЕИНВАРИАНТНОГО МЕЖНУКЛОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЯДРЕ ¹⁶⁹Tm МЕТОДОМ МЕССБАУЭРОВСКОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ

Циноев В.Г., Черепанов В.М., Рыжков А.В., Панин Ю.Н.

10:30

РЕГИСТРАЦИЯ МЕССБАУЭРОВСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ КОНВЕРСИИ СТП-ДЕТЕКТОРОМ

Козин М.Г., Ромашкина И.Л., Смирнова-Пинчукова И.О., Кошелец В.П., Филиппенко Л.В.

10:45

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Воробьева И.В., Гоганов Д.А., Гоганов А.Д., Иркаев С.М., Семенов В.Г., Панчук В.В.

11:00

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ СКОРОСТНОЙ ШКАЛЫ

Семенов В.Г., Иркаев С.М., Панчук В.В., Гойденко А.А.

11:15

Перерыв

11:35

ОПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ РАССЕЯНИЯ

Кириченко В.Г., Коваленко О.В.

11:50

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЁССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ-АМОРФНАЯ ФАЗА

Немцова О.М.

12:05

ОБРАБОТКА МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СПИН-МОДУЛИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ В SpectrRelax

Мацнев М.Е., Русаков В.С.

12:20

Заккрытие конференции

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Воскресенье, 12 октября 2014 г.

Секция №1: «: «Физика твердого тела и магнетизм»

C1-1

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$

Годовиков С.К., Просвирнин Д.В., Никитин С.М., Лагутина Е.С., Покатилов В.С.

C1-2

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ НА ОСНОВЕ ViFeO_3

Никитин С.М., Годовиков С.К.

C1-3

ЛОКАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В МУЛЬТИФЕРРОИКЕ

$\text{Vi}_{0.815}\text{Eu}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$

Покатилов В.С., Русаков В.С., Сигов А.С., Покатилов В.В.

C1-4

МАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В ПЕРОВСКИТАХ

$\text{Vi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_{3-y}$ (X =0, 0.05)

Покатилов В.С. Покатилов, В.В., Сигов А.С.

C1-5

ЛОКАЛЬНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ И СПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ И $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$

Сигов А.С., Покатилов В.С., Макарова А.О., Покатилов В.В.

C1-6

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ $\text{ViFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$ (T = Sc, Mn; X=0, 0.05)

Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Мацнев М.Е., Гапочка А.М.,

Киселева Т.Ю., Комаров А.Е., Шатохин М.С., Макарова А.О.

C1-7

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СПИН-МОДУЛИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДАМИ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА ЯДРАХ ^{57}Fe

Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Мацнев М.Е., Губайдулина Т.В.

C1-8

PRESSURE-INDUCED PHASE TRANSITIONS IN THE LANGASITE TYPE COMPOUND $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$

Naumov P.G., Lyubutin I.S., Ksenofontov V., Medvedyev S. Felser C.

C1-9**MÖSSBAUER STUDIES OF BaFe_{1.9}Ni_{0.1}As₂ SUPERCONDUCTORS**

Korotkov N.Yu., Frolov K.V., Lyubutin I.S., Khlybov E.P., Pudalov V.M., Sadakov A.V., Pervakov K.S.

C1-10**ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА В CoFeVO₄ СО СТРУКТУРОЙ ВАРВИКИТА**

Князев Ю. В., Иванова Н. Б., Казак Н. В., Платунов М. С., Безматерных Л. Н., Любутин И. С., Коротков Н. Ю., Овчинников С. Г.

C1-11**МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ SrFe_{0.5}Nb_{0.5}O₃ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 300-700К**

Раевский И.П., Сарычев Д.А., Сташенко В.В.

C1-12**MOSSBAUER STUDY OF PbFe_{0.5}Nb_{0.5}O₃ AT THE TEMPERATURE RANGE FROM 300 TO 700K**

Raevski I.P., Sarychev D.A., Stashenko V.V.

C1-13**ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ФЕРРОТАНТАЛАТА СВИНЦА**

Авакумов Е.Г., Гусев А.А., Исупов В.П., Кубрин С.П., Раевский И.П., Сарычев Д.А.

Секция №2: «Структура поверхности, тонких пленок, многослойных и наносистем»**C2-1****МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕРХРЕШЕТОК Fe/Cr С УЛЬТРАТОНКИМИ СЛОЯМИ Fe**

Голобородский Б.Ю., Лебедев Н.О., Миляев М.А., Ромашев Л.Н., Овчинников В.В., Устинов В.В.

C2-2**STRUCTURAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF THE CHROMIUM-DOPED IRON SULFIDE Fe_{1-x}Cr_xS SINGLE CRYSTALLINE NANOCOMPOSITES STUDIED BY MOSSBAUER SPECTROSCOPY**

Funtov K.O., Lyubutin I.S., Lin C.-R., Starchikov S.S., Tseng Yaw-Teng

C2-3**COMPARATIVE ANALYSIS OF IRON SULPHIDE AND IRON OXIDES NANOPARTICLES WITH SPINEL STRUCTURE STUDIED BY MÖSSBAUER SPECTROSCOPY**

Starchikov S.S., Lyubutin I.S., Lin C.-R., Bukreeva T.V., Korotkov N.Yu., Funtov K.O.

C2-4

INFLUENCE OF THE FILM THICKNESS AND ADDITIONAL ELEMENTS (AL, O, AND N) ON THE PROPERTIES OF FECO FILM STRUCTURES

Kamzin A. S., Fulin Wei, Ganeev V.R., Valiullin A.A., Jiangwei Cao, Jianmin Bai, Zariyova L.D.

C2-5

ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА, ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ И ПЕКТИНА

Чистякова Н.И., Шапкин А.А., Сираждинов Р.Р., Губайдулина Т.В., Мацнев М.Е., Киселева Т.Ю., Казаков А.П., Русаков В.С.

C2-6

О ПЕРЕХОДЕ ВЕРВЕЯ В НАНОДИСПЕРСНОМ МАГНЕТИТЕ

Захарова И.Н., Николаев В.И., Шипилин А.М., Терзи М.Е.

C2-7

МЕССБАУРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ⁵⁷Fe СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЯ

Нурмехамитов Р.Н., Лядов Н.М., Файзрахманов И.А., Вагизов Ф.Г.,

C2-8

RBS AND SEMS STUDY OF YTTRIUM IRON GARNET THIN FILMS

Kirichenko V.G., Kovalenko O.V.

C2-9

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОПРОВОЛОК ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ В ПОРАХ ПОЛИМЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Фролов К.В., Загорский Д.Л., Любутин И.С., Коротков В.В., Бедин С.А., Сульянов С.Н. Артемов В.В.

Секция №5: «Химия, катализ, структура и связь»

C5-1

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА МАГНИТНЫХ ОКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПОМОЩЬЮ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Куликов Л.А., Мелихов И.В., Перфильев Ю.Д., Паль А.Ф., Перетяцько П.И.

C5-2

МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗА В НАНЕСЕННЫХ FeSO₄/SiO₂ СИСТЕМАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМООБРАБОТКИ

Плетнев О.Н., Бухтиярова Г.А., Шуваева М.А., Баюков О.А.

C5-3

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИЗУЧЕНИИ КАТАЛИЗАТОРОВ КРЕКИНГА НА ОСНОВЕ ПИЛЛАРИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ МОНТМОРИЛЛОНИТОВ

Закарина Н.А., Бродский А.Р., Яскевич В.И., Волкова Л.Д., Ким О.К.

C5-4

МЁССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕНДРИМЕРНОГО ЖЕЛЕЗО (III)-СОДЕРЖАЩЕГО КОМПЛЕКСА С ВНЕШНЕСФЕРНЫМ АНИОНОМ NO₃⁻

Иванова А.Г., Пятаев А.В., Манапов Р.А., Домрачева Н.Е., Груздев М.С., Червонова У.В., Губайдулина Т.В., Горчаков Д.Е., Лёкина Ю.О.

C5-5

МЕССБАУЭРОВСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНО- И БИЯДЕРНЫХ ЖЕЛЕЗО-СЕРНЫХ НИТРОЗИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ованесян Н.С., Шилов Г.В., Мушенок Ф. Б., Санина Н.А., Алдошин С. М.

Понедельник, 13 октября 2014г.

Секция 3: «Новые материалы и интенсивные воздействия на вещество (термическое, радиационное, деформационное и др.)»

C3-1

МЁССБАУЭРОВСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СУХОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ СПЛАВОВ Fe - Mn ПРИ 300 К

Шабашов В.А., Заматовский А.Е., Коршунов Л.Г., Литвинов А.В.

C3-2

ДЕФОРМАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЕ АТОМНОЕ РАССЛОЕНИЕ В ОЦК Fe - Mn СПЛАВАХ В ПРОЦЕССЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Шабашов В.А., Козлов К.А., Сагарадзе В.В., Печеркина Н.Л.

C3-3

СТАБИЛИЗАЦИЯ АУСТЕНИТА ВОДОРОДОМ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ РАСТВОРЕНИИ ГИДРИДОВ ТИТАНА В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗА

Шабашов В.А., Литвинов А.В.

C3-4

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ПРИ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СМЕСЕЙ НИТРИДОВ ХРОМА, МАРГАНЦА И БОРА СО СПЛАВАМИ ЖЕЛЕЗА

Шабашов В.А., Козлов К.А., Дорофеев Г.А., Литвинов А.В., Ляшков К.А.

C3-5

МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ МАГНИТО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Шипко М.Н., Коровушкин В.В., Степович М.А.

C3-6

СИНТЕЗ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ КВАЗИУПОРЯДОЧЕННЫХ ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ Fe-Al-M (M=Ga, V, Sn, V, Mn): СТРУКТУРНЫЕ И МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Воронина Е.В., Елсуков Е.П., Масленникова А.Е., Королев А.В.

С3-7

МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ПРЕКУРСОРА НА МИКРОСТРУКТУРУ КОМПОЗИТА Fe/Zr/Fe₂O₃, СФОРМИРОВАННОГО МЕТОДОМ СВС

Киселева Т.Ю., Григорьева Т.Ф., Талако Т.Л., Ковалева С.А., Лецко А.И., Ситенков Н.В., Майоров М.И.

С3-8

МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В СИСТЕМЕ Cu-Fe-C

Ерёмина М.А., Ломаева С.Ф., Елсуков Е.П., Ульянов А.Л.

С3-9

ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИБИМЕТАЛЛА В СПЕЦИАЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫХ Fe - Ni СПЛАВАХ ИНВАРНОГО ДИАПАЗОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ И ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Литвинов А.В., Шабашов В.А., Афанасьев С.В., Коршунов Л.Г.

СЕКЦИЯ 4 - Биологические применения

С4-1

LOW-TEMPERATURE IN-FIELD MÖSSBAUER SPECTROSCOPIC EVIDENCE FOR FERRITIN IN THE RHIZOBACTERIUM AZOSPIRILLUM BRASILENSE SP7

Kovács K., Pechousek J., Kamnev A.A., Tugarova A.V., Kuzmann E., Machala L., Zboril R., Stichleutner S., Homonnay Z., Bíró B., Lázár K.

С4-2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ЖЕЛЕЗА МЕЖДУ МОЗГОМ И ПЕЧЕНЬЮ ПОСЛЕ ИНЪЕКЦИИ ФЕРРОЖИДКОСТИ В ЖЕЛУДОЧЕК МОЗГА КРЫСЫ

Поликарпов Д.М., Габбасов Р.Р., Черепанов В.М., Чуев М.А., Никитин М.П., Панченко В.Я..

С4-3

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДАЦИИ МАГНИТНЫХ НАНОКОНЬЮГАТОВ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ ПРИ ПОМОЩИ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Габбасов Р.Р., Поликарпов М.А., Черепанов В.М., Чуев М.А., Никитин М.П., Деев С.М., Панченко В.Я..

С4-4

ПОЛУЧЕНИЕ ЧАСТИЦ БИОГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА

Шапкин А.А., Чистякова Н.И., Киселева Т.Ю., Заварзина Д.Г., Жилина Т.Н., Русаков В.С.

C4-5

A COMPARATIVE STUDY OF LIVER AND SPLEEN TISSUES FROM NORMAL HUMAN AND PATIENTS WITH SOME HEMATOLOGICAL MALIGNANT DISEASES USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

Alenkina I.V., Oshtrakh M.I., Vinogradov A.V., Konstantinova T.S., Semionkin V.A.

C4-6

AN ANALYSIS OF THE FEATURES OF THE LEGHEMOGLOBIN MÖSSBAUER SPECTRA LINE SHAPE IN RELATION TO PROTEIN STRUCTURE

Kumar A., Zakharova A.P., Alenkina I.V., Oshtrakh M.I., Semionkin V.A., Kundu S.

СЕКЦИЯ 6 - Геология и минералогия

C6-1

ОСОБЕННОСТИ МАГНЕТИТА В СФЕРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ЧАТИЦАХ

Седьмов Н.А., Залуцкий А.А., Морозов В.В.

C6-2

A COMPARATIVE STUDY OF SIKHOTE-ALIN, ALISKEROVO, ANYUJSKIJ AND STERLITAMAK IRON METEORITES USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY: PRELIMINARY RESULTS

Goryunov M.V., Oshtrakh M.I., Chukin A.V., Grokhovsky V.I., Semionkin V.A.

C6-3

ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ СВОЙСТВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ СЛОИСТЫХ НАНОСТРУКТУРАХ (КОНКРЕЦИИ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

Гендлер Т.С., Бортников Н.С., Новиков В.М., Новакова А.А., Кривенков М.С., Ломов А.

СЕКЦИЯ 8 - Новые методики и техника эксперимента

C8-1

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА СИНХРОННОГО НАКОПЛЕНИЯ В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Циноев В.Г., Черепанов В.М., Сдобнов С.И.

C8-2

THE FEATURES OF NUCLEAR GAMMA-RESONANCE OBSERVATION OF ROTATING OBJECTS AND EXTENDED RELATIVISTIC THEORY

Kirichenko V.G., Kovalenko O.V., Gofman Yu. I.

C8-3

ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

Силаев А.А.(мл.), Силаев А.А., Годовиков С.К.

C8-4

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА НА
ОСНОВЕ СТАНДАРТНОГО АУДИОИНТЕРФЕЙСА ПЕРСОНАЛЬНОГО
КОМПЬЮТЕРА**

Дулов Е.Н., Ивойлов Н.Г., Хрипунов Д.М., Бикчантаев М.М.

C8-5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДРОБНЫХ МОМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ
КАЧЕСТВА МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ**

Храмов А. С., Вагизов Ф.Г., Фатхуллин Б. Ф.

C8-6

**ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДОПЛЕРОВСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ МЁССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА**

Зехцер М.Ю., Ревякин А.С., Сарычев Д.А.

Дополнительные материалы

C1-14

**MÖSSBAUER STUDY OF MAGNETIC ORDERING IN $Ba(Fe,Nb)O_3$
AND $Pb(Fe,Nb)O_3$ MULTIFERROICS**

T. Kmječ, J. Kohout, K. Závěta, D. Kubániová, P. Bezdička, V. V. Laguta, I. P. Raevski

C3-10

**МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В АНАЛИЗЕ АМОРФНЫХ
СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

Балдохин Ю.В., Вавилова В.В., Заболотный В.Т., Канныкин С.В., Корнеев В.П.

СЕКЦИЯ 1
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И МАГНЕТИЗМ

РОЛЬ БЕСПОРЯДКА

В АТОМНОЙ ДИНАМИКЕ И ТЕРМОДИНАМИКЕ СТЁКОЛ

Чумаков А.И.¹, Monaco G.^{2,1}, Fontana A.^{2,3}, Босак А.¹, Hermann R.P.^{4,5}, Bessas D.^{4,5}, Wehinger B.¹, Crichton W.A.¹, Krisch M.¹, Ruffer R.¹, Baldi G.⁶, Carini Jr. G.⁷, Carini G.⁸, D'Angelo G.⁸, Gilioli E.⁶, Tripodo G.⁸, Zanatta M.^{9,3}, Winkler B.¹⁰, Milman V.¹¹, Refson K.¹², Dove M.T.¹³, Дубровинская Н.¹⁴, Дубровинский Л.¹⁵, Keding R.¹⁶, and Yue Y.Z.¹⁷

¹European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France,

²Università di Trento, Italy, ³IPCF-CNR, UOS di Roma, Italy, ⁴JCNS and PGI, Germany,

⁵Université de Liège, Belgium, ⁶IMEM-CNR, Italy, ⁷IPCF-CNR, UOS di Messina, Italy,

⁸Università di Messina, Italy, ⁹Università di Perugia, Italy, ¹⁰Goethe-Universität, Germany,

¹¹Accelrys, UK, ¹²STFC Rutherford Appleton Laboratory, UK, ¹³Queen Mary University of

London, UK, ¹⁴Laboratory of Crystallography, University of Bayreuth, Germany,

¹⁵Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth, Germany, ¹⁶Max Planck Institut for the

Science of Light, Erlangen, Germany, ¹⁷Aalborg University, Denmark

chumakov@esrf.fr

ROLE OF DISORDER

IN ATOMIC DYNAMICS AND THERMODYNAMICS OF GLASSES

In the late 50-ies, scientists found that at low temperatures glasses have much larger heat capacity than the corresponding crystals. Soon after, the higher heat capacity of glasses was attributed to the glass-specific group of low-energy atomic vibrations, the so-called 'boson peak'. This launched an impressive amount of studies which, however, still do not converge to a unified answer to how disorder causes these anomalies. The results of our work [1] show that disorder does not do that, actually. We studied atomic vibrations of SiO₂ glasses and crystals using inelastic x-ray scattering with nuclear resonance analysis. The results clarified that the higher heat capacity of glasses is not caused by disorder: It appears simply because glasses usually have a lower density than the corresponding crystals.

В конце 50-х было обнаружено что при низких температурах теплоёмкость стёкол существенно больше теплоёмкости кристаллов. Вскоре повышенная теплоёмкость стёкол была идентифицирована с особой группы низко-энергетических атомных колебаний, названных 'бозоновским пиком'. Эти наблюдения инициировали громадное количество исследований, которые тем не менее так и не привели к ответу на вопрос каким же образом беспорядок вызывает данные аномалии.

Результаты нашей работы [1] показывают, что на самом деле беспорядок этого не делает. Мы исследовали атомную динамику стёкол и кристаллов окиси кремния (SiO₂) методом неупругого рассеяния рентгеновских лучей с ядерным резонансным анализом рассеянного излучения. Результаты показывают, что в области низких энергий стёкла и кристаллы имеют одинаковое количество колебательных состояний. В стёклах эти состояния мягче, легче заселены при низких температурах и, таким образом, приводят к повышенной теплоёмкости. В то же время, мягкость состояний вызвана не беспорядком, а просто меньшей плотностью: чем меньше плотность, тем мягче колебательные состояния. Более того, колебательные состояния стёкол и кристаллов с одинаковой плотностью имеют одинаковые энергии и, соответственно, приводят к одинаковой теплоёмкости. Таким образом, повышенная теплоёмкость стёкол не связана с атомным беспорядком. Она вызвана просто тем, что плотность стекла обычно меньше плотности соответствующего кристалла.

Литература:

1. А.И. Чумаков и др., Physical Review. Letters, 2014, 112, 025502-5.

MAGNETIC PROPERTIES OF NEW MULTIFERROICS $\text{Ba}_3\text{MFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ STUDIED BY MOSSBAUER SPECTROSCOPY AND NMR

Lyubutin I.S.¹, Naumov P.G.¹, Gavriiliuk A.G.^{1,2}, Trojan I.A.¹, Davydova Yu.A.¹, Starchikov S.S.¹, Mironovich A.A.², Aksenov S.N.², Tkachev A.V.^{1,3}, and Gippius A.A.³

¹*Shubnikov Institute of Crystallography, RAS, 119333, Moscow, Russia*

²*Institute for Nuclear Research, RAS, 117312, Moscow, Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, 119991, Moscow, Russia*
lyubutinig@mail.ru

The $\text{Ba}_3\text{MFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ compounds have the trigonal crystal structure and belong to the iron containing langasite family. Langasite $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, which gave the name to the whole family, is a crystal with unique piezoelectric properties that exceed those of quartz, and it also has interesting combination of luminescent, laser, and nonlinear optical properties. A strong interest is attracted to the langasite-type compounds containing magnetic ions. Coexistence of electric and magnetic order parameters in these materials provide a new type of multiferroics. Neutron diffraction studies of $\text{Ba}_3\text{NbFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ revealed the effect of spin rotation related to magnetic chirality in the helical magnetic structure in the magnetically ordered phase [1].

In our research, the magnetic properties of iron-containing langasite compounds $\text{Ba}_3\text{MFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ($\text{M} = \text{Sb}, \text{Nb}, \text{Ta}$) was performed by the low temperature Mössbauer spectroscopy and NMR. Temperature dependences of the hyperfine magnetic fields H_{hf} at iron nuclei and the T_{N} values in the range 27-38 K have been obtained [2,3]. Two magnetically nonequivalent Fe sites were revealed by Mössbauer spectroscopy in the compounds with $\text{M} = \text{Nb}$ and Ta , and the Fe spins reorientation effect was found in the magnetically ordered state.

The further study of the $\text{Ba}_3\text{MFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ samples by zero-field (ZF) NMR spectroscopy at ^{57}Fe nuclei and field-sweep NMR spectroscopy at ^{57}Fe and ^{121}Sb nuclei were performed. The line shape of ZF NMR provides an exact profile of the internal hyperfine field H_{hf} distribution at ^{57}Fe nuclei. In all compounds the magnetic field profile deviates from simple model of two independent peaks. Probably, this effect can be attributed to the spin-density wave in the helical magnetic structure. Field-sweep NMR spectroscopy data is in agreement with ZF NMR observations.

The high-pressure magnetic states of the langasite-type powdered sample $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ were also investigated in a diamond anvil cell by the nuclear forward scattering (NFS) of synchrotron radiation technique in the temperature range of 20–300 K and in hydrostatic pressures from ambient to 38 GPa. In the pressure range of $0 < P < 19.5$ GPa, an increase of the Neel temperature T_{N} from 27 to 41 K was observed in the antiferromagnetic phase of the material. At pressures ~ 19.5 GPa, a transition to another magnetic phase with huge increase in the Neel temperature to ~ 120 K was found. This change correlates with the structural transition at ~ 19.5 GPa which was found from XRD and Raman spectra at this pressure. The pressure dependence of the Neel temperature was calculated from the experimental data and magnetic P - T phase diagram of $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ was plotted and analysed.

Acknowledgments:

Support by the Russian Scientific Foundation (grant #14-12-00848) is acknowledged.

[1] K. Marty *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **101** (2008) 247201.

[2] I.S. Lyubutin *et al.*, *Phys. Rev. B*, **84** (2011) 214425.

[3] I.S. Lyubutin *et al.*, *Euro. Phys. Lett.*, **90** (2010) 67005.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРОВСКИТА $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Co}_{0.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3-\gamma}$ МЕТОДАМИ ЯМР И ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА

Макарова А.О.¹, Покатилов В.С.¹, Русаков В.С.², Сигов А.С.¹, Покатилов В.В.¹

¹Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

pokatilov@mirea.ru

NMR AND MOSSBAUER STUDY OF PEROVSKITE $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Co}_{0.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3-\gamma}$

Makarova A.O., Pokatilov V.S., Rusakov V.S., Sigov A.S., Pokatilov V.V.

Local lanthanum and iron states in the $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Co}_{0.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3-\gamma}$ perovskite were studied by ¹³⁹La NMR and ⁵⁷Fe Mossbauer methods in the temperature range 4 – 295K.

В настоящее время большое внимание исследователей привлекает система перовскитов $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ при ($x = 0 - 0.5$). В этих перовскитах обнаружено огромное магнитосопротивление и большое значение эффекта Холла [1]. Перовскит LaCoO_3 является антиферромагнетиком и полупроводником при низких температурах. Замещение ионов La^{3+} на Sr^{2+} приводит к значительным изменениям электрических и магнитных свойств, к образованию дополнительно ионов Co^{4+} , к образованию субмикрообластей, обедненных и обогащенных дырками [1]. Размеры этих субмикрообластей лежат в области 8-40 нм[2]. Цель работы – изучение локальных сверхтонких параметров состояний ионов лантана и железа в субмикрообластях в перовските $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Co}_{0.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3-\gamma}$.

Поликристаллические образцы $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Co}_{0.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3-\gamma}$ были приготовлены методом твердотельной керамической технологии. Полученные образцы, как показали рентгеновские измерения, были однофазные и имели ромбоэдрическую структуру с параметрами $a = 5.444 \pm 0.001 \text{ \AA}$ и $c = 13.174 \pm 0.001 \text{ \AA}$.

Измерения сверхтонких параметров были выполнены методами импульсного ЯМР при 4.2K на ядрах ¹³⁹La и эффектом Мессбауэра на ядрах ⁵⁷Fe при 87-295K. Спектр ЯМР ядер ¹³⁹La в $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{CoO}_3$ состоит из асимметричной широкой линии и лежит в области частот 15-33 МГц. Ширина спектра равна 6 МГц. Спектр содержит два подспектра, обусловленные резонансами ядер ¹³⁹La в двух субмикрообластях с разным содержанием ионов Sr^{2+} . Измерена зависимость амплитуды эха $A_e(h_1)$ от амплитуды РЧ поля h_1 . Наблюдались два пика в этой зависимости. Определены локальные поля магнитной кристаллографической анизотропии для двух субмикрообластей.

Из температурных зависимостей ширин мессбауэровских спектров и средних сверхтонких полей измерена точка Кюри магнитного перехода $T_C = 212 \pm 2 \text{ K}$. В области температур 87-210K наблюдаются широкие и асимметричные мессбауэровские спектры. При понижении температуры ширины спектров сужаются. При 87K распределение полей содержат узкий пик и широкий хвост. Мессбауэровские данные также указывают на то, что ионы железа находятся в двух субмикрообластях с различным содержанием ионов Sr^{2+} . Для анализа состояний ионов железа использовались методы распределений сверхтонких полей и многоуровневой суперпарамагнитной релаксация. Данные ЯМР и эффекта Мессбауэра указывают на существование в перовските $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Co}_{0.98}^{57}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3-\gamma}$ двух типов субмикрообластей с разным содержанием в них лантана и стронция.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 14-02-00690.

Литература

[1]. G. Briceño, H. Chang, X. Sun, P.G. Schuitz, X.-I. Xiang, Science 270, 273 (1995).

[5]. M.A.Señaris-Rodriguez, J.B. Godenough, J. Solid State Chem. 118, 323 (1995).

**МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРРОИКА CuCrO_2
НА ЗОНДОВЫХ АТОМАХ ^{57}Fe**

Русаков В.С., Пресняков И.А., Гапочка А.М., Соболев А.В., Мацнев М.Е., Лекина Ю.О.
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

al-gap@physics.msu.ru

^{57}Fe PROBE MÖSSBAUER STUDY OF MULTIFERROIC CuCrO_2

Rusakov V.S., Presniakov I.A., Gapochka A.M., Sobolev A.V, Matsnev M.E., Lekina Yu.O.

This work presents the results of detailed Mössbauer studies of ^{57}Fe doped CuCrO_2 powder sample in the temperature range, including the Neel temperature of magnetic phase transition. Using the method of fitting in the incommensurate proper-screw spiral type model it was found that the value of anharmonicity parameter (0.58 ± 0.03) practically no change with temperature in the range of 5-21 K. At isotropic contribution $H_{\text{is}} = 482.4 \pm 0.3$ kOe a relatively large anisotropy is observed: $H_{\text{an}} = 19.2 \pm 0.6$ kOe (at 4.96 K). The anisotropic part H_{an} of the hyperfine field H_{n} only partly (~ 12 kOe) results from dipolar effects and seems to involve an electronic intrinsic contribution.

В работе представлены результаты мёссбауэровских исследований мультиферроика CuCrO_2 на зондовых атомах ^{57}Fe в диапазоне температур, включающем температуру магнитного фазового перехода. Для обработки и анализа мессбауэровских спектров использовались методы восстановления распределения сверхтонких магнитных полей H_{n} и расшифровки в модели несоразмерной спиральной спиновой структуры, реализованные в программе SpectrRelax [1].

Мёссбауэровский спектр $\text{CuCr}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{O}_2$, снятый в парамагнитной области температур ($T > T_{\text{N}}$) состоит из квадрупольного дублета с изомерным сдвигом $\delta(33\text{K}) = 0.485 \pm 0.003$ мм/с, который соответствует атомам Fe^{3+} в высокоспиновом состоянии. Величина квадрупольного смещения $\varepsilon(33\text{K}) = 0.300 \pm 0.003$ мм/с свидетельствует о возможном сильном искажении оксидных октаэдров (FeO_6). Спектры, полученные при $T < T_{\text{N}}$, представляют собой ассиметричные Зеемановские секстеты с неоднородно уширенными линиями. Такой вид спектров в рамках несоразмерной модуляции спиновой структуры CuCrO_2 геликоидного типа связан с модуляцией сверхтонких электрических взаимодействий при повороте магнитного момента Fe^{3+} относительно главной оси (Z) тензора градиента электрического поля (ГЭП), а также из-за анизотропии сверхтонких магнитных взаимодействий в позициях Fe^{3+} вдоль волнового вектора геликоида (x):

$$\varepsilon(\mathcal{A}(x)) = \varepsilon_{\text{lat}} (3 \cos^2 \mathcal{A}(x) - 1) / 2, \quad H_{\text{n}}(\mathcal{A}(x)) = H_{\text{is}} + H_{\text{an}} (3 \cos^2 \mathcal{A}(x) - 1) / 2.$$

Здесь ε_{lat} – квадрупольное смещение, вызванное ГЭП, созданным распределением заряда вокруг ядра в решетке, H_{is} and H_{an} – изотропный и анизотропный вклады в H_{n} , $\mathcal{A}(x)$ – угол между направлением сверхтонкого магнитного поля и осью Z , полученный из соотношения $\cos \mathcal{A}(x) = \text{sn}((\pm 4K(m)/\lambda)x, m)$, где $\text{sn}(x, m)$ – эллиптическая функция Якоби, m – ее параметр, $K(m)$ – полный эллиптический интеграл первого рода. В результате обработки спектров был найден параметр ангармоничности $m = 0.58 \pm 0.03$, который в диапазоне температур 5-21 К практически не изменяется. При изотропном вкладе $H_{\text{is}} = 482.4 \pm 0.3$ кЭ наблюдается относительно большая анизотропия: $H_{\text{an}} = 19.2 \pm 0.6$ кЭ (при 4.96 К). Анизотропный вклад H_{an} в сверхтонкое поле H_{n} только частично (~ 12 кЭ) является результатом дипольных эффектов и, похоже, имеет внутренний электронный вклад.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований: № 14-03-00768а и частично № 14-02-01109а.

[1] M.E. Matsnev, V.S. Rusakov. AIP Conference Proceedings, 2012, 1489, 178-185.

ЗОНДОВАЯ МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ МАНГАНИТОВ

Глазкова Я.С.¹, Белик А.А.², Соболев А.В.¹, Пресняков И.А.¹

¹Московский Государственный университет им.М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Национальный Институт Наук о Материалах, Цукуба, Япония

janglaz@bk.ru

⁵⁷Fe PROBE MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF PEROVSKITE-LIKE MANGANITES

Glazkova Ia.S.¹, Belik A.A.², Sobolev A.V.¹, Presniakov I.A.¹

We report new results of ⁵⁷Fe probe Mössbauer studies on powder BiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃, TiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃ and BiMn_{6.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₁₂ samples. These manganites have attracted a great interest due to their multiferroic properties as well as phenomena of cooperative orbital ordering, caused by Jahn-Teller Mn³⁺ ions in its structure. Mossbauer spectra were measured in wide temperature range including the points of magnetic (T_N) and orbital ordering (T_{OO}) phase transitions.

Представлены результаты мессбауэровского исследования на ядрах зондовых атомов ⁵⁷Fe манганитов BiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃, TiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃ и BiMn_{6.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₁₂. Все рассматриваемые соединения принадлежат к большому классу перовскитоподобных оксидов марганца (III), интерес к которым связан в первую очередь с входящими в их состав ян-теллеровскими ионами Mn³⁺, для которых характерно проявление эффектов кооперативного орбитального упорядочения. Манганиты BiMnO₃ и BiMn₇O₁₂ являются мультиферроиками первого рода, для которых температура спонтанной электрической поляризации (T_C), связанной со “стереохимической активностью” 5s-электронной пары катионов Bi³⁺, заметно превышает температуру магнитного упорядочения ($T_N < T_C$).

Мессбауэровские спектры образца BiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃, измеренные в парамагнитной области температур ($T > T_N$) ниже температуры фазового перехода при $T_{OO} \approx 413$ К, были описаны в виде единственного дублета с квадрупольного расщеплением $\Delta^{OO} = 1.22 \pm 0.01$ мм/с. При переходе в область температур выше T_{OO} , соответствующую орбитально-разупорядоченной фазе манганита, в спектре по прежнему присутствует единственный дублет, но с существенно меньшим квадрупольным расщеплением $\Delta^{OD} = 0.64 \pm 0.01$ мм/с. Анализ температурной зависимости спектров, измеренных в режимах “охлаждения” (\downarrow) и “нагревания” (\uparrow) показал наличие широких интервалов температур $\Delta T(\uparrow) \approx 65$ К и $\Delta T(\downarrow) \approx 50$ К, в которых сосуществуют орбитально-разупорядоченная ($T > T_{OO}$) и упорядоченная ($T < T_{OO}$) фазы BiMnO₃, при этом наблюдается заметный гистерезис в температурных зависимостях парциальных вкладов соответствующих фаз.

Проведенные нами расчеты в рамках ионной модели параметров тензора градиента электрического поля (ГЭП) на ядрах зондовых атомов ⁵⁷Fe, замещающих катионы Mn³⁺ в структурно-неэквивалентных позициях моноклинной решетки TiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃ и BiMn_{6.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₁₂, свидетельствуют значительном вкладе в ГЭП дипольных моментов ионов O²⁻ и Bi³⁺. Рассмотрены различные вклады в тензоры поляризуемостей α_O , α_{Bi} и α_{Ti} , связанные со спецификой электронной структуры рассматриваемых манганитов.

При низких температурах $T < T_N$ МС спектры BiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃ и TiMn_{0.96}⁵⁷Fe_{0.04}O₃ представляют собой суперпозицию нескольких зеемановских компонент, отвечающих структурно-неэквивалентным позициям ионов Mn³⁺. Предполагается, что наблюдаемая сложная магнитная структура ⁵⁷Fe вызвана образованием фрустрированных состояний примесных центров Fe³⁺ в матрицах BiMnO₃ и TiMnO₃.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант № 14-03-00768.

КИНЕТИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОРЯДКА В γ - ОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ BiFeO_3

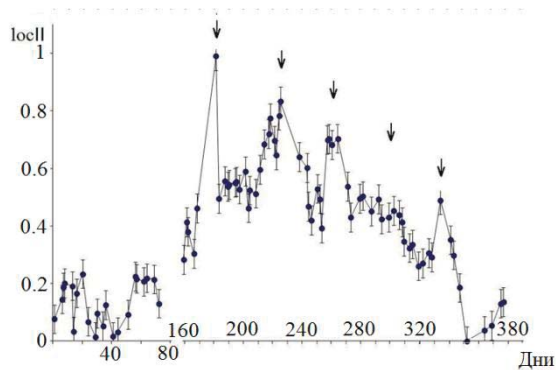
Годовиков С.К.

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
godov@srd.sinp.msu.ru

KINETICS OF TIME ORDER BEGINNING IN THE γ -IRRADIATED CRYSTALS BiFeO_3 Godovikov S.K.

It is shown that the local pressure resulted in the time order in BiFeO_3 .

Гамма-облучение кристалла BiFeO_3 обнаруживает эффект возникновения четкого временного порядка в атомных перемещениях [1]. Излучение имело верхнюю границу 55 Мэв, время облучения ~ 1 час, поглощенная доза 100Гр. Первоначально возбуждается менее 10^{-9} части объема образца. Далее однако, с течением времени возбуждение охватывает весь объем. Это время составляет ~ 6 месяцев, по прошествии которых возникает колебательный процесс в параметрах сверхтонкого магнитного расщепления $H_{\text{ст}}$ и квадрупольного смещения Q с периодом ~ 40 дней. Колебания происходят между двумя типами локальных атомных структур locI и locII , симметрия которых существенно различается. На Рис. представлена зависимость от времени относительного содержания locII . Выявляются по меньшей мере 5 пиков со спадающей амплитудой. Далее наступает период относительного спокойствия, однако, через 6 месяцев колебания типа Рис. опять возникают, и притом спонтанно, без каких-либо внешних воздействий. Предлагается следующая модель процесса. Взаимодействие γ -квантов происходит наиболее вероятно с большими по размеру атомами Bi . В отдельных ячейках ($\sim 10^{-9}$ части объема) происходит сдвиг этих атомов. Сдвиг Bi эквивалентен созданию локального давления в 7-10 кбар, как показали расчеты электрических полей на положении атома Fe и эксперименты по давлению [2]. Далее это давление индуцируется на соседние ячейки, вызывая сдвиги теперь уже любых атомов. Наиболее вероятен сдвиг легкого атома O . Возникают крупные



кластеры, внутри которых нарушена исходная локальная симметрия. При достижении порога протекания, который можно оценить как $\sim 0,4$, кластеры сливаются и давление охватывает теперь уже весь объем. Это неизбежно приводит к пьезоэффекту, электрической поляризации объема, дополнительному давлению и структурной перестройке всего объема. Перестройка становится «видимой» для эффекта Мессбауэра, поскольку она

охватывает теперь уже все атомы Fe . Период латентности (~ 6 месяцев) заканчивается и начинается синергетический колебательный процесс. Длится он также ~ 6 месяцев до разрыва связи между кластерами ниже порога протекания. «Ремейк» процесса через 6 месяцев возможен потому, что ранее возникшее добавочное давление остается и именно оно теперь, а не γ -облучение, инициирует колебания [2].

Литература:

1. S.K. Godovikov, S.M. Nikitin at al. Nanomechanics Science and Tech., 2012, 3, 341-351
2. С.К. Годовиков, Д.В. Просвирнин и др. См. настоящий сборник.

EFFECT OF CONCENTRATION AND TYPE OF A DOPING ELEMENT ON THE STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN LANTHANUM MANGANITES



Sedykh V.D.¹, Rusakov V.S.²

¹ *Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Russia*

² *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

sedykh@issp.ac.ru

We have investigated by Mossbauer spectroscopy the effect of ionic radius and concentration of a doping element on the features of structural transformations in polycrystalline lanthanum manganites $\text{La}_{1-x}\text{Me}_x\text{MnO}_{3+\delta}$ doped with a divalent impurity (Me = Sr, Ca, Ba).

According to the X-ray data the synthesized samples with a wide concentration range of a doping element are single-phase and have rhombohedral structure, except for two Ca-doped samples with $x = 0.20, 0.30$ which have the orthorhombic *PnmaI* structure.

The main factors affecting the structural features of lanthanum manganites are (1) relation of Mn valence states since Mn has a mixed valence, Mn^{3+} (Jahn-Teller ion) and Mn^{4+} [1]; (2) interstitial oxygen (δ); and (3) ionic radius of a doping element.

Varying the synthesis and heat treatment conditions it is possible to obtain one or another structural modification in manganites, the main of which are rhombohedral (space group *R-3c*) and two orthorhombic *PnmaI* and *PnmaII* (common space group *Pnma*) phases [2]. On the transition from *PnmaI* to *PnmaII* the additional orthorhombic *PnmaII** phase appears which is not independent [3]. Each phase has the definite quantity of Mn^{4+} ions.

It has been shown that for the stoichiometric composition, when interstitial oxygen is absent ($\delta = 0$), the quantity of Mn^{4+} ions is equal to that of a doping element; it means that the *PnmaII* phase in doped lanthanum manganites, in which only Mn^{3+} ions are present, must not be formed. For the stoichiometric composition a mixture of three orthorhombic phases is formed in all the compounds studied. The Mossbauer spectra and the corresponding distributions of quadrupole splittings $P(\Delta)$ are strongly differ from each other for different types of a doping element. For the low concentration of a doping element ($x = 0.05$ and 0.10), $P(\Delta)$ strongly differs for different types of a doping element. For the higher concentration of a doping element ($x = 0.20$), $P(\Delta)$ differs insignificantly for the different type of doping element. We assume that in the compounds with the different type and concentration of a doping element, the different factors affecting the structural transformations will dominate.

It is known that the change in ionic radius of a doping element leads to the change in unit cell volume, in the bond angle Mn-O-Mn [4], and in orbital overlapping [5]. We suppose that the orbital overlapping is the prevailing factor for the low concentration of doping element that results in a great difference in $P(\Delta)$ for the different types of a doping element. With increasing the doping element concentration, the quantity of Mn^{4+} ions breaking the orbital ordering increases, and the ratio $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ becomes the prevailing factor, therefore the distributions $P(\Delta)$ are rather similar for the different types of impurity.

References

1. K.I. Kugel, D.I. Khomskii, UFN, 1982, 136 (4), 621.
2. V.D. Sedykh, I.S. Smirnova, B.Sh. Bagautdinov, V.Sh. Shekhtman, A.V. Dubovitskii, V.I. Kulakov, Poverkhnost', 2002, 12, 9-15.
3. V. Sedykh, G.E. Abrosimova, V.Sh. Shekhtman, I.I. Zver'kova, A.V. Dubovitskii, V.I. Kulakov, Physica C, 2005, 418 (3-4), 144-150.
4. Yu.G. Chukalkin, A.E. Teplykh, FMM, 2007, 104 (1), 105-112.
5. J.F. Jurado, J.A. Jativa, JMMM, 2013, 335, 6-10.

HYPERFINE INTERACTIONS AND MAGNETIC ORDERING IN $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x)_2$

Vershinin A.V.¹, Serikov V.V.¹, Kleinerman N.M.¹, Mushnikov N.V.¹, Rusakov V.S.²

¹*Institute of Metal Physics (IMP), Ekaterinburg, Russia*

²*Moscow State University (MSU), Moscow, Russia*

vershinin@imp.uran.ru

$\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{M}_x)_2$ ($M = \text{Co}, \text{Ru}, \text{Si}, \text{Al}, \text{Cu}$) compounds attract much attention due to a sophisticated magnetic phase diagram and anomalous magnetic properties. The binary compound CeFe_2 crystallizes in the cubic MgCu_2 -type Laves phase. It is a ferromagnet (FM) with a Curie temperature of 230 K. Upon partial substitution of Fe atoms by impurity atoms in the compounds $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{M}_x)_2$, antiferromagnetic (AF) ordering at low temperatures is observed [1]. The FM-AF phase transition is a first order transition. It is accompanied by a cubic to rhombohedral structural distortion and discontinuous change of the unit cell volume. Due to a competition between the FM and AF exchange interactions and strong magnetostructural coupling, this system is very sensitive to alloying, application of magnetic field and pressure. The aim of this work was a comparative study of the crystal structure, magnetic properties and hyperfine interactions for two compounds of $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x)_2$ family: with ferromagnetic ($x = 0$) and antiferromagnetic ($x = 0.07$) ground states.

Figure 1 shows Mössbauer spectra of the compounds measured at 130 K. At this temperature, the binary CeFe_2 is in the FM state, while for the ternary $\text{Ce}(\text{Fe}_{0.93}\text{Si}_{0.07})_2$ the AF state is realized. In spite of a relatively simple cubic structure of the binary compound, its Mössbauer spectrum cannot be treated well in the model of distribution of hyperfine fields. The amount of magnetically nonequivalent positions of iron due to different orientations of the local symmetry axes and the second-order quadrupole coupling constants were taken into account to get best fitting of the spectrum in the direct problem (Fig. 1a).

With addition of silicon, the spectrum changes drastically (Fig. 1b). Because of the rhombohedral distortions, there are no reasons to consider high-order quadrupole coupling. Instead, different environment of resonant atoms depending on the number of impurity atoms in the first coordination sphere should be taken into account. Therefore, the spectrum was fitted with the distribution function of hyperfine fields. The obtained results are discussed in the model of competition of the FM and AF couplings between different pairs of the Ce and Fe spins [2].

This work has been partially supported by RFBR (project 12-02-00864) and by Program of UB RAS (project 12-T-2-1012).

References:

1. S.B. Roy, B.R. Colles, *J. Phys.: Condens. Matter*, 1989, 1, 419-430.
2. J. Wang et al., *Phys. Rev. B*, 2012, 86, 014422-1-7.

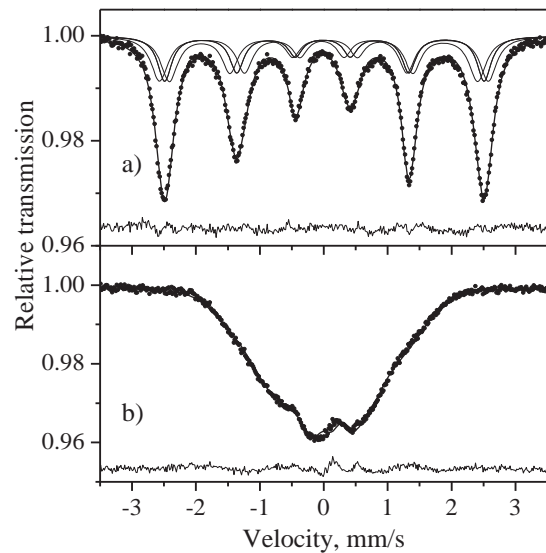


Fig. 1. Mössbauer spectra for $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x)_2$ with $x = 0$ (a) and $x = 0.07$ (b) at 130 K.

МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЕДИНЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА FeSeTe

Фролов К.В.¹, Васюков Д.М.¹, Перунов И.В.¹, Наумов П.Г.¹, Коротков Н.Ю.¹, Любутин И.С.¹, Беликов В.В.², Казаков С.М.², Пудалов В.М.³, Гаврилкин С.Ю.³

¹Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова Российской академии наук, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия
green@crys.ras.ru

MAGNETIC ORDERING OF IRON IONS IN THE SUPERCONDUCTING COMPOUNDS Fe-Se-Te FAMILY

Frolov K.V., Vasyukov D.M., Perunov I.V., Naumov P.G., Korotkov N.Yu., Lyubutin I.S., Belikov V.V., Kazakov S.M., Pudalov V.M., Gavrilkin S.Yu.

In this work we present the results of studies of the Fe_{1+x}Te and $\text{FeSe}_{1-y}\text{Te}_y$ compounds by the absorption ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy in the temperature range of 5 – 295 K. We revealed that only interplanar Fe ions are responsible for strong magnetic ordering in the Fe_{1+y}Te system.

Открытие сверхпроводимости в халькогенидах и пниктидах железа [1,2] инициировало интенсивные исследования этих материалов и возобновило обсуждение возможных магнитных механизмов высокотемпературной сверхпроводимости. Сверхпроводящие соединения FeSeTe являются наиболее структурно простыми и рассматриваются как удобные модельные объекты для исследований взаимосвязи между сверхпроводимостью, структурными и магнитными состояниями ионов железа. Обнаруженное отсутствие сверхпроводимости в объёмных фазах соединения FeTe, и её наличие в изоструктурных соединениях FeSe и FeSeTe привлекает отдельное внимание. В работе представлены результаты исследований соединений Fe_{1+x}Te и $\text{FeSe}_{1-y}\text{Te}_y$ методом ^{57}Fe мёссбауэровской спектроскопии в интервале температур 5 – 295 К.

Мёссбауэровские спектры образцов несверхпроводящего соединения Fe_{1+x}Te ($x = 0.075, 0.100, 0.125, 0.175, 0.225$) с избытком железа при комнатной температуре имеют парамагнитный вид и хорошо описывались суперпозицией дублетов, соответствующих ионам железа, расположенным в сверхпроводящих плоскостях кристаллической решётки и между ними. При температурах ниже 70 К спектры всех образцов демонстрируют сложное магнитное расщепление, указывающее на возникновение сильного магнитного упорядочением всех ионов Fe. Мёссбауэровские спектры образцов сверхпроводящего соединения $\text{FeSe}_{1-y}\text{Te}_y$ ($y = 0.5, 0.8$) без избытка железа имеют схожую парамагнитного форму во всём интервале температур 5 – 295 К. В области низких температур даже для соединения $\text{FeSe}_{0.2}\text{Te}_{0.8}$, химически наиболее близкого к бинарному составу FeTe, в спектрах наблюдается лишь малоинтенсивная магнитная компонента. Мы предполагаем, что за формирование сильного магнитного упорядочения в системе Fe_{1+x}Te ответственны именно избыточные межплоскостные ионы железа.

Работа поддержана программой Президиума РАН "Сильно коррелированные электронные системы".

Литература:

1. J. Kamihara, T. Watanabe et al. J. Am. Chem. Soc., 2008, 130, 3296.
2. K.W. Yeh, T. Huang et al. EPL, 2008, 84, 37002.

АНИЗОТРОПНЫЕ МАГНИТНЫЕ СВЕРХТОНКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ФОСФИДЕ FeP

Пресняков И.А.¹, Соболев А.В.¹, Чернявский И.О.¹, Панкратов Д.А.¹, Морозов И.В.¹

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

ipresniakov@rambler.ru

ANISOTROPIC MAGNETIC HYPERFINE INTERACTIONS IN PHOSPHIDE FeP

Presniakov I.A., Sobolev A.V., Chernyavskii I.O., Pankratov D.A., Morozov I.V.

In this work, we present the results of the ^{57}Fe Mössbauer study of FeP phosphide which attracts much attention because of its unusual magnetic structure. The spectra were measured in temperature range including the point of magnetic phase transition at $T_N \approx 120$ K. The spectra of FeP measured in the paramagnetic range ($T > T_N$) consist of one quadrupole doublet indicating that all low spin ferric ions occupy in the phosphide lattice equivalent crystal positions. The ^{57}Fe spectra measured at low temperatures $T < T_N$ demonstrate very Zeeman magnetic hyperfine pattern with inhomogeneous line broadenings and sizeable spectral asymmetry. Analysis of the experimental spectra was carried out assuming the modulation of the electric hyperfine interactions when the Fe^{3+} magnetic moment rotates with respect to the principal axis of the EFG tensor, and the anisotropy of the magnetic hyperfine field $B_{\text{hf}}(\vartheta)$ at the ^{57}Fe nuclei (ϑ is the angle between the direction of the hyperfine magnetic fields B_{hf} and EFG at ^{57}Fe nuclei).

Представлены результаты мессбауэровского исследования сверхтонких взаимодействий ядер ^{57}Fe в фосфиде FeP, обладающего необычной геликоидальной магнитной структурой [1]. Мессбауэровские измерения поликристаллических образцов фосфида проведены в широком интервале температур, включающем точку магнитного фазового перехода $T_N \approx 120\text{K}$ [1]. Анализ и расшифровка полученных спектров проводился с использованием программного комплекса SpectrRelax [2].

Все мессбауэровские спектры, измеренные в парамагнитной области $T > T_N$, представляют собой одиночный квадрупольный дублет ($\delta_{300\text{K}} = 0.31 \pm 0.01$ мм/с, $\Delta_{300\text{K}} = 0.66 \pm 0.01$ мм/с), отвечающий низкоспиновым катионам Fe^{3+} в искаженном октаэдрическом окружении анионов фосфора. В рамках ионной модели нами были рассчитаны монопольные и дипольные вклады в градиент электрического поля (ГЭП) на ядрах ^{57}Fe . Анализ температурной зависимости квадрупольного расщепления спектров позволил охарактеризовать вклад валентных d -электронов катионов Fe^{3+} в ГЭП. В области $T < T_N$ в спектрах ^{57}Fe появляется неоднородная магнитная сверхтонкая структура, вызванная взаимной корреляцией значений квадрупольного смещения (ϵ) компонент зеemanовских секстетов и магнитного сверхтонкого поля (B_{hf}) на ядрах ^{57}Fe . Предложенная модельная расшифровка экспериментальных спектров в предположении о спинмодулированной магнитной структуре FeP позволила оценить параметр ангармоничности (m), который проявляет слабую температурную зависимость. Показано, что сверхтонкое поле B_{hf} обладает значительной анизотропией $B_{\text{hf}}(\vartheta)$ (где ϑ - полярный угол между направлениями спинов ионов Fe^{3+} и главной компонентой тензора ГЭП). Проведенные расчеты показали, что наблюдаемая анизотропия B_{hf} не может быть объяснена с привлечением только лишь магнитного дипольного вклада и, по-видимому, связана с орбитальным вкладом ($B_L \neq 0$) $3d$ -электронной оболочки катионов Fe^{3+} , а также анизотропией косвенных взаимодействий Fe-P-Fe в магнитной структуре FeP. Анализ полученных результатов проводится в сравнении с ранее полученными данными для других магнитоупорядоченных соединений железа с конкурирующими обменными взаимодействиями.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-03-01143-а

1. G.P. Felcher, F.A. Smith, D. Bellavance and A. Wold, Phys. Rev. B, 1971, 3, 3046.

2. M.E. Matsnev and V.S. Rusakov. AIP Conference Proceedings, 2012, 1489, 178-185

STUDY OF THE SI-RICH REGION OF THE FE-SI SYSTEM WITH FIRST-PRINCIPLES CALCULATIONS

Dobysheva L.V.

*Physics-Technical Institute, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Izhevsk, Russia
lyuka17@mail.ru*

There are few compounds of a close composition possible in the Si-rich region of the Fe-Si system. Their diverse properties make them interesting for both science and technology. Mechanical alloying (MA) is a unique technique which allows one to produce stable and meta-stable materials depending on conditions of experiment. Substances obtained during MA, especially before a heat treatment, are often imperfect and, along with stable and metastable compounds, regions with many defects can appear. The size of the homogeneous regions is rather small, especially at initial stage, and this obstructs a study of the MA process in details with usual X-ray diffraction. Mossbauer spectroscopy gives unrivaled insight into the structure presenting information on a local atomic environment of iron. But interpretation of Mossbauer spectra is much more difficult for MA experiments, because one has to take into account, together with the compounds from phase diagram, those unobvious metastable compounds and variations of stable compounds with structural defects.

As experiments of $\text{Si}_{70}\text{Fe}_{30}$ with mechanical alloying [1] show, during initial stages of MA found were α - and β - FeSi_2 , as well as ε - FeSi . Considering the Fe-Si phase diagram and experimental results found in literature, we assume that, in addition, possible are γ - FeSi_2 (CaF_2 lattice type), and its variant $\text{Fe}_{0.5}\text{Si}$ (FeSi with CsCl lattice type with a random Fe-deficiency, that is, with disordered vacancies in Fe-sublattice). Both the latter phases can be produced by other technological methods only if epitaxially stabilized. Also, we consider iron as separate impurities in silicon, as such defects are detected in experiments on ion implantation, though there is no a solution of Fe in Si in the phase diagram.

The aim of this work is to consider different possible compounds that can appear during MA of Fe-Si, taking into account possible defects of structures, in order to analyse and interpret Mossbauer spectra. The isomer shifts and quadrupolar splittings are calculated for the above mentioned systems with structural defects. The first-principles calculations are conducted with method [2], the structural relaxation of the unit cells being made beforehand.

Considered are:

- 1) for the system α - FeSi_2 , the vacancies in iron and silicon sublattices, and the hypothesis on Si atoms replacing iron [3];
- 2) for the system β - FeSi_2 , the vacancies in two iron and two silicon sublattices;
- 3) an ideal γ - FeSi_2 and few variants of disorder in $\text{Fe}_{0.5}\text{Si}$;
- 4) substitution and interstitial positions of iron atoms in the diamond lattice, as well as an interstitial iron with a vacancy on a neighboring site [4].

References

1. V. E. Porsev, D. A. Kolodkin, A. L. Ul'yanov, and E. P. Elsukov. *The Physics of Metals and Metallography*, 2013, 114, 953–961
2. P. Blaha, K. Schwarz, G.K.H. Madsen, D. Kvasnicka, J. Luitz. *WIEN2k, an augmented plane wave + local orbitals program for calculating crystal properties*. Wien: Wien Techn. Universitat (2001) ISBN 3-9501031-1-2
3. O. Helgason and T. I. Sigfljsson. *Hyperfine Interactions*, 1989, 45, 415-418
4. T. Mchedlidze and M. Suezawa. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2002, 41, 7288

OXIDATION OF IRON. EFFECT OF DIFFERENT ISOTOP COMPOSITION

Baldokhin Yu.V.¹, Perfiliev Yu.D.², Kulikov L.A.², Burnazyan M.A.¹, Pustov Yu. A.³
¹*Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*
³*Institute of Steel and Alloys, Moscow, Russia*
perf@radio.chem.msu.ru

The aim of work was finding out features of iron oxidation with a various content of the isotopes prepared in the form of foils, bulk samples and powders. Impurity of other elements in samples of pure usual iron and iron (enrichment up to 95 % by ⁵⁷Fe) practically were identical (less than 0,1 %). Isotope composition of a ⁵⁷Fe-containing foil: ⁵⁷Fe - 95,1 %; (⁵⁴Fe + ⁵⁶Fe) – 3,0 % and ⁵⁹Fe – 1,9 %. Structural states are studied by methods of X-ray diffraction, Mössbauer spectroscopy of conversion and Auger-electrons, as well as on absorption of Mössbauer γ -quantums, Electron Microscopy and Electrochemical investigations . Isotope effect i.e. steadiness to iron oxidation of the samples with different isotope content was obviously expressed. Usual iron is oxidized exposed to air whereas the iron foil of ⁵⁷Fe remains stable for more than 40 years. A possible reason of the effect is the different spin of nuclear magnetic moments of the isotopes ⁵⁷Fe and ⁵⁶Fe, 1/2 and 0 respectively.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$

Годовиков С.К.¹, Просвирнин Д.В.², Никитин С.М.¹, Лагутина Е.С.¹, Покатилов В.С.³
¹Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

³Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия

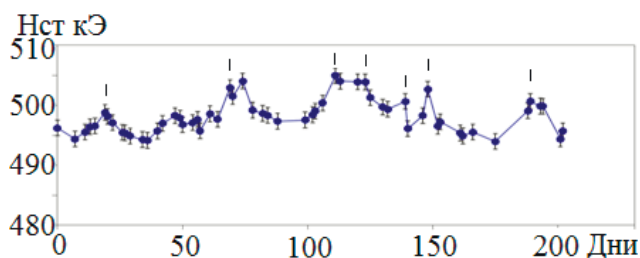
godov@srd.sinp.msu.ru

THE EXTERNAL PRESSURE AND THE SELF-ORGANIZATION IN $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$

Godovikov S.K., Prosvirnin D.V., Nikitin S.M., Lagutina E.S., Pokatilov V.S.

It is concluded that the external pressure resulted in a self-organization in $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$.

Ранее были обнаружены и исследованы процессы самоорганизации в мультиферроике BiFeO_3 под действием электрического удара [1] или облучения γ -лучами [2]. Наблюдались превращения локальной атомной структуры, имеющие периодический характер. Например, γ -облучение привело к колебательному процессу с периодом ~ 40 дней. Предполагалось, что первопричиной этих процессов является внутреннее локальное давление, возникающее из-за нарушения электрического баланса в результате внешнего воздействия. Прямой проверке этого предположения и посвящена настоящая работа. Был выбран образец, в котором Bi на 10% замещен ионами La, хаотично распределенными по решетке. Это обеспечивает увеличение изначальной «хаотичности» образца, к которому было приложено давление в ~ 7 кбар. Давление создавалось в промышленном прессе при наложении усилия в 35Т к реальному мессбауэровскому поглотителю в течение 1 мин. Импульс давления нарушил невозмущенное состояние образца, которое исследовалось в течение 17 дней. Зависимость $N_{\text{ст}}$ от времени обнаружила серию пиков, обозначенных стрелками на Рис. Характерно, что пики в поведении квадрупольного расщепления Q четко коррелировали с пиками $N_{\text{ст}}$, изменяясь в пределах $-0,05$ мм/с $\rightarrow +0,02$ мм/с. Четкой периодичности, подобной эффекту в γ -облученных образцах (~ 40 дней) [2] здесь не наблюдалось, однако некий средний период колебаний выявляется и здесь и равен он ~ 50 дням (пики 1-2, 2-4, 5-7). Проведенный опыт есть прямое доказательство того, что:



1. Локальное давление есть причина самоорганизации атомных перемещений в γ -облученных образцах;

2. Задержка в 6 месяцев после облучения и немедленное проявление эффекта в данном случае – свидетельство предельно низкой ($\sim 10^{-9}$) и предельно высокой (~ 1) доли возмущенных областей в том и другом случае;

3. Давление в ~ 7 кбар характерно для параметра информационной волны, распространяющейся по объему в обоих типах экспериментов, но оно значительно меньше давления в экспериментах по электрическому удару, где колебания имеют период в несколько месяцев. Тем самым экспериментально доказано, что причиной возникновения самоорганизации атомных перемещений в BiFeO_3 является локальное внутреннее давление.

1. С.К. Годовиков, С.М. Никитин и др. Известия РАН, сер. физ., 2013, 77, №6, 751-754.

2. S.K. Godovikov, S.M. Nikitin at al. Nanomechanics Science and Tech., 2012, 3, 341-351

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ НА ОСНОВЕ BiFeO_3

Никитин С.М., Годовиков С.К.

НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
nikitin.sergey@gmail.com

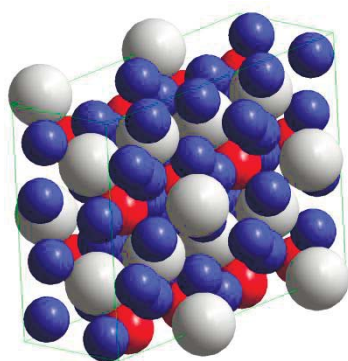
EVALUATION OF VIBRATIONAL PROCESS PARAMETERS OF MULTIFERROICS BiFeO_3

Nikitin S.M., Godovikov S.K.

Vibrational spectra of multiferroics BiFeO_3 and its La doped analogs were calculated.
Difference between spectra discussed in terms of rigidity of crystal structure.

Мультиферроик $\text{Bi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$, активация которого была создана внешним давлением [1], обнаружил гораздо большее число пиков колебательного процесса (более 8), чем

BiFeO_3 , подвергнутый γ -облучению (5 пиков) [2]. Для объяснения возможных причин этого явления был предпринят расчет ИК-спектров этих материалов. Модель для расчетов основывалась на рентгеноструктурных данных [3]. Расчет проводился методами молекулярной механики и полуэмпирики (PM3). Обсчитывался кластер, включающий четыре элементарных ячейки (80 атомов). Внешний вид такого кластера представлен на рисунке слева. На рисунке наименьшие шарики обозначают атомы кислорода, средние - железа, а большие - висмута. Для моделирования допированных лантаном структур, два атома висмута были замещены лантаном. Расчет ИК спектров



проводился с использованием периодических граничных условий. Результаты представлены на рисунке справа (а - BiFeO_3 , б - $\text{Bi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$). Правые части спектров связаны с колебаниями тяжелых атомов Bi и La. Характерно, что в спектре б возникает частота 30,81 $1/\text{см}$ (в отличие от 8,19, присущей Bi), связанная с La. Как было показано ранее [4], колебания происходят за пределами «мертвой зоны» смещений по координате X (-a, +a), где $a = f_0/k$, k – коэффициент жесткости колебательной системы, f_0 – сила, препятствующая перемещению атомов. Из Рис.б очевидно, что k , связанный с La, здесь увеличился в сравнении с k , связанным с Bi, при учете масс атомов m, по меньшей мере в 9 раз ($k/m = \omega_0^2$, где ω_0 – частота). При учете относительного содержания La, среднее значение k при введении в BiFeO_3 атомов La увеличивается в ~ 2 раза. Это означает, что «мертвая зона» резко сужается, что и позволяет продлить время колебательного процесса. Перемещения тяжелых атомов наиболее существенны здесь, поскольку, как видно из Рис., они связаны с минимальными затратами энергии.

Литература

1 С.К. Годовиков, Д.В. Просвирнин и др. См. настоящий сборник

2 С.К. Годовиков См. настоящий сборник

3. D.C. Arnold, K.S. Knight, F.D. Morrison, P. Lightfoot The ferroelectric – paraelectric transition in BiFeO_3 : Crystal structure of the orthorhombic β -phase. arxiv.org/pdf/0811.1501

4. С.К. Годовиков, А.Н. Ермаков и др. Известия РАН, сер. физ., 2013, 77 №6, 730-735

ЛОКАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В МУЛЬТИФЕРРОИКЕ



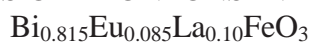
Покатилов В.С.,¹ Русаков В.С.,² Сигов А.С.,¹ Покатилов В.В.¹

¹Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: pokatilov@mirea.ru

LOCAL STATES OF IRON IONS IN MULTIFERROIC



Pokatilov V.S.¹, Rusakov V.S.², Sigov A.S.¹, Pokatilov V.V.¹

Study of valence and magnetic states of Fe ions in multiferroic $\text{Bi}_{0.815}\text{Eu}_{0.085}\text{La}_{0.10}\text{FeO}_3$ by method of Mossbauer spectroscopy in the field of temperatures 5 – 700K.

Известно, что замещение ионов висмута на редкоземельные ионы в мультиферроиках на основе висмута приводит к значительным изменениям электрической поляризации и намагниченности. Однако валентные и магнитные состояния ионов железа в этих соединениях практически не изучены. Цель данной работы – исследование валентных и магнитных состояний ионов железа в мультиферроике $\text{Bi}_{0.815}\text{Eu}_{0.085}\text{La}_{0.10}\text{FeO}_3$ методом эффекта Мессбауэра в области температур 5 – 700 К.

Исследуемые образцы были получены методом твердотельного синтеза. Рентгенографические исследования показали, что образцы были однофазные и имели ромбоэдрическую структуру с параметрами решетки: $a = 0.5556 \pm 0.0005 \text{ \AA}$, $c = 1.3770 \pm 0.0005 \text{ \AA}$. Определена температура магнитного перехода (точка Нееля) $T_N = 635 \pm 2 \text{ K}$. Для анализа спектров использовалась программа SpectrRelax (восстановление распределение сверхтонких полей $p(H_n)$ и модельная обработка [1]).

Спектр при 700К состоит из симметричного квадрупольного дублета с параметрами: сдвиг спектра $\delta = 0.106 \pm 0.007 \text{ мм/с}$, квадрупольный сдвиг $\varepsilon = 0.080 \pm 0.006 \text{ мм/с}$ и шириной линий $\Gamma = 0.313 \pm 0.012 \text{ мм/с}$. Эти данные показывают, что ионы железа находятся в одном кристаллографическом состоянии в исследуемом мультиферроике. Обнаружено, что при всех температурах ниже температуры T_N распределение $p(H_n)$ состоит из трех локальных максимумов для трех наиболее вероятных состояний ионов железа. В соответствии с данными $p(H_n)$ выполнены модельные расшифровки спектров в виде суперпозиций трех парциальных спектров для всех температур $T < T_N$. При каждой температуре для трех состояний ионов железа сдвиги δ в парциальных спектрах равны, квадрупольные сдвиги также равны ($\varepsilon = 0.00 \pm 0.01$) мм/с, но сверхтонкие поля существенно отличаются. При комнатной температуре для трех различных магнитных состояний ионов железа сдвиги равны $\delta = (0.40 \pm 0.02) \text{ мм/с}$ и, следовательно, в $\text{Bi}_{0.815}\text{Eu}_{0.085}\text{La}_{0.10}\text{FeO}_3$ ионы железа находятся в высокоспиновом трехвалентном состоянии в октаэдрическом кислородном окружении. Сверхтонкие поля для этих трех состояний ионов железа равны: $501.10 \pm 0.20 \text{ кЭ}$, $488.67 \pm 0.35 \text{ кЭ}$ и $462.9 \pm 1.8 \text{ кЭ}$. Отношение интенсивностей для этих состояний ионов железа равно 61:36:3, соответственно. Мы полагаем, что эти эффекты обусловлены прежде всего существенной разницей эффективных ионных радиусов: $R(\text{Bi}^{3+}) = 1.45 \text{ \AA}$, $R(\text{La}^{3+}) = 1.37 \text{ \AA}$, $R(\text{Eu}^{3+}) = 1.23 \text{ \AA}$ and $R(\text{Eu}^{2+}) = 1.44 \text{ \AA}$ в 12-кислородном окружении.

Работа поддержана РФФИ, грант № 12-02-00977.

Литература

[1] М.Е. Matsnev and V.S. Rusakov. *AIP Conference Proceedings*, **1489** (2012) 178-185.

МАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В ПЕРОВСКИТАХ



Покатилов В.С., Покатилов В.В., Сигов А.С.

Московский государственный университет радиотехники, электроники и автоматики, 119454 Москва, пр. Вернадского, д.78

E-mail: pokatilov@mirea.ru

MAGNETIC STATES OF IRON IONS IN PEROVSKITES



Pokatilov V.S., Pokatilov V.V., Sigov A.S.

In cubic perovskites $\text{Bi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_{3-y}$ ($x=0, 0.05$) ^{57}Fe hyperfine interactions have been measured by Mössbauer method in the temperature range 87 - 700 K

Для получения новых материалов, обладающих необходимым сочетанием физических свойств, на основе BiFeO_3 синтезируются соединения, в которых ионы Bi^{3+} замещаются на трех- или двухвалентные ионы. В литературе мало данных об исследованиях однофазных образцов системы $\text{Bi}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-a}\text{T}_a\text{O}_{3-y}$ (Т-переходной атом) методом эффекта Мессбауэра. Цель настоящей работы – исследование локальной атомной, электронной и магнитной структуры замещенных перовскитов $\text{Bi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{FeO}_{3-y}$ и $\text{Bi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Fe}_{0.95}\text{Cr}_{0.05}\text{O}_{3-y}$ методом мессбауэровской спектроскопии на ядрах ^{57}Fe в диапазоне температур 87 – 700 К.

Образцы перовскитов $\text{Bi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{FeO}_{3-y}$ (01) и $\text{Bi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Fe}_{0.95}\text{Cr}_{0.05}\text{O}_{3-y}$ (02) были приготовлены на воздухе методом твердотельного синтеза. Рентгенографический анализ образцов показал, что образец 01 был однофазным и с кубической структурой, а образец (02) содержал примесь второй фазы в количестве 2-3 %. Параметры решетки синтезированных перовскитов равны $a = 3.9511 \text{ \AA}$ (01) и 0.3951 \AA (02). Замещение атома железа на атомы хрома увеличивает параметр a . Обработка мессбауэровских спектров проводилась с помощью программ MSTools [1]. Измерены температуры (T_N) магнитного фазового перехода образцов: $T_N = 670(\pm 3) \text{ K}$ (01) и $- 637(\pm 3)$ (02). Анализ мессбауэровских спектров образца 01 при 700К показал, что в этом образце имеются два структурно неэквивалентных состояния, а в образце 02 – одно состояние ионов железа. Анализ спектров при 295К приводит к выводу о необходимости введения суперпозиции как минимум четырех парциальных спектров для удовлетворительного их описания по критерию χ^2 . Установлено, что при комнатной температуре в образце 01 три иона железа с большими СТП $H=510-485 \text{ кЭ}$ находятся в трехвалентном состоянии в октаэдрических позициях, а четвертое состояние иона железа с $H = 417 \text{ кЭ}$, $\delta = 0.2200 \text{ мм/с}$ и $\epsilon = 0.1322 \text{ мм/с}$ - в тетраэдрическом состоянии с валентностью +3. В образце 02 все ионы железа находятся в трехвалентных состояниях и в октаэдрических позициях. Частичное замещение ионов железа на ионы хрома приводят в перовските $\text{Bi}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Fe}_{0.95}\text{Cr}_{0.05}\text{O}_{3-y}$ к росту параметра решетки, уменьшению сверхтонких полей для всех состояний ионов железа, а также к стабилизации октаэдрических состояний. Работа поддержана РФФИ, грант № 13-02-00690.

Литература

1. Русаков В.С. Мёссбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. Алматы. 2000. С. 430.

ЛОКАЛЬНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ И СПИНОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ и $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$

Сигов А.С., Покатилов В.С., Макарова А.О., Покатилов В.В.

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики, 119454 Москва, пр. Вернадского, д.78

E- mail: pokatilov@mirea.ru

LOCAL CHARGE AND SPIN STATES OF IRON IONS IN MULTIFERROICS

$\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ и $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$

Sigov A.S., Pokatilov V. S., Makarova A.O., Pokatilov V.V.

In the temperature range 295–900 K local charge and spin states of iron ions in multiferroics $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ and $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ have been studied by Mossbauer method.

При исследовании и поиске новых мультиферроиков на основе ViFeO_3 большое значение приобретают экспериментальные методы, которые позволяют обнаруживать ПСМС и исследовать локальные зарядовые и магнитные состояния ионов. Целью настоящей работы являлось исследование влияния замещения ионов Vi^{3+} ионами La^{3+} и Tb^{3+} на существование ПСМС, кристаллическую структуру, а также на локальные зарядовые и магнитные состояния ионов железа в мультиферроиках $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ и $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ методом эффекта Мёссбауэра на ядрах ^{57}Fe .

Образцы перовскитов $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ и $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ приготавливались на воздухе методом обычной твердотельной керамической технологии. Измерения эффекта Мёссбауэра на ядрах ^{57}Fe были выполнены в области температур 295 – 900К. Обработка спектров проводилась с помощью программ MSTools [1]. Рентгенографические исследования образцов $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ и $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ при комнатной температуре показали, что образцы являются однофазным и имеют ромбоэдрическую структуру..

Температура Нееля перовскита $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ равна $T_N = 628 \pm 5$ К, а $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ $T_N = 655 \pm 5$ К.

При температурах выше T_N распределения квадрупольных сдвигов $P(\varepsilon)$ содержат один симметричный пик, и, следовательно, в этих перовскитах существует одно структурное состояние ионов железа.

Из распределений сверхтонких полей $P(H)$ при $T = 295\text{K}$ следует, что в $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ существуют два магнитных состояния ионов Fe^{3+} , а в $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ - как минимум четыре наиболее вероятных состояний ионов железа. На основе этих данных была проведена также модельная обработка, при которой мёссбауэровский спектр описывается соответственно двумя (для $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$) и четырьмя (для $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$) секстетами, соответствующими двум и четырем магнитным неэквивалентным состояниям ионов железа в этих в этих перовскитах. Сравнение формы и ширины распределения, а также значений сверхтонких полей и квадрупольных смещений для образца $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ с соответствующими параметрами, характерными для ПСМС, которые наблюдаются в ViFeO_3 [2] указывает на сохранение ПСМС в $\text{Vi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ и разрушение ПСМС в $\text{Vi}_{0.815}\text{Tb}_{0.085}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ при сохранении ромбоэдрической кристаллической структуры.

Работа поддержана РФФИ, грант 12-02-00977.

Литература

1]. Русаков В.С. Мёссбауэровская спектроскопия локально-неоднородных систем. Алматы: ИЯФ НЯЦ, 2000, 430 с.

[2]. Покатилов В.С., Сигов А.С., Коновалова А. О. Известия РАН. Серия Физическая, 2010, т. 74, №3, с. 377-381.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ

$\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$ ($T = \text{Sc, Mn}; x=0, 0.05$)

Русаков В.С.¹, Покатилов В.С.², Сигов А.С.², Мацнев М.Е.¹, Гапочка А.М.¹,
Киселева Т.Ю.¹, Комаров А.Е.¹, Шатохин М.С.¹, Макарова А.О.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
²Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет), Москва, Россия
rusakov@phys.msu.ru

MOSSBAUER STUDY OF MULTIFERROICS $\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$ ($T = \text{Sc, Mn}; x=0, 0.05$)

Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Matsnev M.E., Gapochka A.M.,
Kiseleva T.Yu., Komarov A.E., Shatohin M.S., Makarova A.O.

The effect of substitution of Fe atoms to Sc and Mn atoms on the structure and on the hyperfine interactions of ^{57}Fe atoms in multiferroic BiFeO_3 were studied by Mossbauer spectroscopy. The parameters of hyperfine interactions for all the samples were determined. It is established that $70.8 \pm 1.8\%$ of Fe atoms surrounded only by Fe atoms in the first cationic coordination sphere in $\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$, participate in SSMS of cycloidal-type. It is shown that $21.8 \pm 1.2\%$ of Fe atoms have one substitutional atom in the first cationic coordination sphere. For these atoms hyperfine field at 23.5 ± 0.6 kOe is smaller than for atoms involved in the formation of SSMS. Found that $6.2 \pm 0.8\%$ of the iron atoms in $\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$ belong phase $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, and $1.2 \pm 0.2\%$ – phase $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$, formed during the synthesis.

Мультиферроик BiFeO_3 с высокими температурами сегнетоэлектрического и магнитного переходов содержит в себе громадный потенциал для практических применений. Однако в этом соединении существует пространственная спин-модулированная структура (ПСМС) циклоидного типа, которая препятствует проявлению магнитоэлектрических эффектов. Для появления линейного магнитоэлектрического эффекта необходимо разрушить циклоидную магнитную структуру. Это можно достичь путем частичного замещения атомов Fe другими атомами переходных 3d-элементов.

В работе методами мессбауэровской спектроскопии исследовано влияние замещения атомов Fe атомами Sc и Mn на ПСМС, сверхтонкие электрические и магнитные взаимодействия атомов ^{57}Fe в мультиферроике BiFeO_3 . Поликристаллические образцы составов $\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$ ($T = \text{Sc, Mn}; x=0, 0.05$) были приготовлены методом твердотельной керамической технологии. Для обработки и анализа мессбауэровских спектров были использованы методы восстановления распределений сверхтонких параметров и расшифровки спектров в рамках модели ПСМС циклоидного типа, реализованные в программе SpectrRelax [1].

В результате проведенных исследований определены параметры сверхтонких взаимодействий ядер ^{57}Fe во всех исследованных соединениях. Установлено, что $70.8 \pm 1.8\%$ атомов Fe, окруженных атомами Fe в первой катионной координационной сфере в структурах $\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$, участвуют в образовании ПСМС циклоидного типа. Показано, что $21.8 \pm 1.2\%$ атомов Fe имеют в первой катионной координационной сфере один замещающий атом Sc или Mn. Для этих атомов значение сверхтонкого поля на 23.5 ± 0.6 кЭ меньше, чем для атомов, участвующих в образовании ПСМС. Обнаружено, что $6.2 \pm 0.8\%$ атомов железа в образце $\text{BiFe}_{1-x}\text{T}_x\text{O}_3$ принадлежат фазе $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, а $1.2 \pm 0.2\%$ – фазе $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$, образовавшихся в процессе синтеза.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты: № 14-02-01109а и № 12-02-31918.

[1] M.E. Matsnev, V.S. Rusakov. AIP Conference Proceedings, 2012, 1489, 178-185.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СПИН-МОДУЛИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДАМИ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА ЯДРАХ ^{57}Fe

Русаков В.С.¹, Покатилов В.С.², Сигов А.С.², Мацнев М.Е.¹, Губайдулина Т.В.¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Москва, Россия

rusakov@phys.msu.ru

INVESTIGATIONS OF SPATIAL SPIN-MODULATED STRUCTURE BY ^{57}Fe MÖSSBAUER SPECTROSCOPY AND NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE
Rusakov V.S., Pokatilov V.S., Sigov A.S., Matsnev M.E., Gubaidulina T.V.

The paper deals with methods of diagnostics SSMS cycloid type in multiferroics based on Nuclear magnetic resonance (NMR) and Mossbauer spectroscopy (MS). On the example of ferrite BiFeO_3 it is shown that when using NMR techniques one must consider the dynamic effects, primarily the transverse spin-spin relaxation, that significantly affects the measurement result. It is established that by means of MS the anharmonicity parameter of SSMS cycloid type can be determined with no less accuracy than by NMR, which has higher resolution. MS methods with sensitivity to the hyperfine quadrupole interaction of the nucleus in an excited state provide additional information about the features of SSMS, including the type SSMS – "easy axis" or "easy-plane".

В настоящее время в изучении мультиферроиков приобретают большую значимость методы, которые позволяют диагностировать и исследовать пространственную спин-модулированную структуру (ПСМС). Такими методами, наряду с дифракцией нейтронов, являются ядерный магнитный резонанс (ЯМР) и мессбауэровская спектроскопия (МС).

В работе рассматриваются методы диагностики ПСМС циклоидного типа в мультиферроиках на основе ЯМР и МС. Методами ЯМР и МС проведены исследования ПСМС в керамическом образце феррита висмута BiFeO_3 вблизи температуры кипения жидкого гелия. Для обработки и анализа мессбауэровских спектров и спектров ЯМР использовались методы учета поперечной спин-спиновой релаксации, восстановления распределений сверхтонких параметров и расшифровки спектров в рамках модели ПСМС циклоидного типа [1], реализованных в программе SpectrRelax [2].

На примере феррита BiFeO_3 показано, что при использовании методов ЯМР для исследования ПСМС в мультиферроиках необходимо учитывать динамические эффекты, в первую очередь поперечную спин-спиновую релаксацию, существенно влияющую на результат измерений. Установлено, что с помощью мессбауэровской спектроскопии можно определять параметр ангармонизма ПСМС циклоидного типа с не меньшей точностью, чем с помощью ЯМР, обладающего большим разрешением. Методы МС, обладая чувствительностью к сверхтонкому квадрупольному взаимодействию ядра в возбужденном состоянии, позволяют получить дополнительную информацию об особенностях ПСМС в мультиферроиках, в том числе о типе ПСМС – «легкая ось» или «легкая плоскость» [1].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты: № 14-02-01109 а и № 13-02-00690а.

Литература

- [1] М.-М. Tehrani, N.F. Kubrakov and A.K. Zvezdin. // *Ferroelectrics*. 1997, 204, 181- 188.
- [2] М.Е. Matsnev, V.S. Rusakov. *AIP Conference Proceedings*, 2012, 1489, 178-185.

PRESSURE-INDUCED PHASE TRANSITIONS IN THE LANGASITE TYPE COMPOUND $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$

Naumov P.G.^{1,2}, Lyubutin I.S.², Ksenofontov V.³, Medvedyev S.¹ and Felser C.^{1,3}

¹*Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, Dresden, Germany*

²*Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Institute for Inorganic and Analytical Chemistry, Johannes Gutenberg University of Mainz, Mainz, Germany*

pgnaumov@gmail.com

Recently, a great interest was attracted to the langasite family compounds containing 3d ions as potential new type of multiferroics. The langasite $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ crystal known by its unique piezoelectric properties exceeding quartz gave the name to the whole family [1].

The magnetic [2] and Mössbauer spectroscopy [3,4] measurements revealed an antiferromagnetic ordering in a number of these compounds at temperatures between 7 and 38 K. Supposed coexistence of electric and magnetic order parameters in such materials would provide a creation of a new class of multiferroics [5,6].

The high-pressure Mössbauer spectroscopy measurements were performed in the iron containing langasite family compound $\text{Ba}_3\text{Ta}^{57}\text{Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ in diamond anvil cells at pressure of about 18-30 GPa. At room temperature and ambient pressure the Mössbauer spectra of $\text{Ba}_3\text{Ta}^{57}\text{Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ are split by the electric quadrupole interaction into a doublet with narrow symmetrical lines. The quadrupole splitting parameter is $\Delta E = 1.255 \pm 0.005$ mm/s, which is very high for Fe^{3+} ions. This indicates that the oxygen tetrahedrons with iron ions are essentially distorted. The isomer shifts value is $\delta = 0.23 \pm 0.1$ mm/s (relative to metallic α -Fe) which supports the ferric iron state. ΔE value shows non-monotonous behaviour with pressure increase. At pressures below 5 GPa value of ΔE remains almost unchanged followed by rapid value decrease to about 0.85 mm/s at further pressure increase up to 7 GPa. The origin of this decrease is apparently the pressure induced symmetrisation of local crystal field of Fe^{+3} ions.

At further pressure increase at $P < 18$ GPa, the ΔE value remains almost stable at the level of 0.85 ± 0.03 mm/s. At pressure above 20 GPa ΔE suddenly increases with subsequent gradual increase reaching the value of about 1.3 mm/s at highest experimental pressure $P = 30$ GPa. The high pressure behaviour of the quadrupole splitting parameter indicates structural phase transition in $\text{Ba}_3\text{Ta}^{57}\text{Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ occurring at pressure above 18 GPa in accordance with results of high-pressure structural studies.

We deeply thank Dr. B.V. Mill for his help in the synthesis the $\text{Ba}_3\text{TaFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ sample with ^{57}Fe isotope. This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 14-02-00848) and by RAS programs “Strongly correlated electron systems”.

References:

1. B. V. Mill, E. L. Belokoneva, and T. Fukuda, *Russian J. Inorg. Chem.* 43, 1168 (1998).
2. B. A. Maksimov, V. N. Molchanov, B. V. Mill, E. L. Belokoneva, M. K. Rabadanov, A. A. Pugacheva, Y. V. Pisarevsky, V. I. Simonov, *Crystallography Reports* 50, 751 (2005).
3. I.S. Lyubutin, P.G. Naumov, B.V. Mill, *Euro Phys. Lett.* 90, 67005(1-6) (2010).
4. I.S. Lyubutin, P.G. Naumov, B.V. Mill, K.V. Frolov, and E.I. Demikhov, *Phys. Rev. B* 84 (2011) 214425 (1-7).
5. S.A. Pikin and I.S. Lyubutin, *Phys. Rev. B*, 86, 6 (2012) 064414.
6. S.A. Pikin and I.S. Lyubutin, *JETP Lett.* 96, 4 (2012) 240-244.

MÖSSBAUER STUDIES OF BaFe_{1.9}Ni_{0.1}As₂ SUPERCONDUCTORS

Korotkov N.Yu.¹, Frolov K.V.¹, Lyubutin I.S.¹, Khlybov E.P.², Pudalov V.M.³, Sadakov A.V.³ and Pervakov K.S.³

¹*Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Science, 119333 Moscow, Russia*

²*Institute for High Pressure Physics, Russian Academy of Sciences, 142190 Troitsk, Russia*

³*Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, 119333 Moscow, Russia*

korotkov.nk@gmail.com

The recent discovery of a new class of layered high temperature superconductors based on iron with T_C up to 56 K [1] is currently in the focus of research interest. The theoretical suggestion that the superconductivity is unconventional and induced by spin fluctuations [2-3] and the fact that there is an unusual combination of magnetic ordering and superconductivity in the same material [4] stimulate high interest and intensive studies of these compounds. K-doped BaFe₂As₂ is the firstly reported oxygen-free iron-pnictide superconductor with $T_C = 38$ K [5]. Recent studies of iron based superconducting system of 122 family revealed high potential of these compounds for strong magnetic field applications.

Data obtained by Mössbauer spectroscopy is of great value for understanding the relationship between superconductivity and magnetism because it can be obtained without application of an external magnetic field.

We report Mössbauer spectroscopy measurements of optimally doped polycrystalline BaFe_{1.9}Ni_{0.1}As₂ samples with $T_C = 19.5$ K. BaFe_{1.9}Ni_{0.1}As₂ crystals were grown using the self-flux method described in [6]. The absorption ⁵⁷Fe-Mössbauer spectra were obtained at temperatures between 5 K and 295 K in the transmission geometry with a standard spectrometer operating in the constant accelerations regime. All measurements were performed using a ⁵⁷Co γ -quanta source in a Rh matrix. The isomer shift values of the experimental Mössbauer spectra were measured relative to standard α -Fe absorber at room temperature.

The computer analysis shows that low temperature Mössbauer spectra can be represented as a superposition of an paramagnetic doublet that correspond to iron ions of the main superconducting phase and a magnetic sextet which transforms to a doublet at temperature above 77 K. This magnetic component corresponds to the iron ions of the nonsuperconducting impurity phase FeAs [7-8]. The quadruple splitting value of the intensive doublet is nearly zero which implies that the d-electrons of Fe are arranged isotropically and that the distortion from the regular tetrahedral configuration of As is very small.

This work is supported by Russian Foundation for Basic Research #14-02-31647

[1] T. Watanabe, Y. Kamihara, M. Hirano and H. Hosono: *J. Am. Chem. Soc.* **130** (2008) 3296.

[2] G. F. Chen, Z. Li, D. Wu, G. Li, W. Z. Hu, J. Dong, P. Zheng, J. L. Luo and N. L. Wang: *Phys. Rev. Lett.* **100** (2008) 247002.

[3] I. I. Mazin, D. J. Singh, M. D. Johannes, M. H. Du: *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 057003.

[4] D. R. Sanchez et al. Baggio-Saitovitch: *J. Phys.: Condens. Matter* **21** (2009) 455701.

[5] M. Rotter, M. Tegel, and D. Johrendt, *Phys. Rev. Lett.* **101**, (2008).

[6] K. S. Pervakov, V. A. Vlasenko, E. P. Khlybov, et al., *Supercond. Sci. Technol.* **26**, 015008 (2013).

[7] L. Haggstrom, A. Gustavsson-Seidel and H. Fjellvag: *Europhys. Lett.*, **9** (1), pp. 87-92 (1989)

[8] N. Y. Korotkov, K. V. Frolov, I. S. Lyubutin, E. P. Khlybov and V. M. Pudalov *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*: **26** (9) (2013), Page 2877-2879

ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА В CoFeVO_4 СО СТРУКТУРОЙ ВАРВИКИТА
Князев Ю.В.¹, Иванова Н.Б.¹, Казак Н.В.², Платунов М.С.², Безматерных Л.Н.²,
Любутин И.С.³, Коротков Н.Ю.³, Овчинников С.Г.²

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Институт физики СО РАН, Красноярск, Россия

³Институт кристаллографии им. Шубникова РАН, Москва, Россия

yuvknyazev@mail.ru

MÖSSBAUER EFFECT IN CoFeVO_4 WITH WARWICKITE STRUCTURE

Knyazev Yu. V., Ivanova N. B., Kazak N. V., Platunov M. S., Bezmaternykh L. N.,
Lyubutin I. S., Korotkov N. Yu., Ovchinnikov S. G.

Temperature Mossbauer studies have been performed on warwickite CoFeVO_4 . The experiment found tightened temperature transition in establishing the Zeeman splitting due to the spin relaxation.

Монокристаллы CoFeVO_4 со структурой варвикита, полученные методом спонтанной кристаллизации из раствора–расплава в системе $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}\text{--B}_2\text{O}_3\text{--CoO--MgO--Fe}_2\text{O}_3$, обладают ромбической симметрией (пространственная группа $Pnam$) [1].

Измерения эффекта Мёссбауэра проведены на порошках толщиной 5–10 мг/см² по естественному содержанию железа на спектрометре МС1104Ем в интервале температур 300–6 К с источником $^{57}\text{Co(Rd)}$. Калибровка проведена по $\alpha\text{-Fe}$.

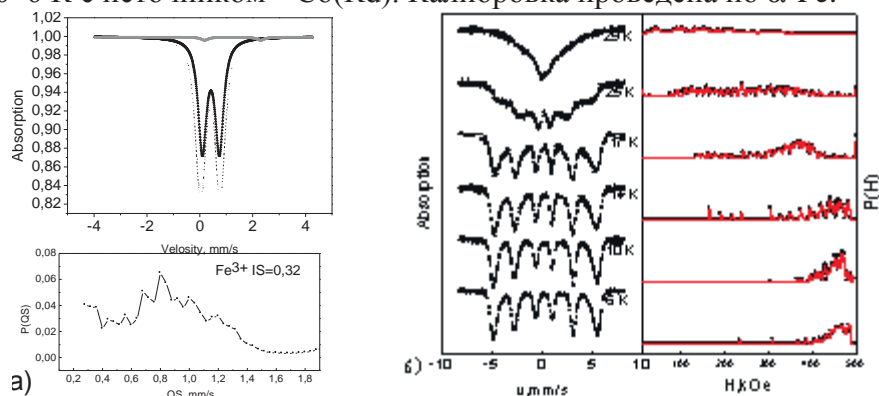


Рисунок 1 – Мёссбауэровские спектры поглощения FeCoVO_4

а) Парамагнитный спектр и вероятность квадрупольного расщепления

б) Спектры поглощения вблизи перехода и вероятность сверхтонкого поля

Спектр поглощения ЯГР в парамагнитном состоянии представляет собой совокупность крамерсовских дублетов трёхвалентного железа (см. рисунок 1 а). При охлаждении образца, спектры (см. рисунок 1 б) проявляют релаксационный характер [2]. Беспорядочное распределение ионов Fe и Co в кристаллической структуре образца и сильные фрустрации обменных взаимодействий приводит к затянутому магнитному переходу. Оценка вероятностного состояния по неэквивалентным магнитным позициям косвенно указывает на существование фазы спинового стекла, как, например, MgFeVO_4 [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ (проекты №№ 12-02-00175-а. 13-02-00958-а. 13-02-00358-а. 11-02-00605-а, 14-02-31051-mol_a) и гранта Президента РФ (НШ-2886.2014.2).

Литература:

[1] M. A. Continentino et al. Phys. Rev. B 64, 014406 (2001)

[2] B. C. Van Zorge et al., 761 phys. stat. sol. 18, 761 (1966)

[3] A. Wiedenmann et al. Solid State Communications, Vol. 38, pp. 129-133

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 300-700К

Раевский И.П., Сарычев Д.А., Стащенко В.В.

*Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Россия
z_machine@mail.ru*

MOSSBAUER STUDY OF $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ AT THE TEMPERATURE RANGE FROM 300 TO 700K

Raevski I.P., Sarychev D.A., Stashenko V.V.

The paper presents Mossbauer study of $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ in the temperature range 300-700K. With respect to behavior of Mossbauer parameters depending on temperature it was figured out that Mossbauer spectra of $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ counts three doublets with approximately equal isomer shift and different values of quadrupole splitting corresponding to nonequivalent iron positions. Obtained results state the problem of comparative analysis of $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ and it's analog $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ with similar superfine Mossbauer structure and formulating a crystallographic model accounting for observed results and high quadrupole splitting value (0.9 mm/s) of one of the doublets.

Проведены измерения мессбауэровских спектров керамики $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ в диапазоне температур 300-700К с источником $^{57}\text{Co}:\text{Cr}$ в интервале скорости $\pm 5,045$ мм/с. По рентгеноструктурным данным установлено, что в этом диапазоне температур исследованный образец находится в тетрагональной фазе, что соответствует симметрии $I4/m$ [1]. Обработка спектра одним и двумя дублетами не дает хорошего согласия между расчетным и экспериментальным спектром. Исходя из ширины и формы линии, а так же величины остаточного члена минимизации функционала χ^2 и разности расчетного и экспериментального спектров, наиболее корректной оказывается обработка тремя дублетами с близкими значениями изомерного сдвига, но разными квадрупольными расщеплениями.

Наличие трех дублетов, с нашей точки зрения, согласуется с представлениями о мезоскопической структуре $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$, особенностью которой, как и в классическом его аналоге $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ [2], является наличие областей с нестехиометрическими соотношениями между ионами железа и ниобия. При этом ион железа оказывается в нескольких кристаллографически неэквивалентных позициях, что и проявляется в мессбауэровских спектрах. Полученные результаты ставят задачу сравнительного анализа $\text{SrFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ и $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ с целью определения особенностей их структуры, обуславливающих различие в мессбауэровских спектрах, а также построения кристаллографической модели, объясняющей высокое значение квадрупольного расщепления (0,9 мм/с) одного из дублетов.

1. S. Tao, J.-C. Vazquez, J.T.S. Irvine Chem. Mater., 2004, 16, 11, 2309-2316.
2. I. P. Raevski, S. P. Kubrin, S. I. Raevskaya, D. A. Sarychev, S. A. Prosandeev, and M. A. Malitskaya. Phys. Rev. B, 2012, 85, 224412.

MOSSBAUER STUDY OF $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ AT THE TEMPERATURE RANGE FROM 300 TO 700K

Raevski I.P., Sarychev D.A., Stashenko V.V.

*Research Institute of Physics of Southern Federal University, Rostov-on-Don,
Russian Federation
z_machine@mail.ru*

Some latter papers point out that ferroelectric phase transition takes place with the sample's Mossbauer parameters variation [1-4]. Among these parameters are Mossbauer factor, isomer shift, quadrupole splitting. Obtained results for some samples appeared to be ambiguous and denial of the phenomenon had followed it's revelation [3-6].

Application of Mossbauer spectrometer MS-1104Em along with special technique (application of resonant detector and moving furnace, thing sample preparation) allowed us to carry out more precise investigation than it was done before. In particular it was found out that Mossbauer spectra of $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ is being fit with two doublets correctly instead of one [8].

On the base of possibility in principle of observation of ferroelectric phase transition using Mossbauer effect together with refined data on fitting model an attempt to detect this phase transition in $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ was carried out.

The measurements were taken at the temperature range from 300 to 700K. With fixing of line shape and approximation of isomer shift at the points of unstable Mossbauer spectra fitting in indicated above temperature range the variation of quadrupole splitting exceeding inaccuracy was registered nearby ferroelectric phase transition ($\Delta Q_S = 0.039 \pm 0.007$ mm/s) at the temperature $T_C \approx 390\text{K}$ and Burns temperature ($\Delta Q_S = 0.053 \pm 0.007$ mm/s) $T_B \approx 670\text{K}$. At the rest of temperature regions quadrupole splitting maintains it's value.

1. V.G. Bhide, M.S. Multani Phys Rev., 1965, 139, 6A, 1983.
2. M.V. Plotnikova, A.S. Viskov, K.P. Mitrofanov, V.S. Spinel, Yu.N. Venevtsev Bulletin of Academy of Sciences of the USSR, Div. Phys., 1967, 33, 7, 1112.
3. V.V. Sklyarevski, I.I. Lukashevich, V.P. Romanov et. al. JETP Lett. 1966, 3, 5, 212-216.
4. M.V. Plotnikova, K.P. Mitrofanov, V.S. Spinel, Yu.N. Venevtsev Barium Titanate. M.: Science, 1973, 156-166.
5. V.V. Sklyarevski, I.I. Lukashevich, V.P. Romanov et. al. X International Conference on Low Temperature Physics Proceedings. M.: VINITI, 1966, 6, 87-91.
6. M.V. Plotnikova, K.P. Mitrofanov, A.G. Kapyshev et. al. Bulletin of Academy of Sciences of the USSR, Div. Phys., 1969, 33, 7, 1142-1144.
7. S.A. Brugemann, V.V. Kitaev, A.N. Mamaev, D.A. Sarychev X International conference "Application of Mossbauer Effect", Izhevsk, 2006, 18-24 June, 72.
8. I. P. Raevski, S. P. Kubrin, S. I. Raevskaya, D. A. Sarychev, S. A. Prosandeev, and M. A. Malitskaya. Phys. Rev. B 85, 224412, (2012).

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ФЕРРОТАНТАЛАТА СВИНЦА

Авакумов Е.Г.², Гусев А.А.², Исупов В.П.², Кубрин С.П.¹, Раевский И.П.¹, Сарычев Д.А.¹

¹Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
stasskp@gmail.com

THE EFFECT OF MECHANICAL ACTIVATION ON THE SYNTHESIS AND PROPERTIES OF MULTIFERROIC LEAD IRON TANTALATE

Avvakumov E. G., Gusev A.A., Isupov V.P., Kubrin S.P., Raevski I.P., Sarychev D.A.

The present work studies the effect of high-energy mechanical activation using the planetary-centrifugal ball mill AGO-2 and subsequent annealing on the synthesis and magnetic properties of $\text{PbFe}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ (PFT). This technique enables one to perform the mechanically activated synthesis of PFT at much shorter time. The results of X-ray phase analysis, electron microscopic studies and transmission Mössbauer ^{57}Fe spectra measurement are presented and discussed. Mössbauer studies show that the temperature of magnetic phase transition in $\text{PbFe}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ powders can be changed by mechanical activation and subsequent annealing.

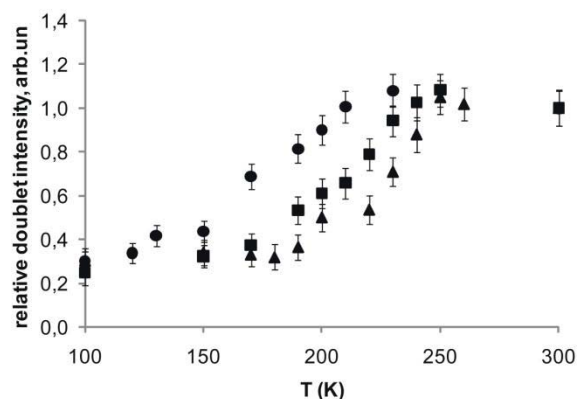


Рис. 1. Температурная зависимость интенсивности дублета в мессбауэровском спектре образцов PFT, механоактивированных в течении 20 минут с последующим отжигом при 500°C (●), 600°C (■) и 700°C (▲)

Образцы $\text{PbFe}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ (PFT) получены механоактивацией оксидов PbO , Fe_2O_3 и Ta_2O_5 в планетарной мельнице АГО-2 с последующим отжигом при различных температурах. По данным рентгенодифракционного исследования полученные образцы керамики обладают структурой перовскита. При 300 К мессбауэровские спектры образцов представляют собой парамагнитные дублеты, с параметрами соответствующими Fe^{3+} в октаэдрическом окружении, близкими к параметрам монокристалла [1].

На рис.1. приведена температурная зависимость интенсивности дублета в мессбауэровском спектре, полученная методом измерения спектра на произвольно задаваемых скоростных интервалах [2]. Спад интенсивности соответствует переходу в антиферромагнитную фазу, средняя температура T_N которого соответствует середине ступеньки. Повышение температуры отжига от 500 °С до 700°C приводит к повышению T_N , что связано с зависимостью T_N от степени кластеризации ионов Fe^{3+} и Ta^{5+} [3].

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты 13-03-00869_a, 12-08-00887_a).

1. S. P. Kubrin, S. I. Raevskaya, S. A. Kuropatkina, D. A. Sarychev, and I. P. Raevski. *Ferroelectrics*.-2006.-V.340.-P.155-159.

2. С.А. Брюгеман, В.В. Китаев, С.П. Кубрин, Д.А. Сарычев Матер. IX Междунар. конф. Мессбауэровская спектроскопия и её применения. Екатеринбург. 2004 г. с 180

3. I.P. Raevski, S.P. Kubrin, S.I. Raevskaya, D.A. Sarychev, S.A. Prosandeev, M.A. Malitskaya, *Phys. Rev. B*85, 224412 (2012)

СЕКЦИЯ 2
СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ, ТОНКИХ ПЛЕНОК,
МНОГОСЛОЙНЫХ И НАНОСИСТЕМ

ТЕРМО- И МАГНИТНАЯ ДИНАМИКА НЕФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ЗЕРКАЛЕ МЁССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Чуев М.А.

Физико-технологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

chuev@ftian.ru

THERMO- AND MAGNETIC DYNAMICS OF NON-FERROMAGNETIC NANOPARTICLES IN A MÖSSBAUER SPECTROSCOPY MIRROR

Chuev M.A.

Theoretical approaches for describing the excitation spectrum, magnetic dynamics and Mössbauer spectra of non-ferromagnetic nanoparticles will be discussed. A number of qualitative effects experimentally observed in the spectra for almost half a century can be self-consistently explained within the approaches, which allows one to characterize a large variety of magnetic nanomaterials.

В течение последнего полувека мессбауэровская спектроскопия успешно используется для исследования структурных, магнитных и термодинамических свойств магнитных материалов, содержащих частицы или кластеры нанометрового размера. При этом весьма разнообразные формы мессбауэровских спектров и их эволюция с изменением температуры и внешнего магнитного поля для наночастиц разной магнитной природы интерпретировались, за редчайшим исключением, в рамках универсальной неелевской (суперпарамагнитной) релаксации однодоменных частиц, ферромагнитных (ФМ) по природе. Лишь совсем недавно был сделан выход за рамки приближения однодоменных ФМ частиц и предложена квантово-механическая модель для описания термодинамики и мессбауэровских спектров ансамбля антиферромагнитных (АФМ) частиц с медленно релаксирующими макроспинами магнитных подрешеток [1], что сразу позволило качественно описать различие термодинамических свойств наночастиц ФМ и АФМ природы, в частности, квантовые эффекты, которые неоднократно наблюдались в спектрах ядер ^{57}Fe исключительно в АФМ наночастицах.

В докладе будет обсуждаться недавно разработанная континуальная модель магнитной динамики ансамбля АФМ наночастиц, основанная на решении уравнений движения для намагниченностей подрешеток в условиях непрерывного релаксационного процесса [2]. Нетривиальная форма спектра возбуждения в этой модели позволяет качественно описать характерные формы мессбауэровских спектров в зависимости от температуры, их различие в режимах медленной и быстрой магнитной релаксации, а также дать феноменологическое объяснение ранее обнаруженных макроскопических квантовых эффектов [1]. Подтверждается и еще один принципиальный вывод, следующий из «квантовой» модели [1], что наличие нескомпенсированного спина (магнитного момента) не меняет качественного характера эволюции формы спектров «идеальных» АФМ частиц с температурой, а приводит лишь к небольшим количественным поправкам. Для описания размерных эффектов, которые также в течение почти полувека неоднократно наблюдались в экспериментальных спектрах поглощения ядер ^{57}Fe в ферромагнитных наночастицах, была предложена и реализована четырехуровневая релаксационная модель в двухподрешеточном приближении в условиях метамагнетизма [3]. Будет обсуждаться обобщение этой модели на случай непрерывного релаксационного процесса в рамках континуальной модели динамики ансамбля ферромагнитных частиц по аналогии с [2].

1. М.А. Чуев. Письма в ЖЭТФ, 2012, 95, 323-329; Доклады АН, 2012, 447, 22-27.

2. М.А. Чуев. Письма в ЖЭТФ, 2014, 99, 319-324.

3. М.А. Чуев. Письма в ЖЭТФ, 2013, 98, 523-528.

IRON AND IRON OXIDE NANOSTRUCTURED SYSTEMS – SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, APPLICATION

Miroslav Mashlan

Department of Experimental Physics, Palacky University, Olomouc, Czech Republic
miroslav.maslan@upol.cz

Iron oxide is example of structural polymorphism. There are different iron oxides, as α -Fe₂O₃ (hematite), β -Fe₂O₃, γ -Fe₂O₃ (maghemite), ϵ -Fe₂O₃, Fe₂O₃ (magnetite). The properties of nanostructured iron oxides are different from bulk iron oxide structures. The different synthesis methods of iron oxide nanosystems can be presented. The XRD, Mössbauer spectroscopy, SQUID magnetic measurement, optical measurement are used for characterization nanostructured iron oxide systems and will be presented. Application sphere of nanostructured iron oxides is very wide. Magnetite nanoparticles are used as contrast agent for MRI, hematite electrodes are used in electrochemical call for water splitting, ϵ -Fe₂O₃ is interesting and perspective magnetic material. Application of zero-valence iron nanoparticles for underground water remediation will be presented also.

References:

1. Zboril R., Mashlan M., Petridis D.: *Iron(III) oxides from thermal processes-synthesis, structural and magnetic properties, Mössbauer spectroscopy characterization, and applications*, Chem. Mater., **14**, No.3, (2002) 969-982.
2. K. Kluchova, R. Zboril, J. Tucek, M. Pecova, L. Zajoncova, I Safari, M. Mashlan, I. Markova, D. Jancik, M. Sebel, H. Bartonkova, V. Bellesi, P. Novak, D. Petridis: *Superparamagnetic maghemite nanoparticles from solid-state-synthesis – Their functionalization towards peroral MRI contrast agent and magnetic carrier for trypsin immobilization*, Biomaterials **30** (2009) 2855-2863.
3. J. Frydrych, L. Machala, M. Hermanek, I. Medrik, M. Mashlan, J. Tucek, J. Pechousek, V.K. Sharma: *A nanocrystalline hematite film prepared from iron(III) chloride precursor under dynamic air atmosphere*, Thin Solid Films **518** (2010) 5916-5919.
4. B. Marsalek, D. Jancula, E. Marsalkova, M. Mashlan, K. Safarova, J. Tucek, R. Zboril: *Multimodal Action and Selective Toxicity of Zero-valent Iron Nanoparticles against Cyanobacteria*, Environmental Science and Technology **46** (2012) 2316-2323.

МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Савченко А.Г., Коровушкин В.В., Щетинин И.В., Бордюжин И.Г.

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия,

algsav@gmail.com

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF MECHANOCHEMICALLY SYNTHESIZED IRON OXIDE-BASED POWDERS

Savchenko A.G., Korovushkin V.V., Shchetinin I.V., Borduzin I.G.

Structure formation and magnetic properties of Fe-O-based materials after high-energy ball milling and annealing are investigated by Mössbauer spectroscopy. This combination of treatments leads to formation of the magnetite (Fe_3O_4) nanostructured powders with hard-magnetic properties.

Магнитные нанокристаллические материалы находят все большее применение в науке и техники. При этом они могут быть получены и без использования дорогостоящих компонентов, в том числе, на основе системы Fe-O, – т.е. сырьем для них может стать обычная ржавчина. В этой связи закономерности формирования высококоэрцитивного состояния в нанопорошках оксидов железа представляют значительный интерес не только с научной, но и с практической точки зрения, – для целей разработки эффективных технологий их промышленного получения. В этой связи целью настоящей работы является изучение закономерностей изменения структуры и магнитных свойств порошков на основе оксидов железа в процессе высокоэнергетического измельчения.

Исследования проводили методами мёссбауэровской спектроскопии на ядрах ^{57}Fe на спектрометре МС-1104 ЕМ, рентгеноструктурный анализ порошков проводили на многофункциональном дифрактометре Rigaku Ultima IV. Магнитные свойства при комнатной температуре определяли на вибромагнитометре измерительного комплекса РРМС-9 в полях напряжённостью до 9 Тл.

Установлено, что в процессе высокоэнергетического измельчения смесей $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит) и $\alpha\text{-Fe}$ протекают механохимические реакции, результатом которых является образование вюстита (FeO) и аморфной фазы. При этом из результатов мессбауэровских исследований и рентгеноструктурного анализа следует, что аморфная фаза представляет собой твердый раствор кислорода в железе, а её химический состав близок к FeO . Последующий кристаллизационный отжиг механоактивированных порошков приводит к распаду присутствующих в них метастабильных фаз на железо и магнетит (Fe_3O_4) и к формированию высококоэрцитивного состояния.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 2014/113 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части Государственного задания Минобрнауки России.

EMISSION MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF GRAIN BOUNDARIES IN POLYCRYSTALLINE METALS

Popov V.V.

¹*Institute of Metal Physics, Ekaterinburg, Russia*
vpopov@imp.uran.ru

The absorption nuclear gamma-resonance (NGR) spectroscopy is the most widely used mode of the Mössbauer spectroscopy. However, it cannot be applied for the studies of grain boundaries (GBs) in coarse-grained materials in which the volume fraction of boundaries is too small, and this version of NGR spectroscopy appears not sensitive enough. In principle, there is a chance to apply the absorption NGR spectroscopy for the studies of grain boundaries in ultrafine-grained (UFG) materials, in which the fraction of boundaries is much higher, but even in this case there are certain limitations. In particular, as demonstrated in a number of studies, in case of the absorption NGR spectroscopy it is quite difficult to separate the grain-boundary part of the Mössbauer spectrum, based on the hyperfine parameters of which one could judge on the state of GBs [1, 2]. Besides, this method is mostly used for the materials with high fraction of iron.

The emission Mössbauer spectroscopy in which a specimen serves as a γ -quanta source gives more opportunities for grain boundary studies, as the source of high enough activity can be obtained at quite low concentration of a radioisotope. The method of investigation of GBs and near-boundary areas based on the use of accelerated diffusion along grain boundaries together with the emission Mössbauer spectroscopy was worked out in [3]. Since then a great number of studies of GBs in coarse-grained and UFG polycrystalline materials have been carried out. In particular, these studies have shown that the existing models of grain-boundary diffusion are not always in good agreement with the results of the Mössbauer experiments, and a specified model of GB diffusion have been worked out [4], which adequately describes the data of both diffusion and Mössbauer experiments.

The present paper is a brief review of capabilities of the emission Mössbauer spectroscopy for the studies of GBs and of the data obtained by this method up to now.

The emission Mössbauer spectroscopy is most capable for the studies of grain boundaries of recrystallization origin in coarse-grained materials. In this case based on the NGR data one can make certain conclusions on the GB diffusion mechanisms, determine temperature dependence of grain-boundary segregation factor, estimate local Debye temperatures in GBs and near-boundary areas and judge on the composition of grain boundaries and adjacent areas. It is more difficult to apply the emission NGR spectroscopy for the studies of grain boundaries in UFG materials in which grain boundary migration and recovery cannot be excluded even in the process of specimens-sources preparation. Nevertheless, our investigations demonstrate that in spite of some possible changes of structure and properties of GBs at annealing required for the specimens-sources fabrication the method of the emission NGR spectroscopy enables to observe certain differences in the properties of non-equilibrium grain boundaries in UFG materials obtained by severe plastic deformation compared to the equilibrium boundaries of recrystallization origin in coarse-grained polycrystals, and to study the non-equilibrium boundaries evolution at heating.

This work is supported in part by the Program of Fundamental Research of Ural Branch of RAS, project No. 12-P-2-1016.

1. G. Rixecker. *Solid State Comm.*, 2002, 122, 299-302.
2. E.P. Elsukov, G.N. Konygin, and V.E. Porsev. *Phys. Met. Metallogr.* 2008, 105, 141-149.
3. V.N. Kaigorodov and S.M. Klotsman. *Pisma v JETF (Let. to J. Exp. Theor. Phys.)* 1978 28, 386-388 [in Russian].
4. V.V. Popov. *Phys. Met. Metallogr.* 2006, 102, 453-461.

МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОПОРОШКОВ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Савченко А.Г.¹, Гребенников И.С.¹, Салихов С.В.¹, Коровушкин В.В.¹,
Щетинин И.В.¹, Юртов Е.В.², Мурадова А.Г.²

¹НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, algsav@gmail.com

²РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF CHEMICALLY SYNTHESIZED IRON OXIDE NANOPOWDERS

Savchenko A.G., Grebennikov I.S., Salikhov S.V., Korovushkin V.V.,
Shchetinin I.V., Yurtov E.V., Muradova A.G.

Structure of the iron oxide nanopowders with size distribution from 10 to 85 nm synthesized by various chemical methods were studied by Mossbauer spectroscopy, x-ray photoelectron spectroscopy, transmission electron microscopy and x-ray diffraction analysis. Was found that the nanopowders are the non-stoichiometric compounds of magnetite-maghemite series, described by equation - $\text{Fe}^{3+} [\text{Fe}^{2+}_{1-3x} \text{Fe}^{3+}_{1+2x} \text{V}_x] \text{O}_4$, where V and x - marking and fraction of vacancy. Quantity of vacancies increases as the average particle size of the nanopowders decrease.

За последние годы интерес к магнитным нанопорошкам оксидов железа заметно возрос вследствие расширения спектра их возможных применений в биомедицине (магнито-резонансная томография, адресная доставка лекарств, гипертермия и др.). При этом наиболее перспективными для медицинских применений, благодаря уникальному сочетанию свойств и достаточно низкой токсичности, являются нанопорошки магнетита и маггемита. Одной из актуальных задач их изучения является определение закономерностей протекания окислительно-восстановительных процессов в наночастицах различной дисперсности в процессе их получения химическими методами. Сегодня для их объяснения чаще всего используют две принципиально различные модели: в одной из них наночастицы рассматривают как нестехиометрический магнетит, а в другой, – как смесь фаз магнетита и маггемита.

В настоящей работе методами мёссбауэровской (ЯГРС) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), электронной микроскопии высокого разрешения (ЭМИ) и рентгеновской дифракции (РСА) изучено фазово-структурное состояние нанопорошков оксидов железа дисперсностью от 10 до 85 нм, синтезированных различными химическими методами.

Методами РСА показано, что все исследованные нанопорошки однофазные, а их структура относится к структурному типу шпинели. В результате мёссбауэровских исследований на ядрах ⁵⁷Fe установлено, что все исследованные нанопорошки относятся к нестехиометрическим соединениям магнетит-маггемитового ряда, описываемого кристаллохимической формулой $\text{Fe}^{3+} [\text{Fe}^{2+}_{1-3x} \text{Fe}^{3+}_{1+2x} \text{V}_x] \text{O}_4$, где V и x – обозначение и доля вакансий соответственно. Установлено также, что при уменьшении среднего размера частиц нанопорошка доля вакансий увеличивается. Порошки со средним размером частиц 10 нм близки по составу к маггемиту, а с размером 85 нм – к магнетиту. Последнее подтверждается также результатами независимых РФЭС и ЭМИ исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по Программе повышения конкурентоспособности НИТУ «МИСиС» среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013-2020 гг. (№ К1-2014-022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРИМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ $Zn_xFe_{3-x-y}□_yO_4$, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Петрова Е.Г.¹, Котиков Д.А.¹, Паньков В.В.¹, Филимонов Д.С.², Похолок К.В.²

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
petrovaeg@bsu.by

AN INVESTIGATION OF THE FERRIMAGNETIC $Zn_xFe_{3-x-y}□_yO_4$ NANO PARTICLES PREPARED BY SOL GEL METHOD

Petrova E.G., Kotikov D.A., Pankov V.V., Filimonov D.S., Pokholok K.V.

Ferrimagnetic $Zn_xFe_{3-x-y}□_yO_4$ spinel type nano particles were prepared by sol gel technique from inorganic salt precursors in aqueous media. Their phase compositions and magnetic properties were investigated depending on the Zn content.

В данной работе были синтезированы наночастицы состава $Zn_xFe_{3-x-y}□_yO_4$ ($x = 0; 0.09; 0.18; 0.45; 1$) для потенциального использования в качестве контрастных агентов для магнитно-резонансной томографии (МРТ). Синтез наночастиц осуществляли золь-гель методом из неорганических солей соответствующих металлов ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, взятых из расчета на стехиометрию $Zn_xFe_{3-x}O_4$) с образованием золь-гелей смешанных гидроксидов. Это позволило получить стабильные золи нанодисперсных частиц с узким распределением по размерам. Согласно данным рентгенофазового анализа (РФА), все полученные образцы обладают кристаллической структурой типа шпинели. Размеры наночастиц, согласно просвечивающей электронной микроскопии, находятся в пределах 5-10 нм.

Известно, что наночастицы Fe_3O_4 легко окисляются на воздухе при комнатной температуре с образованием γ модификации Fe_2O_3 со структурой катиондефицитной шпинели. Мессбауэровские спектры образца при $x=0$ описываются набором зеемановских секстетов с параметрами сверхтонких взаимодействий, отвечающих катионам Fe^{3+} и $Fe^{2.5+}$ (при 298К) или Fe^{2+} (при 78К). Значительное увеличение вкладов Fe^{3+} компонент по отношению к $Fe^{2.5+}/Fe^{2+}$ в сравнении с Fe_3O_4 и их параметры указывают на окисление части Fe_3O_4 (~ 45%) до γ - Fe_2O_3 . Замещение Fe на Zn привело к полному окислению Fe и образованию вакансионных шпинельных твердых растворов $Zn_xFe_{3-x-y}□_yO_4$. Спектры при $x=0.09, 0.18, 0.45$ при 298К имеют релаксационный характер и описываются распределениями сверхтонких магнитных полей $P(H)$ с химическими сдвигами $\delta \sim 0.35$ мм/с, соответствующими катионам Fe^{3+} . При 78К их спектры со значительно уширенными зеемановскими компонентами описываются суперпозицией двух $P(H)$ со значениями $H <450-550>$ кЭ; $\delta \sim 0.45$ мм/с и $<200-500>$ кЭ; $\delta \sim 0.34$ мм/с, соответствующих Fe^{3+} в октаэдрических и тетраэдрических позициях. Вклады тетраэдрического Fe^{3+}_t уменьшаются (качественно) с увеличением x вследствие предпочтения Zn к тетраэдрической координации. $\langle H \rangle$ наибольшие при $x=0.18$, так как присутствие Zn в тетраэдрической подрешетке в шпинелях увеличивает их намагниченность [1], но при этом понижает T_c вследствие магнитного разбавления. Это хорошо согласуется с результатами магнитных измерений: образец с $x=0.18$ имеет наибольшее значение максимальной намагниченности ($M=59$ Гс·см³·г⁻¹) при комнатной температуре, превышающую таковую для образцов с $x=0$ и 0.45 , а образец с $x=0.45$ – при 5К ($M=86$ Гс·см³·г⁻¹).

Литература:

1. Goldman A., Modern Ferrite Technology, 2ndEd, Springer, 2006, 438p.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ПРОИЗВОДСТВА «ОCEAN NANOTECH» ПОСРЕДСТВОМ МЕССБАУЭРОВСКИХ, МАГНИТНЫХ И РЕНТГЕНОВСКИХ МЕТОДОВ

Габбасов Р.Р.¹, Поликарпов М.А.¹, Черепанов В.М.¹, Чуев М.А.², Ломов А.А.², Ванг А.Ю.³, Панченко В.Я.¹.

CHARACTERIZATION OF IRON OXIDE SHP-TYPE NANOPARTICLES FROM OCEAN NANOTECH BY MÖSSBAUER, MAGNETIZATION AND X-RAY DIFFRACTION METHODS

Gabbasov R.R., Polikarpov M.A., Cherepanov V.M., Chuev M.A., Lomov A.A., Wang A.Y., Panchenko V.Y.

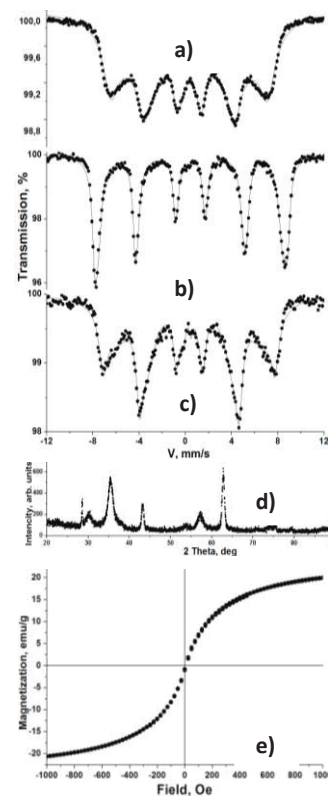
¹National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

²Institute of Physics and Technology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Ocean NanoTech. Springdale, Arkansas, USA E-mail: gabbasov-raul@yandex.ru

We investigated the set of water soluble iron oxide nanoparticles with amphiphilic polymer coating produced by «Ocean NanoTech» company [2] with average diameters in the range of 5-25 nm, previously determined by transmission electron microscopy. The Mössbauer, magnetization and X-ray diffraction measurements of each sample were carried out. The comparative analysis of the results showed that the Mössbauer data are absolutely necessary for the correct interpretation of the results of the magnetization or the X-ray diffraction measurements.

В предыдущих работах [1] одновременное фиттирование кривой намагничивания и группы из трех мессбауэровских спектров снятых при двух различных температурах и в слабом внешнем магнитном поле позволило количественно описать процесс биодеградации в печени мыши, определить эволюцию размеров наночастиц и концентрация экзогенного и эндогенного железа с течением времени после внутривенной инъекции феррожидкости. Следует отметить, что найденный размер наночастиц, зависит от ее квантовых магнитных свойств и может отличаться от значения полученного другими методами. В данной работе мы сравнили результаты исследования одного и того же ансамбля наночастиц двумя разными методами: вышеупомянутым магнитным и немагнитным методом дифракции рентгеновских лучей. Мы исследовали набор образцов водорастворимых наночастиц оксида железа с амфифильным типом полимерного покрытия, произведенных компанией «Ocean Nanotech» со средним диаметром в диапазоне 5-25 нм, предварительно определенных трансмиссионной электронной микроскопией. Были проведены мессбауэровские, магнитные и дифракционные измерения каждого образца. Сравнительный анализ результатов показал, что данные Мессбауэровской спектроскопии крайне необходимы для правильной интерпретации результатов измерений намагниченности или рентгеновской дифракции. На рисунке показаны экспериментальные данные для 20 нм наночастиц оксида железа: а) ⁵⁷Fe мессбауэровский спектр, измеренный при 300 К, б) ⁵⁷Fe мессбауэровский спектр, измеренный при 78 К, в) ⁵⁷Fe мессбауэровский спектр, измеренный во внешнем магнитном поле 3.4 кЭ при 300 К, д) рентгеновская дифракционная картина, е) Кривая намагниченности, измеренная при 300 К.



1. R.R.Gabbasov, V.M.Cherepanov et al. IEEE Transactions on Magnetics, V. 49, N. 1, 2013, pp.394 – 397.

2. <http://www.oceannanotech.com/product.php?cid=69&pid=122>

**КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ И КОНТИНУАЛЬНАЯ МОДЕЛИ
МАГНИТНОЙ ДИНАМИКИ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ
В АНАЛИЗЕ МЁССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ**

Мищенко И.Н., Чуев М.А.

Физико-технологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

IlyaMischenko@rambler.ru

**QUANTUM-MECHANICAL AND CONTINUAL MODELS OF MAGNETIC DYNAMICS
FOR ANTIFERROMAGNETIC PARTICLES IN ANALYZING MÖSSBAUER SPECTRA**

Mischenko I.N., Chuev M.A.

Recently developed quantum-mechanical [2] and continual [4] models of magnetic dynamics for antiferromagnetic particles were applied to analyse temperature series of Mössbauer spectra of γ -Fe₂O₃ based nanoparticles. Advantages of the new models, their comparison and further generalizations [3] are discussed on the example of the particular experiment.

С первых лет своего возникновения и по настоящее время мёссбауэровская спектроскопия находит применение в исследовании магнитных частиц малых размеров. При этом часто, независимо от магнитной природы образцов, температурная эволюция спектров носит универсальный характер и удовлетворительно описывается в рамках многоуровневых релаксационных моделей магнитной динамики [1], по своей сути применимых лишь к ферромагнитным частицам. В то же время в экспериментах наблюдается и принципиально иное поведение кривых резонансного поглощения антиферромагнитных (АФМ) частиц, основная черта которого заключается в появлении и нарастании с температурой центрального пика (либо квадрупольного дублета линий) на фоне слабо меняющейся разрешённой магнитной структуры. Объяснение такого поведения в рамках стандартных динамических подходов невозможно и требует разработки специфичных моделей магнетизма АФМ частиц.

Недавно такие модели были предложены, сначала на основании квантово-механического рассмотрения АФМ частиц с равными [2] и различными [3] спинами магнитных подрешёток, а затем на базе непрерывного (классического) описания [4].

Цель настоящей работы – апробация этих моделей в применении к согласованному анализу температурной серии спектров АФМ частиц. В первую очередь было использовано наиболее простое классическое описание в приближении равных магнитных моментов подрешёток и медленного релаксационного процесса. Однако, несмотря на качественное отличие от ферромагнитной модели, такой подход оказался недостаточным для достижения количественного согласия с имеющимися данными в области переходных и высоких температур. Учёт диффузии улучшил формальное описание высокотемпературных спектров, но оказался излишним для остальной серии. В этой связи было решено перейти к более полному квантово-механическому описанию, обеспечившему удовлетворительное согласие с экспериментом во всём температурном диапазоне. Дальнейшее уточнение найденного решения возможно путём введения распределения по нескомпенсированному спину, а также посредством учёта переходов между квантовыми состояниями АФМ частицы.

Литература:

1. D. H. Jones, K. K. P. Srivastava. Phys. Rev. B, 1986, 34, 7542–7548.
2. М.А. Чуев. Письма в ЖЭТФ, 2012, 95, 323–329.
3. М.А. Чуев. Доклады АН, 2012, 447, 22–27.
4. М.А. Чуев. Письма в ЖЭТФ, 2014, 99, 319–324.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМИКРО- И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА МЕТОДАМИ ЯМР И ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА

Покатилов В.С.

*Московский государственный технический университет радиотехники,
электроники и автоматики, Москва, Россия*

pokatilov@mirea.ru

STUDY OF SUBMICRO- AND NANOSTRUCTURED ALLOYS BASED ON IRON BY NMR and MOSSBAUER EFFECT

Pokatilov V.S.

Study of local atomic and magnetic short-range order and effect of short-term annealings above the crystallization temperatures of amorphous samples of $Fe_{87}B_{13}$ и $Fe_{82}T_5B_{13}$ ($T = Cr, Ni$) alloys by X-ray, NMR and Mossbauer effect has been carried out.

Экспериментальные данные, полученные при использовании ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и, частично, эффекта Мёссбауэра (ЭМ) установили, что в рентгеноаморфных (РА) ферромагнитных металлических сплавах на основе железа имеется ярко выраженный локальный ближний атомный и магнитный порядок на уровне 1-3 координационных сфер, т.е. в сегрегациях и микрообластях (нанокластерах) размерами 3-4 Å (0.3-0.4 нм). Однако работ, выполненных методами ЯМР и ЭМ, и посвященных изучению локального ближнего порядка в РА сплавах на основе железа, крайне мало, что сдерживает понимание природы физических свойств и поиска новых сплавов этого класса с широким спектром свойств. В данной работе исследовалась локальная атомная и магнитная структуры РА и нанокристаллических сплавов на основе Fe-B ($Fe_{87}B_{13}$ и $Fe_{82}T_5B_{13}$ $T = Cr, Ni$) вблизи концентрационного перехода ($c_a = 12$ ат. % В) из микрокристаллического в РА состояние.

РА сплавы $Fe_{87}B_{13}$ и $Fe_{82}T_5B_{13}$ $T = Cr, Ni$ были получены методом спиннингования. Для получения субмикроскопических и нанокристаллических состояний образцы (ленточки шириной 10 мм и толщиной 20 мкм) кратковременно отжигались в течение 5 минут при температурах ниже и выше первой и второй температур кристаллизации с последующей закалкой в воде. Измерялись намагниченности насыщения при комнатной температуре и 77К. Измерения методом ЯМР и ЭМ проводились при 4.2К, 77 и 295К. Кристаллическая структура сплавов исследовалась методом рентгенографии.

Сравнение данных ЯМР и ЭМ для сплавов Fe-B, содержащих бор ниже и выше c_a показало, что РА сплавы состоят из субмикроскопических областей с ближними порядками типа α -Fe и тетрагонального (т) и орторомбического (о) боридов Fe_3B . Кратковременный отжиг образцов РА сплава $Fe_{82}B_{13}$ приводит к формированию нанокристаллической структуры, содержащей нанокристаллы фаз α -Fe и боридов т- и о- Fe_3B . Кратковременные отжики образцов РА сплавов $Fe_{82}Cr_5B_{13}$ и $Fe_{82}Cr_5B_{13}$ существенно изменяют их локальную атомную и магнитную структуры по сравнению со сплавом $Fe_{82}B_{13}$. Замещение атомов железа атомами хрома в РА и отожженных сплавах приводит к существенному уменьшению локальных магнитных моментов, а замещение атомами никеля - к существенному увеличению локальных магнитных моментов для различных состояний атомов железа.

РОЛЬ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ТЕХНОЛОГИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Киселева Т.Ю.*, Новакова А.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Физический
факультет, Москва, Россия

Kiseleva.TYu@gmail.com, novakova.alla@gmail.com

MOSSBAUER SPECTROSCOPY ROLE IN FUNCTIONAL NANOCOMPOSITES TECHNOLOGY

Kiseleva T.Yu., Novakova A.A.

Scientific and technical areas, including the development of technologies for the production of iron nanostructured materials (nanoparticles, nanocomposites, nanostructured film and bulk metal-polymer and hybrid materials) with unique magnetic, electrical, mechanical, catalytic and other functional properties find wide application in industry, biotechnology, life support systems and monitoring. Facilities of Mossbauer spectroscopy in the development of technologies for the synthesis of multicomponent composites containing iron compounds as constituents or structural units are highly effective. Data obtained so far by means of Mossbauer spectroscopy technique on the study of iron nanoscale structures and regularities carried out for nanostructured state influence on the parameters of hyperfine interactions in simple systems, multicomponent systems- and hybrids, are the basis for the algorithms creation of multifunctional nanostructured materials with the required set of properties targeted synthesis. We discuss the contribution of Mössbauer investigations in the development of technologies for synthesis of new iron-containing materials on the examples of mechanochemistry, chemical metallurgy and SHS technological algorithms.

Научно-технические направления, включающие в себя разработку технологий получения железосодержащих наноструктурных материалов (наночастиц, нанокomпозитов, наноструктурированных пленочных и объемных металл-полимерных и гибридных материалов) с уникальными магнитными, электрическими, механическими, каталитическими и другими функциональными свойствами, находят широчайшее применение в промышленности, в сферах биотехнологий, системах жизнеобеспечения и мониторинга. В разработке технологий синтеза материалов при использовании соединений железа в качестве составляющих структурных единиц сложных многокомпонентных систем возможности мессбауэровской спектроскопии оказываются высокоэффективными. Полученные к настоящему времени с помощью мессбауэровской спектроскопии данные по исследованию железосодержащих наноразмерных структур и выявленные закономерности влияния наноструктурного состояния вещества на параметры сверхтонких взаимодействий как в простых системах, так и в многокомпонентных и гибридных, являются основой для формирования алгоритмов целенаправленного синтеза многофункциональных наноструктурных материалов с необходимым набором свойств. В работе обсуждается вклад мессбауэровских исследований в разработку технологий синтеза новых железосодержащих материалов на примерах технологических цепочек получения нанокomпозитов методами механохимии, химической металлургии и СВС.

STUDY OF [001]-ORDERED $L1_0$ FePt $_{1-x}$ Rh $_x$ FILMS

Kamzin A.S.¹, Ishio S.², Hasegawa T.², Valiullin A.A.³, Ganeev V.R.³, Tagirov L.R.³
Zaripova L.D.³

¹*Ioffe Physical-Technical Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 194021
Russia*

²*Department of Materials Science and Engineering, Akita University, 1-1 Gakuen-machi,
Tegata, Akita 010-8502, Japan*

³*Kazan Federal University, Kazan, 420008, Republic of Tatarstan, Russia
fess98@rambler.ru*

Bit-patterned media (BPM), which consist of ferromagnetic (FM) nanodots regularly arranged in a nonmagnetic matrix, are a promising candidate to replace continuous film media for ultrahigh density magnetic recording. For the fabrication of BPM, lithographic patterning, chemical methods, and flat patterning methods that modify the physical properties of films while maintaining a smooth, flat surface, have been proposed. An $L1_0$ (CuAu I type) FePt alloy, which features a face-centered tetragonal (fct) structure ($a=b>c$), has a high magnetocrystalline anisotropy ($K_u \approx 7.0 \times 10^7$ erg / cm³) owing to the atomic arrangement of alternating Fe and Pt layers along the [001] c axis. The large K_u value is suitable for BPM because of its implied good thermal stability. By substituting Rh for Pt in the equiatomic alloy, the $L1_0$ phase is stabilized. The FePt $_{1-x}$ Rh $_x$ bulk alloy with $x < 0.8$ has the $L1_0$ structure, and it exhibits three different magnetic phase transitions depending on the temperature: (1) a second-order ferromagnetic (FM)-paramagnetic (PM) transition ($0 < x < 0.19$), (2) a first-order antiferromagnetic (AF)-FM transition ($0.19 < x < 0.28$), and (3) a first-order AF-PM transition ($0.28 < x < 0.80$) [1,2]. The physical properties of a thin film frequently differ from the bulk behavior due to dimensionality effects.

In this work, we report the magnetic properties of a thin [001]-oriented $L1_0$ FePtRh film ($t_{\text{FePtRh}} = 20$ nm) and the FM-AF transition. FePt $_{1-x}$ Rh $_x$ films were deposited onto MgO(100) single crystal substrate by a magnetron sputtering method. The composition (x) of the FePt $_{1-x}$ Rh $_x$ films was controlled by changing the Rh thickness (t_{Rh}). An energy dispersive X-ray spectroscopy, a transmission electron microscopy, X-ray diffraction (XRD), a vibrating sample magnetometer (VSM), a superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer, an X-ray magnetic circular dichroism (XMCD) and Conversion Electrons Mossbauer Spectroscopy (CEMS) were used for studying film properties. The temperature variation of the hyperfine field was investigated in the films in range $0 < x < 0.40$.

The conclusions: [001]-oriented $L1_0$ FePt $_{1-x}$ Rh $_x$ films with a degree of long-range chemical order parameter of $S \approx 0.83$ were prepared. At room temperature, the films with $0 < x < 0.32$ showed ferromagnetism ($800 \leq M_s \leq 1100$ emu / cm³) with a high magnetocrystalline anisotropy, and the films with $0.34 \leq x \leq 0.40$ were in an antiferromagnetic (AF) phase. At $x = 0.32$, M_s were about 500 emu/cm³.

This materials system has enough thermal stability for future use in high-density magnetic storage media, and its K_u can be controlled easily by changing x .

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 14-02-91151 GFEN_a).

- [1] T. Hasegawa, J. Miyahara, T. Narisawa, S. Ishio, H. Yamane, Y. Kondo, J. Ariake, S. Mitani, Y. Sakuraba, and K. Takanashi. J. Appl. Phys., 2009, 106, 103928.
[2] S. Yuasa, H. Miyajima, and Y. Otani. J. Phys. Soc. Jpn., 1994, 63, 3129.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕРХРЕШЕТОК Fe/Cr С УЛЬТРАТОНКИМИ СЛОЯМИ Fe

Голобородский Б.Ю.¹, Лебедев Н.О.¹, Мильяев М.А.¹, Ромашев Л.Н.¹,
Овчинников В.В.², Устинов В.В.¹

¹*Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия*

²*Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия
romashev@imp.uran.ru*

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY STUDY SUPERLATTICES Fe/Cr WITH ULTRATHIN Fe LAYERS

Goloborodskii B.Yu., Lebedev N.O., Milyaev M.A., Romashev L.N.,
Ovchinnikov V.V., Ustinov V.V.

In this work, the effect of the decrease of the Fe layers thickness on the mössbauer spectra is investigated on the series of the $\text{Al}_2\text{O}_3/^{57}\text{Fe}/\text{Cr}$ superlattices with $t_{\text{Fe}} < 5.2\text{Å}$. The analysis of the mössbauer spectra of the cluster-layered nanostructures has shown that magnetic clusters, responsible for the superparamagnetic behavior, consist of not only Fe atoms forming the main body of the clusters, but also include the neighboring Cr atoms exchange coupled with Fe, which form the (Fe-Cr) covering.

Магнитные исследования, выполненные нами ранее на сверхрешетках $\text{MgO}/\text{Fe}/\text{Cr}$ с номинальной толщиной слоев железа $t_{\text{Fe}} < 5\text{Å}$ [1], показали, что столь тонкие слои железа не являются сплошными, а состоят из отдельных ферромагнитных кластеров (островков) Fe. Такие кластерно-слоистые наноструктуры проявляют суперпарамагнитные свойства и для них при $t_{\text{Fe}} < 2\text{Å}$, характерно Кондо-подобное поведение электросопротивления. При понижении температуры происходит вначале уменьшение сопротивления, а затем - ниже некоторой T_K - увеличение, т.е. наблюдается инверсия знака температурного коэффициента электросопротивления. Эта аномалия сопротивления уменьшается или исчезает совсем при наложении магнитного поля, подобно тому, что имеет место у сплавов, обладающих эффектом Кондо.

В данной работе на специально приготовленной серии мультислойных сверхрешеток $\text{Al}_2\text{O}_3/^{57}\text{Fe}/\text{Cr}$, отличающихся номинальной толщиной слоев ^{57}Fe ($t_{\text{Fe}}=0.8-15\text{Å}$) при постоянной толщине слоев Cr (10Å), исследовано изменение мессбауровских спектров при уменьшении t_{Fe} . Наноструктуры приготовлены в сверхвысоком вакууме методом молекулярно-лучевой эпитаксии по технологии, обеспечивающей им максимальную величину гигантского магниторезистивного (ГМР) эффекта. Мессбауэровские измерения проводились при комнатной температуре.

Анализ параметров мессбауэровских спектров кластерно-слоистых наноструктур $\text{Al}_2\text{O}_3/^{57}\text{Fe}/\text{Cr}$ показал, что магнитные кластеры, обеспечивающие этим наноструктурам суперпарамагнитные свойства, включают в себя не только атомы Fe, составляющие ядро кластера, но и соседствующие обменно-связанные с ними атомы Cr, образующие (Fe-Cr) оболочку. Такие кластеры являются трехмерными, что обеспечивает наноструктурам уменьшение магнитного гистерезиса и независимость магнитосопротивления от направления внешнего магнитного поля, а это значительно расширяет функциональные возможности такого типа наноматериалов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 13-02-00749-а) и Президиума РАН (проект № 12-П-2-1051).

1. V.V. Ustinov, L.N. Romashev, M.A. Milyaev, et. al. JMMM, 2006, 300, 148-152.

STRUCTURAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF THE CHROMIUM-DOPED IRON SULFIDE $\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{S}$ SINGLE CRYSTALLINE NANOCOMPOSITES STUDIED BY MOSSBAUER SPECTROSCOPY

Funtov K.O.¹, Lyubutin I.S.¹, Lin C.-R.², Starchikov S.S.¹, Tseng Yaw-Teng²

¹ Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences, Moscow 119333, Russia

² Department of Applied Physics, National Pingtung University of Education, Pingtung County 90003, Taiwan

funtov.ko@gmail.com

Last decades the attention of scientists was focused on magnetic nanomaterials with unique and desirable properties. This is primarily due to their promises applications in various fields of science and technology, ranging from magnetic memory and spintronics to biology and medicine. Nanoparticles of iron sulfides can be used in devices with high-density information storage, in energy-powered devices (as anode material in Ni-MH batteries), in addressing environmental pollution, in biology and medicine (hyperthermia, targeting drug delivery) etc.

In our work the single crystalline iron sulfide nanoparticles doped with chromium $\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{S}$ ($0 \leq x \leq 0.15$) were successfully prepared by thermal decomposition method. The electron microscopy images (Fig. 1) show that the particles are self organized into the single crystalline plates with the accurate hexagonal shape and dimensions up to 1 micron (μ) in plane and about 30-50 nm in thickness. The XRD data indicate that particles have the NiAs-type crystal structure (sp.gr. $P6_3/mmc$) at all Cr concentrations up to $x = 0.15$.

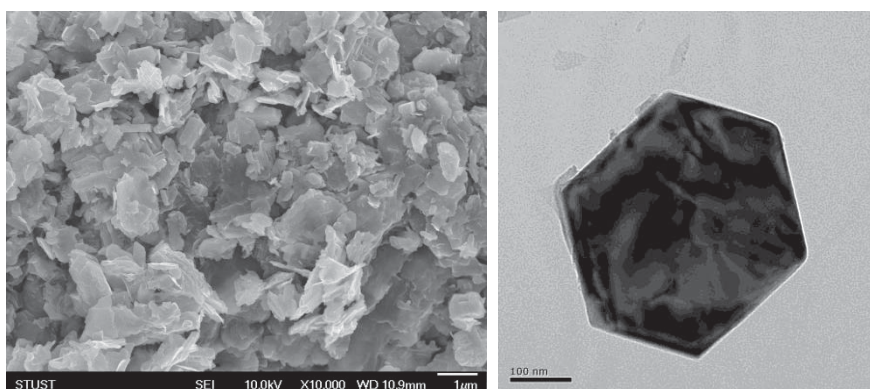


Fig. 1. The scanning (left) and transmission (right) electron microscopy images of the $\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{S}$ nanocomposites.

The Fe^{57} -Mössbauer spectroscopy data reveal four nonequivalent iron sites in these nanocrystals related to different number of the cation vacancies in the iron neighboring. We found that the 2C - type superstructure or a mixture of the 2C and 3C superstructures of the vacancies ordering can be present in these samples. It was established that the Cr atoms, replacing iron, prefer to occupy the place of Fe in the layers containing vacancies which leads to vacancies redistribution. The crystal structure does not change when Cr atoms were introduced to the compound; however, the magnetic properties were significantly changed.

Acknowledgments:

This work is supported by the Russian Scientific Foundation (grant #14-12-00848)

COMPARATIVE ANALYSIS OF IRON SULPHIDE AND IRON OXIDES NANOPARTICLES WITH SPINEL STRUCTURE STUDIED BY MOSSBAUER SPECTROSCOPY

Starchikov S.S.¹, Lyubutin I.S.¹, Lin C.-R.², Bukreeva T.V.¹, Korotkov N.Yu.¹, Funtov K.O.¹

¹*Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Department of Applied Physics, National Pingtung University of Education, 90003, Taiwan*
sergey.s.starchikov@gmail.com

Magnetic nanostructures are considered as promising materials in high-density magnetic storage devices, magnetic heads, sensors, targeted drug delivery, hyperthermia treatment, magnetic resonance imaging (as contrast media), separation of biochemical products and gene manipulation and immunoassays. Most important of such materials are magnetite Fe₃O₄, maghemite γ -Fe₂O₃ and greigite Fe₃S₄. These compounds have the spinel type crystal structure and often it is difficult to distinguish magnetite from maghemite phase or greigite from Fe₂S₃ phase by the XRD method. Mössbauer spectroscopy is a powerful tool that can help to separate these phases and also to give information about magnetic structures and properties of such nanostructures. Comparative analysis of the properties of iron sulfides and iron oxides could be useful in view of their application in modern magnetic devices and biomedicine.

In our study, greigite (Fe₃S₄) and magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles with the spinel type crystal structure were synthesized by the polyol mediated process and thermal reduction method respectively. The *in situ* synthesis of maghemite (γ -Fe₂O₃) nanoparticles in a suspension of polyelectrolyte capsules was performed using the Elmore method of magnetite fabrication. The estimation of the crystallite size was made by the Scherer's method from the XRD-peak broadening and gives values of about 20 nm and 40 nm for Fe₃S₄ and Fe₃O₄. Average size of the γ -Fe₂O₃ nanoparticles was calculated by TEM and found to be 7.5 nm.

Mössbauer spectra were recorded in temperature range of 10-297 K. The superparamagnetic behavior of small particles was observed. All spectra of magnetite and greigite have revealed Zeeman magnetic splitting indicating the magnetic ordering state of Fe ions in the 80-297 K temperature intervals. Two six-line magnetic patterns in the Fe₃O₄ spectrum at room temperature originate from iron ions in the tetrahedral (A) and octahedral [B] magnetic sublattices. The Verwey transition in Fe₃O₄ sample was observed at 136 K. In the Mössbauer spectra of greigite, the (A) and [B] magnetic sublattices are not clearly resolved. Contrary to magnetite, the Mössbauer spectra of greigite do not distinguish the Fe²⁺ and Fe³⁺ ions in B-sites at both 300 and 90 K, thus supporting the fast electron Fe³⁺ \rightleftharpoons Fe²⁺ exchange. The hyperfine parameters indicate an absence of the Verwey transition in greigite in the 90 – 297 K.

The Mössbauer data revealed that the γ -Fe₂O₃ nanoparticles have marked superparamagnetic behavior which was retained up to room temperature due to slow spin relaxation. Based on the Mössbauer spectroscopy data, the spin blocking temperatures T_B of about 70 and 250 K were found for the particles with size of 5 and 6 nm, respectively, and the anisotropy constants K were determined using the superparamagnetic approximation and in the low temperature approximation of collective magnetic excitation.

Acknowledgments: This work is supported by the Russian Scientific Foundation (grant #14-12-00848) and by Russian Foundation for Basic Research (grant 14-02-01217a)

INFLUENCE OF THE FILM THICKNESS AND ADDITIONAL ELEMENTS (Al, O, AND N) ON THE PROPERTIES OF FECo FILM STRUCTURES

Kamzin A.S.¹, Fulin Wei², Ganeev V.R.³, Valiullin A.A.³, Jiangwei Cao², Jianmin Bai², Zaripova L.D.³

¹*Ioffe Physico-Technical Institute of RAS, St. Petersburg 194021, Russia*

²*Key Laboratory for Magnetism and Magnetic Materials of the Ministry of Education, Research Institute of Magnetic Materials, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*

³*Kazan Federal University, Kazan, Tatarstan, 420008 Russia*

corvinuz@mail.ru

Further miniaturization of electronic devices (including recording/reading heads), progress in spintronics and increase of information recording density require fundamental understanding of magnetostatic interactions in the thin magnetic films employed in these devices. Films based on the FeCo alloy stand out in the high saturation magnetization and low coercivity, features that account for making them of the most promising materials for the design of magnetic heads providing superhigh-density information recording/reading on magnetic carriers. The magnetically soft properties of thin films, as well the process of magnetization reversal are mediated strongly by the magnetic domain structure. It is known that the magnetic softness of FeCo films can be varied by incorporating into them additional elements which can control not only the composition but the internal strains governing the magnetic properties of the films as well.

In this paper were studied effects of adding Al, O or/and N, influence of film thickness and annealing temperature on structure and magnetic properties of FeCo films.

The FeCoAlON thin films were fabricated by reactive RF magnetron sputtering of a 6-in Fe₇₀Co₃₀ alloy disk covered with 12 pieces of Al₂O₃ (10×10×2 mm²) chips. The sputtering gas was a mixture of Ar+N₂. The background pressure in the chamber was below 5.0×10⁻⁷ Torr and depositing pressure was 4 mTorr. The sputtering power density was 14.2 W/in². A DC magnetic field of 1500 Oe was utilized to induce a uniaxial anisotropy.

The magnetic properties of the films were measured using Vibrating Sample Magnetometer. The film structures were identified by X-ray diffraction with Cu K_α radiation and the magnetic structure by Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy with ⁵⁷Fe. The magnetic domain structure was observed using Magnetic Force Microscopy.

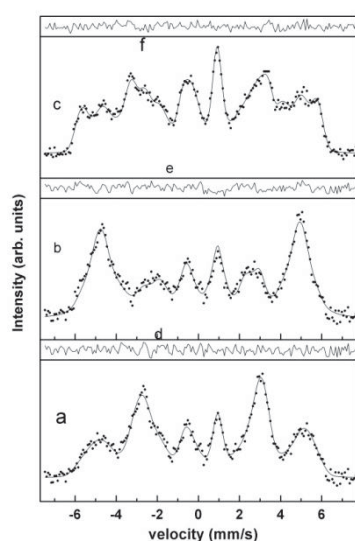


Fig. 1. Mössbauer spectra FeCoAlON thick films (a) 55 nm, (b) 320 nm and (c) 550 nm. Curves (d, e and f) is the deviation of the model spectrum from the experimental.

Analysis of anisotropy of FeCoAlON films shown that if the film thickness smaller than 55nm, the magnetization vector lay in film plane. As the film thickness increased to 210 nm, there was a fine irregular dense stripe domain, but it was not continuation in length direction. With a further increasing of the film thickness, the clear and regular stripe domain structure formed, and the width of stripe became wide.

Mössbauer study of the properties of the films on the annealing temperature, held to 300 °C, showed a complex dependence of the film properties of the duration and the annealing temperature.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА, ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ И ПЕКТИНА

Чистякова Н.И., Шапкин А.А., Сираждинов Р.Р., Губайдулина Т.В., Мацнев М.Е.,
Киселева Т.Ю., Казаков А.П., Русаков В.С.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
nchistyakova@yandex.ru

STUDY OF NANOCOMPOSITES BASED ON IRON OXIDES, HUMIC ACIDS AND PECTIN

Chistyakova N.I., Shapkin A.A., Sirazhdinov R.R., Gubaidulina T.V., Matsnev M.E.,
Kiseleva T.Yu., Kazakov A.P. and Rusakov V.S.

Mössbauer investigations, XRD and magnetic measurements of nanocomposites prepared using Fe₃O₄ nanoparticles, humic acids (HA) and pectin (PC) were carried out. The nanocomposites particles exhibit superparamagnetic behavior. The sizes of these particles decrease with increasing HA concentration and with decreasing PC concentration. The core of the nanocomposites is a mixture of non-stoichiometric magnetite and maghemite. The “iron-polymer” interface is formed on the surface of the particles as the result of the interaction of iron oxides and HA. The maghemite concentration increases with the increase in PC concentration.

Получение наночастиц оксидов железа в присутствии полимеров обеспечивает доступный способ создания уникальных нанокompозитных материалов, которые можно использовать в технике магнитной сепарации, материаловедении, в медицинских технологиях и фармацевтической химии. Исследуемые нанокompозиты были получены методом химического осаждения с использованием наночастиц Fe₃O₄, гуминовых (ГК) кислот и пектина (ПК) [1]. Концентрации ГК и ПК в нанокompозитах варьировались.

Мессбауэровские исследования нанокompозитов проводились в температурном диапазоне от 300 К до 5 К. Анализ фазового состава нанокompозитов исследовался с использованием рентгеновской дифрактометрии. Исследование магнитных характеристик нанокompозитов проводились на вибрационном магнитометре. Измерение намагниченности осуществлялось в интервале температур 80-300 К и магнитном поле до 10 кЭ. Были проведены исследования зависимости намагниченности от температуры во внешнем магнитном поле 10 кЭ в режимах ZFC/FC в диапазоне температур 80 ÷ 300 К.

Было установлено, что частицы нанокompозитов проявляют суперпарамагнитные свойства. Размеры этих частиц уменьшаются с увеличением концентрации ГК и с уменьшением концентрации ПК. Ядро нанокompозитов представляет собой смесь нестехиометрического магнетита и маггемита. В результате взаимодействия оксидов железа и ГК на поверхности частиц нанокompозита формируется интерфейс “железо-полимер”. Параметры парциального спектра ядер ⁵⁷Fe в структуре интерфейса соответствуют атомам Fe³⁺ в октаэдрическом окружении атомов кислорода. Относительное содержание атомов железа в интерфейсе возрастает с увеличением концентрации ГК. В случае использования ПК в нанокompозите образование такого интерфейса не наблюдалось. При увеличении концентрации ПК наблюдалось увеличение относительного содержания маггемита и уменьшение относительного содержания магнетита в нанокompозите.

Литература:

1. A.D. Pomogailo, K.K. Kydralievа, A.A. Zaripova et. al. Macromol. Symp., 2011, 304, 18–23.

О ПЕРЕХОДЕ ВЕРВЕЯ В НАНОДИСПЕРСНОМ МАГНЕТИТЕ

Захарова И.Н.¹, Николаев В.И.², Шипилин А.М.², Терзи М.Е.²

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ON THE VERVEY TRANSITION IN NANODISPERSION MAGNETITE

Zakharova I.N., Nikolaev V.I., Shipilin A.M., Terzi M.E. *amship@mail.ru*

Magnetic and Mossbauer studies were carried out for magnetite powders with the different average particle size from 24 nanometers to 1 micrometer. It was shown that in the case of nanoparticles the Vervey charge transfer has not been observed. The first order phase transition was detected for nanoparticles with the size 24 nanometers when studying temperature dependence of their magnetic moment in the weak field (ZFC-curve).

Магнетит Fe_3O_4 относится, как известно, к числу удобных модельных объектов исследования. С его помощью удалось разгадать немало тайн, касающихся роли железа в круговороте явлений в природе. Его роль в качестве инструмента исследования нельзя, однако, считать исчерпанной. В этом докладе мы хотели бы обратить внимание на возможность вервеевского (перескокового) механизма электрического заряда, используя современные средства локальной диагностики твердых тел. Объектом наших исследований были частицы Fe_3O_4 (размером от 24 нм до 1 мкм). Основными средствами исследования служили мессбауэровский спектрометр и СКВИД-магнитометр. Полученные результаты приведены на рис. 1 (при $T = 300 \text{ K}$) и рис. 2.

В случае «массивных» частиц функция распределения $\rho(H_n)$ магнитных полей на ядрах ^{57}Fe представляет собой суперпозицию двух парциальных функций – соответствующих В-местам структуры шпинели (слева) и А-местам (справа). Левый «пик» распределения $\rho(H_n)$ – результат усреднения валентностей ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в В-местах. При переходе от «массивных» частиц к наночастицам размером 45 и 24 нм этот «пик» распадается на два «пика» вдвое меньшей интенсивности каждый (они указаны стрелками). Отсюда непосредственно следует, что в наночастицах вервеевский механизм переноса зарядов не задействован.

Что касается магнитных свойств наночастиц, они указывают на наличие магнитного фазового перехода первого рода. Нами были проведены мессбауэровские и магнитные исследования нанодисперсного магнетита.

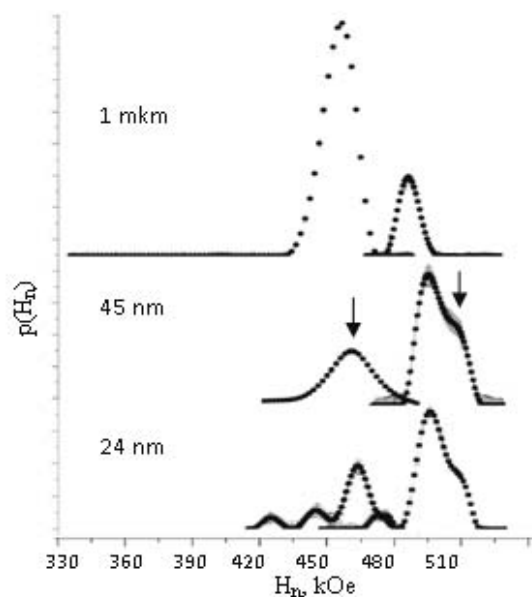


Рис. 1. Функции распределения $\rho(H_n)$ для частиц Fe_3O_4 при 300 К.

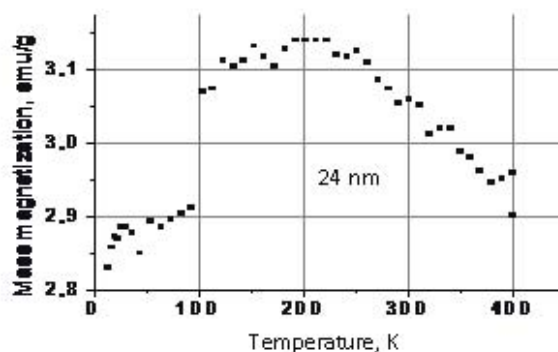


Рис. 2. ZFC-кривая для наночастиц Fe_3O_4

МЕССБАУРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ^{57}Fe , СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЯ

Нурмехамитов Р.Н.¹, Лядов Н.М.², Файзрахманов И.А.², Вагизов Ф.Г.¹,
¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Казанский физико-технический институт КНЦ РАН, Казань, Россия
ramft@gmail.com

MÖSSBAUER EFFECT STUDY OF ^{57}Fe THIN FILMS GROWN BY IBAD TECHNIQUE Nurmekhamitov R.N., Lyadov N.M., Faizrakhmanov I.A., Vagizov F.G.,

The results of Mössbauer effect study of ^{57}Fe thin films grown on glass substrates by ion beam assisted deposition (IBAD) technique are presented. Besides the metallic iron, a subspectrum with broad hyperfine field distribution is revealed. X-ray measurements show that the films are in a disordered amorphous state. The strong surface magnetic anisotropy of deposited films is observed.

Тонкие металлические пленки наномасштаба интересны как с точки зрения фундаментальных свойств таких объектов, так и с точки зрения практических приложений [1]. Это связано с тем, что физические свойства тонких пленок существенно отличаются от свойств объемных монокристаллических металлов и толстых пленок, которые обычно являются поликристаллическими. Существует целый ряд методов получения тонких пленок на подложках разного состава. Среди них метод ионно-стимулированного осаждения позволяет получать тонкие пленки с необычными физико-химическими свойствами [2]. Это обусловлено тем, что напыление и рост пленки сопровождается ионной бомбардировкой поверхности, позволяющей достигать такие термодинамические условия, которые не возможны при использовании обычных методов синтеза. Интенсивное перемешивание, индуцированное бомбардирующими ионами, стимулирует формирование пленки с повышенной связью с подложкой, снимает напряжения, возникающие во время роста на поверхности подложки, и ведет к аморфизации синтезируемого слоя.

В данной работе сообщаются результаты мёссбауэровских исследований тонких пленок железа, синтезированных методом IBAD. Бомбардировка осуществлялась ионами ксенона (Xe^+) с энергией 1 кэВ. Плотность ионного тока составляла $150 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Напыление пленки осуществлялось ионами ^{57}Fe (95% обогащение) на стеклянную подложку при комнатной температуре и давлении 10^{-4} мм. рт. ст.

Спектры конверсионных электронов раскладываются на два секстета. Сверхтонкие параметры одного из них очень близки к параметрам металлического железа. Другой секстет имеет широкое распределение сверхтонких полей с асимметричными крыльями, и, вероятно, относится к ядрам Fe с нерегулярным локальным окружением. Согласно рентгеновским измерениям в дифрактограмме наблюдается только один слабый и сильно размытый пик при 22° , что указывает на отсутствие дальнего порядка. Селективные по глубине измерения не выявили изменение отношения площадей этих секстетов для поверхностных и глуболежащих слоев пленки. Отношение интенсивностей линий секстетов свидетельствует, что магнитные моменты атомов железа ориентированы преимущественно в плоскости пленки.

Литература:

1. J. Sarkar, P.S. Gilman, "Sputtering Materials for VLSI and Thin Film Devices" Published by William Andrew (Elsevier Science), 2013, 608 p.
2. M. Ding, F. Zeng, F. Pan, Nuclear Instruments and Methods, B, 2000, 170, 79-84.

RBS AND CEMS STUDY OF YTTRIUM IRON GARNET THIN FILMS

Kirichenko V.G., Kovalenko O.V.

Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,

val_kir48@mail.ru

Magnetic ferrite's films in particular iron-yttrium garnet's (YIG) films are the materials of the magnetic microelectronics and they are used widely under manufacturing of magneto optical and microwave technology devices. The interest in ferrite-garnets driven by the possible application of the nanofilms in spintronics. YIG films deposited by ion beam sputtering of massive YIG target which was riched by isotope Fe⁵⁷ to 25% on GGG substrate with (111) orientation. The rate of deposition changed in the range 0.05–0.2 nm/s. Elemental analysis of the surface layers of YIG films were made by Rutherford backscattering spectrometry (RBS). The beams of protons (E = 1 MeV) or α -particles (E = 2.2 MeV) are used. The depth of the analyzed layer was up to 3 μm . The phase composition of the surface layers of thin films of YIG was determined by Mössbauer spectroscopy on ⁵⁷Fe nuclei in the backscattering geometry at conversion electron detection (CEMS).

According to RBS spectra the attention is drawn to the difference in the content of Fe and other components of the YIG and deposition the gadolinium which diffuses onto the surface already on the initial state after preparing iron garnet films. Perhaps this is due to the penetration of the elements in the GGG substrate layer YIG. The segregation of iron in YIG layer depth may be another reason for this. Segregation of iron atoms is actually observed in the depth range of 400–600 Å layer of YIG films. In addition, the segregation of Y is observed in the same range of YIG layer thicknesses. Graphs of the concentrations of components in layer depth used to determine the diffusion characteristics corresponded to steady-state growth of the films during their deposition. Our values of the diffusion coefficient is much smaller than the above published data for bulk polycrystalline samples. Perhaps this is due to a minor role on the rapid diffusion paths in the case of single-crystal thin films of YIG.

Under Mossbauer data the iron-garnet films obtained by different methods of spraying are in the paramagnetic state immediately after preparation. CEMS spectra are presented by broadened doublets. Magnetic hyperfine splitting CEMS spectra of YIG thin films immediately after the preparation is missing. Defectiveness of films can be related to the magnitude of the quadruple splitting of the spectra, which is confirmed by comparing the spectral parameters CEMS YIG films and bulk samples of iron garnet. Scattering spectra of paramagnetic iron garnets can be represented as a superposition of two doublets, relevant to the provisions of the ions Fe³⁺ in the octahedral sites and tetrahedral sites. Quadruple splitting Δ_{exp} for iron in octahedral sites in about 1 mm/s, for tetra-knots – about 0.3–0.5 mm/s. Since the magnitude Δ_{exp} was closed to the value for the tetrahedral positions then we can conclude that in the case of the amorphous state the octahedral are distorted significantly stronger than tetrahedral. The concentrations of iron in the thin surface layer of YIG, derived from a comparison of the effect of scattering are maximum for mode 1 (film deposited to the substrate immediately after ion thermal treatment) and low in the case of mode 2 (ion source with a cold cathode). Since the magnitude of the effect of scattering is proportional to the iron content in the surface layer thickness of 0.1 μm it is follows that the YIG films differ in their iron content. Thermal annealing of obtained YIG films in the range 970 – 1070 K leads to the crystallization of amorphous layers and to YIG transition to magnetic ordered state at that films are polycrystalline ones. It should be noted that the presence of gadolinium in the surface layer does not prevent the transition of the amorphous initial state of film to a magnetically ordered state in the annealing process.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОПРОВОЛОК ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ В ПОРАХ ПОЛИМЕРНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Фролов К.В.¹, Загорский Д.Л.^{1,2}, Любутин И.С.¹, Коротков В.В.^{1,3}, Бедин С.А.^{1,4},
Сульянов С.Н.¹ Артемов В.В.¹

¹*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова Российской академии наук, Москва, Россия*

²*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.Губкина, Москва, Россия*

³*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия*

⁴*Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия*
green@crys.ras.ru

PHASE COMPOSITION AND MAGNETIC PROPERTIES OF IRON NANOWIRES OBTAINED IN TRACK PORES OF THE POLYMER MEMBRANES

Frolov K.V., Zagorskii D.L., Lyubutin I.S., Korotkov V.V., Sulyanov S.N., Bedin S.A.,
Artemov V.V.

The arrays of iron nanowires were obtained by the electrochemical filling the pores of the polymer track membrane by sodium salts of iron. The phase composition and magnetic properties of nanowires were studied by electron microscopy, energy dispersive X-ray microanalysis and Mössbauer spectroscopy methods. The formation of a defined orientation of the magnetization in iron nanowires array was revealed

Исследованы массивы наноразмерных проволок железа, полученные методом гальванического заполнения металлом пор полимерной трековой мембраны (матричный синтез), при различных режимах электролиза и температурах электролита. Изучены условия синтеза, найдены оптимальный состав и температура электролита. Методами электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, элементного энергодисперсионного микроанализа и мёссбауэровской спектроскопии изучен фазовый состав и магнитные свойства нанопроволок. Средний диаметр нанопроволок равен 100 - 200 нм, длина варьировалась от 6 до 10 мкм, поверхностная плотность составила $\sim 10^8$ см⁻² при среднем расстоянии друг от друга около 1 мкм. Установлено, что основу НП составляет нанокompозит металлического железа, который проявляет магнитные свойства объемного α -Fe. Обнаружено возникновение выделенной ориентации намагниченности внутри нанопроволок железа для массива, полученного при величине потенциала -750 мВ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-01448), Российского научного фонда (проект № 14-12-00848) и Министерства образования и науки РФ с использованием оборудования ЦКП ИК РАН.

СЕКЦИЯ 3
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНТЕНСИВНЫЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЕЩЕСТВО (ТЕРМИЧЕСКОЕ,
РАДИАЦИОННОЕ, ДЕФОРМАЦИОННОЕ И ДР.)

**МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ И
МЕХАНИЧЕСКОГО СПЛАВЛЕНИЯ В НАНОСИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ
ЖЕЛЕЗО**

Елсуков Е.П.

Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия

e_yelsukov@mail.ru

**MÖSSBAUER STUDY OF NANOSTRUCTURE AND MECHANICAL ALLOYING IN
NANOSYSTEMS, CONTAINING IRON**

Elsukov(Yelsukov) E.P.

Review of the results performed from 1995 to nowadays is presented in this report. It consists of three parts. Structural peculiarities of nanomaterials with grain size of ~10 nm on the example of mechanoactivated pure Fe and mechanical alloying of Mo+8at.%O+1at.%⁵⁷Fe mixture. Initial stage of mechanical alloying on the example of binary Cr(Mg, Al, Si)-based with Fe systems. Microscopic model of mechanical alloying on the example of binary Fe-based with B, C, Mg, Al, Si and Sn systems.

В настоящем докладе представлен обзор результатов исследований, выполненных в период с 1995г. по настоящее время. Обзор состоит из трех разделов:

1. Структурные особенности наноматериалов с размером зерна ~10 нм на примере механоактивированного чистого Fe и механического сплавления (МС) смеси Mo+8ат.%O+1ат.%⁵⁷Fe. Показано, что можно выделить три области - граница зерна и приграничные искаженные зоны с общим названием «интерфейс», свободное от дефектов тело зерна. Сделана оценка характерных размеров границы в 0.2 нм и интерфейса в 1 нм;

2. Начальная стадия МС бинарных систем на основе Cr, Mg, Al и Si с Fe. Установлено, что при условии взаимной растворимости на самой ранней стадии механической обработки формируются оксиды в месте контакта частиц. Данная реакция не требует формирования наноструктуры в базовом элементе. С формированием наноструктуры последовательность твердофазных реакции осуществляется проникновением через границы зерен в интерфейс атомов Fe с образованием изолированных атомов Fe в и кластеров с локальной атомной структурой, характерной для деформированных метастабильных фаз (системы Al-Fe и Si-Fe). Экспериментально продемонстрирована определяющая роль химического взаимодействия в процессах МС, повышающаяся в ряду Mg→Si→Al→Cr;

3. Микроскопическая модель МС на примере бинарных систем на основе Fe с B, C, Mg, Al, Si и Sn. Модель включает в себя формирование наноструктуры в Fe с характерным размером интерфейса 1 нм, проникновение атомов второго компонента в интерфейс через границу зерна, формирование в интерфейсах и теле зерна деформированных метастабильных фаз.

Исследования в данном направлении были поддержаны грантами РФФИ 97-02-33483а, 00-03-32555а, 03-03-32081а, 07-03-08399з, 09-03-08228з, 10-03-00077а и 11-03-08236з.

HIGH CORROSION RESISTANT STEEL FOR APPLICATIONS IN NUCLEAR FACILITIES

Adriana Lancok⁽¹⁾, Milan Štefánik⁽²⁾, Tomas Kmjec⁽³⁾, Petr Svora⁽¹⁾, Lubomír Sklenka⁽²⁾, Marcel Miglierini^(2,4)

(1) *Institute of Inorganic Chemistry AS CR, Husinec-Rez, Czech Republic*

(2) *Faculty of Nuclear Science and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic*

(3) *Faculty of Mathematics and Physics, Charles University Prague, Czech Republic*

(4) *Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia*

e-mail: ada@iic.cas.cz, milan.stefanik@jffi.cvut.cz, kmjec@mbox.troja.mff.cuni.cz,
svora@iic.cas.cz, lubomir.sklenka@jffi.cvut.cz, marcel.miglierini@stuba.sk,

The long-term reliability of construction materials operating in nuclear facilities under harsh conditions such as intense irradiation, high temperature, and in the presence of corrosion agents is a serious technologic, economic, and environmental demand. In this work, we elucidate the structural features of advanced corrosion resistant LC 200N steel. High Cr and N content provide high hardness and wear resistance of this perspective material which can be considered for possible applications in nuclear installations.

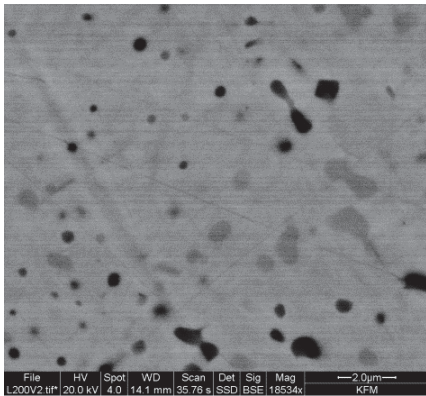


Fig. 1 – SEM image of the L 200N steel. Dark precipitates represent regions with higher Cr content.

Mössbauer spectrometry was chosen as a principal method of investigation. Surface as well as bulk properties were studied using CEMS (Conversion Electron Mössbauer Spectrometry) and transmission techniques. While the material's bulk shows presence of martensite-type magnetically active phases only, substantial contribution of central paramagnetic component is found in the surface layers.

Structural arrangement was checked by scanning electron microscopy (SEM, Fig. 1) and transmission electron microscopy (TEM). Chemical composition was inspected by X-ray fluorescence technique as well as by neutron activation analysis. The impact of cutting upon the surface of the specimens is also discussed. Apart from the declared chemical composition, presence of residuals from the cutting process was identified. After a

consequent removal of the affected layers, the original structural and magnetic characteristics of the base material were resumed.

Financial support of the grant GACR 14-121449S is acknowledged.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ В СЛОИСТОЙ СИСТЕМЕ Fe–Be ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА

Озерной А.Н.¹, Верещак М.Ф.¹, Манакова И.А.¹, Русаков В.С.²

¹Институт ядерной физики КАЭ МИИТ РК, Алматы, Казахстан

²Московский государственный университет, Москва, Россия

alex_oz2000@inp.kz

MÖSSBAUER INVESTIGATIONS OF RADIATION BREACH IN Be–Fe LAYERED SYSTEM AT IRON IONS IRRADIATION

Ozernoy A.N., Vereshchak M.F., Manakova I.A., Rusakov V.S.

The results of influence of irradiation with ⁵⁷Fe ions with energy of 350keV on the phase-structural state of the three-layer system Be(1 μm)-Fe(10 μm)-Be(1 μm) after irradiation and following isochronous annealing are presented in the work. The results were taken by the methods of Mössbauer spectroscopy.

Методами мессбауэровской спектроскопии на ядрах ⁵⁷Fe проведены исследования структурно-фазового состояния трехслойной системы Be(1 мкм)–Fe(10 мкм)–Be(1 мкм) после облучения ионами ⁵⁷Fe и последующего изохронного отжига.

Образцы для исследований были изготовлены с использованием технологии ионно-плазменного напыления. На 10 мкм фольгу армко-железа наносили бериллий толщиной 1 мкм с обеих сторон. Последующий отжиг вследствие взаимной диффузии компонентов приводил к формированию термически стабильной при T≤650°C слоистой системы. В приповерхностном слое системы с обеих сторон образовался интерметаллид FeBe₂, а в объеме – твердый раствор бериллия в железе α-Fe(Be). Образцы облучали до дозы 5·10¹⁵ ион/см² пучком ионов ⁵⁷Fe с энергией 350 кэВ и током 10 нА/см² на электростатическом перезарядном ускорителе тяжелых ионов УКП-2-1 ИЯФ РК. Степень воздействия ионного пучка составила величину порядка 10 смещений на атом, а проективный пробег ионов железа – около 400 нм. После облучения образцы подвергали изохронному отжигу при температурах от 200 до 650°C с шагом 50°C.

Установлено, что воздействие ионов ⁵⁷Fe на слоистую систему Fe–Be, как и в случае облучения ионами гелия и криптона [1, 2], приводит к нарушению магнитного порядка в зоне проективного пробега ионов. Большая часть атомов железа из области радиационного повреждения находится в парамагнитном состоянии. Отжиг при температуре 650°C возвращает мессбауэровские параметры облученного материала в исходное состояние.

В докладе обсуждаются возможные механизмы, приводящие к наблюдаемому эффекту.

Литература:

1. К.К. Kadyrzhanov, M.F. Vereshchak, I.A. Manakova, A.N. Ozernoy, V.S. Rusakov. J. Phys. Chem. Solids, 2013, 74, 1078-1085.
2. A.N. Ozernoy, M.F. Vereshchak, I.A. Manakova, K.K. Kadyrzhanov, V.S. Rusakov. Phys. Met. Metallogr., 2014, 115, 765-774.

РЕЛАКСАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗА

Шабашов В.А.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

shabashov@imp.uran.ru

RELAXATION OF STRUCTURE AT CYCLIC DEFORMATION-INDUCED PHASE TRANSFORMATIONS OF IRON ALLOYS

Shabashov V.A.

Megaplastic deformation-induced cyclic phase transformations with dissolution (precipitation) of disperse particles in metal matrices and formation of the secondary phases as a result of relaxation of supersaturated with defects structure were considered using Mossbauer spectroscopy method. Diffusionless phase transformations of martensite type in the iron alloys also have been considered.

В большинстве работ, посвященных воздействию интенсивной холодной пластической деформации на вещество, делается акцент на изменении его структуры и свойств. Значительно меньше внимания уделяется фазовым превращениям, сопровождающим «закачку» в металлические системы гигантской механической энергии. В качестве реакции вещества, в частности, металлов и сплавов, являются процессы наноструктурирования, низкотемпературного атомного массопереноса, аномальных полиморфных превращений, переход из кристаллического состояния в аморфное и наоборот и др. Встречающаяся в литературе неоднозначность интерпретаций деформационно-индуцированных процессов часто объясняется как сложностью и многостадийностью самих процессов трансформации, так и различием условий воздействия на вещество. При установлении закономерностей в каждом конкретном случае речь может идти лишь о преобладающем вкладе какого-либо механизма структурно-фазовых превращений, без исключения других механизмов.

В настоящем исследовании на локальном атомном уровне с использованием мёссбауэровской спектроскопии рассмотрены индуцированные мегапластической деформацией циклические фазовые переходы с растворением дисперсных частиц (интерметаллидов, боридов, карбидов, нитридов, оксидов) в матрицах металлов, формированием твердых растворов и вторичных фаз как следствие релаксации пересыщенной дефектами структуры. Рассмотрены также другие механизмы релаксации структуры, заключающиеся в полиморфных бездиффузионных фазовых превращениях, типа мартенситных, в системах $Fe - Ni(Mn)$. Насыщение структуры дефектами приводит к значительному гистерезису полиморфных переходов и возможности получать новые метастабильные структуры, не обнаруженные в сплавах при обычных деформационных воздействиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-13-00908.

МЁССБАУЭРОВСКИЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОФАЗНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АЗОТИСТОГО ХРОМО-НИКЕЛЕВОГО И ХРОМО-МАРГАНЦЕВОГО АУСТЕНИТА

Козлов К.А., Шабашов В.А., Литвинов А.В., Ляшков К.А., Заматовский А.Е.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия
kozlov@imp.uran.ru

MOSSBAUER ANALYSIS OF SOLID-PHASE MECHANICAL SYNTHESIS OF
NITRIDED CHROME-NICKEL AND CHROME-MANGANESE AUSTENITE
Kozlov K.A., Shabashov V.A., Litvinov A.V., Lyashkov K.A., Zamatovsky A.E.

Structural phase transformations at mechanical synthesis in the ball mill and subsequent annealing of powder mixtures of BCC $Fe-Ni(Ti)$ and $Fe-Mn$ alloys with nitrogen-containing addition - CrN nitrides have been investigated with the help of Mossbauer spectroscopy method.

В связи с потребностью в экономно легированных сталях перспективными являются разработки высокоазотистых сталей и композитов. В частности, активно ведутся исследования по созданию новых коррозионно-стойких азотсодержащих аустенитных сталей системы $Fe-Mn-Cr-N$ и $Fe-Ni-Cr-N$. В современной технологии производства сталей, сплавов и композиционных материалов с особыми (улучшенными) функциональными свойствами активно привлекаются методы механосинтеза как альтернатива традиционной металлургии.

Целью настоящей работы было исследование структурно-фазовых переходов при механическом синтезе в шаровой мельнице и последующих отжигах порошковых смесей ОЦК сплавов $Fe-Ni(Ti)$ и $Fe-Mn$ с азотсодержащей добавкой – нитридами CrN . Порошок CrN получен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Методом трансмиссионной мёссбауэровской спектроскопии и электронной микроскопии установлено, что при механоактивации в смесях порошков сплавов $Fe-XNi$ ($X = 6, 8, 12, 20$) и $Fe-XMn$ ($X = 4, 7, 9, 10$) с 20 масс.% CrN происходит формирование ОЦК и ГЦК твердых растворов $Fe-XNi-Cr-N$ и $Fe-XMn-Cr-N$. Количество вновь образованного азотистого аустенита возрастает с увеличением содержания никеля и марганца в исходной матрице сплавов.

Температурные отжиги в интервале температур 500 - 700°C механически синтезированных порошков приводят к диффузионно-контролируемому $\alpha \rightarrow \gamma$ переходу с формированием наноструктурированного дисперсно-упрочненного аустенита. Специфика синтеза сплавов $Fe-Mn-Cr-N$ заключается в активном участии процессов расслоения твердых растворов по марганцу, следствием которого является необходимость повышения температуры отжига до 800°C для завершения $\alpha \rightarrow \gamma$ перехода.

Исследовано влияние синтезированных порошков предварительного компактирования в наковальнях Бриджмэна на процессы $\alpha \rightarrow \gamma$ перехода и стабилизацию аустенита. Работа поддержана грантами РФФИ (№ 12-03-00040-а) и УрО РАН (№ 12-У-2-1020).

**МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ $\text{Li}_x\text{Fe}_{1-y}\text{M}_y\text{PO}_4/\text{C}$ ($M=\text{Mn,Co,Ni}$; $y \leq x \leq 1$),
КАК КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛИ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Русаков В.С.¹, Ярославцев С.А.¹, Скундин А.М.², Кулова Т.Л.², Ярославцев А.Б.^{1,3}

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

²Институт физической химии и электрохимии им. Фрумкина, Москва, Россия

³Институт общей и неорганической химии им. Курнакова, Москва, Россия

YaroslavtsevSA@gmail.com

**MÖSSBAUER STUDY OF $\text{Li}_x\text{Fe}_{1-y}\text{M}_y\text{PO}_4/\text{C}$ ($M = \text{Mn, Co, Ni}$; $y \leq x \leq 1$)
AS CATHOD MATERIALS FOR LI-ION BATTERIES**

Rusakov V.S., Yaroslavtsev S.A., Skundin A.M., Kulova T.L., Yaroslavtsev A.B.

Lithium iron phosphates doped with different transition-metals and different lithium content $\text{Li}_x\text{Fe}_{1-y}\text{M}_y\text{PO}_4/\text{C}$ ($M = \text{Co, Ni, Mn}$) have been studied by Mossbauer spectroscopy. Substitution of some Fe atoms leads to emergence of new states, due to appearance of impurity atoms in nearest cationic environment of Fe. Relative intensities and hyperfine parameters of new states have been determined. Detailed study has shown that ordering phenomena in dopant atoms distribution in Fe positions takes place in this material.

Литиевый фосфат железа LiFePO_4 является одним из наиболее перспективных материалов для использования в литий-ионных аккумуляторах. Одним из способов улучшения катодных свойств данного материала, таких, например, как пиковая мощность, является частичное замещение атомов железа на атомы других переходных металлов.

В данной работе методами мессбауэровской спектроскопии исследовалось влияние легирования на процессы зарядки материалов состава $\text{LiFe}_{1-y}\text{M}_y\text{PO}_4/\text{C}$ ($M = \text{Mn, Co, Ni}$; $y = 0; 0,1; 0,2$). Исследованные соединения были получены золь-гель методом. По данным рентгеноструктурного анализа $\text{LiFe}_{1-y}\text{M}_y\text{PO}_4/\text{C}$ состоит из двух фаз: орторомбической с пространственной группой $Pnma$ и аморфного углерода. В процессе зарядки происходит деинтерколяция лития, сопровождающаяся сменой валентного состояния атомов железа из Fe^{2+} в Fe^{3+} – $\text{Li}_x\text{Fe}_{1-y}\text{M}_y\text{PO}_4/\text{C}$. Мессбауэровские спектры ядер ^{57}Fe всех соединений были получены при комнатной температуре и при 5 К (выше и ниже температур магнитных фазовых переходов соответственно). Все спектры представляют собой совокупность парциальных спектров, соответствующих двух- и трехвалентным атомам железа, соотношение интенсивностей которых зависит от количества лития в образце. Обработка спектров проводилась методами модельной расшифровки и восстановления распределения сверхтонкого магнитного поля в рамках гамильтониана комбинированного сверхтонкого взаимодействия с помощью программы SpectrRelax [1].

Установлено, что легирование приводит к малым изменениям парциального спектра атомов Fe^{2+} , но в значительной степени влияет на парциальный спектр атомов Fe^{3+} , что приводит к заметному уширению и расщеплению линий этого спектра. Это связано с появлением новых позиций атомов железа, которые возникают при замещении атомов Fe на атомы примеси в ближайшем катионном окружении атомов железа. Параметры сверхтонких взаимодействий для новых позиций Fe^{3+} заметно отличаются от параметров, соответствующих нелегированным материалам. Показано, что атомы примеси распределяются по позициям атомов железа не статистическим, коррелированным образом.

Литература

1. M.E. Matsnev and V.S.Rusakov. AIP Conference Proceedings, 2012, 1489, 178-185.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ
ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ (Nd, Pr, Dy, Tb)-Fe-
В МЕТОДОМ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Бурханов Г.С.¹, Кольчугина Н.Б.¹, Лукин А.А.², Годовиков С.К.³, Кошкидько Ю.С.⁴

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

²ОАО «Спецмагнит», Москва, Россия

³Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им.
М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴ VSB - Technical University of Ostrava, 70833, Ostrava, Czech Republic
natalik@imet.ac.ru

**STUDY OF PECULIARITIES OF THE STRUCTURAL STATE OF HIGH-COERCIVITY
(Nd, Pr, Dy, Tb)-Fe-B MAGNETIC MATERIALS BY MÖSSBAUER SPECTROSCOPY**

Burkhanov G.S., Kolchugina N.B., Lukin A.A., Godovikov S.K., Koshkid'ko Yu.S.

The aim of the present study consists in determining changes in the crystal lattice of the material during treatments and incorporation of Tb atoms into the 2-14-1-phase lattice. The studies have showed the redistribution of Fe sites occupancy in the lattice and existence of nonuniform occupancy of Fe lattice sites over the volume of 2-14-1 phase.

Спеченные магниты на основе системы (Nd, Pr, Dy, Tb)-Fe-B были изготовлены по бинарной технологии из обедненного редкоземельными металлами сплава, полученного методом “strip-casting”; легирование гидридом тербия осуществлялось на стадии тонкого помола порошковой смеси. Использование добавок гидрида тербия позволяет существенно увеличивать коэрцитивную силу по намагниченности при незначительном уменьшении остаточной магнитной индукции. Методами электронной сканирующей микроскопии и Оже-спектроскопии для данных материалов обнаружено неравномерное (размер неоднородностей 50-150 нм) распределение неодима (празеодима) и тербия (диспрозия) в объеме зерен магнитотвердой фазы 2-14-1. Исследования исходного сплава “strip-casting” и спеченного материала, легированного тербием, методом рентгеновской дифракции показали изменения параметров решетки с $a=8.80\text{Å}$ и $c=12.23\text{Å}$ до $a=8.81\text{Å}$ и $c=12.20\text{Å}$ в результате вхождения тербия в состав материала. Задачей изучения данных материалов методом мессбауэровской спектроскопии было определение изменений в кристаллической решетке при легировании.

Мессбауэровские исследования были выполнены при комнатной температуре с использованием источника Co^{57} в матрице Rh. Обработка спектров проводилась по модели четырех зеемановских секстетов. Отмечены следующие изменения в заселенности позиций атомов в кристаллической структуре (см. таблицу). Происходит значительная нормализация структуры (позиции $K_1 + j_1 + e$, c , j_2).

Исходный сплав (strip-casting)		Спеченный магнит с 4 мас.% TbH ₂	
Позиция	Заселенность, %	Позиция	Заселенность, %
j_2	9.33 (норма 14.28)	j_2	11.0
K_2	36.25 (норма 28.6)	K_2	35.77
$K_1 + j_1 + e$	36.67 (норма 49.98)	$K_1 + j_1 + e$	43.39
c	17.75 (норма 7.1)	c	9.83

Существование неравномерного заполнения позиций атомами железа по объему фазы 2-14-1 в спеченном магните установлено на основании уширения линии с 0.36 мм/с до 0.42 мм/с. Наблюдаемые закономерности могут являться, по-видимому, одной из физических причин улучшения качества данного материала при его легировании.

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОЛОВА В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ КОРРОЗИИ

Филиппов В.П.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
vpfilippov@mephi.ru*

CHANGING OF Sn STATE IN SURFACE LAYERS OF ZIRCONIUM ALLOYS AT BEGINNING STAGE OF CORROSION

Filippov V.P.

The changes of tin atoms state in subsurface layers of tin-containing zirconium alloys in the process of corrosion in the autoclave conditions is discussed. It is shown that solid solution tin – α -Zr is transformed to the state of Sn^{+4} , Sn^{+2} and β -Sn. The relative content of these phases is changed during growth of oxide film.

В циркониевых сплавах в качестве легирующих добавок используется олово. Роль олова в изменении коррозионных свойств циркониевых сплавов до конца невыяснена. Для понимания механизма влияния олова на коррозионные процессы необходимы данные о состоянии олова в циркониевых сплавах и об изменении состояния олова на начальных стадиях коррозии в приповерхностных слоях. Для исследований приготовлены двойной Zr-Sn и четверной Zr-Sn-Fe-Cr циркониевые сплавы, содержание олова в которых близко или совпадает с содержанием олова в промышленных сплавах типа Э635, NSF, циркалой -2. Сплавы готовили путем плавления исходных компонентов в электродуговой печи и подвергали необходимым термомеханическим обработкам [1,2]. Из толстых фольг готовили образцы для коррозионных испытаний, из тонких фольг готовили поглотители для мессбауэровских исследований. Образцы сплавов подвергались коррозии в автоклавах при температуре 350-360°C и давлении 16,7 МПа. Толщину образовавшейся оксидной пленки определяли по привесу образца. Изомерный сдвиг приведен относительно соединения SnO_2 .

В исходном состоянии олово находится в твердом растворе в α -Zr. Его спектр представляет слаборазреженный дублет, причем в образцах двойного сплава $\delta=1.72\pm 0.02$ мм/с, $\Delta E=0.32\pm 0.02$ мм/с, а в образцах четверного сплава $\delta=1.69\pm 0.02$ мм/с, $\Delta E=0.30\pm 0.02$ мм/с. Параметры мессбауэровских спектров совпадают как в геометрии пропускания, так и в геометрии рассеяния при регистрации электронов конверсии. В процессе коррозионных испытаний на поверхности образцов образуется оксидная пленка. Анализ спектров показал, что на начальной стадии коррозии на спектре имеются линии двухвалентного олова, четырехвалентного олова, твердого раствора олова в α -Zr и β -Sn. В процессе роста оксидной пленки относительные содержания фаз и соединений олова изменяются. К моменту перехода к катастрофической коррозии уменьшается доля двухвалентного олова и β -Sn и растёт доля четырехвалентного олова, что свидетельствует о взаимосвязи изменения состояния олова с процессом коррозии циркониевых сплавов.

Литература:

1. V.P. Filippov, A.B. Bateev, Yu.A. Lauer, N. I. Kargin. *Hyperfine Interaction*, 2013, 217, 45–55.

2. D.Pecheur, V.P. Filippov, A.B. Bateev, Yu.Yu. Ivanov, *Zirconium in the Nuclear Industry: Thirteenth International Symposium*. ASTM STP 1423, Gerry D. Moan and Peter Ruling, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA 2002, pp.135-153.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 20ХГНМ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

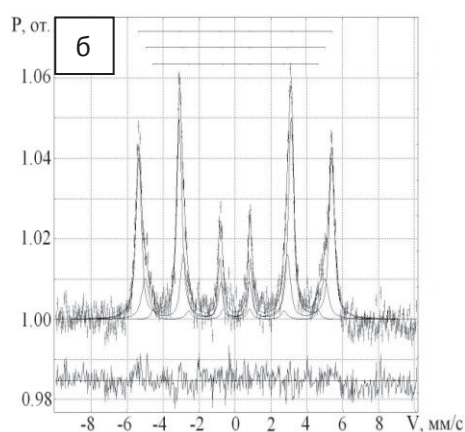
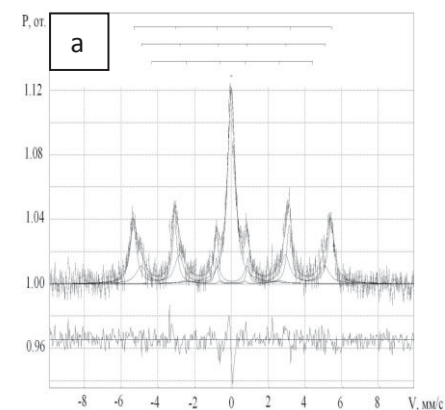
Филиппов В.П., Боков А.В.,

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

MOSSBAUER STUDY OF 20ХГНМ STEEL NEAR SURFACE LAYERS AFTER INFLUENCE OF HIGH-TEMPERATURE PLASMA

Filippov V.P., Bokov A.V. vpfilippov@mephi.ru

The changing of phase composition in near surface layers of the steel 20HGNM was investigated after influence of high-temperature plasma irradiation. It was found that the irradiation leads to the formation of sub microcrystalline cellular structure on the surface. Mössbauer studies of the surface layers show that after plasma irradiation there are the lines of magnetic hyperfine splitting of magnetic phases and the lines of paramagnetic phases on the spectra. This indicates the presence of magnetic and paramagnetic austenite phase. The austenite phase was formed as a result of the plasma treatment. After removal of 20 micron layer the spectrum contains only the lines of the magnetic hyperfine splitting.



Образцы стали 20ХГНМ подвергались воздействию высокотемпературной импульсной плазмы в плазменном ускорителе типа Z-пинча – «Десна-М» потоками высокотемпературной импульсной азотной плазмы с удельной мощностью падающего потока $q = 0,85 \text{ МВт/см}^2$ при длительности импульса $\tau_u = 20 \text{ мкс}$ [1, 2]. Выявлено, что облучение приводит к формированию на поверхности субмикроструктурной ячеистой структуры с характерным размером ячеек 150–200 мкм. Глубина модифицированного слоя составляет ~ 15 мкм. Мессбауэровские исследования показали, что после обработки плазмой на спектрах приповерхностных слоев образцов стали наблюдаются линии сверхтонкого магнитного расщепления магнитных фаз и линии парамагнитных фаз. На рисунке представлены спектры приповерхностных слоев, полученные методом конверсионной электронной мессбауэровской спектроскопии (КЭМС), где: а) спектр после обработки плазмой, б) спектр исходного материала. Видно, что после обработки плазмой на спектре имеются линии сверхтонкого магнитного расщепления, свидетельствующие о

присутствии магнитной фазы железа и парамагнитной аустенитной фазы, образовавшейся в результате обработки плазмой. По мере удаления от поверхности интенсивность линий парамагнитной фазы уменьшается и после снятия 20 мкм слоя спектр содержит только линии сверхтонкого магнитного расщепления.

1. Грибков В.А., Григорьев Ф.И., Калин Б.А., Якушин В.Л. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов. Круглый год, Москва, 2001. 528 с.

2. А.В. Боков, В.П. Филиппов, М.С. Юрлова, В.Л. Якушин. «Ядерная физика и инжиниринг», 2013, том 4, № 11–12, с. 1106–1111

**МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛЕГИРОВАННОГО Cr(Mn) ЦЕМЕНТИТА В ПРОЦЕССЕ
МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И ПОСЛЕДУЮЩИХ ОТЖИГОВ**

Ульянов А.И.¹, Ульянов А.Л.¹, Чулкина А.А.¹, Протасов А.В.², Елсуков Е.П.¹.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт Уральского отделения Российской академии наук

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук
ulyanov@ftiudm.ru

**Mössbauer STUDY OF FORMATION OF THE Cr(Mn)-DOPED CEMENTITE UNDER
MECHANOCHEMICAL SYNTHESIS AND SUBSEQUENT ANNEALING**

Ulyanov A.I., Ulyanov A.L., Chulkina A.A., Protasov A.V., Yelsukov E.P.

The structure, hyperfine interaction parameters, Mn(Cr) atoms localization, coercive force and specific saturation magnetization in mechanically alloyed and annealed Cr(Mn)-doped cementite of $Fe_{(1-x)Cr_x}C$ ($X=0.01-0.10$) and $Fe_{(1-x)Mn_x}C$ ($X=0-0.12$) compositions have been studied by means of Mössbauer spectroscopy, X-ray diffraction and magnetic measurements.

Методами мёссбауэровской спектроскопии, рентгеновской дифракции и магнитных измерений изучены структура, параметры сверхтонких взаимодействий, локализация атомов Mn(Cr), коэрцитивная сила и удельная намагничённость насыщения в механически сплавленном и отожженном цементите, легированном хромом (марганцем) составов $Fe_{(1-x)Cr_x}C$ ($X=0.01-0.10$) и $Fe_{(1-x)Mn_x}C$ ($X=0-0.12$).

Показано, что в результате механического сплавления образцов состава $(Fe_{1-x}Cr_x)_{75}C_{25}$ происходит уменьшение доли атомов Fe в аморфной Am(Fe-Cr-C) фазе по мере возрастания в образцах содержания Cr. При этом количество карбида $(Fe,Cr)_5C_2$ увеличивается, а цементита $(Fe,Cr)_3C$ в пределах погрешности измерений остается постоянным. Аналогичные изменения наблюдаются и для нанокompозита $(Fe,Mn)_{75}C_{25}$.

Из мёссбауэровских данных установлено, что распределение атомов Mn(Cr) в цементите, полученном в результате часового отжига при $800^{\circ}C$ механосинтезированных образцов достаточно близко к статистически однородному.

Показано, что устойчивость цементита к термическим воздействиям повышается по мере увеличения в нем содержания Mn(Cr).

Показано, что сильнодеформированный цементит находится в низкокоэрцитивном состоянии, а после отжига в области $500^{\circ}C$ – в относительно высококоэрцитивном состоянии. Легирование Mn(Cr) понижает коэрцитивную силу цементита, намагничённость насыщения и температуру Кюри цементита.

МЁССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СПЛАВЛЕНИЯ В БИНАРНЫХ ПОРОШКОВЫХ СИСТЕМАХ $\text{Cr}_{99}^{57}\text{Fe}_1$ И $\text{Cr}_{80}\text{Fe}_{20}$

Елсуков Е.П., Ульянов А.Л., Колодкин Д.А., Порсев В.Е.
Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия
porsev@ftiudm.ru

MÖSSBAUER STUDY OF MECHANICAL ALLOYING IN $\text{Cr}_{99}^{57}\text{Fe}_1$ AND $\text{Cr}_{80}\text{Fe}_{20}$ BINARY POWDER SYSTEMS

Yelsukov E.P., Ulyanov A.L., Kolodkin D.A., Porsev V.E.

The solid-state reactions in the mechanically alloyed $\text{Cr}_{99}^{57}\text{Fe}_1$ and $\text{Cr}_{80}\text{Fe}_{20}$ binary systems have been studied using Mössbauer spectroscopy, X-ray diffraction and Auger spectrometry.

Методами мёссбауэровской спектроскопии, рентгеновской дифракции и Оже-спектроскопии изучены твердофазные реакции в бинарных системах $\text{Cr}_{99}^{57}\text{Fe}_1$ и $\text{Cr}_{80}\text{Fe}_{20}$ при механическом сплавлении (МС) в шаровой планетарной мельнице Pulverizette-7. Выяснено, что в обоих случаях процесс механического сплавления приводит к формированию наноструктурного состояния, что подтверждается данными рентгеновской дифракции, где с увеличением времени помола происходит уширение основных ОЦК-рефлексов.

Методом мёссбауэровской спектроскопии показано, что с увеличением длительности механического сплавления ($t_{mc}=0-4$ ч) в обеих системах происходит интенсивное расходование чистого железа и образование на начальных этапах немагнитных фаз. Последнее проявляется в наличии дублетов и синглета в мёссбауэровских спектрах. С увеличением времени сплавления ($t_{mc}>1$ ч) вклад от синглета становится преобладающим и, по всей видимости, этот синглет соответствует твердому раствору железа в хроме. Наличие же парамагнитных дублетов на ранних стадиях процесса можно связать с образованием сложных оксидов с участием Cr и Fe, которые в дальнейшем распадаются с высвобождением чистых компонентов. Косвенно этот вывод подтверждается небольшим ростом концентрации ^{57}Fe в процессе размолла при малых временах (до 30 мин. включительно) на фоне общего ее падения. Данные Оже-спектроскопии также свидетельствуют в пользу данной гипотезы, поскольку поверхность порошка хрома содержит большое количество атомов кислорода, а на изображениях частиц порошка в системе $\text{Cr}_{99}^{57}\text{Fe}_1$ в процессе МС отчетливо прослеживается сначала их укрупнение по сравнению с исходным порошком хрома, а затем возврат к прежним размерам.

На основании полученных данных для системы $\text{Cr}_{99}^{57}\text{Fe}_1$ построена зависимость расходования чистого ^{57}Fe от дозы подводимой энергии. При сравнении данных результатов с таковыми для систем Si(Al,Mg)-Fe выявлена определяющая роль химического взаимодействия Al,Si,Mg и Cr с железом, которая усиливается в ряду $\text{Mg}\rightarrow\text{Al}\rightarrow\text{Si}\rightarrow\text{Cr}$.

**МЁССБАУЭРОВСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ
В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СУХОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ
СПЛАВОВ $Fe - Mn$ ПРИ 300 К**

Шабашов В.А., Заматовский А.Е., Коршунов Л.Г., Литвинов А.В.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия
zamatovsky@imp.uran.ru

**MOSSBAUER ANALYSIS OF STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS
IN THE DRY SLIDING FRICTION AREA OF $Fe - Mn$ ALLOYS**
Shabashov V.A., Zamatovsky A.E., Korshunov L.G., Litvinov A.V.

Under condition of dry sliding friction in $Fe - 40Mn$ steel the compressive stress is initiated which results in the formation of chaotic stacking faults which are ε (HCP)-phase nuclei.

Friction in the aging $Fe - 22Mn - 18Cr - 0.8N$ steel provides conditions close to deformation by shear under pressure which lead to dissolution of Cr_2N nitrides and to mechanical alloying of austenite by nitrogen. Contact tensile stresses promote the development of $\gamma \rightarrow \alpha$ transformations in this steel.

Основным фактором, обуславливающим развитие упруго-пластической деформации и разрушения (изнашивания) поверхностного слоя контактирующих материалов при трении скольжения, являются высокие локальные напряжения в зоне фрикционного контакта. Микронеровности в поверхностном слое контактирующих тел формируют зону сжимающих и растягивающих напряжений [1]. В работе [2] на основе сопоставления структурно-фазовых переходов в метастабильных сплавах предложено рассматривать схему деформационного нагружения сдвигом под давлением во вращающихся наковальнях Бриджмэна в качестве макроскопической модели деформации металла в первой зоне фрикционного контакта.

В настоящей работе проведено сопоставление структурно-фазовых превращений при трении скольжения и сдвиге под давлением в стабильных аустенитных сталях $Fe - 40Mn$ и $Fe - 22Mn - 18Cr - 0.8N$. Наряду со структурой в объеме образцов анализировали продукты износа после трения скольжения.

Показано, что в поверхностных слоях сталей после трения скольжения не происходит дестабилизации аустенита. В продуктах износа стали $Fe - 40Mn$ формируется до 10% хаотических дефектов упаковки (ХДУ), являющихся зародышами ε -фазы. В условиях сдвига под давлением сталь $Fe - 40Mn$ претерпевает необратимый $\gamma \rightarrow \varepsilon$ -переход. Сделан вывод, что при трении скольжения в стали $Fe - 40Mn$ инициируются сжимающие напряжения, приводящие к образованию ХДУ, являющихся зародышами ε (ГПУ)-фазы.

После деформирования трением скольжения в поверхностных слоях и продуктах износа, также как и при сдвиге под давлением состаренной стали $Fe - 22Mn - 18Cr - 0.8N$ происходит растворение продуктов ячеистого распада (Cr_2N) и увеличение содержания азота в аустенитной матрице. В продуктах износа стали формируется значительное количество α -фазы. Сделан вывод о том, что в стареющей стали $Fe - 22Mn - 18Cr - 0.8N$ трение создает условия, близкие к деформации сдвигом под давлением, приводящему к растворению нитридов Cr_2N и механическому легированию азотом аустенита. Контактные растягивающие напряжения способствуют развитию в этой стали $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и инициируют образование и распространение микротрещин в поверхностных слоях.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 14-13-00908.

1. Крагельский И.В. Трение и износ. 2 изд. М.: Машиностроение, 1968, 480 с.
2. Л.Г. Коршунов, В.А. Шабашов, Н.Л. Черненко, В.П. Пилюгин. МиТОМ, 2008, 12(642), 24 – 34.

**ДЕФОРМАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЕ АТОМНОЕ РАССЛОЕНИЕ В ОЦК
Fe – Mn СПЛАВАХ В ПРОЦЕССЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ
ДЕФОРМАЦИИ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ**

Шабашов В.А., Козлов К.А., Сагарадзе В.В., Печеркина Н.Л.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия
shabashov@imp.uran.ru

**DEFORMATION –INDUCED ATOMIC SEPARATION IN BCC *Fe – Mn* ALLOYS
UNDER INTENSIVE PLASTIC DEFORMATION IN THE BALL MILL
Shabashov V.A., Kozlov K.A., Sagaradze V.V., Pecherkina N.L.**

Processes of deformation-induced atomic redistribution of manganese by the near short ordering separation type in terms of single-phase alloys *Fe – XMn* ($X = 4, 7$) have been stated in the investigation by Mossbauer spectroscopy method.

В работах [1, 2] на примере стареющих с образованием интерметаллидов аустенитных *Fe – Ni – Me(Ti, Al, Zr)* [1] и *Fe – Ni – Cr* [2] сплавов были установлены общие закономерности индуцированного деформацией и облучением высокоэнергитическими частицами атомного перераспределения, вызванного формированием в структуре большого количества точечных дефектов.

В настоящем исследовании методом мёссбауэровской спектроскопии установлены процессы деформационно-индуцированного атомного перераспределения марганца по типу ближнего расслоения на примере однофазных сплавов *Fe – XMn* ($X = 4, 7, 9$).

Известно, что в *Fe – Mn* сплавах в области составов 4...10% *Mn* после закалки формируется α_1 (ОЦК) твердый раствор, который претерпевает распад по типу ближнего расслоения в условиях отжига при 300 - 500°C [3]. С термически активируемым ближним атомным расслоением связано, в частности, явление необратимой хрупкости в *Fe – Mn* сплавах.

Оценка параметров ближнего упорядочения (параметры Каули) показывает заметное смещение в положительную область в условиях увеличения времени помола. При этом в спектре не появляется аустенита.

В сплавах составов *Fe – XMn* ($X = 9, 10$) в процессе помола наблюдается появление аустенита и активизируются процессы перераспределения марганца с обеднением α -фазы. В деформированных сплавах *Fe – XMn* ($X = 7, 9, 10$) после отжига при 500°C формируется антиферромагнитный (при комнатной температуре) аустенит с содержанием 20% и более *Mn*. Подобные изотермические выдержки закаленных сплавов не изменяют заметным образом содержание марганца в аустените.

Данные настоящего исследования позволяют сделать заключение о том, что в неидеальном твердом растворе α_1 *Fe – XMn* ($X = 4...10$), обладающем термодинамическим стимулом атомного расслоения в условиях интенсивной пластической деформации происходит насыщение структуры деформационными вакансиями, ускоряющими процессы ближнего атомного упорядочения.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 14-13-00908.

1. В.В. Сагарадзе, В.А. Шабашов. ФММ, 2011, 112, 2, 155 – 176.
2. В.А. Завалишин, А.И. Дерягин, В.В. Сагарадзе. ФММ, 1993, 75, 2, 90 – 99.
3. Овчинников В.В., Литвинов В.С., Чарушникова Г.А. ФММ, 1979, 47, 5, 1099 – 1102.

СТАБИЛИЗАЦИЯ АУСТЕНИТА ВОДОРОДОМ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ РАСТВОРЕНИИ ГИДРИДОВ ТИТАНА В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗА

Шабашов В.А., Литвинов А.В.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

litvinov@imp.uran.ru

HYDROGEN STABILIZATION OF AUSTENITE AT DEFORMATION DISSOLUTION OF TITANIUM HYDRIDES IN THE IRON ALLOYS

Shabashov V.A., Litvinov A.V.

The possibility of hydrogen saturation of austenite of $Fe-Ni$ and $Fe-Mn$ alloys under deformation dissolution of titanium hydrides in austenite matrices and austenite stabilization with respect to polymorphous phase transitions $\gamma-\alpha$ and $\gamma-\varepsilon$ at strong plastic deformation was investigated.

Водород в сталях и сплавах оказывает значительное влияние на формирование свойств и, в частности, прочность конструкций. Являясь элементом внедрения, подобно углероду и азоту водород стабилизирует ГЦК фазу в сплавах железа по отношению к полиморфным фазовым переходам $\gamma-\alpha$ и $\gamma-\varepsilon$ при охлаждении.

Известно, что механическое легирование позволяет создавать сверхвысокие концентрации элементов внедрения в твердых металлических растворах [1-2]. В связи с этим целью настоящей работы было исследование возможности насыщения аустенита $Fe-Ni$ и $Fe-Mn$ сплавов водородом в условиях деформационного растворения гидридов титана в аустенитных матрицах и стабилизации аустенита по отношению к полиморфным фазовым переходам $\gamma-\alpha$ и $\gamma-\varepsilon$ при сильной пластической деформации.

Эксперимент заключался в интенсивной холодной пластической деформации сдвигом под давлением в наковальнях Бриджмэна матриц сплавов $Fe-32(36)Ni$ и $Fe-21Mn$ в смеси с гидридами TiH_2 . Для сравнения осуществляли аналогичную деформацию металлических матриц (без TiH_2) и в смеси с титаном.

Известно, что одним из способов удаления водорода из стали является понижение температуры и мартенситные фазовые переходы, при которых водород перераспределяется в поверхностных слоях образцов и выделяется в атмосферу диффузионным путем. Этим методом, в частности, пользуются для удаления флуkenов из структуры поковок и прокатных профилей. Водород в матрице аустенита создает растягивающие напряжения, которые, по-видимому, препятствуют мартенситным фазовым переходам при деформации. Таким образом, осуществление полиморфных фазовых переходов требует дополнительной энергии для диффузии водорода и удаления его из матрицы.

Работа поддержана грантами РФФИ (№ 12-03-00040-а) и УрО РАН (№ 12-У-2-1020).

1. Шабашов В.А., Сагарадзе В.В., Мукосеев А.Г., Баринов В.А., Пилюгин В.П., Печёркина Н.Л. Изв. РАН. Сер. Физ., 1999, 63, 7, 1440 – 1445.

2. Shabashov V.A., Borisov S.V., Litvinov A.V., Zamatovsky A.E., Lyashkov K.A., Sagradze V.V., Vildanova N.F. High Pressure Research, 2013, 33, 4, 795 – 814.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ПРИ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СМЕСЕЙ НИТРИДОВ ХРОМА, МАРГАНЦА И БОРА СО СПЛАВАМИ ЖЕЛЕЗА

Шабашов В.А.¹, Козлов К.А.¹, Дорофеев Г.А.², Литвинов А.В.¹, Ляшков К.А.¹

¹Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия

kozlov@imp.uran.ru

MECHANOCHEMICAL REACTIONS AT MEGAPLASIC DEFORMATION OF CHROMIUM, MANGANESE AND BORON NITRIDES WITH IRON ALLOYS

Shabashov V.A., Kozlov K.A., Dorofeev G.A., Litvinov A.V., Lyashkov K.A.

Mechanically activated in the ball mills structural-phase transformations in nitride mixtures (CrN , MnN и $\alpha-BN$) with specially alloyed (Cr, Al, Ti, V) iron alloys were investigated. It was stated that the special alloying of initial matrix by nitride-forming chromium, aluminum, titanium and vanadium accelerates considerably the processes of dissolution of initial nitrides.

В связи с активным развитием технологии создания дисперсно-упрочненных и композиционных сталей и сплавов широкое распространение получили методы механохимического синтеза. В работах [1-2] предложены новые подходы по созданию дисперсно-упрочненных сталей с растворением малоустойчивых при интенсивной пластической деформации оксидов и нитридов в матрицах сплавов и формированием вторичных упрочняющих наноразмерных фаз.

Целью настоящей работы было исследование механически активируемых в шаровых мельницах структурно-фазовых переходов в смесях нитридов CrN , MnN и $\alpha-BN$) со специально легированными (Cr, Al, Ti, V) сплавами железа. Установлено, что специальное легирование исходной матрицы нитридообразующими хромом, алюминием, титаном и ванадием значительно ускоряет процессы растворения первичных нитридов.

Основным фактором, влияющим на кинетику растворения первичных нитридов и структурно-фазовый состав механически синтезированных образцов, является химическая связь в частицах, характеризующаяся энтальпией образования нитридов. Установлено, что процессы формирования вторичных упрочняющих фаз идут уже во время механического помола. Последующий нагрев синтезированных образцов позволяет сформировать наноструктурированные дисперсно-упрочненные нитридами стали и наноккомпозиты.

Работа поддержана грантами РФФИ (№ 12-03-00040-а) и УрО РАН (№ 12-У-2-1020).

1. Сагарадзе В.В., Литвинов А.В., Шабашов В.А., Вильданова Н.Ф., Мукосеев А.Г., Козлов К.А. ФММ, 2006, 101, 6, 618 – 629.

2. Shabashov V.A., Borisov S.V., Litvinov A.V., Zamatovsky A.E., Lyashkov K.A., Sagaradze V.V., Vildanova N.F. High Pressure Research, 2013, 33, 4, 795 – 814.

МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ МАГНИТО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Шипко М.Н.¹, Коровушкин В.В.², Степович М.А.^{3, 1}

¹ *Ивановский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова,
Иваново, Россия*

² *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия*

³ *Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия*
¹ ivrgteu_nir@mail.ru, ² krvsch@mail.ru, ³ m.stepovich@rambler.ru

MOSSBAUER SPECTROSCOPY FERROMAGNETIC MATERIALS DUE TO MAGNETIC-IMPULSE PROCESSING Shipko M.N., Korovushkin V.V., Stepovich M.A.

Here are studied the properties of magnetic materials crystal structure through the example of magnetic iron in the initial condition and after magnetic-impulse exposure. Effects of a weak (10...100 kA/m) low-frequency (10...20 Hz) pulse magnetic fields on a spin condition of Fe atoms as well as crystalline structure and physical and mechanical properties of ferromagnetic materials have been investigated.

В настоящей работе проведена экспериментальная проверка гипотезы о том, что изменение спинового состояния атомов в поликристаллах под влиянием импульсов магнитного поля способствует ускорению процессов реконструкции кристаллической и микроструктуры. На примере сплава сендаст Fe₃(SiAl), магнетита Fe₃O₄ и титанового сплава BT23 методом мёссбауэровской спектроскопии изучены особенности кристаллической структуры материалов в исходном состоянии и после магнито-импульсного воздействия.

Спектры исходных поликристаллов Fe₃O₄ свидетельствуют о локализации ионов железа в окта- и тетраэдрической подрешетке структуры обращенной шпинели. При этом ионы Fe³⁺ и Fe²⁺ в октаэдрических позициях связаны электронным обменом. Процесс делокализации электронов обеспечивает определенный уровень полупроводниковых свойств магнетита. Наибольшие изменения после магнито-импульсной обработки испытывает вероятность эффекта Мёссбауэра. Наблюдаемое повышение вероятности эффекта можно связать с изменением амплитуды колебаний атомов, что в свою очередь обусловлено уменьшением концентрации вакансий и их упорядочением. Такое предположение согласуется с уменьшением относительной интенсивности компонент от тетра- и октаэдрической подрешеток (с 0,55 до 0,52) и квадрупольного расщепления спектров от этих подрешеток. Кроме того, изменение ширины спектров от октаэдрической подрешетки свидетельствует об изменении степени делокализации электронов в парах Fe³⁺-Fe²⁺, что способствует изменению электромагнитных свойств исследуемого материала. Полученные результаты подтверждают предположение о том, что магнито-импульсная обработка материалов может являться перспективным направлением нанотехнологии.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 1.6107.2011), а также Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (проект № 14-42-03106).

**СИНТЕЗ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ КВАЗИУПОРЯДОЧЕННЫХ ТРОЙНЫХ
СПЛАВОВ
FE-AL-M (M=GA, B, SN, V, MN): СТРУКТУРНЫЕ И МЕССБАУЭРОВСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Воронина Е.В.¹, Елсуков Е.П.², Масленникова А.Е.¹, Королев А.В.³

¹Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия

²Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия

³Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

evoronina2005@ya.ru

THE SYNTHESIS OF METASTABLE QUASIORDERED TERNARY FE-AL-M (M=GA,
B, SN, V, MN) ALLOYS: STRUCTURE AND MAGNETIC CHARACTERIZATION

Voronina E.V., Yelsukov E.P., Maslennikova A.E., Korolyov A.V.

The study is directed to exploring the conditions for the synthesis of metastable quasiordered ternary $Fe_{65-y}Al_{35-x}M_{x,y}$ (M=Ga, B, Sn, V, Mn; x, y = 0, 3, 5, 10 at.%) alloys. The detailed synthesis scheme and the results of structure and Mössbauer studies of the obtained systems are presented.

Целью данной работы являлось получение и аттестация структурно-однофазных тройных упорядоченные сплавы $Fe_{65-y}Al_{35-x}M_{x,y}$ сплавов с примесью Ga, Sn, B, V или Mn (x, y = 0, 3, 5, 10 ат.%). Эти системы привлекают интерес в качестве объектов изучения природы пространственно-неоднородных магнитных состояний и условий их формирования в структурно-однофазных магнетиках.

Одним из способов получения структурно и химически однофазных неравновесных нанокристаллических неупорядоченных сплавов является метод механохимического синтеза. Сплавление расплавов не может рассматриваться как универсальное средство интенсификации взаимодействия между металлами путем перевода гетерогенных процессов в гомогенные по аналогии с растворами [1]. Можно привести ряд примеров, когда температуры плавления реагентов сильно различаются и получение интересующего сплава или интерметаллида в однофазном состоянии с заданной концентрацией компонентов традиционными методами металлургии расплавов составляет серьезную трудность. В данном случае, температуры плавления Ga и Sn (302.93 К и 505.05 К) существенно ниже температур плавления Fe, Al и B (1812 К, 933.5 К и 2573 К, соответственно). Механосплавление обеспечивает синтез однородных по структуре неравновесных фаз в металлических системах. На следующем этапе выбором соответствующей схемы термообработки, возможно получение стабильных частично-упорядоченных сплавов замещения с ОЦК решеткой в достаточно широкой области концентраций. В работе представлена детальная схема синтеза сплавов. Синтезированные материалы представляли собой структурно-однофазные объекты с DO_3 или B2-сверхструктурой. Данные мессбауэровской спектроскопии полученных сплавов подтвердили их химически-однородное однофазное состояние. Результаты температурных мессбауэровских и магнитометрических исследований указывают на неоднородность магнитной микроструктуры данных систем.

Работа поддержана грантами РФФИ № 09-02-00461-а и 12-02-01316-а.

1. Григорьева Т.Ф., Барина А.П., Ляхов Н.З. Механохимический синтез в металлических системах, Новосибирск: Параллель. 2008. 311 с.

**МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ
СТРУКТУРЫ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ПРЕКУРСОРА НА
МИКРОСТРУКТУРУ КОМПОЗИТА Fe/Zr/Fe₂O₃, СФОРМИРОВАННОГО
МЕТОДОМ СВС**

Киселева Т.Ю.¹, Григорьева Т.Ф.², Талако Т.Л.³, Ковалева С.А.⁴, Лецко А.И.³,
Ситенков Н.В.¹, Майоров М.И.¹

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт порошковой металлургии, Минск, Беларусь

⁴Объединенный институт машиностроения, Минск, Беларусь

Kiseleva.TYu@gmail.com

**MOSSBAUER STUDY OF MECHANOACTIVATED PRECURSORS LOCAL
STRUCTURE INFLUENCE ON THE MICROSTRUCTURE OF Fe/Zr/Fe₂O₃
SYNTHESISED BY SELF-PROPAGATED HIGH TEMPERATURE SYNTHESIS**
Kiseleva T. Yu., Grigoryeva T.F., Talako T.L., Kovaleva S.A., Letsko A.N., Sitenkov N.V.,
Maierov M.I.

The method of functional multicomponent nanostructured powder materials formation for its subsequent application in functional coatings with special properties is a self-propagating high-temperature synthesis (SHS). Preliminary mechanical activation (MA) of precursor powder is effective in modifying the parameters of the SHS and structure and morphology control of the synthesized products. Mössbauer study of the local structure of the iron particles and compounds through structural transformations occurring in the system (Fe₂O₃-Fe/Zr) in a two-step precursor mechanoactivation with the formation of binary Fe/Zr and multicomponent composites Fe₂O₃/Fe/Zr and their impact on SHS synthesis parameters and structure formation have been performed.

В последние годы наметились новые направления повышения свойств конструкционных материалов за счет формирования микро- и нанокристаллической структуры. Одним из методов получения функциональных многокомпонентных наноструктурных порошковых материалов для последующего формирования из них покрытий различного назначения со специальными свойствами является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Композиты в результате такого синтеза формируются в результате реакции горения, протекающей самопроизвольно с большой скоростью без затрат энергии извне, за счет собственного тепловыделения. Предварительная механоактивация (МА) порошковых прекурсоров является эффективным средством модифицирования параметров СВС и управления структурой и морфологией продуктов синтеза. В системах, содержащих железо, эффективным методом для анализа структурных превращений при оптимизации технологических условий синтеза является мессбауэровская спектроскопия. В настоящей работе проведено мессбауэровское исследование изменения локальной структуры частиц железа и его соединений при структурных превращениях, происходящих в системе (Fe₂O₃-Fe/Zr) в процессе двухступенчатой механоактивации с образованием двойных Fe/Zr и тройных механокомпозитов Fe₂O₃/Fe/Zr и их влияния на параметры СВС синтеза и структуру формирующихся композитов. Анализ размеров и морфологии частиц проводился методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии. Установлено влияние продолжительности этапов механоактивации при прекурсорах на интенсивность протекания механохимических реакций на поверхности частиц и в интерфейсных областях, обуславливающих изменение энергетических характеристик процесса СВС.

МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В СИСТЕМЕ Cu-Fe-C

Ерёмина М.А., Ломаева С.Ф., Елсуков Е.П., Ульянов А.Л.
Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия
mrere@mail.ru

MOSSBAUER SPECTROSCOPY OF STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS UNDER THE MECHANICAL ACTIVATION OF Cu-Fe-C SYSTEM

Eryomina M.A., Lomayeva S.F., Yelsukov E.P., Ul'yanov A.L.

The Mössbauer effect has been used to study the structure and phase composition of mechanically alloyed and annealed Cu-Fe-C nanocrystalline alloys. The formation of supersaturated solid solution of iron in copper and iron carbide phases are found.

Метод мёссбауэровской спектроскопии является чувствительным к локальному окружению атомов железа и используется для изучения механизмов сплавления на атомном уровне. Особенно актуально его использование в тех случаях, когда метод рентгеновской дифракции практически не даёт информации о распределении железа, например, в случае механоактивированных сплавов системы Cu-Fe при относительно небольшом содержании железа.

В данной работе методами мёссбауэровской спектроскопии, рентгеновской дифракции, электронной и оптической микроскопии, измерения динамической магнитной восприимчивости были исследованы структура и фазовый состав механоактивированных и отожжённых нанокристаллических сплавов Cu-Fe-C с содержанием железа и углерода, близким 30 об.% Fe₃C. Показано формирование пересыщенного твёрдого раствора железа в меди на начальной стадии процесса механического сплавления и образование карбидов железа на последующей стадии.

Работа выполнена при поддержке программы исследований Президиума УрО РАН, проект № 12-М-23-2043.

ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИБИМЕТАЛЛА В СПЕЦИАЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫХ $Fe - Ni$ СПЛАВАХ ИНВАРНОГО ДИАПАЗОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ И ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Литвинов А.В., Шабашов В.А., Афанасьев С.В., Коршунов Л.Г.
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия
litvinov@imp.uran.ru

FORMATION OF QUASIBIMETAL IN SPECIALLY ALLOYED $Fe - Ni$ ALLOYS OF INVARI RANGE USING ION-PLASMA NITRIDING AND COLD PLASTIC DEFORMATION

Litvinov A.V., Shabashov V.A., Afanasyev S.V., Korshunov L.G.

The scheme of nanostructurization of the nitrided surface and formation of the gradient with respect to composition structure of quazibimetal was realized on $Fe - Ni$ austenitic steels of invar range with additional alloying by chromium and titanium. The scheme is based on the deformation-induced dissolution of phases formed in the samples at ion-plasma nitriding with the subsequent formation of secondary nitride phases and matrix composition changing in sample depth.

На $Fe - Ni$ аустенитных сплавах инварного диапазона с дополнительным легированием хромом и титаном реализована схема наноструктурирования азотированной поверхности и формирования градиентной по составу структуры квазибиметалла. В основу схемы положено деформационно-индуцированное растворение фаз, сформированных в образцах при ионно-плазменном азотировании с последующим образованием вторичных нитридных фаз и изменяющимся на глубину образца составом матрицы.

В отличие от бинарных сплавов $Fe - XNi$ (X , масс.% = 32...38), азотирование которых приводит к формированию твердого раствора азота в аустените, в дополнительно легированных Cr и Ti $Fe - Ni$ сплавах образуются нитриды CrN и TiN . Нитридные фазы распределены в поверхностных областях матрицы, мёссбауэровский спектр которой близок к спектру бинарного сплава $Fe - 36Ni$. Внутренняя (не азотированная) часть матрицы сохраняется в парамагнитном состоянии, т.е. в ней не происходит значительного изменения состава и образования нитридов.

Последующее деформирование сдвигом под давлением $Fe - Ni - Cr$ сплавов вызывает растворение нитридов CrN во фрагментированной матрице с уменьшением неоднородности состава образца по содержанию хрома и азота, а отжиг при $520^{\circ}C$, 4 ч приводит к повторному формированию нитридов хрома, распределенных на большую глубину в наноструктурированной матрице, имеющей состав, близкий к составу $Fe - 36Ni$. Деформация сдвигом под давлением азотированного сплава $Fe - Ni - Ti$ сопровождается растворением γ' -фазы (Ni_3Ti), сохранившейся в образце. Последующий отжиг образца не приводит к интерметаллидному старению матрицы, так как вместо образования интерметаллидов Ni_3Ti формируются нитриды TiN .

Предложенная деформационная обработка позволяет получать градиентную по составу структуру, упрочненную дисперсными нитридами. Для сплавов с зависимыми от состава физическими свойствами, такими, например, как инвары, это позволяет регулировать КТР на глубину образца, т.е. создавать квазибиметаллы. Важно отметить, что деформация сдвигом в определенных отношениях моделирует условия практически значимых интенсивных деформационных воздействий, таких, как фрикционное или ударное воздействия на поверхности металлов и сплавов.

Работа поддержана грантами РФФИ (№ 12-03-00040-а) и УрО РАН (№ 12-У-2-1020).

СЕКЦИЯ 4
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

**МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА В
МИКРОБНЫХ КЛЕТКАХ: ИССЛЕДОВАНИЕ РИЗОБАКТЕРИИ *AZOSPIRILLUM
BRASILENSE* МЕТОДОМ МЁССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

**Камнев А.А.¹, Тугарова А.В.¹, Ковач К.², Кузманн Э.², Хомоннай З.², Куликов Л.А.³,
Перфильев Ю.Д.³**

¹*Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов Российской академии
наук, Саратов, Россия*

²*Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*

³*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
aakamnev@ibppm.sgu.ru*

**IRON AND COBALT METABOLIC TRANSFORMATIONS IN MICROBIAL CELLS:
MÖSSBAUER SPECTROSCOPIC STUDY OF THE RHIZOBACTERIUM
*AZOSPIRILLUM BRASILENSE***

**Kamnev A.A., Tugarova A.V., Kovács K., Kuzmann E., Homonnay Z., Kulikov L.A.,
Perfiliev Yu.D.**

The ⁵⁷Fe-transmission (TMS) and ⁵⁷Co-emission (EMS) variants of Mössbauer spectroscopy are very promising for revealing metabolic transformations of iron and cobalt in live bacteria. We monitored metabolic transformations of ⁵⁷Fe^{III}/⁵⁷Fe^{II} species (by TMS) and of ⁵⁷Co^{II} species (by EMS) in live cells of *Azospirillum brasilense* (frozen at 80 K). Its two wild-type strains were used which differ by their ecological niches in the rhizosphere (strain-endophyte Sp245; epiphyte Sp7). TMS of cells (grown with ⁵⁷Fe^{III}-NTA complex as the only Fe source) showed intracellular ⁵⁷Fe^{III} reduction to two high-spin ⁵⁷Fe^{II} forms in both strains; ⁵⁷Fe^{III} Mössbauer parameters were typical for ferritin-like components. A 3-day storage of cells at room temperature in nutrient-free dense wet suspension resulted in further ⁵⁷Fe^{III}-to-⁵⁷Fe^{II} reduction in Sp245, while no reduction continued in strain Sp7, showing their different Fe metabolism under similar conditions. In EMS studies, both strains showed metabolisation of ⁵⁷Co^{II} within 1 hour, but their Mössbauer parameters differed, showing different metabolic responses of the strains also to cobalt [1], in line with our previous FTIR spectroscopic data.

Варианты мёссбауэровской спектроскопии – абсорбционный (⁵⁷Fe; АМС) и эмиссионный (⁵⁷Co; ЭМС) – были использованы для исследования метаболических превращений ⁵⁷Fe^{III}/⁵⁷Fe^{II} (АМС) и ⁵⁷Co^{II} (ЭМС) в клетках ризобактерии *Azospirillum brasilense* (замороженных; 80 К). Изучены два штамма, отличающиеся ‘экологическими нишами’ в ризосфере (эндофитный штамм Sp245; эпифит Sp7). Клетки обоих штаммов, выращенные с комплексом ⁵⁷Fe^{III}-NTA как единственным источником Fe, через 18 ч содержали до трети ⁵⁷Fe в виде двух высокоспиновых форм ⁵⁷Fe^{II}; параметры формы ⁵⁷Fe^{III} соответствовали ферритиноподобным компонентам. При хранении влажных (физраствор) плотных суспензий клеток Sp245 без питательных веществ в течение 3 сут восстановление ⁵⁷Fe^{III} до ⁵⁷Fe^{II} продолжалось. Для штамма Sp7 изменений в этих условиях не отмечено, что указывает на различный метаболизм Fe у данных штаммов в аналогичных условиях стресса. Данные ЭМС указывают на метаболизацию ⁵⁷Co^{II} в течение часа обоими штаммами, однако параметры спектров различались, что также отвечает различным метаболическим откликам штаммов на кобальт [1], в соответствии с различиями, обнаруженными для этих штаммов ранее с помощью ИК-спектроскопии. (Исследования частично поддержаны грантом РФФИ № 13-04-01538-а.)

Литература:

1. A.A. Kamnev, A.V. Tugarova, K. Kovács, E. Kuzmann, B. Biró, P.A. Tarantilis, Z. Homonnay. Anal. Bioanal. Chem. 2013, 405, 1921-1927.

ANOMALOUS BEHAVIOR OF MÖSSBAUER PARAMETERS FOR HUMAN LIVER FERRITIN AND ITS PHARMACEUTICAL ANALOGUE FERRUM LEK IN THE TEMPERATURE RANGE 295–90 K: AN ANALYSIS WITHIN THE HOMOGENEOUS AND HETEROGENEOUS IRON CORE MODELS

Alenkina I.V.^{1,2}, Oshtrakh M.I.^{1,2}, Klencsár Z.³, Kuzmann E.⁴, Semionkin V.A.^{1,2}

¹*Department of Physical Techniques and Devices for Quality Control and*

²*Department of Experimental Physics, Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation;*

³*Research Centre for Natural Sciences, Hungarian Academy of Sciences, Magyar tudósok körútja 2, Budapest, 1117, Hungary;*

⁴*Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University,*

Pázmány sétány1/A., 1117 Budapest, Hungary

oshtrakh@gmail.com

Ferritin is an iron storage protein which consists of a nanosized ferrihydrite iron core, with a size usually ranging from 3 to 8 nm, surrounded with 24 protein subunits shell. Some iron-containing pharmaceutical products for the treatment of iron deficiency anemia can be considered as ferritin analogues because these compounds consist of akaganéite iron core with a size of about 8 nm surrounded with polysaccharide shell. The iron core structure in ferritin was intensively studied for a long time; however, due to its apparent complexity and variability, a general model has not been accepted yet for the iron core. There are various results of ferritin structural studies that suggest different iron core models ranging from monocrystalline to polycrystalline and polyphasic cores. Therefore, we put forward two models for the fit of the paramagnetic Mössbauer spectra of ferritin and its analogues: 1) a one quadrupole doublet fit within the homogeneous iron core model (an approximation reporting about average values of the parameters) and 2) a superposition of several quadrupole doublets within the heterogeneous iron core model (see [1]). For further investigation of the iron core structure the human liver ferritin in lyophilised form and its pharmaceutical analogue, an iron-polymaltose complex Ferrum Lek (Lek, Slovenia) produced in the tablet form were studied using Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution with spectra registered in 4096 channels in the temperature range 295–90 K. The fit of the measured spectra of human liver ferritin and Ferrum Lek using the model 1 demonstrated anomalous line broadening below ~150 K for human liver ferritin and below ~130 K for Ferrum Lek with changes in the slopes of quadrupole splitting temperature dependences below these temperatures [2] and maximum for the spectral area temperature dependences at 115 K for human liver ferritin and at 105 K for Ferrum Lek. The fit of these spectra within model 2 was modified in comparison with previous fits [1] and equal line widths were used in the fits with a superposition of five quadrupole doublets. These quadrupole doublets can be related to various iron core regions or layers. The results demonstrated similar anomalous line broadening and maxima for the total relative area temperature dependences. Moreover, it was observed that the relative area, quadrupole splitting and isomer shift for some spectral components also demonstrated anomalies in the temperature range 295–90 K. The anomalies are considered to be a result of a low temperature phase transition in the iron cores.

References:

1. I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh, Z. Klencsár, E. Kuzmann, A.V. Chukin, V.A. Semionkin, *Spectrochim. Acta, Part A: Molec. and Biomolec. Spectroscopy*, 2014, **130**, 24–36.

2. M.I. Oshtrakh, I.V. Alenkina, E. Kuzmann, Z. Klencsár, V.A. Semionkin, *J. Nanopart. Res.*, 2014, **16**, 2363.

LOW-TEMPERATURE IN-FIELD MÖSSBAUER SPECTROSCOPIC EVIDENCE FOR FERRITIN IN THE RHIZOBACTERIUM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* Sp7

Kovács K.¹, Pechousek J.², Kamnev A.A.³, Tugarova A.V.³, Kuzmann E.¹, Machala L.², Zboril R.², Stichleutner S.^{1,4}, Homonnay Z.¹, Bíró B.⁵, Lázár K.⁴

¹*Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary*

²*Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Departments of Experimental Physics and Physical Chemistry, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc, Czech Republic*

³*Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Russian Academy of Sciences, 410049 Saratov, Russia*

⁴*Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary*

⁵*Corvinus University, Budapest, Hungary*
stichleutner.sandor@energia.mta.hu

An earlier study by transmission Mössbauer spectroscopy (at 80 K) indicated, for the first time for the ubiquitous widely studied rhizobacteria of the genus *Azospirillum*, the presence of a ferritin-like species as one of the components in the spectra of *A. brasilense* (strain Sp245) cells [1], which was later complemented by room-temperature high-velocity-resolution Mössbauer measurements on lyophilised biomass of strain Sp245 [2].

Our further transmission Mössbauer spectroscopic study (at 80 K) on another strain of this bacterium, Sp7 (which often shows ecological behaviour somewhat different from that of strain Sp245, even under similar conditions; see, e.g. [3] and references cited therein), showed the presence of a similar ferritin-like component. The aim of this work was to elucidate the correct assignment of this component. For this study, low-temperature (and in-field) Mössbauer spectroscopy was applied.

In the Mössbauer spectrum measured at 5 K, a dominant magnetically split component appeared with the parameters typical of ferritins from other bacteria [4], together with a quadrupole doublet of a superparamagnetic iron(III) component and a small contribution from a high-spin iron(II) component. The Mössbauer spectra recorded at 2 K (with or without a 5 T external field) confirmed the assignment of ferritin. It was also established that about 20 % of iron(III) in the lyophilised cells of *A. brasilense* strain Sp7 were present in forms different from ferritin (i.e., superparamagnetic even at 2 K) and/or as ferritin-like components with very small particle sizes of the core.

Acknowledgements. This study was performed under the Agreement on Scientific Cooperation between the Russian and Hungarian Academies of Sciences for 2011–2013 (Projects # 28 and # 29), as well as partially supported by The European Regional Development Fund (Project CZ.1.05/2.1.00/03.0058), The European Social Fund (Project CZ.1.07/2.3.00/20.0017) and The Russian Foundation for Basic Research (Grant # 13-04-01538-a).

References:

1. A.A. Kamnev, A.V. Tugarova, K. Kovács, B. Bíró, Z. Homonnay, E. Kuzmann. *Hyperfine Interact.*, 2014, 226, 415-419.
2. I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh, A.V. Tugarova, B. Bíró, V.A. Semionkin, A.A. Kamnev. *J. Mol. Struct.*, 2014 (DOI: 10.1016/j.molstruc.2014.04.084).
3. A.A. Kamnev, A.V. Tugarova, K. Kovács, E. Kuzmann, B. Bíró, P.A. Tarantilis, Z. Homonnay. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2013, 405, 1921-1927.
4. T.G. St. Pierre, S.H. Bell, D.P.E. Dickson, S. Mann, J. Webb, G.R. Moore, R.J.P. Williams. *Biochim. Biophys. Acta*, 1986, 870, 127-134.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ЖЕЛЕЗА МЕЖДУ МОЗГОМ И ПЕЧЕНЬЮ ПОСЛЕ ИНЪЕКЦИИ ФЕРРОЖИДКОСТИ В ЖЕЛУДОЧЕК МОЗГА КРЫСЫ.

Поликарпов Д.М.^{1,4}, Габбасов Р.Р.¹, Черепанов В.М.¹, Чуев М.А.², Никитин М.П.³, Панченко В.Я.¹.

¹ *Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», Москва*

² *Физико-Технологический Институт РАН, Москва*

³ *Институт биоорганической химии РАН Шемякина – Овчинникова, Москва*

⁴ *Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва*

E-mail: polikarpov_imp@mail.ru

MÖSSBAUER STUDY OF EXOGENOUS IRON REDISTRIBUTION BETWEEN THE BRAIN AND THE LIVER AFTER ADMINISTRATION OF FERROFLUID IN THE VENTRICLE OF THE RAT BRAIN

Polikarpov D.M., Gabbasov R.R., Cherepanov V.M., Chuev M.A., Nikitin M.P. and Panchenko V.Y.

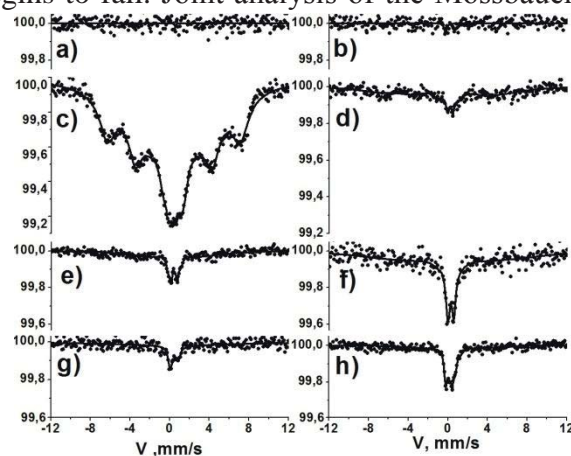
The biodegradability of the ferrofluids based on iron oxide nanoparticles and their complete excretion from a live organism depend crucially on a method of their synthesis. In ref. [1], a magnetic iron oxide based ferrofluid was administered into a cerebral cavity of a rat by a direct transcranial injection. Three months later the brain was extracted and analyzed with the histological and Mossbauer spectroscopy methods. It was found that Fe_3O_4 nanoparticles, which comprised 92% of all the iron content of the ferrofluid, had completely biodegraded or had been excreted from the brain, while the iron chemical compound attending the process of ferrofluid synthesis remained intact in the brain. In the present study we tried to elucidate the mechanism, by which 92 % of the particles released the brain. Fe_3O_4 based ferrofluid was synthesized and proved to be free from the concomitant chemical compound [2]. It was injected transcranially in the ventricle of the brain of male rats. Mössbauer spectra of the liver and brain measured in different time intervals after the injection are shown in Figure. It was found that in the brain (left column) the dextran coated intrinsic nanobeads first of all break up into separate superparamagnetic nanoparticles. Then the concentration of the particles monotonically falls with time. In a few hours after injection, the liver spectrum (right column) demonstrates an appearance of a weak six-line component corresponding to the initial nanobeads and central superparamagnetic doublet corresponding to the separated nanoparticles. Then the concentration of exogenous iron in the liver continues to rise, reaching its maximum in 1 day spectra. With further increase in time after injection the concentration of nanoparticles in the liver begins to fall. Joint analysis of the Mössbauer spectra within the previously developed method [3] allowed us to determine the quantitative characteristics of the biodegradation process.

^{57}Fe Mössbauer spectra measured at 300 K of: brain (a) and liver (b) before injection; brain in 2 hours (c) and liver in 2 hours (d) after injection; brain in 1 week (e) and liver 1 day (f) after injection; brain in 1 month (g) and liver in 2 weeks (h) after injection.

[1] D.M. Polikarpov et al. IEEE Trans. on Magn. 49 (2013) 436-439.

[2] D.M. Polikarpov, et al. Hyp. Int., 2014. DOI: 10.1007/s10751-013-1002-7.

[3] R.R. Gabbasov et al. IEEE Trans. on Magn. 49 (2013) 394-397.



ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДАЦИИ МАГНИТНЫХ НАНОКОНЬЮГАТОВ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ ПРИ ПОМОЩИ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Габбасов Р.Р.¹, Поликарпов М.А.¹, Черепанов В.М.¹, Чуев. М.А.², Никитин М.П.³, Деев С.М.³, Панченко В.Я.¹.

¹ *Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», Москва*

² *Физико-Технологический Институт РАН, Москва*

³ *Институт биоорганической химии РАН им. Шемякина – Овчинникова.*

E-mail: polikarpov_imp@mail.ru

MÖSSBAUER STUDY OF BIODEGRADATION OF POLYMER COATED MAGNETIC NANOCONJUGATES

Polikarpov M.A., Gabbasov R.R., Cherepanov V.M., Chuev M.A., Nikitin M.P., Deyev S.M., Panchenko V.Y.

A comparative analysis by Mössbauer spectroscopy of the biodegradation process of two types of ferrofluids based on the citrate and silica coated iron oxide nanoparticles was carried out. We measured the Mössbauer spectra of intrinsic ferrofluids and samples of mice liver tissues at different time intervals after its injection. The study showed a significant diversity in the behavior of the nanoparticles in the liver.

В наших предыдущих исследованиях методом мессбауэровской спектроскопии было показано, что наночастицы оксида железа, имеющие полимерное покрытие, после инъекции в хвостовую вену мышей накапливаются в основном в печени и селезенке с последующей их биодegradацией [1]. Первый быстрый этап процесса биодegradации заключается в разрушении внешней полимерной оболочки, что приводит к уменьшению магнитодипольного взаимодействия между соседними суперпарамагнитными наночастицами в течение нескольких часов после внутривенного введения магнитной жидкости [2]. В результате мессбауэровские спектры изучаемых образцов печени и селезенки трансформируются из магниторасщепленного секстета, наблюдаемого в спектрах исходной магнитной жидкости, в дублет с растущей со временем после инъекции интенсивностью [3].

В данной работе при помощи мессбауэровской спектроскопии был проведен сравнительный анализ процесса биодegradации двух типов феррожидкостей: с покрытием на основе на основе цитрата и с покрытием на основе кремния. Мы измерили мессбауэровские спектры исходных феррожидкостей и образцов мышечной ткани печени в различные интервалы времени после инъекции. Исследование показало значительное расхождение в поведении наночастиц в печени. Например, в мессбауэровском спектре тканей печени, содержащих цитратные наночастицы, магниторасщепленная компонента, соответствующая исходной феррожидкости полностью исчезает в течение 3 часов после инъекции. Это означает, что в течение этого времени почти все введенные магнитные наноконъюгат были растворены в биохимической среде организма. 2-й тип магнитной жидкости демонстрирует противоположную картину. Соответствующие мессбауэровские спектры тканей печени демонстрирует наличие интенсивного секстета, идентичного спектру начальных частиц даже в 30 дней после инъекции, то есть значительное число магнитных наноконъюгат все еще сохраняют свою целостность.

Литература

1. M.P.Nikitin, R.R.Gabbasov et al., AIP Conf. Proc., 2010, Vol. 1311, pp. 401-407.
2. R.R.Gabbasov, M.A.Polikarpov, et al. 2012, Hyperfine Interactions v. 206, p.71-74.
3. R.R.Gabbasov, V.M.Cherepanov et al. IEEE Transactions on Magnetics, V. 49, N. 1, 2013, pp.394 – 397.

ПОЛУЧЕНИЕ ЧАСТИЦ БИОГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА

Шапкин А.А.¹, Чистякова Н.И.¹, Киселева Т.Ю.¹, Заварзина Д.Г.², Жилина Т.Н.²,
Русаков В.С.¹

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
²Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского Российской академии наук, Москва,
Россия

alexeyschapkin@gmail.com

SYNTHESIS OF BIOGENIC MINERALS PARTICLES WITH DIFFERENT SIZES

Shapkin A.A., Chistyakova N.I., Kiseleva T.Yu., Zavarzina D.G., Zhilina T.N., Rusakov V.S.

The ratio between number of cells and the available for reduction volume of bacterial growth medium with ferrihydrite has a great influence on phase compound and particle size distribution. The samples were obtained during bacterial growth in vessels with a different Mössbauer and XRD measurement showed that the variation of available for reduction volume leads to different particle size distribution.

Одной из важнейших задач современной физики является исследование свойств наноматериалов, полученных в результате микробиологического синтеза. Как известно, для проведения большинства реакций по искусственному синтезу необходимы катализаторы. В то же время микробиологический синтез может быть проведен в условиях, близких к природным, с использованием легкодоступных соединений. Продуктами биосинтеза могут быть также наночастицы минералов. Так как процесс бактериального преобразования протекает в органической среде, данные частицы обладают органической оболочкой и могут быть использованы в качестве носителей для точечной доставки лекарств. Кроме того, за счет большой химической активности такие наночастицы могут использоваться для удаления ионов тяжелых металлов из почв и водоемов.

Бактерия, окисляя ацетат, осуществляет перенос электрона на атом железа, находящийся на поверхности частицы гидроксида железа – ферригидрита. Количество электронов на поверхности частицы зависит от количества бактерий, воздействующих на нее. Поэтому процесс биопреобразования обусловлен количеством бактерий, приходящихся на частицу ферригидрита.

Образцы были получены в результате восстановления атомов железа в структуре ферригидрита при его концентрации $n_{\text{Fe(III)}} = 10; 45; 100$ мМ бактерией *Geoalkalibacter ferrihydriticus* (штамм Z-0531) [1]. Изменение количества клеток, приходящихся на одну частицу, достигалось с помощью изменения ориентации сосуда, в котором осуществлялся рост (три ориентации – горизонтально, крышкой вверх или дном). Образцы были исследованы с помощью методов мессбауэровской спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии. Обработка мессбауэровских спектров суперпарамагнитных частиц проводилась в модели многоуровневой суперпарамагнитной релаксации [2], и рентгеновские измерения показали, что изменение количества клеток, приходящихся на одну частицу, приводит к изменению размера формирующихся частиц, а также меняет соотношение между содержанием сидерита и магнетита в образцах.

Литература:

1. D.G. Zavarzina et. al. Microbiology, 2006, 75, 673-682.
2. D.H. Jones, K.K.P.Srivastava Physical Review B, 1986. 34, 7542-7548

A COMPARATIVE STUDY OF LIVER AND SPLEEN TISSUES FROM NORMAL HUMAN AND PATIENTS WITH SOME HEMATOLOGICAL MALIGNANT DISEASES USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

Alenkina I.V.^{1,2}, Oshtrakh M.I.^{1,2}, Vinogradov A.V.³, Konstantinova T.S.³, Semionkin V.A.^{1,2}

¹Department of Physical Techniques and Devices for Quality Control and

²Department of Experimental Physics, Institute of Physics and Technology,
Ural Federal University, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation;

³Ural State Medical Academy, Repin str., 3, Ekaterinburg, 620028, Russian Federation

oshtrakh@gmail.com

Liver and spleen tissues contain a large amount of iron storage protein ferritin. This protein consists of the nanosized iron core in the form of ferrihydrite. The size of the core may vary up to 8 nm depending on the iron content. Usually, the core in ferritin contains of about 2000 iron atoms in normal case while the largest iron atoms amount in the core may be up to 4500. There are several human diseases leading to the iron overload in tissues and ultimately to organ failure. Application of Mössbauer spectroscopy to study iron storage proteins and tissues containing these proteins is very useful in order to evaluate the iron content and structural features in the core for normal and pathological cases [1]. Therefore, we carried out a comparative study of liver and spleen tissues from normal human and three patients with mantle cell lymphoma stage IVB, acute myeloid leukemia subtype M4 and primary myelofibrosis using ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution. Lyophilized samples of liver and spleen tissues in the form of powder were measured at room temperature. These Mössbauer spectra of liver and spleen tissues were fitted in two ways using a one quadrupole doublet fit within the homogeneous iron core model and a superposition of two or more quadrupole doublets within the heterogeneous iron core model (see [2, 3]). The results obtained demonstrated an increase in the iron content in spleen tissue from patients with primary myelofibrosis (up to 7 times) and acute myeloid leukemia (about 2 times) in comparison with that for spleen samples from norm human and patient with mantle cell lymphoma. However, in case of primary myelofibrosis an increase in the iron content in spleen was not related to increase in the iron core size [4]. In contrast, the iron content in liver tissues was found about 6 times higher for patients with acute myeloid leukemia and mantle cell lymphoma in comparison with normal liver tissue. Some small variations in Mössbauer hyperfine parameters was also found for normal and patients' liver and spleen tissues for two fitting models. These results may be related to the changes in the iron core formation in ferritin during studied cases of hematological malignant diseases.

References:

1. A.A. Kamnev, K. Kovács, I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh. Mössbauer Spectroscopy in Biological and Biomedical Research. In: Mössbauer Spectroscopy: Applications in Chemistry, Biology, and Nanotechnology, edited by V.K. Sharma, G. Klingelhofer, T. Nishida, First Ed., N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2013, pp. 272–291.

2. I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh, Yu.V. Klepova, S.M. Dubiel, N.V. Sadovnikov, V.A. Semionkin. *Spectrochim. Acta, Part A: Molec. and Biomolec. Spectroscopy*, 2013, **100**, 88–93.

3. I.V. Alenkina, M.I. Oshtrakh, Z. Klencsár, E. Kuzmann, A.V. Chukin, V.A. Semionkin. *Spectrochim. Acta, Part A: Molec. and Biomolec. Spectroscopy*, 2014, **130**, 24–36.

4. M.I. Oshtrakh, I.V. Alenkina, A.V. Vinogradov, T.S. Konstantinova, E. Kuzmann, V.A. Semionkin. *Biometals*, 2013, **26**, 229–239.

AN ANALYSIS OF THE FEATURES OF THE LEGHEMOGLOBIN MÖSSBAUER SPECTRA LINE SHAPE IN RELATION TO PROTEIN STRUCTURE

Kumar A.¹, Zakharova A.P.^{2,3}, Alenkina I.V.^{2,3}, Oshtrakh M.I.^{2,3}, Semionkin V.A.^{2,3}, Kundu S.¹

¹*Department of Biochemistry, University of Delhi South Campus, New Delhi, India;*

²*Department of Physical Techniques and Devices for Quality Control and*

³*Department of Experimental Physics, Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation.*

oshtrakh@gmail.com

Monomeric plant hemoglobins (leghemoglobins) bind oxygen molecule to protect the nitrogenase enzyme complex from oxygen toxicity during the process of nitrogen fixation. Leghemoglobin contains heme, an Fe(II)-porphyrin complex which reversibly binds oxygen molecule. It is well-known that, different leghemoglobins demonstrate variations in oxygen affinity and heme iron stereochemistry. In this work we present the results of the study of leghemoglobin using ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution at 90 K. An analysis of the features of the soybean leghemoglobin Mössbauer spectra line shape for both oxy- and deoxy-forms was done in comparison with the spectrum of the standard absorber sodium nitroprusside demonstrating a pure Lorentzian line shape. Basing on this analysis it was shown that the Mössbauer spectra of soybean leghemoglobin in both oxy- and deoxy-forms cannot be fitted well using a one quadrupole doublet fit and required at least two quadrupole doublets. However, in contrast to the features of the Mössbauer spectra of tetrameric hemoglobins with accounting for the different Fe(II) electronic structure in α - and β -subunits with the equal subspectral areas for corresponding quadrupole doublets (see [1, 2]) in case of monomeric soybean leghemoglobin the areas for two spectral components were different. Moreover, these areas for two quadrupole doublets were different for oxy- and deoxy-forms. To explain the reason of these features in the Mössbauer spectra of monomeric soybean leghemoglobin the corresponding structural models for the heme iron local microenvironment were supposed. In case of leghemoglobin oxy-form there are two options related to i) two conformations of imidazole ring of the distal His E7 or ii) two orientations of oxygen molecule frozen at 90 K with relative probabilities of about 60 % and 40 % while for leghemoglobin deoxy-form there are two possible orientations of imidazole ring of the proximal His F8 with different angles between the imidazole ring plane projection on the heme plane and the line between two opposite nitrogen atoms of porphyrin pyrrole rings frozen at 90 K with relative probabilities of about 80 % and 20 %.

References:

1. M.I. Oshtrakh, A. Kumar, S. Kundu, A.L. Berkovsky, V.A. Semionkin. *J. Mol. Struct.*, 2011, **993**, 292–296.
2. M.I. Oshtrakh, A.L. Berkovsky, A. Kumar, S. Kundu, A.V. Vinogradov, T.S. Konstantinova, V.A. Semionkin. *BioMetals*, 2011, **24**, 501–512.

СЕКЦИЯ 5
ХИМИЯ, КАТАЛИЗ, СТРУКТУРА И СВЯЗЬ

ЛОКАЛЬНОЕ ОКРУЖЕНИЕ ЗОНДОВЫХ ИОНОВ $^{119}\text{Sn}^{4+}$ В ОРТОХРОМИТАХ СО СТРУКТУРОЙ ТИПА ПЕРОВСКИТА ПРИ ГЕТЕРОВАЛЕНТНЫХ ЗАМЕЩЕНИЯХ

Фабричный П.Б.¹, Афанасов М.И.¹, Межуев Е.¹, Ваттио А.², Лабрюжер К.², Дельмас К.²
¹Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux, Pessac Cedex, France

pf@radio.chem.msu.ru

LOCAL SURROUNDING OF THE $^{119}\text{Sn}^{4+}$ PROBE IONS IN THE PROVSKITE-TYPE ORTHOCHROMITES UPON HETEROVALENT SUBSTITUTIONS

Fabritchnyi P.B., Afanasov M.I., Mezhuev E., Wattiaux A., Labrugère C., Delmas C.

The main feature of ^{119}Sn Mössbauer spectra of the studied $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Cr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{Sn}_{0,003}\text{O}_3$ samples is the occurrence of a sextet pattern characterized by a hyperfine field $H_{4,2\text{K}}(^{119}\text{Sn}) = 65 \text{ kOe}$. This spectral component is accounted for by the formation, in the chromium sublattice, of the $\{(\text{Cr}^{3+}\text{-O})_5\text{-Sn}^{4+}\text{-O-Sn}^{4+}\text{-(O-Cr}^{3+})_5\}$ associates, bearing no relation to the considered Ca^{2+} deficit charge compensation schemes.

Применение мессбауэровской спектроскопии на ядрах ^{119}Sn позволило разработать условия синтеза, обеспечивающие селективную локализацию зондовых ионов олова, как в объеме, так и на поверхности кристаллитов ортохромитов РЗЭ, RCrO_3 [1]. Это сделало возможным применение зондовых ядер ^{119}Sn для селективной диагностики процессов, протекающих в соответствующих областях вещества. Для развития работ в этом направлении представляют интерес изоструктурные фазы более сложного состава, $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{CrO}_3$, с частичным замещением R^{3+} на M^{2+} ($\text{M} = \text{Ca}$ или Sr). В литературе отсутствует единое мнение о механизме компенсации дефицита заряда M^{2+} , способной приводить в окислительных условиях к образованию как $\text{Cr}^{4+}(3d^2)$, так и $\text{Cr}^{6+}(3d^0)$. Появление рядом с ^{119}Sn любого из этих точечных дефектов должно вызывать специфическое изменение спектра, становящегося источником сведений об изучаемом процессе замещения. В докладе рассмотрены оригинальные результаты, относящиеся к образцам $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Cr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{Sn}_{0,003}\text{O}_3$, содержащим ионы $^{119}\text{Sn}^{4+}$ в позициях Cr^{3+} в объеме кристаллитов. Особенностью спектров ^{119}Sn образцов с $x' = 0$ оказалось появление в них дополнительного секстета, отвечающего полю $H_{4,2\text{K}}(^{119}\text{Sn}) = 65 \text{ кЭ}$. Для выяснения его происхождения рассмотрено влияние на значения поля H и спектрального вклада соответствующего секстета, различных схем компенсации заряда Ca^{2+} , с привлечением модели статистического распределения ионов Cr^{6+} и Cr^{4+} в октаэдрической подрешетке. Полученные результаты сопоставлены с экспериментальными спектрами ^{119}Sn , а также – со значениями концентрации Cr^{6+} , определенными посредством анализа площадей составных компонент РФЭС пика $\text{Cr}2p_{3/2}$. Этот прием не позволил, однако, предложить отнесение секстету с полем $H = 65 \text{ кЭ}$ в мессбауэровском спектре. Доказательством, что это поле не было обусловлено ассоциатами $\{\text{Sn-O-Cr}^{6+}\}$ или $\{\text{Sn-O-Cr}^{4+}\}$, явилось отсутствие изменений в спектре зондовых ионов $^{119}\text{Sn}^{4+}$ после отжига образцов в H_2 в условиях, обеспечивающих восстановление Cr^{6+} и Cr^{4+} до Cr^{3+} . Показано, что секстет с $H_{4,2\text{K}} = 65 \text{ кЭ}$ может быть отнесен к ассоциатам $\{(\text{Cr}^{3+}\text{-O})_5\text{-Sn}^{4+}\text{-O-Sn}^{4+}\text{-(O-Cr}^{3+})_5\}$, чье появление не связано с рассмотренными схемами компенсации дефицита заряда Ca^{2+} .

Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 13-03-00040).

Литература:

1. П.Б. Фабричный, М.И. Афанасов, Р.А. Асташкин, А. Ваттио, С. Бордер, К. Лабрюжер, К. Дельмас. Известия РАН, сер. физ., 2013, 77, 819-826.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕССБАУЭРОВСКИХ ЗОНДОВЫХ ДОБАВОК ^{121}Sb ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ TiO_2

Короленко М.В.¹, Фабричный П.Б.¹, Афанасов М.И.¹, Лабрюжер К.²

¹*Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux, Pessac Cedex, France*

pf@radio.chem.msu.ru

APPLICATION OF THE ^{121}Sb MÖSSBAUER SPECTROSCOPIC PROBE TO STUDYING THE WORKING MECHANISM OF TiO_2 -BASED PHOTOCATALISTS

Korolenko M.V., Fabritchnyi P.B., Afanasov M.I., Labrugère C.

In the presence of H_2O , UV activation of antimony-doped anatase-type TiO_2 powder samples is shown to result in room-temperature oxidation of Sb^{3+} dopant ions located on surface sites of crystallites. Moreover, the effects of the valence state of the antimony dopant on the kinetics of the photocatalytic oxidation of oxalic acid in dilute aqueous solutions are discussed.

Обладающий полупроводниковыми свойствами диоксид титана имеет широкую запрещенную зону (3,2 эВ), вследствие чего он может проявлять фотокаталитическую активность лишь в УФ-диапазоне при длинах волн $\lambda < 387$ нм. Образующиеся в этом случае электроны и дырки способны участвовать в окислительно-восстановительных реакциях с окружающими молекулами подобно тому, как это имеет место при электролизе. Однако рабочие характеристики таких катализаторов могут быть в значительной степени ограничены из-за влияния различных факторов, связанных в первую очередь с пространственным разделением зарядов и временем жизни фотогенерированных электронов и дырок. Поэтому создание и оптимизация работы соответствующих функциональных материалов фактически сводятся к выяснению зависимости этих факторов от объемных и поверхностных свойств частиц катализатора. Кроме того, для более широкого применения фотокатализаторов на основе TiO_2 необходима возможность их активации с использованием видимого света. Для решения этой задачи в большинстве опубликованных к настоящему времени работ применялось введение различных модифицирующих добавок. Однако, механизм их воздействия часто оставался невыясненным из-за отсутствия достоверных сведений как о валентном состоянии, так и о характере распределения легирующих атомов относительно поверхности частиц TiO_2 . Для того, чтобы восполнить указанный пробел, обусловленный недостаточной чувствительностью ранее применявшихся методов физико-химической диагностики, мы предприняли попытку воспользоваться информацией, содержащейся в мессбауэровских спектрах зондовых катионов ^{121}Sb , никогда не применявшихся для изучения фотокатализаторов указанного типа. В докладе представлены результаты исследования поликристаллических образцов TiO_2 со структурой анатаза, содержащих 0.6 ат.% ионов сурьмы, селективно локализованных либо в объеме, либо на поверхности кристаллитов. Проведенные нами исследования позволили впервые наблюдать проявление фотокаталитической активации при УФ-облучении порошков анатаза в мессбауэровских спектрах зондовых катионов $^{121}\text{Sb}^{3+}$, локализованных в позициях поверхностного типа. Кроме того, в докладе будет рассмотрено влияние валентного состояния примесных ионов сурьмы на кинетику реакции фотокаталитического окисления щавелевой кислоты.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 13-03-00040).

**МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ,
ПРОЯВЛЯЮЩИХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫЕ СВОЙСТВА**

Соболев А.В.¹, Пресняков И.А.¹, Русаков В.С.¹, Белик А.А.², Глазкова Я.С.¹,
Мацнев М.Е.¹, Гапочка А.М.¹, Губайдулина Т.В.¹, Горчаков Д.Е.¹, Лёкина Ю.О.¹
¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
²Национальный институт наук о материалах, Цукуба, Япония

alex@radio.chem.msu.ru

MOSSBAUER SPECTROSCOPY OF MULTIFERROIC OXIDES

Sobolev A.V., Presniakov I.A., Rusakov V.S., Belik A.A., Glazkova Ia.S., Matsnev M.E.,
Gapochka A.M., Gubaidulina T.V., Gorchakov D.E., L'okina Yu.O.

This work is devoted to ⁵⁷Fe Mössbauer investigations of oxides multiferroics of transition metals having different crystal types. Several models of spectra fitting were proposed and global analysis of hyperfine parameters were performed under these models.

В данной работе проведен обобщающий анализ недавно полученных результатов мессбауэровских исследований сверхтонких взаимодействий ядер ⁵⁷Fe в нескольких семействах сложных оксидов переходных металлов, проявляющих мультиферроидные свойства. В качестве объектов исследования были выбраны соединения, относящиеся к мультиферроикам первого рода со структурой типа перовскита $BiMO_3$ ($M = Fe, Mn$) и корунда $AFeO_3$ ($A = Sc, In$), а также второго рода – со структурами типа делафоссита AMo_2 ($A = Cu, Ag, Li; M = Fe, Cr, Mn$) и “двойных перовскитов” AMn_7O_{12} ($A = Ca, Bi, La$). Мессбауэровские измерения проводились на ядрах атомов железа, являющихся основными компонентами исследуемых фаз (ферриты), а также выступали в качестве зондов, вводимых в микроколичествах (~ 1 ат.%) в структуру изучаемого соединения (манганиты и хромиты).

Измерение мессбауэровских спектров рассматриваемых оксидов в парамагнитной области температур ($T > T_N$) показали индуцирование на ядрах ⁵⁷Fe высоких градиентов электрических полей (ГЭП). Проведенные расчеты в рамках ионной модели параметров тензора ГЭП свидетельствуют о том, что наибольший вклад в ГЭП связан с дипольной составляющей, обусловленной высокой поляризуемостью ионов O^{2-} (α_O) и Bi^{3+} (α_{Bi}). В работе рассматриваются вклады в тензоры α_O и α_{Bi} , основные из которых связаны со смещением соответствующих ионов из их centrosymmetric позиций (решеточный вклад) и деформацией их электронных оболочек (электронный вклад). Установлено, что механизмы индуцирования ненулевых дипольных моментов на ионах O^{2-} и Bi^{3+} непосредственно связаны со спецификой электронной структуры исследуемых систем (орбитальное и зарядовое упорядочения, анизотропия обменных взаимодействий, упорядочение “стереохимически активных” неподеленных электронных пар).

Мессбауэровские спектры, измеренные в магнитоупорядоченной области $T < T_N$, демонстрируют уширенную, как правило, асимметричную зеемановскую сверхтонкую структуру, характерную для магнитных систем с пространственно модулированным неколлинеарным спиновым упорядочением. Нами рассмотрены конкретные примеры модельной расшифровки экспериментальных спектров, основанной на предположении о корреляции значений квадрупольного смещения (ϵ) и магнитного сверхтонкого поля (H_{hf}) на ядрах ⁵⁷Fe, изменяющихся вдоль распространения модулированной магнитной структуры (геликоиды или циклоиды). Показано, что сверхтонкое поле H_{hf} проявляет существенную анизотропию $H_{hf}(\vartheta)$ (ϑ - полярный угол между направлениями спинов ионов Fe^{3+} и главной компонентой тензора ГЭП). В работе рассматриваются различные механизмы подобной анизотропии, включая дипольный и орбитальный вклады, а также анизотропию сверхобменных магнитных взаимодействий переходных металлов.

Работа проводилась при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-03-00768а).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯГРС ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ФЕРРАТОВ

Перфильев Ю.Д., Куликов Л.А., Попова Е.В., Дурягина Е.В. Зобнин В.А.
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
perf@radio.chem.msu.ru

USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY FOR THE ANALYSIS OF SELF – PROPAGATING HIGT TEMPERATURE SINTESYS FERRATES
Perfiliev Yu.D., Kulikov L.A., Popova E.V., Duryagina E.V. Zobnin, V.A

The work is devoted to application of the express method of obtaining ferrates Na and K. Due to its oxidizing properties they recently found practical application especially for so-called ferrate technologies of water treatment. A method of self-propagating high temperature synthesis (SHS) was used. SHS is the process of moving chemical reaction wave on the mixture of reagents with the formation of the final products. Sample preparations were implemented in different conditions: changing molar ratio of the reacting substances, time and temperature of a reaction. Möessbauer spectroscopy was used for analysis of the reaction products.

Работа посвящена применению экспрессного метода получения ферратов Na и K. Благодаря своим окислительным свойствам они в последнее время находят практическое применение, особенно для так называемой ферратной технологии очистки воды. Был использован метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). СВС – это процесс перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием конечных продуктов. Для получения ферратов были использованы методики приготовления образца при различных условиях: изменение мольного соотношения реагирующих веществ, температура синтеза и время нагревания смеси. Были изучены смеси Fe_2O_3 и Na_2O_2 в мольном соотношении 1:4, 1:10, 1:20, 1:40, 1:70 и 1:100 при температурах 500 – 600°C и времени нагрева 1- 1.5 минут. Обработка мессбауэровских спектров показала, что в результате реакции образуются несколько форм состояния окисления (с. о.) железа. Наряду с Fe^{+4} и Fe^{+3} присутствуют линии с.о. +6,+7 и +8 [1]. Можно предположить, что это происходит в результате диспропорционирования формы Fe^{+4} . Одним из подтверждений этому является уменьшение выхода формы Fe^{+4} и увеличение выхода Fe^{+3} , полученные при различных временах измерения образцов от 1 до 20 дней после синтеза. Смесь KO_2 и Fe_2O_3 в мольном соотношении 4:1 при температуре 600°C и времени выдержки 1 минута приводит к образованию форм с.о. Fe^{+3} и Fe^{+4} . Синтез, в котором использовалась смесь KO_2 и Fe_2O_3 в мольном соотношении 6:1 при температуре 600°C и времени 50 с, приводит к образованию форм с.о. Fe^{+3} , Fe^{+5} и Fe^{+6} . В случае использования смеси KO_2 и Fe в мольном соотношении 7:1 при таких же температуре и времени образуется только формы с.о. Fe^{+3} и Fe^{+6} . При мольном соотношении смеси KO_2 и Fe_2O_3 10:1 продуктами реакции являются наряду с формой с.о. Fe^{+3} также Fe^{+4} и Fe^{+6} . Однако, содержание формы в с.о. Fe^{+6} примерно в пять раз больше.

На основании экспериментальных данных, полученных для различных составов смесей и условий проведения синтеза, можно сделать вывод, что предложенный способ получения ферратов является быстрым и удобным и может быть использован для практических целей.

1. С.К.Дедушенко, Ю.Д.Перфильев,М.А.Чуев, А.М.Афанасьев, Ж. неорг. химии, 2010, 55, № 6, 1009–1016.

CHANGE OF IRON STATE IN FERROSPHERES UNDER THE INFLUENCE OF THE REACTION MIXTURE IN THE PROCESS OF OXIDATIVE COUPLING OF METHANE

Rabchevskii E.V.¹, Pletnev O.N.², Anshits O.V.¹, Bayukov O.A.,³ Anshits A.G.^{1,2}

¹*Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia.*

²*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

Kirensky Institute of Physics SB RAS Krasnoyarsk, Russia

rabchev@icct.ru

A preliminary research of relationships between composition, morphology, structural characteristics of iron-containing phases, and catalytic properties of narrow fractions of ferrospheres separated from four known types of ashes (S, FS, CS and FCS) allows us to find common dependencies of composition and function properties of ferrospheres [1, 2].

In particular, it was shown that ferrospheres with Fe₂O₃ content <80 wt.% are deep oxidation catalysts, and those with Fe₂O₃ ≥ 89 wt.% are catalysts of preferential transformation of methane to C₂ – hydrocarbons [2].

The report presents the results of a systematic

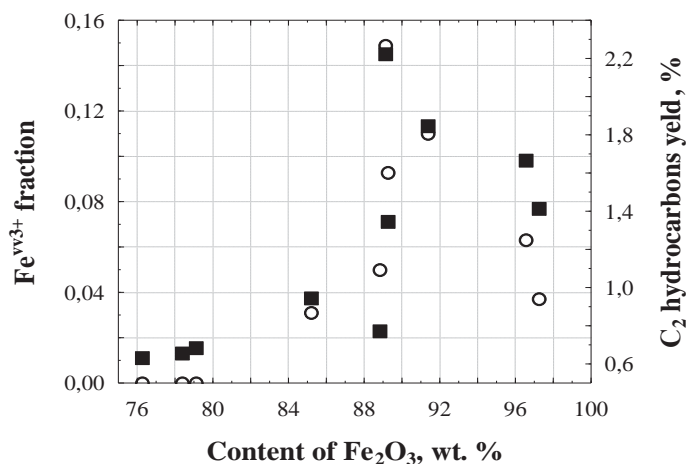


Figure 1. Dependence of the population of Fe^{v3+} positions in ferrospheres (O) and yield of C₂- hydrocarbons (■) in OCM reaction on total Fe₂O₃ content.

(B) was observed leading to the changes of methane conversion route (fig 1.)

The report discusses the role of structural defects in the stabilization of various oxygen forms, which are active in the conversion of methane to form a CO₂ and/ or C₂ hydrocarbons.

This work was supported in part by the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Interdisciplinary Integration Project No. 52)

Literature:

1. Sharonova O.M., Anshits N.N., Solovyov L.A., Salanov A.N., Anshits A.G. *Fuel* **111** (2013) 332-343.
2. Vereshchagin S.N., Kondratenko E.V., Rabchevskii E.V., Anshits N.N., Solov'ev L.A., Anshits A.G. *Kinetics and Catalysis*. **53** (4) (2012) [449-455](#).

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТИПА ЦИГЛЕРА-НАТТА НА ОСНОВЕ ТРИС-АЦЕТИЛАЦЕТОНАТА ЖЕЛЕЗА И ТРИЭТИЛАЛЮМИНИЯ

Бродский А.Р.

Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В.Сокольского, г.Алматы, Казахстан

CATALYTIC SYSTEM OF ZIEGLER NATTA TYPE BASED ON IRON ACETYLACETONATE AND TRIETHYLALUMINUM

Brodskii A.R. albrod@list.ru

The mechanism of interaction of the components of $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COCHCOCH}_3)_3$ – $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ system in toluene at 293K was studied using Mössbauer spectroscopy. Al/Fe ratio was varied from 1 to 8. It was found that polynuclear complexes (associates) bring great contribution to catalytic activity of the system in cyclohexene and phenylacetylene hydrogenation.

Методом мессбауэровской спектроскопии проведено исследование каталитической системы $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COCHCOCH}_3)_3$ – $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ [$\text{Fe}(\text{AcAc})_3$ – AlEt_3]. Растворителем служил толуол. Система формировалась в атмосфере аргона и водорода по методике, описанной в [1]. Температура формирования 293К. Соотношение компонентов Al/Fe варьировалось от 1 до 8. Пробы для мессбауэровской спектроскопии готовились по методике, описанной в [2]. Спектры быстро замороженных проб, снимались при температуре жидкого азота на спектрометре СМ 2201. Источником служил кобальт 57 в матрице хрома, активностью 100 мКи. Величины изомерных сдвигов (IS) приведены относительно α -Fe. QS – квадрупольное расщепление.

Спектр исходного $\text{Fe}(\text{AcAc})_3$ при 80К – уширенный синглет с IS ~ 0,53 мм/с. При отношении Al/Fe = 1 происходит восстановление $\text{Fe}(\text{AcAc})_3$ до $\text{Fe}(\text{AcAc})_2$, причем содержание последнего доходит до 75 – 80%. Остальное приходится на форму Fe^{3+} с параметрами IS ~ 0,49 - 56 мм/с, QS ~ 0,80 – 0,90 мм/с (формы несколько меняются в зависимости от атмосферы формирования системы). Можно полагать, что форма Fe^{3+} является результатом замещения в $\text{Fe}(\text{AcAc})_3$ одного AcAc лиганда на алкильный.

Увеличение содержания AlEt_3 в системе приводит к блокированию маршрута взаимодействия компонентов, приводящего к образованию $\text{Fe}(\text{AcAc})_2$ и при Al/Fe \geq 6 его практически нет. Начиная с Al/Fe > 2 появляется форма по мессбауэровским параметрам аналогичная форме $\text{Fe}(\text{X})$, наблюдавшейся в системах на основе карбоксилатов железа и алкилов алюминия [3]. Форма $\text{Fe}(\text{X})$ была связана с магнитоупорядоченными поляядерными образованиями, которые, однако, не являлись мелкодисперсными частичками металлического железа.

В настоящей работе обсуждается механизм взаимодействия компонентов системы $\text{Fe}(\text{AcAc})_3$ – AlEt_3 , его сходство и отличия от того, что наблюдалось для систем на основе карбоксилатов железа. Показано, что имеет место близкая аналогия процессов, протекающих при взаимодействии компонентов этих систем, однако с определенным температурным сдвигом. Для систем на основе карбоксилатов железа, маршрут, приводящий к образованию $\text{Fe}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ реализуется только при температурах \geq 333К [3]. На примере гидрирования циклогексена и фенилацетилена установлено, что определяющую роль в каталитической активности систем $\text{Fe}(\text{AcAc})_3$ – AlEt_3 , как и в случае систем на основе карбоксилатов [3], играет форма $\text{Fe}(\text{X})$.

1. А.Р. Бродский, Н.Ф. Носкова. Координационная химия, 1995, т. 21, № 2, 83-94.
2. А.Р. Бродский. Вестник Казахского национального университета им. Аль-Фараби (сер.хим.), 2011, № 1(61), 43-49.
3. А.Р. Бродский. Известия РАН, (сер. физ.), 2013, т. 77, № 6, 827–833.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕССБАУЭРОВСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КАНЦЕРОГЕНОВ

Бяков В.М.¹⁻³, Перфильев Ю.Д.¹, Куликов Л.А.¹, Степанов С.В.^{1,2,4}

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Ленинские горы, 119899, Москва

² ГНЦ РФ ИТЭФ, Б.Черемушкинская, 25, 117218, Москва, Россия

³ РХТУ им. Д.И. Менделеева, Миусская ул., 9, 125047, Россия

⁴ Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",
115409, Каширское шоссе, 31, Москва, Россия

byakov@itep.ru

TO THE APPLICATION OF THE EMISSION MÖSSBAUER SPECTROSCOPY FOR DETECTION OF CHEMICAL CARCINOGENS

Byakov V.M., Perfiliev Yu.D., Kulikov L.A., Stepanov S.V.

Chemical carcinogens are now considered as the main cause of cancer. Usually they are electrophiles, having high electron affinity. We have shown that positron annihilation spectroscopy (PAS) can detect chemical carcinogens by means of inhibition of positronium (Ps) atom formation in liquid media under the presence of dissolved carcinogens. Electrophilic carcinogens intercept thermalized track electrons (Ps precursors) and thus efficiently inhibit Ps formation [1]. Available biophysical data indicate that as an investigating medium (water; simulates intracellular environment) it is also possible to use frozen aqueous solutions. So Emission Mössbauer Spectroscopy (EMS) may be used for identification of chemical carcinogens. It allows to determine the final output of the charge states of $^{57}\text{Fe}^{2+}$ and $^{57}\text{Fe}^{3+}$ ions, formed in reactions with secondary thermalized electrons in the Auger blob [2]. Therefore, EMC and PAS can be considered as complementary methods in screening of chemical carcinogens.

Основной причиной онкологических заболеваний в настоящее время считаются химические канцерогены. Как правило, химические канцерогены являются электрофилами, то есть обладают высоким сродством к электрону. Мы показали, что позитронная аннигиляционная спектроскопия (ПАС) может выявлять химические канцерогены по ингибированию образованию атома позитрония в жидких средах в присутствии растворенных канцерогенов. Электрофильные канцерогены перехватывают термализованные трековые электроны, являющиеся предшественниками Ps, и в результате в их присутствии атом позитрония практически не образуется [1]. Имеющиеся биофизические данные указывают, что в качестве изучаемой среды (вода), моделирующей внутриклеточную, можно использовать не только жидкость, но и замороженный стеклообразный раствор. Тогда для выявления химических канцерогенов можно использовать эмиссионную мессбауэровскую спектроскопию (ЭМС), позволяющую определять выход конечных зарядовых состояний ионов $^{57}\text{Fe}^{2+}$ и $^{57}\text{Fe}^{3+}$, образующихся в реакциях с вторичными термализованными электронами в оже-блобе [2]. Прделанные нами исследования показали, что процессы, инициируемые распадом ядер ^{57}Co , схожи с теми, что происходят в треках быстрых позитронов и электронов. Поэтому ЭМС и ПАС оказываются взаимодополняющими методами.

1. V.M. Byakov, S.V. Stepanov, O.P. Stepanova. Phys. Stat. Solidi C, 2009, **6(11)**, 2503-2506.

2. С.В. Степанов, В.М. Бяков, Ю.Д. Перфильев, Л.А. Куликов. Изв. РАН. Сер. физич. 2013, **77(6)**, 847-851.

ФЕРРОМАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ ПО МЕХАНИЗМУ ДВОЙНОГО ОБМЕНА В СМЕШАННО-ВАЛЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЖЕЛЕЗА С РЕДОКС-АКТИВНЫМИ ЛИГАНДАМИ, $[\text{Fe}_2(\text{C}_6\text{X}_2\text{O}_4)_3]^{2-}$ (X=H, Cl, Br)

Ованесян Н.С.¹, Никитина З.К.¹, Шилов Г.В.¹, Мушенок Ф.Б.¹, Алдошин С.М.¹,
Трэн С.² Ли Я.², Грюзель М.²
kolya44@mail.ru

¹ *Институт проблем химической физики РАН, 142432 Черноголовка, Россия*

² *Университет П. и М. Кюри, 75252 Париж, Франция*

DOUBLE EXCHANGE DRIVEN FERROMAGNETIC ORDERING IN MIXED-VALENT IRON NETWORKS WITH REDOX-ACTIVE LIGANDS, $[\text{Fe}_2(\text{C}_6\text{X}_2\text{O}_4)_3]^{2-}$

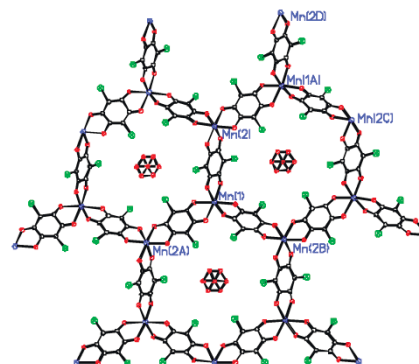
Ovanesyanyan N.S.¹, Nikitina Z.K.¹, Shilov G.V.¹, Mushenok F.B.¹, Aldosin S.M.¹,
Train C.², Li Y.², Gruselle M.²

An intermediate valence state of iron ($\sim \text{Fe}^{2.5+}$) related to the rapid electronic exchange has been detected by the Mössbauer spectroscopy in $[\text{Fe}_2(\text{C}_6\text{X}_2\text{O}_4)_3]^{2-}$ networks leading to a ferromagnetic long-range order of iron magnetic moments following the double exchange mechanism.

Нашей целью являлось систематическое исследование семейства оксалатных магнетиков касательно сосуществования в одном материале нескольких физических свойств и результирующих кросс-эффектов^[1]. Последующая задача заключалась в замене оксалатного лиганда на редокс-активный мостиковый лиганд семейства дигидроксибензохинонов, $(\text{C}_6\text{X}_2\text{O}_4)^{2-}$, X = H, Cl, Br. Структурные исследования показали, что использование хлоранилат-дианиона приводит к образованию сотоподобных сеток, $[\text{M}_2(\text{ClAn})_3]^{2-}$ M=Mn, Fe, разделенных зарядо-компенсирующими органическими катионами.

Методом мессбауэровской спектроскопии установлено промежуточное валентное состояние железа ($\sim \text{Fe}^{2.5+}$) в результате электронного обмена между состояниями Fe^{2+} и Fe^{3+} . Подобный обмен приводит к ферромагнитному упорядочению магнитных моментов железа в соответствии с механизмом двойного обмена по Андерсону. Более того, этот неожиданный результат связан с образованием семихинона, соответствующего трианион-радикала $(\text{CA})^{\cdot 3-}$, способствующего усилению обменного взаимодействия в системе. Температурные мессбауэровские и магнитные измерения $M(T)$, $M(H)$ и $AC(T)$ выполнены в интервале температур 1.5 – 300 К и в магнитных полях до 70 кэ.

В отличие от большинства молекулярных магнетиков, обычно относящихся к категории диэлектриков, быстрый электронный обмен между парамагнитными центрами предполагает полупроводниковый характер проводимости с малой энергией активации. Таким образом, впервые получены новые функциональные молекулярные материалы, сочетающие в одной подрешетке ферромагнетизм и электропроводность.



1. C.Train, R.Gheorghe, V.Krstic, L-M.Chamoreau, N.Ovanesyanyan, G.Rikken, M.Gruselle, M. Verdaguer, *Nature Mater.*, 2008, 7, 729.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА МАГНИТНЫХ ОКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПОМОЩЬЮ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

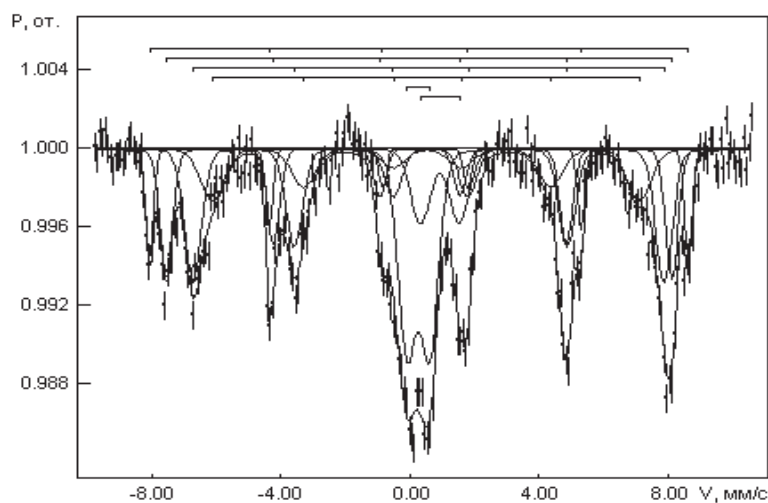
Куликов Л.А.¹, Мелихов И.В.¹, Перфильев Ю.Д.¹, Паль А.Ф.², Перетьяко П.И.³
¹ Химфак МГУ, Москва; ² НИИЯФ МГУ, Москва; ³ ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк, Москва
lakulikov@mail.ru

STUDY OF THE COMPOSITION OF MAGNETIC IRON OXIDE RECEIVED THERMOCHEMICAL METHODS USING MOSSBAUER SPECTROSCOPY

Kulikov L.A., Melikhov I.V., Perfiliev Yu.D., Pall A.F., Peretyatko P.I.

In this paper a thermochemical method was used to obtain magnetic nano and submicron iron oxide. The obtained sample has a high specific surface area and magnetic characteristics, convenient for its using as a magnetic sorbent in particular for cleaning, for example to clean water surfaces from pollution by oil products.

В данной работе для получения магнитных нано и субмикронных оксидов железа был использован термохимический метод. В основе метода лежит осуществление сильнонеравновесных окислительно-восстановительных процессов во фронте самораспространяющейся твердофазной реакции. Исходная смесь состояла из α - Fe_2O_3 (наполнителя) и гетерогенной термитной смеси (бертолетова соль, стекло молотое, сурик, клей костяной, сера, белила цинковые, хромпик). Анализ продуктов реакции проводился с помощью мессбауэровской спектроскопии. На рис. представлен спектр продуктов термического превращения. Его анализ показал, что он состоит из четырех секстетов, три из которых по параметрам относятся к Fe_3O_4 [1], а четвертый к α - Fe_2O_3 . А также двух дублетов, которые по параметрам можно отнести к



парамагнитным формам Fe^{+3} и Fe^{+2} . Содержание Fe_3O_4 составило 54 %. Полученный образец обладает высокой удельной поверхностью и обладает магнитными свойствами, позволяющими предложить его в качестве магнитного сорбента, например для очистки водных поверхностей от загрязнения нефтепродуктами. В силу простоты синтеза метод может найти практическое применение.

Литература:

1. Sei J.Oh, D.C. Cook, H.E. Townsed. Hyperfine Interactions, 1998, 112, 59-66

МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗА В НАНЕСЕННЫХ $\text{FeSO}_4/\text{SiO}_2$ СИСТЕМАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМООБРАБОТКИ

Плетнев О.Н.^{1,3}, Бухтиярова Г.А.², Шуваева М.А.², Баюков О.А.³

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

² Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

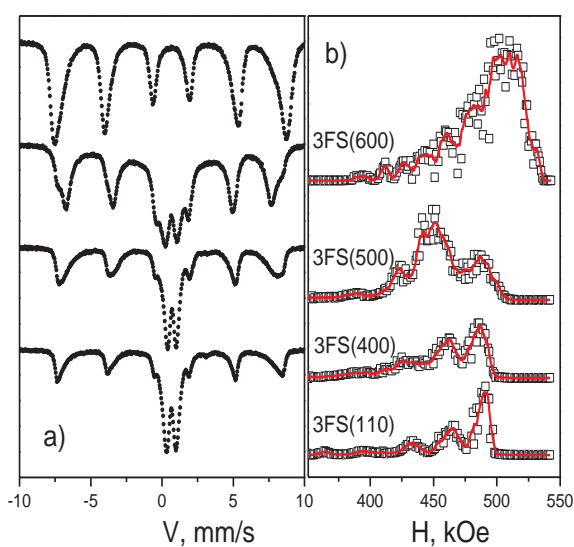
³ Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия

helg@iph.krasn.ru

The impregnation of silica with the aqueous solution of FeSO_4 and the subsequent drying at 110°C gives two iron-containing phases, $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ and FeOHSO_4 , on the silica surface. According to MS data, the transformation of the phases $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeOH}\text{SO}_4 \rightarrow \varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ is observed with the rising the annealing temperature. This data provides a deeper insight in the peculiarities of iron-containing catalysts preparation from FeSO_4 .

Каталитические и адсорбционные свойства нанесенных Fe-содержащих систем определяются природой образующихся соединений железа. Изучение процессов, происходящих при пропитке носителей (оксид алюминия, силикагель) солями железа и их дальнейшей термообработке, вносят вклад в развитие научных основ приготовления катализаторов. В данной работе изучены превращения железо-содержащих соединений, полученных в результате пропитки силикагеля раствором сульфата Fe(II).

Методом МС установлено, что при пропитке силикагеля водным раствором FeSO_4 с последующей сушкой при температуре 110°C на поверхности силикагеля формируется двухфазная система, состоящая из окси-сульфата $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и гидроксо-сульфата FeOHSO_4 . Фаза FeOHSO_4 магнитоупорядочена при низких температурах. Фаза $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2$ парамагнитна во всем температурном диапазоне. С помощью мессбауэровских измерений оценено изменение заселенности каждой фазы и изменение состояния железа при последовательном увеличении температуры термообработки. В процессе отжига в интервале температур $110\text{-}500^\circ\text{C}$ фаза $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ разлагается с образованием сначала аморфной, а затем и упорядоченной фазы FeOHSO_4 . При дальнейшем увеличении температуры термообработки материал теряет как гидроксильные, так и сульфатные группы, образуя оксид $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Идентифицированы позиции железа, теряющие межцепочечную связь в структуре FeOHSO_4 за счет потери сульфатных групп в процессе отжига. Таким образом, метод МС позволил



идентифицировать Fe-содержащие соединения, образующиеся на разных стадиях приготовления катализаторов, и установить порядок их взаимных превращений. Сопоставление полученных данных с каталитическими свойствами образцов в реакции окисления сероводорода показало, что оксид железа $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ проявляет более высокую активность по сравнению с соединениями, в состав которых входит сульфатная группа.

Рис.1. Мессбауэровские спектры катализаторов 3FS, измеренные при температуре жидкого гелия – а), и распределение вероятности сверхтонких полей– б).

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИЗУЧЕНИИ КАТАЛИЗАТОРОВ КРЕКИНГА НА ОСНОВЕ ПИЛЛАРИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ МОНТМОРИЛЛОНИТОВ

Закарина Н.А., Бродский А.Р., Яскевич В.И., Волкова Л.Д., Ким О.К.

*Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы,
Казахстан*

volkova_ld@rambler.ru, kimolya82@mail.ru

MOSSBAUER SPECTROSCOPY STUDY OF CATALYSTS OF HEAVY VACUUM GASOILS CRACKING BASED ON IRON PILLARED MONTMORILLONITE

Zakarina N.A., Brodsky A.R., Yaskevich V.I., Volkova L.D., Kim O.K.

Study of the catalytic activity of the acid-activated iron pillared of Tagan montmorillonite in Ca and Na- form in the cracking of heavy vacuum gasoils and determination of iron states before and after the process by Mossbauer spectroscopy.

Каталитический крекинг является процессом, где оптимально используются ресурсы водорода исходного сырья. На примере Fe-содержащих катализаторов удобно проследить за механизмом процесса с использованием метода Мессбауэровской спектроскопии. Цель работы - исследование каталитической активности кислотно-активированной и пилларированной железом (2,5 мкмоль Fe³⁺/г глины) Ca и Na-форм Таганского монтмориллонита в крекинге утяжеленных вакуумных газойлей и определение состояний железа до и после процесса.

На катализаторе Fe(2,5)NaНММ процесс крекинга идёт при 500⁰С с выходом бензина 4,8%; лёгкого газойля – 59,2%; газа – 14,5% и кокса – 5,5%. На Fe(2,5)CaНММ крекинг начинается при 550⁰С. При 550⁰С суммарный выход бензина и лёгкого газойля на Fe(2,5)NaНММ составляет 67%, а на Fe(2,5)CaНММ – 33,5%. Состав бензина крекинга на Fe(2,5)NaНММ входит наряду с n-алканами (39% мас.), 21,0% непредельных углеводородов, 33,0 ароматических и 13,5 изо-алканов. Присутствие олефинов в продуктах крекинга свидетельствует о протекании в системе процесса дегидрирования углеводородов вакуумного газойля. При этом выделяющийся водород способен восстанавливать железо, находящееся в катализаторах. Этот процесс был зафиксирован с помощью мессбауэровской спектроскопии.

Образец Fe(2,5)NaНММ, прокалённый при 500⁰С, до опыта содержит мелкодисперсное железо Fe³⁺ (до 95%) и ~ 5% Fe²⁺, а Fe(2,5)CaНММ - 37% крупных частиц различных оксидов и гидроксидов железа дающих в спектрах зеемановское сверхтонкое расщепление. Часть оксидов железа находится в мелкодисперсном состоянии и дает квадрупольные дублеты. Следовательно, исходные системы содержат преимущественно Fe³⁺.

После крекинга вакуумного газойля с образованием большого количества продуктов крекинга, в том числе ароматических углеводородов, олефинов и изомерных алканов, в случае системы Fe(2,5)NaНММ обнаружено 35,3 % Fe²⁺ и 42,5% Fe²⁺ для системы Fe(2,5)CaНММ.

Таким образом, с помощью мессбауэровской спектроскопии удалось показать, что в процессе крекинга действительно происходит восстановление значительной части Fe³⁺ до Fe²⁺. Возможно, именно восстановление железа вызывает постепенную дезактивацию систем.

Таким образом, можно высказать предположение, что Fe²⁺ отвечает, по-видимому за образование большого числа продуктов крекинга, в том числе ароматических углеводородов, олефинов и изомерных алканов.

МЁССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕНДРИМЕРНОГО ЖЕЛЕЗО (III)-СОДЕРЖАЩЕГО КОМПЛЕКСА С ВНЕШНЕСФЕРНЫМ АНИОНОМ NO₃⁻

Иванова А.Г.¹, Пятаев А.В.¹, Манапов Р.А.¹, Домрачева Н.Е.², Груздев М.С.³, Червонова У.В.³

¹*Казанский федеральный университет, Казань, Россия*

²*Казанский физико-технический институт им. Е.К.Завойского КазНЦ РАН, Казань, Россия*

³*Институт химии растворов Российской академии наук, Иваново, Россия*

MÖSSBAUER STUDIES DENDRITIC IRON(III) COMPLEX WITH OUTER-SPHERE ANION NO₃

Ivanova A.G., Pyataev A.V., Manapov R.A., Domracheva N.E., Gruzdev M.S., Chervonova U.V. 19ivanova91@gmail.com

Iron(III) complex based on bis[3,4,5-tri(tetradecyloxy)benzoyloxy-4-salicyliden-N'-ethyl-N-ethylenediamine] with outer-sphere anion NO₃⁻ was investigated by the methods of Mössbauer spectroscopy, differential scanning calorimetry, polarizing microscopy. It is shown that the iron ions (III) complexes are probably form a dimeric structure. The complex undergoes phase transitions of the type of "glass-hard" at 41.14°C "hard-hard" at 49.52°C and the melt at 144°C in the cycles of heating and cooling. Part of the centers experiencing the spin transition high spin ($S = 5/2$) state to low spin ($S = 1/2$). The magnetic spin correlations begin to establish at about ~ 70 K, and with decreasing temperature a complete ordering of the antiferromagnetic type is observed.

Методами мёссбауэровской спектроскопии, дифференциальной сканирующей калометрией и поляризационной микроскопией был исследован бисхелатный железо (III)-содержащий комплекс с бис-3,4,5-три(тетрадецилокси)бензоил-4-окси-2-гидроксисалицилиден-N'-этил-N-этилен-диамином с внешнесферным анионом NO₃⁻. Показано, что ионы железа (III) в комплексе находятся в высокоспиновом (ВС) $S=5/2$ состоянии и, вероятно, образуют димерную структуру. Комплекс в циклах нагрева и охлаждения претерпевает фазовые переходы по типу "стекло-твердый" при 41.14°C, "твердый-твердый" при 49.52°C и в расплав при 144°C. Мёссбауэровские исследования комплекса, обогащенного по ⁵⁷Fe изотопу до ≈ 6 %, были выполнены в температурном диапазоне 5–285 К. Спектр, полученный при температуре образца T=285 К, со средними параметрами: $\delta_{Fe} = 0.37$ мм/с и $\Delta E_Q = 0.73$ мм/с, демонстрирует ВС состояние ($S=5/2$) парамагнитных центров Fe³⁺ в комплексе. С понижением температуры, начиная с 235 К, в спектре появляется дублетная компонента с параметрами: $\delta_{Fe} = 0.12$ мм/с и $\Delta E_Q = 2.89$ мм/с, которая соответствует низкоспиновому (НС) с $S=1/2$ состоянию парамагнитных ионов Fe³⁺. Этот факт свидетельствует о начале термостимулированного спин-кроссовер перехода в комплексе. В спектре, полученном при 80 К парциальная площадь ВС центров ($\delta_{Fe} = 0.47$ мм/с и $\Delta E_Q = 0.81$ мм/с) составляет 91.1 %. Дальнейшее понижение температуры не обнаруживает температуры спинового равновесия, что, вероятно, свидетельствует о только частичном участии ВС центров в спиновом переходе. При температурах ниже 70 К наблюдается фазовый переход парамагнетик-антиферромагнитный тип упорядочения, в котором участвуют как ВС так и НС центры. При 5 К наблюдается асимметричный спектр со средним значением сверхтонкого магнитного поля 479 кЭ и дублет, соответствующий НС центрам с параметрами $\delta_{Fe} = 0.25$ мм/с и $\Delta E_Q = 2.8$ мм/с и парциальной площадью $S \sim 3$ %.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 24 "Фундаментальные основы технологий наноструктур и материалов".

МЕССБАУЭРОВСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНО- И БИЯДЕРНЫХ ЖЕЛЕЗО-СЕРНЫХ НИТРОЗИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ованесян Н.С., Шилов Г.В., Мушенок Ф.Б., Санина Н.А., Алдошин С.М.
Институт Проблем Химической Физики РАН, Черноголовка 142432, Россия
kolya44@mail.ru

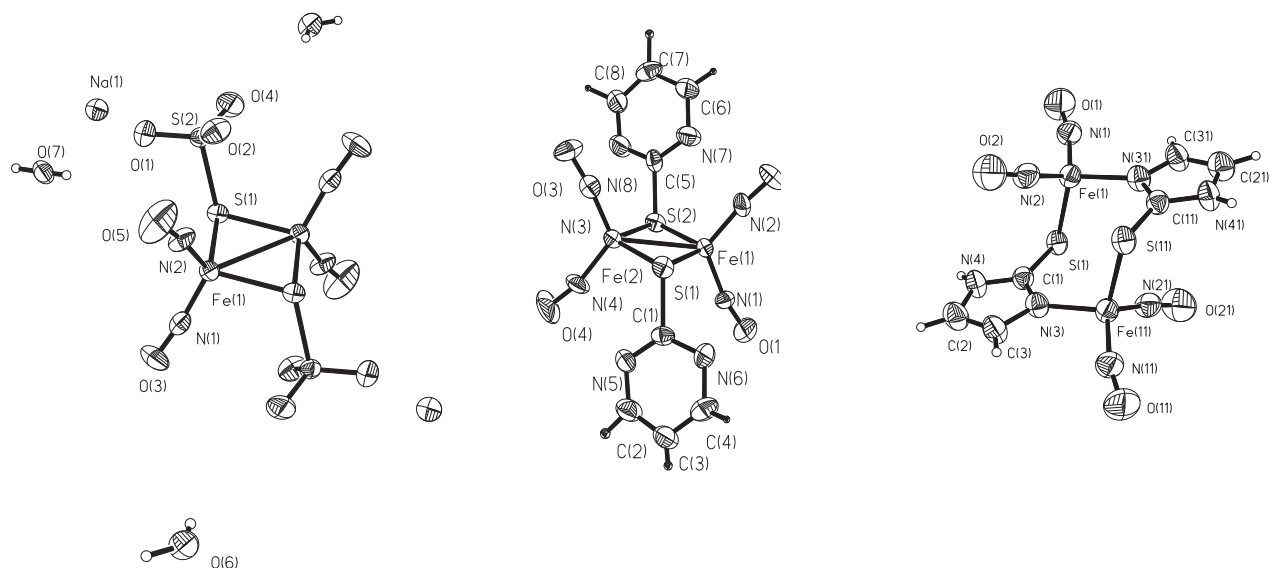
MÖSSBAUER AND MAGNETIC STUDIES OF MONO- AND BINUCLEAR IRON-SULFUR NITROZYL COMPLEXES

Ovanesyan N.S, Shilov G.V., Mushenok F.B., Sanina N.A., Aldoshin S.M.

Correlation of Mössbauer spectral parameters and SQUID magnetization data with the structural and chemical parameters reveal a magnetic and electronic state of nitrosyl complexes. Charge and spin state of iron centers has been established.

Приводятся результаты мессбауэровских и магнитных исследований серии структурно охарактеризованных моно- и биядерных железо-серных нитрозильных комплексов с общей формулой $[\text{Fe}(\text{SR})_2(\text{NO})_2]_{n-1}$ ($n=0, 1, 2$) и $[\text{Fe}_2(\text{SR})_2(\text{NO})_2]_{n-2}$ ($n = 0, 2$), где R – различные донорные или акцепторные заместители. Установлена корреляция мессбауэровских параметров с особенностями структуры и химической связи комплексов, зарядового и спинового состояния железных центров. На основании данных СКВИД магнитометрии установлена связь магнитного состояния комплексов (диа- или парамагнетизм) с их кристаллическим строением. Для некоторых комплексов определены значения эффективного магнитного момента парамагнитных центров в интервале температур 1.5 К - 300 К и параметры обменной связи.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-03-01033) и программы Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».



СЕКЦИЯ 6
ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY OF CHELYABINSK LL5 ORDINARY CHONDRITE FRAGMENTS WITH DIFFERENT LITHOLOGY

Maksimova A.A.¹, Oshtrakh M.I.^{1,2}, Klencsár Z.³, Petrova E.V.¹, Grokhovsky V.I.¹, Kuzmann E.⁴, Homonnay Z.⁴, Semionkin V.A.^{1,2}

¹*Department of Physical Techniques and Devices for Quality Control and*

²*Department of Experimental Physics, Institute of Physics and Technology, Ural Federal University, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation;*

³*Research Centre for Natural Sciences, Hungarian Academy of Sciences, Magyar tudósok körútja 2, Budapest, 1117, Hungary;*

⁴*Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University,*

Pázmány sétány1/A., 1117 Budapest, Hungary

alia55@bk.ru, oshtrakh@gmail.com

Ordinary chondrites are the most numerous group of stony meteorites. These meteorites contain various iron-bearing phases such as olivine (Fe, Mg)₂SiO₄, pyroxene (Fe, Mg, Ca)SiO₃, troilite FeS and metal grains with α -Fe(Ni, Co) and γ -Fe(Ni, Co) phases. Ordinary chondrites were divided into three groups with respect to the total iron and metal content: H (high iron), L (low iron) and LL (low iron and low metal). On February 15, 2013 a large meteorite fell near Chelyabinsk, Russian Federation. This meteorite was classified as ordinary chondrite LL5 group, shock stage S4 and weathering grade W0. Various fragments of this meteorite were immediately collected by the Meteoritical Expedition of the Ural Federal University. These fragments demonstrated different lithology ranged from the light to black. Some of these fragments were studied using metallography, scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy, X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution. These techniques showed the presence of olivine, pyroxene, troilite, metal and small amount of chromite (FeCr₂O₄) in various fragments, while the content of corresponding iron-bearing phases was slightly different for fragments with different lithology. It was observed that the fit of the Mössbauer spectra of Chelyabinsk LL5 fragments using the UNIVEM-MS program with the quadrupole interaction treatment as a perturbation to the first order on the nuclear Zeeman levels the spectral component related to troilite magnetic sextet cannot be fitted satisfactorily. Therefore, these Mössbauer spectra were additionally fitted using the MossWinn program [1] applying numerical diagonalisation of the full static Hamiltonian of the hyperfine interaction (magnetic + quadrupole) for the excited and ground nuclear states. In this case the spectral component related to troilite was fitted correctly and hyperfine parameters were determined for this component in the studied meteorite fragments similarly to recent comparison of the hyperfine parameters for troilite in some ordinary chondrites [2]. A comparison of the hyperfine parameters and relative areas of spectral components for corresponding iron-bearing phases in the studied Chelyabinsk LL5 fragments with different lithology was carried out using the results of both fits. The obtained differences were related to the breccia structure of Chelyabinsk LL5 ordinary chondrite and its formation as a result of collisions of different parent bodies in the space.

References:

1. Z. Klencsár, E. Kuzmann, A. Vértes: *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 1996, **210**, 105–118.
2. A.A. Maksimova, M.I. Oshtrakh, Z. Klencsár, E.V. Petrova, V.I. Grokhovsky, E. Kuzmann, Z. Homonnay, V.A. Semionkin. *J. Mol. Struct.* 2014, DOI: 10.1016/j.molstruc.2014.05.049.

ЯДЕРНАЯ ГАММА-РЕЗОНАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НА Fe^{57} И МАГНИТОМЕТРИЯ НА АТОМАХ ЕСТЕСТВЕННОЙ СМЕСИ В ПОЧВАХ.

Бабанин В.Ф., Иванов А.В.¹, Иванов П.А., Морозов В.В., Панфилов А.С.
Ярославский Государственный Технический Университет
¹*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова*
vbabanin@bk.ru

NUCLEAR GAMMA-RESONANCE SPECTROSCOPY ON Fe^{57} AND MAGNETOMETRY ON ATOMS OF NATURAL MIX IN SOILS.

Babanin V.F., Ivanov A.V., Ivanov P.A., Mikhaleva N.V.

There is presented data of origin of iron compounds and the reasons of increasing of magnetic parameters in magnetic profiles of soils of medium climatic zone. The experimental data on Nuclear Gamma-Resonance spectroscopy for different soils is also presented.

Еще в начале прошлого столетия исследователи заметили, что в умеренных областях почвы на относительно слабомагнитных материнских породах имеют в гумусоаккумулятивном горизонте удельную начальную магнитную восприимчивость χ_0 , различные виды намагниченности σ , в 3÷10 и более раз превышающие соответствующие показатели в материнской породе. Существует несколько версий [1,2], объясняющих увеличение магнитных параметров в верхних горизонтах почв: биогенная и космическая. Последняя обоснована с привлечением ЯГРС и магнитометрии. Согласно экспериментальным данным, повышенная магнитная восприимчивость гумусовых горизонтов почв связана с присутствием в них магнитных частиц, которые попадают в почву из атмосферы. В состав частиц входят магнетит, гематит, металлическое α -железо и частицы гидроксидов в суперпарамагнитном состоянии (Рис.1).

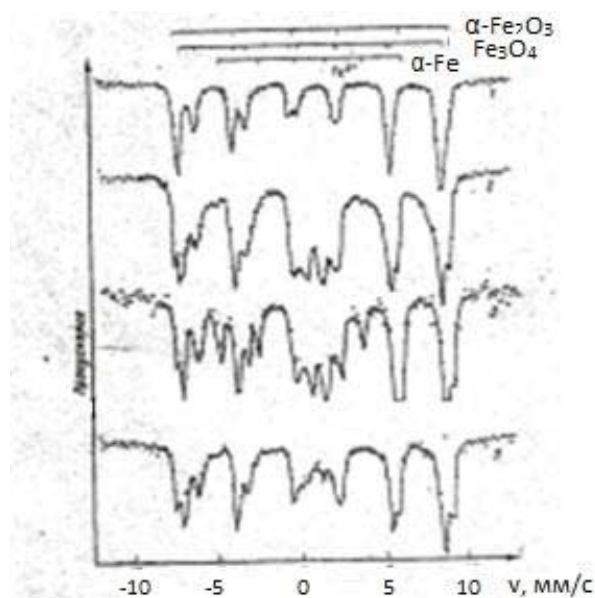


Рис.1 Спектры ЯГР магнитных фракций из: 1-пыль из жилого помещения; 2-из январского снега; 3-из песка на поверхности карьера; 4-из горизонта A_0 почвы

Литература:

- 1.Л.О. Карпачевский, В.Ф. Бабанин и др. Почвоведение, №10,1972, с.110-120.
- 2.Mullins С.Е. J. Soil Science,1977, v.28,№2, pp.223-246.

СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ ТРАДИЦИОННОГО ГОНЧАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА БИЛЯРСКОЙ МОНОЦЕНТРИЧЕСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Манапов Р.А., Пятаев А.В., Валиулина С.И., Иванова А.Г.

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

151Eu@mail.ru

TRADITIONAL POTTERY RAW MATERIALS OF BILYARSK MONOCENTRIC AGGLOMERATION

Manapov R.A., Pyataev A.V., Valiulina S.I, Ivanova A.G.

Investigated the samples of pottery Bolshie Tigany burial IX-X centuries and multifunctional production complex in the center of the settlement Bilyarsk X-XIII centuries. For the production of the studied samples used local red and grey clay. MS spectra of red clay are typical for clays of mainly montmorillonite composition. Parameters MS spectrum of gray clay are almost identical for MS spectra of monomineral illite. Clays significantly differ in content in the structure of iron ions Fe^{2+} , less than 10% in the red and over 20% in the grey clay. Samples of ceramics from all monuments inherit these structural features of clays and are divided into groups containing and not containing the following oxides of iron and, consequently, small and large content of ferrous iron, which indicates a relatively low (up to 400°C) firing temperature.

Методом мёссбауэровской спектроскопии исследованы образцы археологических керамик и грунтов памятников Волжской Булгарии. В ходе исследования использовались материалы ключевых памятников Билярского микрорегиона в радиусе 25 км: образцы керамики из погребений ранневенгерского Больше-Тиганского могильника 9-нач. 10 вв., керамика и сырьевая глина из гончарной мастерской в центре столичного Биляра 10-нач. 13 вв., керамика и глина города Булумера (Торечское поселение) 15 в.

Для мёссбауэровских исследований был выполнен забор сырьевых ресурсов возле археологических памятников (серой и коричневой глин). Для определения минерального состава железосодержащих компонент и отношения Fe^{2+}/Fe^{3+} были проведены мёссбауэровские измерения образцов глин и черепков. Минеральный состав этих глин по данным рентгеноструктурного анализа типичен для четвертичных суглинков и содержит кварц, диоктаэдрические слюды, аллотигенный (обломочный) хлорит, небольшую примесь каолинита, а основным компонентом являются глинистые минералы, в которых широко распространены структуры, представленные сочетанием различных типов неразбухающих и разбухающих слоев, что обуславливает возникновение смешано-слоистых образований - монтмориллонит-гидрослюдистых смешанослойных фаз. МС-спектры коричневой глины типичны для глин преимущественно монтмориллонитового состава, для которых характерно присутствие в межслоевом пространстве оксидов железа. Серые глины преимущественно гидрослюдистого состава, для которых характерно отсутствие оксидов железа, связанное, по-видимому, со значительно меньшей межслоевой емкостью гидрослюд. Параметры МС спектра серых глин практически идентичны для МС-спектров мономинерального иллита. Глины существенно различаются также по содержанию в структуре ионов железа Fe^{2+} , менее 10% в коричневой и более 20% в серой глине. Образцы керамики всех трех памятников наследуют эти структурные особенности глин и разделяются на группы, содержащие и не содержащие оксиды железа и, соответственно, с малым и большим содержанием двухвалентного железа, что свидетельствует об относительно низких (до 400°C) температурах обжига.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №13-06-00686а, «Средневековое стекло Среднего Поволжья как исторический источник».

ОСОБЕННОСТИ МАГНЕТИТА В СФЕРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦАХ

Седьмов Н.А., Залуцкий А.А., Морозов В.В.

Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия.

zalutskii@mail.ru

MAGNETITE FEATURES IN SPHERICAL MAGNETIC PARTICLES

Sed'mov N.A., Zalutskii A.A., Morozov V.V..

The results of the study of magnetic spherules from different sources, the character of the distribution of their sizes in various time intervals are cited. According to data of Mossbauer spectroscopy magnetite in particles is nonstoichiometric. The value of nonstoichiometry is 0,05-0,14.

Происхождение, состав и свойства сильномагнитных сферических частиц продолжают вызывать достаточно большой интерес у геофизиков, минералогов, астрономов и почвоведов. Внимание к этим объектам усиливается во время и после протекания на поверхности нашей планеты Земля глобальных астрономических и геофизических процессов, каковыми являются падение метеоритов и извержение вулканов. Последним таким событием было падение внеземного космического объекта в районе г. Челябинск, результаты исследований которого методом мёссбауэровской спектроскопии (МС) приводятся в [1].

Место сбора, происхождение, размер микрочастиц могут быть различными. По морфологии они могут быть сплошные и полые, с гладкой ровной или структурированной поверхностью, различаться по цветовой окраске. Четких критериев, которые позволили бы однозначно диагностировать источник происхождения данных образований к настоящему времени не предложено. Единственным признаком, который бесспорно объединяет все изучаемые сферические микрочастицы является то, что их основной компонент - это магнетит (Fe_3O_4) различного минералогического состава.

С помощью метода МС нами изучены сильномагнитные сферические частицы, выделенные либо из почвы и горных пород методом магнитной сепарации, либо из приземного слоя атмосферы с помощью фильтров различной конструкции. При решении вопроса о дифференциации почвенного и космического магнетита нами было установлено, что одним из основных магнитных минералов в исследованных сильномагнитных частицах является нестехиометрический магнетит. Показатель нестехиометричности (I_B/I_A) (отношение интенсивностей парциальных спектров магнетита, соответствующих октаэдрическим (B) и тетраэдрическим (A) позициям атомов железа в его структуре) может являться количественным критерием отличия сферул космического и техногенного происхождения [2]. Так, например, при исследовании магнитных фракций, выделенных из различных типов почв Земли, нами была определена степень вакансий в структуре природного магнетита ($\nu = 0,05 \div 0,14$). Полученные величины параметра ν позволяют нам заключить, что магнетит в верхних горизонтах почв нашей планеты имеет техногенное, вулканическое или космическое происхождение. В докладе приводятся возможные пути дифференциации генезиса природного магнетита.

Установленная удовлетворительная корреляция в изменении параметров мёссбауэровских спектров с генезисом и трансформацией магнитоупорядоченных минералов в природных системах Земли полезна для почвоведов и минерологов.

1. В.П. Лютоев, и др. Вестник Уральского университета, 2013, 7, 2-9.

2. А.А. Залуцкий и др. ДАН, 2011, 441, 95-97.

A COMPARATIVE STUDY OF SIKHOTE-ALIN, ALISKEROVO, ANYUJSKIJ AND STERLITAMAK IRON METEORITES USING MÖSSBAUER SPECTROSCOPY: PRELIMINARY RESULTS

Goryunov M.V.^{1,2}, Oshtrakh M.I.^{1,2}, Chukin A.V.³, Grokhovsky V.I.¹, Semionkin V.A.^{1,2}

¹*Department of Physical Techniques and Devices for Quality Control,*

²*Department of Experimental Physics and*

³*Department of Theoretical Physics and Applied Mathematics,*

Institute of Physics and Technology, Ural Federal University,

Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

oshtrakh@gmail.com

Iron meteorites consisting of Fe-Ni-Co alloy demonstrate variations in phase composition (α -Fe(Ni, Co) and γ -Fe(Ni, Co) phases) and Ni concentration within the single phase [1]. These variations are the result of iron meteorites formation, shock effects, reheating and extremely slow cooling in the space. Therefore, Mössbauer spectroscopy appeared to be a useful tool to study meteorites in order to detect the relationship of Mössbauer parameters and features of the phase composition for various meteorites [2, 3]. In the present work we studied the samples of iron meteorites Sikhote-Alin IIAB, Aliskerovo IIIE-an, Anyujskij IIAB and Sterlitamak IIIAB. The slices of these meteorites samples were investigated using metallography and scanning electron microscopy with electron dispersive spectroscopy. Then the powders were prepared from the thin surface layer of meteorites slices. These powdered samples of meteorites were studied using X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy with a high velocity resolution. The results of metallography and scanning electron microscopy studies demonstrated the presence of α -phase in Sikhote-Alin IIAB and Anyujskij IIAB iron meteorites while Aliskerovo IIIE-an and Sterlitamak IIIAB iron meteorites showed the presence of both α - and γ -phases. Sikhote-Alin IIAB and Anyujskij IIAB meteorites contain also rhabdite microcrystals in kamacite matrix. X-ray diffraction study also demonstrated the presence of α -phase in Sikhote-Alin IIAB and Anyujskij IIAB iron meteorites and small amount of γ -phase in addition to the main α -phase in Aliskerovo IIIE-an and Sterlitamak IIIAB iron meteorites. Preliminary Mössbauer spectra of these meteorites measured at room temperature showed six-line patterns with visual asymmetry of the second and the fifth peak intensities. The Mössbauer spectra of Aliskerovo IIIE-an and Anyujskij IIAB iron meteorites were better fitted using three magnetic sextets while the Mössbauer spectra of Sikhote-Alin IIAB and Sterlitamak IIIAB iron meteorites were better fitted using four magnetic sextets. These spectral components were related to the phase composition and possible variations in Ni concentration within the one phase.

References:

1. V.F. Buchwald. Handbook of Iron Meteorites. Berkley: University of California Press, 1975, 1418 pp.
2. V.I. Grokhovsky, M.I. Oshtrakh, E.V. Petrova, M.Yu. Larionov, K.A. Uymina, V.A. Semionkin. *Eur. J. Mineral.*, 2009, **21**, 51–63.
3. M.I. Oshtrakh, V.I. Grokhovsky, E.V. Petrova, M.Yu. Larionov, M.V. Goryunov, V.A. Semionkin. *J. Mol. Struct.*, 2013, **1044**, 268–278.

ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ СВОЙСТВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ СЛОИСТЫХ НАНОСТРУКТУРАХ (КОНКРЕЦИИ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА)

Гендлер Т.С.¹, Бортников Н.С.,² Новиков В.М.,² Новакова А.А.³, Кривенков М.С.³,
Ломов А.³

¹*Институт физики Земли Российской академии наук, Москва, Россия*

²*Институт геологии, рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва*

³*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
gendler06@mail.ru*

WHAT THE MOSSBAUER SPECTROSCOPY CAN GIVE US TO EXPLAIN THE HYSTERESIS PROPERTIES OF NATURALLY OCCURRED LAYER NANOSTRUCTURES (CONCRETIONS OF SOUTH VIETNAM)

Gendler T.S., Bortnikov N.S., Novikov V.M., Novakova A.A., Krivenkov M.S., Lomov A.

The Mossbauer spectroscopy (MS) at room temperature and 90K was used to study the layered concretions from weathering crust (CW) of South Vietnam (Bao-Lok). Different relative content and grain size fitted from MS in two-phase system (goethite-hematite) determined the variability of hysteresis loops (HL) shape (linear, constricted, "pot-bellies" and usual SD types). After heating up to 750°C and cooling in magnetic field being formally single phase (hematite only) the system revealed exchange anisotropy reflected in HL shift.

Мессбауэровская спектроскопия (МС) на изотопе Fe-57 и SEM были применены для изучения природных железосодержащих конкреций из коры выветривания Южного Вьетнама (Бао-Лок). Изучаемый объект оказался чрезвычайно интересным не только с точки зрения явного проявления биогенного влияния на формирование Fe-содержащих минералов, но и необычайно разнообразных их магнитных свойств. Основными Fe-содержащими фазами по данным рентгеновской дифракции, МС и термомагнитного анализа являются **гетит** и **гематит** в различных пропорциях. Разнообразные сочетания этих фаз и меняющиеся морфоструктуры, проявились в многообразии магнитных свойств и в первую очередь сказались на формах и поведении петель гистерезиса (ПГ). Разнообразие форм ПГ от прямолинейных до перетянутых и расширенных ("potbellied") и выяснение причин их генерации связаны со значительными сложностями. За счет обработки МС удалось выявить корреляцию между соотношением двух высококоэрцитивных фаз и суперпарамагнитных (SP) частиц в естественных образцах и формой ПГ.

Особенностью изученных образцов, которые образовались при существенном биогенном контроле и наличии органики, является также существенный сдвиг петель гистерезиса после охлаждения в магнитном поле. МС всех образцов после цикла нагрев-охлаждение демонстрировали только уширенный секстет гематита, то есть за счет гетита и SP- частиц в магнитном поле произошла кристаллизация гематита второй генерации. По данным SEM он наследует исходную слоистую морфологию, таким образом, образуется формально-кристаллографически однофазная слоистая наносистема, в которой в интерфейсе между разными генерациями одной и той же фазы существует обменная анизотропия, что является причиной сдвига ПГ для образцов, охлажденных в магнитном поле.

СЕКЦИЯ 7
СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ЧЕМ ВАМ МОЖЕТ БЫТЬ ПОЛЕЗНА СИНХРОТРОННАЯ СТАНЦИЯ ЯДЕРНОГО РАССЕЙЯНИЯ В ГРЕНОБЛЕ

Чумаков А.И.

Европейский Центр Синхротронного Излучения, Гренобль, Франция

chumakov@esrf.fr

THE WAY YOU CAN USE

THE SYNCHROTRON BEAMLINE OF NUCLEAR SCATTERING IN GRENOBLE

Chumakov A.I.

The talk presents a review of synchrotron-based techniques of nuclear resonance scattering and examples of their applications.

Начиная с сентября 2011 г. Европейский Центр Синхротронного Излучения (ESRF), включая Ядерную Резонансную станцию [1], открыт для Российских исследователей. Работа в Центре осуществляется на основе *индивидуальных* авторских заявок и *не требует* финансовой поддержки со стороны исследователей. В докладе представлен обзор методов синхротронной мёссбауэровской спектроскопии, примеров их применения и правил [2] подачи заявок на эксперименты. Рассматривая возможности проведения исследований с использованием синхротронного излучения, следует иметь в виду следующее: синхротронная Мёссбауэровская спектроскопия не заменяет традиционную. Исследования, которые можно проводить с радиоактивными источниками, следует проводить именно с радиоактивными источниками. Роль синхротронного излучения состоит в расширении возможностей Мёссбауэровской спектроскопии по используемым ядерным резонансам, исследуемым образцам, условиям эксперимента и методам исследования [3]. Перечень ядерных резонансов доступных для исследований с синхротронным излучением включает более десятка изотопов. Для многих из них радиоактивные источники в настоящее время не производятся. В Европейском Центре Синхротронного Излучения возможно проведение экспериментов с изотопами ^{57}Fe , ^{61}Ni , ^{73}Ge , ^{99}Ru , ^{119}Sn , ^{121}Sb , ^{125}Te , ^{129}Xe , ^{129}I , ^{149}Sm , ^{151}Eu , и ^{161}Dy . В ближайшее время планируется начало работ с изотопом ^{189}Os . При наличии заявок возможно быстрое освоение изотопов ^{40}K , ^{83}Kr , ^{169}Tm и ^{201}Hg . Применение синхротронного излучения позволяет исследование предельно малых образцов. В отличие от радиоактивного источника, синхротронный источник излучает направленный и коллимированный пучок с сечением $\sim 0.5 \times 1.0 \text{ мм}^2$, который легко фокусируется в пятно с размерами $\sim 5 \times 10 \text{ нм}^2$. Это позволяет исследование образцов при высоких давлениях с использованием алмазных наковален, комбинацию высоких давлений и высоких температур с применением лазерного нагрева и исследования (в скользящем падении) сверхтонких плёнок, вплоть до одного атомного монослоя. Кроме того, коллимированность пучка облегчает применение криомагнитных систем для экспериментов при низких температурах (вплоть до 2К) и сильных магнитных полях ($\sim 7\text{T}$), а также в условиях сверхчистого вакуума (10^{-9} торр).

Методы синхротронной Мёссбауэровской спектроскопии включают в себя традиционную сверхтонкую спектроскопию, которая может проводиться как во временной так и в обычной энергетической шкале; *некогерентную* сверхтонкую спектроскопию, которая позволяет изучать образцы с *нулевым* коэффициентом Лэмба-Мёссбауэра, неупругое рассеяние для исследования спектров атомных колебаний, малоугловое рассеяние для исследования магнитных доменов, ядерную резонансную дифракцию, рассеяние скользящего падения, квази-упругое рассеяние, и некоторые другие методы.

1. <http://www.esrf.fr/UsersAndScience/Experiments/DynExtrCond/ID18>

2. <http://www.esrf.fr/UsersAndScience/UserGuide/Applying>

3. R.Rüffer, C.R.Physique 2008, 9 595-607.

СЕКЦИЯ 8
НОВЫЕ МЕТОДИКИ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

КОГЕРЕНТНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МЁССБАУЭРОВСКИМИ ФОТОНАМИ

Вагизов Ф.Г.¹, Шахмуратов Р.Н.², Кочаровская О.А.³, Нурмехамитов Р.Н.¹

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Казанский физико-технический институт КНЦ РАН, Казань, Россия

³Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

vagizov@hotmail.com

COHERENT CONTROL OF MÖSSBAUER PHOTONS

Vagizov F.G., Shakhmuratov R.N., Kocharovskaya O.A., Nurmekhamitov R.N.

We present the experimental results on the coherent control of Mössbauer photons and photon shaping of the recoilless radiation using stepwise mechanical shift and uniform ultrasonic vibration of the resonant absorber.

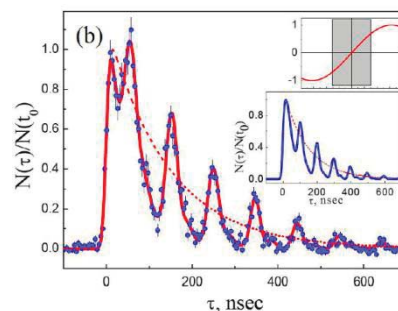
В настоящее время наблюдается повышенный интерес к изучению методов управления одиночными фотонами с точки зрения практического приложения в квантовых вычислениях и коммуникациях. Получение и регистрация одиночных фотонов (кубитов), а также управление их параметрами, являются нелегкими задачами для оптического диапазона вследствие необходимости использования как можно более узких спектральных линий в веществе и как можно более узкополосного однофотонного излучения. В гамма диапазоне естественные радиоактивные источники низкой активности представляют собой идеальные источники одиночных, изолированных друг от друга во времени, когерентных фотонов, а ширины спектральных линий поглощения мёссбауэровских ядер достаточно малы.

Базовыми элементами, с помощью которых предполагается совершать квантовые операции, являются линии задержки с минимальными потерями, устройства, которые расщепляют волновой пакет фотона во времени на квантовые бины (time-bin qubits) и др. Среди них особое место занимают различные способы управления волновой формой фотона (photon shaping), так как они расширяют возможности кодирования и распределения квантовой информации в сети.

В данной работе сообщаются результаты экспериментов по управлению одиночными мёссбауэровскими фотонами. В частности, было обнаружено, что применение специальных дисперсионных сред позволяет существенно замедлить групповую скорость фотона [1]. При определенных условиях быстрое смещение резонансного поглотителя приводит не только к усилению индуцированного сигнала эха, но даже к гашению когерентного излучения [2], что открывает новые возможности управления одиночными фотонами. Интересными в этом отношении являются также результаты, демонстрирующие возможность использования особенностей пространственного распределения ядерной поляризации вдоль многослойного композитного образца при быстрых смещениях поглотителя [3]. Обнаружено, что ультразвуковая модуляция гамма излучения является достаточно эффективным средством по управлению волновой формой фотонов [4], что позволяет создавать квантовые бины (см. рис) довольно простым способом.

Литература:

- 1.R. Shakhmuratov, F.Vagizov, et al., Phys. Rev.A, 2009, 80, 063805(15).
- 2.R. Shakhmuratov, F.Vagizov, et al., Phys. Rev.A, 2011, 84, 043820(15).
- 3.R. Shakhmuratov, F.Vagizov, et al., Phys. Rev.A, 2013, 87, 013807(12).
- 4.F. Vagizov, V. Antonov, et al., Nature, 2014, 508, 80.



МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБРАЗЦОВ - ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Садыков Э.К., Юричук А.А.

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия

Edgar.Sadykov@kpfu.ru

MOESSBAUER INVESTIGATIONS WITH THICK SAMPLES AS A SOURCE OF ADDITIONAL INFORMATION

Sadykov E.K., Yurichuk A.A.

The new possibilities of Moessbauer experiments with thick samples in external fields are considered. The confirmation of matter by experiments and model calculations is presented.

В мессбауэровской спектроскопии источником информации о физической системе является, как правило, эксперимент на тонких поглотителях. На этом фоне выделяются эксперименты на протяженных образцах, отличающиеся большей степенью свободы формирования мессбауэровского отклика, и, благодаря этому, несущие дополнительную информацию. Примером является дифракция мессбауэровского излучения на ядрах и принципиальная возможность на этой основе изучать корреляцию координат мессбауэровских центров системы (ее кристаллическую структуру). Такая возможность – следствие конечной толщины поглотителя (мишени); она отсутствует в случае тонких поглотителей. Другим эффектом толщины поглотителя является формирование в нем отклика на мессбауэровское излучение (имеющего частотную или временную структуру) под влиянием внешних переменных полей. Удачной иллюстрацией этого эффекта является образование сателлитной структуры спектра мессбауэровского рассеяния вперед на поглотителе (нержавеющая сталь), подверженном звуковым колебаниям [1]. Аналогичное явление в режиме периодического воздействия на магнитную подсистему образца внешним РЧ полем и последовательная физическая модель, акцентирующая на основные закономерности происходящих при этом процессов, описаны в работе [2]. В этом сообщении обсуждаются новые закономерности поведения мессбауэровских спектров толстых поглотителей во внешних полях. Обращено внимание на взаимосвязь между интегральным поглощением спектра поглощения толстого поглотителя и характером колебаний ядер в образце [3]. Это дает принципиальную возможность получать дополнительную информацию о степени корреляции звуковых колебаний ядер в образце (или корреляции других процессов, инициируемых на ядрах внешним полем) путем обработки экспериментальных мессбауэровских спектров.

Работа частично поддержана РФФИ (№ 14.02.01078 а).

Литература:

1. Yu.V. Shvyd'ko, G.V. Smirnov. J.Phys.: Cond. Matt., 1993, 4, 2663-2685.
2. Э.К. Садыков, А.А. Дзюблик и др. Письма в ЖЭТФ, 2010, 92, 279-284.
3. Э.К.Садыков, А.А.Юричук. Письма в ЖЭТФ, 2014, 99, 195-200.

ПОИСК P,T-НЕИНВАРИАНТНОГО МЕЖНУКЛОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЯДРЕ ^{169}Tm МЕТОДОМ МЕССБАУЭРОВСКОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ

Циноев В.Г., Черепанов В.М., Рыжков А.В., Панин Ю.Н.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
Cherepanov_vm@mail.ru

SEARCH FOR P,T-NONINVARIANT INTERNUCLEON INTERACTION IN ^{169}Tm NUCLEUS BY MÖSSBAUER POLARIMETRY METHOD

Tsinoev V.G., Cherepanov V.M., Ryzhkov A.V., Panin Y.N.

The formulation of the experiment to measure P- and P,T-odd polarization of gamma-radiation emitted at the Mössbauer (3/2-1/2) M1 transition of deformed ^{169}Tm nucleus with energy 8.4 keV by gamma-optics methods is discussed. The expected accuracy of measuring the relative magnitude of P,T-odd contribution is about the order of 0.1% of the ordinary weak nucleon-nucleon interaction.

Согласно теореме Ллойда, для регулярного M1-перехода P,T-нечетный член в ядерном потенциале даст нерегулярный E1 переход с чисто мнимым матричным элементом, поэтому плоскость поляризации излучения ориентированного ядра будет отличаться от плоскости рассеяния, задаваемой импульсом фотона и осью ориентации ядра. Угол отклонения пропорционален произведению степени несохранения P-четности и T-инвариантности. При повороте плоскости рассеяния на прямой угол, (т.е. при смене знака линейной поляризации P_1) P,T-нечетное отклонение можно зарегистрировать с помощью комптоновского поляриметра. Планируется провести такой эксперимент на мессбауэровском (3/2-1/2) M1-переходе деформированного ядра ^{169}Tm с энергией 8.4 кэВ методами гамма-оптики. В докладе обсуждается постановка эксперимента, идея которого состоит в следующем. неполяризованное излучение возбужденных ядер тулия от поликристаллического источника проходит через резонансный фильтр (монокристалл, содержащий ядра тулия в сильно неоднородном электрическом поле), сверхтонкая дублетная структура которого определяется только квадрупольным взаимодействием. Осуществляя ядерный гамма-резонанс поочередно на разных линиях дублета, можно менять знак поворота плоскости поляризации прошедшего излучения. Для проведения эксперимента создана установка, включающая модифицированную систему синхронного детектирования [1]. Ожидаемая точность измерения относительной величины P,T-нечетного вклада порядка 0.1% от величины обычного слабого межнуклонного взаимодействия. Оценка P,T-нечетного потенциала требует независимого определения величины P-нечетной круговой поляризации P_C , которая будет также измерена при небольшой модификации установки. Разработанная нами экспериментальная методика для поиска P-нечетных и P,T-неинвариантных корреляций уже применялась для аналогичной задачи на примере M1 мессбауэровского (3/2-1/2) гамма перехода почти сферического ядра ^{119}Sn , где было получено ограничение сверху на отношение P,T-нечетного к P-нечетному матричному элементу нуклон-нуклонного взаимодействия $\langle V^{P,T} \rangle / \langle V^P \rangle = -(1.6 \pm 4.1) \cdot 10^{-2}$ [2]. Эксперимент даст прямое доказательство наличия P,T-нечетного члена в ядерном гамильтониане, в отличие от косвенных методов, основанных на поиске электрического дипольного момента нуклонов и атомов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-02-00989а.

Литература

[1] Циноев В.Г., Черепанов В.М., Сдобнов С.И. Доклад на этой конференции.

[2] V.G. Tsinoev, V.M. Cherepanov, E.V. Rogov, G.S. Vidyakin, V.I. Shtanov. ЯФ, 1998, 61, 1357-1362.

РЕГИСТРАЦИЯ МЕССБАУЭРОВСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ КОНВЕРСИИ СТП-ДЕТЕКТОРОМ

Козин М.Г.¹, Ромашкина И.Л.¹, Смирнова-Пинчукова И.О.¹,
Кошелец В.П.², Филиппенко Л.В.²

¹НИИЯФ им. Д.В. Скобелъцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²ИРЭ им. Котельникова РАН, Москва, Россия

kozin@srd.sinp.msu.ru

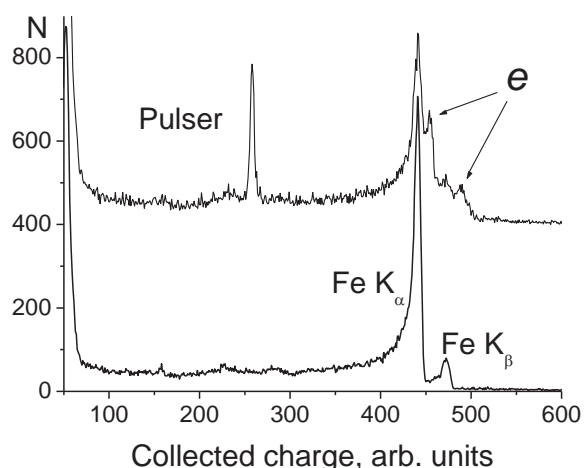
REGISTRATION OF MOSSBAUER CONVERSION ELECTRONS WITH STJ-DETECTOR

Kozin M.G.¹, Romashkina I.L.¹, Smirnova-Pinchukova I.O.¹,
Koshelets V.P.², Filippenko L.V.²

For the first time conversion electrons from RhFe scatterer under irradiation with ⁵⁷Co(Rh) Mössbauer source were registered with Nb-based superconducting tunnel junction detector.

Мы занимаемся разработкой и исследованием детекторов мягкого рентгеновского и гамма диапазона на основе сверхпроводящих туннельных переходов (СТП). Ранее нами была продемонстрирована возможность регистрации рентгеновского излучения Fe K_α и K_β, а также γ-лучей 14,4 кэВ от источника ⁵⁷Co(Rh) с помощью сверхпроводящего туннельного детектора на основе ниобия [1]. Нами также предложена идея использовать поглотитель из тантала с целью создания резонансного криогенного детектора для мессбауэровской спектроскопии на ¹⁸¹Ta [2]. В данной работе впервые проведена регистрация эффекта Мессбауэра с помощью СТП-детектора на основе ниобия в геометрии рассеяния с источником ⁵⁷Co(Rh) и поглотителем RhFe.

Источник и детектор располагались под прямым углом друг к другу, а рассеиватель – под углом 45° к обоим. Рассеивателем служил кусочек сплава RhFe(20%), обогащенного ⁵⁷Fe, размером 5*5*4 мм³. В качестве детектора использовался СТП размером 100*100 мкм² со структурой Ti/Nb/Al,AlO_x/Al/Nb/NbN (толщины 30/100/8,1/13/150/30 нм). Экспериментальная ширина линии на половине высоты - менее 80 эВ для линии 5,94 кэВ (Mn K_α). При комнатной температуре давление теплообменного гелия в рабочем объеме составляло около 0,01 атм. Измерения проводились при T=1,4 К в магнитном поле порядка 100 Э, необходимом для работы детектора и приложенном параллельно плоскости туннельного перехода. Полученный спектр приведен в верхней части рисунка (отмечена линия генератора



точной амплитуды). Ниже показан спектр, полученный в контрольном опыте с использованием чистого родия в качестве рассеивателя (отмечены рентгеновские линии железа). Различие спектров, связанное с присутствием конверсионных электронов отмечено символом *e* и стрелками.

Литература:

1. М.Г. Козин и др. ПТЭ, 2006, №5, 1-5.
2. М.Г. Козин и др. Изв. РАН. Сер. физ., 2007, 71, №9, 1336-1338.

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Воробьева И.В.¹, Гоганов Д.А.¹, Гоганов А.Д.¹, Иркаев С.М.²,
Семенов В.Г.^{2,3}, Панчук В.В.^{2,3}

¹ООО «Элион», Санкт-Петербург, Россия

²Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
sobir_irkaev@mail.ru

GAS-FILLED PROPORTIONAL DETECTORS FOR MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

Vorob`eva I.V., Goganov D.A., Goganov A.D., Irkaev S.M.,
Semenov V.G., Panchuk V.V.

Design and parameters of effective gas-filled proportional detectors for Mössbauer spectroscopy are described.

Диапазон энергий гамма-излучений, используемый в настоящее время в мессбауэровской спектроскопии, охватывает область от 6,237 кэВ (переход в изотопе ¹⁸¹Ta) до 186,718 кэВ (переход в изотопе ¹⁹⁰Os). Столь широкий диапазон энергий излучения требует для создания оптимальных экспериментальных условий в разных оптических схемах регистрации, применения различных детекторов излучения.

Для регистрации мессбауэровского излучения в этом диапазоне энергий используются три типа детекторов: 1) пропорциональные газонаполненные детекторы, 2) сцинтилляционные детекторы и 3) полупроводниковые детекторы.

Основным механизмом регистрации мессбауэровского излучения является фотоэлектрическое поглощение. Кроме того, необходимо принимать во внимание влияние на отклик детекторов процессов релеевского и комптоновского рассеяния

Выбор типа детектора зависит главным образом от энергии регистрируемого гамма-излучения, спектра излучения источника, загруженностью спектра излучения источника сопутствующими излучениями, временем жизни применяемого изотопа.

Описаны конструкции и обсуждены технические характеристики (эффективность, разрешающая способность, быстродействие, отношение пик/долина, радиационный ресурс) пропорциональных газонаполненных детекторов, разработанных специально для применения в мессбауэровской спектроскопии.

Разработанные детекторы, являются оптимальными для исследований с изотопами, обладающими малыми энергиями гамма-излучения, такими, как ¹⁸¹Ta (6,238 кэВ), ¹⁶⁹Tm (8,401 кэВ), ⁸³Kr (9,40 кэВ), ¹³⁷La (10,560 кэВ), ¹³³Ba (12,322 кэВ), ⁷³Ge (13,284 кэВ) и ⁵⁷Fe (14,413 кэВ). Для высокоэнергетических гамма-квантов, излучаемых такими изотопами как, например, ¹²¹Sb (37,133 кэВ), ¹²⁵Te (35,492 кэВ), ¹²⁹Xe (39,578 кэВ), ¹⁸³W (46,484 кэВ) и ²³⁷Np (59,541 кэВ), разработанные детекторы могут быть применены, если при регистрации используется не пик полного поглощения, а отклик детектора на пик вылета, образующийся в низкоэнергетической области спектра излучения источников.

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ СКОРОСТНОЙ ШКАЛЫ В МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Семенов В.Г.^{1,2}, Иркаев С.М.², Панчук В.В.^{1,2}, Гойденко А.А.¹

¹Санкт-Петербургский университет, Санкт-Петербург, Россия

²Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург, Россия
val_sem@mail.ru

DISCRETIZATION OF THE VELOCITY SCALE IN MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

Semenov V.G., Irkaev S.M., Panchuk V.V., Goydenko A.A.

Selection criteria for optimal discretization step in the measurement of the Mossbauer spectra are suggested.

Представление спектральной информации в дискретной форме широко используется в современной спектроскопии. Выбор оптимального шага дискретизации $\Delta v = V_{i+1} - V_i$ в экспериментальном спектре играет важную роль, так как позволяет извлекать физическую информацию с максимальной достоверностью.

Следует отметить, что при малой величине шага дискретизации количество точек в наблюдаемом спектре становится большим, что приводит к увеличению точности воспроизведения спектральной функции, содержащей необходимую аналитическую информацию. Однако, в этих условиях будет уменьшаться интервал времени накопления в каждом канале, это в свою очередь приводит к увеличению общего времени, необходимого для накопления спектра с заданной статистической точностью. Увеличение шага дискретизации ведет к уменьшению количества каналов, а точность воспроизведения спектральной функции снижается из-за сильного усреднения измеряемой спектральной функции внутри интервала Δv .

Таким образом, оптимальная дискретизация заключается в представлении спектральной функции с требуемой точностью и минимальным количеством каналов. В этом случае все точки спектра являются важными для восстановления искомой функции, при минимальном времени их накопления. Оптимальный шаг оценивается по минимизации ошибки при восстановлении спектральной функции.

Предложены два независимых подхода для решения проблемы выбора оптимального значения ширины канала при накоплении мессбауэровских спектров. Один из них основан на частотном критерии Котельникова-Шеннона, второй - на анализе ошибок, возникающих в случае дифференциального представления спектра. В обоих подходах выбор критерия проводится в два этапа: на первом - рассматривается выбор шага дискретизации для идеального спектра, на втором - проводится его коррекция, которая учитывает влияние статистического разброса в спектре, полученном с требуемым качеством. Показано, что оба подхода по дискретизации мессбауэровских спектров приводят к близким результатам.

ОПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ РАССЕЯНИЯ

Кириченко В.Г., Коваленко О.В.

ХНУ имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина

E-mail: val_kir48@mail.ru

OPTICAL DETECTION OF MÖSBAUER SCATTERING SPECTRA

Kirichenko V.G., Kovalenko O.V.

It is proposed a method of optical detecting nuclear γ - resonant spectra of dispersion at the analysis of a surface of pure iron. I The technique of registration of the optical spectra connected with the gas discharges in CEMS proportional detector is developed. It is revealed that optical spectra are registered from thin layers about 100 Å.

Регистрация спектров МСКЭ производится с помощью детекторов электронов, позволяющих добиться высокой эффективности регистрации электронов внутренней конверсии, при этом газовый разряд сопровождается излучение световых квантов. При оптическом детектировании спектров рассеивания происходит отбор электронов по глубине. Интенсивность свечения разряда в счетчике зависит от энергии электронов, испускаемых в результате конверсии γ -квантов в приповерхностном слое и определяется верхними слоями, наиболее близкими к поверхности. Параметры, определяющие условия наблюдения фотонных спектров, приведены на рисунке в виде 3D распределения интегральной интенсивности фотонных спектров рассеяния в зависимости от длины волны света, на которой регистрировался спектр и от напряжения на нити газового детектора. Такой метод оптического детектирования с использованием световодов для вывода оптических фотонов позволяет устранить влияние радиоактивного источника γ -квантов на фотокатод ФЭУ. Применение монохроматических фильтров позволило обнаружить, что фотонные спектры регистрируются в случае электронов, излученных из самых верхних поверхностных слоев. Толщина этих слоев около 100 Å для деформированных фольг железа, что меньше, чем толщина при регистрации электронов внутренней конверсии (1000 Å).

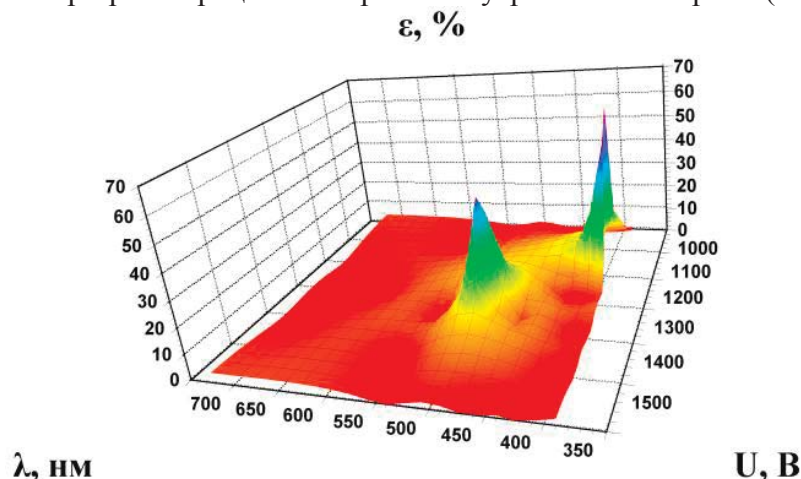


Рисунок. 3D диаграмма распределения величины эффекта рассеяния ϵ мессбауэровских спектров в зависимости от длины волны λ фотонов и напряжения U на аноде детектора

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЁССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ – АМОРФНАЯ ФАЗА.

Немцова О.М.

*Физико-технический институт Уральского отделения Российской академии наук,
Ижевск, Россия*

olganemtsova@nm.ru

FEATURES OF MATHEMATICAL PROCESSING OF MOSSBAUER SPECTRUM OF COMPOSITE SYSTEMS THE CRYSTAL–AMORPHOUS PHASE.

Nemtsova O.M.

The original technique of processing the Mossbauer spectrum of composite systems the crystal – amorphous phase is offered. In it all features of such spectrum are considered and the design method on the test model, allowing to define changes in an amorphous component is stated.

Одним из достоверных методов количественного анализа композиционных систем кристаллическая – аморфная фаза является мёссбауэровская спектроскопия. Математическая обработка мёссбауэровских спектров, характерных для композиционных систем кристаллическая - аморфная фаза, имеет определенные особенности. Функция распределения сверхтонкого магнитного поля, получаемая в результате обработки таких спектров, состоит из областей, присущих для кристаллической и аморфной фазы. Соотношение площадей этих областей позволяет провести количественный анализ композиционной системы.

Таким образом, для получения достоверного количественного анализа композиционных систем кристаллическая - аморфная фаза необходимо проведение такой математической обработки спектров, которая: а) позволяет разделять вклады от кристаллической и аморфной составляющей; б) позволяет определять существенные изменения в аморфной составляющей (в серии экспериментов); в) обеспечивает минимальную погрешность результатов.

В настоящей работе для решения этих задач предлагается: а) разделение вкладов от кристаллической и аморфной фазы осуществлять аналогично методу, существующему для обработки систем с локальными неоднородностями [1], т.е. использовать алгоритм определения двух функций распределения из одного экспериментального спектра с существенно-различными сверхтонкими параметрами; б) итерационная процедура проектирования на модель (в качестве которой используется функция распределения, полученная для тестового объекта) позволяет определять существенные изменения в аморфной составляющей (в серии экспериментов); в) разделение параметров регуляризации для каждой составляющей и независимый поиск оптимальных значений обеспечивает максимальную точность результатов [2].

Литература:

1. О.М.Nemtsova. NIMB, 2006, 244, 501-507.
2. О.М.Немцова, А.Л.Агеев, Е.В.Воронина. Изв.РАН, Серия Физ., 2007, 71, 1330-1332.

ОБРАБОТКА МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СПИН-МОДУЛИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ В SpectrRelax

Мащнев М.Е., Русаков В.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
rusakov@phys.msu.ru, mike@haali.su

FITTING MOSSBAUER SPECTRA OF COMPOUNDS WITH SPATIAL SPIN-MODULATED STRUCTURES IN SpectrRelax

Matsnev M.E., Rusakov V.S.

SpectrRelax is an application for analysis and fitting of absorption, emission and conversion electron Mossbauer spectra. The paper discusses the details of using special models for fitting Mossbauer spectra of isotopes in spatial spin-modulated structures and demonstrates the models' usage for analyzing the spectra of BiFeO_3 , CuCrO_2 : ^{57}Fe , and $\text{CaMn}_7\text{O}_{12}$: ^{119}Sn compounds. These structures contain periodic spin density or spin direction changes that are incommensurate with the underlying lattice. SpectrRelax now includes models for Spin/Charge Density Wave, Anharmonic Spin Modulation and Spiral-like Spin Structure.

SpectrRelax – программа для обработки и анализа мессбауэровских спектров поглощения, рассеяния и конверсионных электронов для изотопов с переходами $1/2 \leftrightarrow 3/2$ [1]. В настоящее время в SpectrRelax добавлены модели для расшифровки спектров изотопов в соединениях с пространственной спин-модулированной структурой. В таких структурах спиновая плотность или направление спина периодически изменяется вдоль выделенного направления, при этом период этого изменения несоразмерен с периодом кристаллической решетки.

В число добавленных моделей входят:

- Волны спиновой и зарядовой плотностей, для которых форма волны представляется в виде суммы пространственных гармоник [2];
- Ангармоническая спиновая модуляция, описывающая пространственную спин-модулированную структуру циклоидного или геликоидного типа [3]; модель реализована также для обработки спектров ядерного магнитного резонанса;
- Спиральная спиновая структура, в которой проекции спина в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, представляются в виде суммы пространственных гармоник [4].

В работе рассматриваются вопросы использования этих моделей для модельной расшифровки мессбауэровских и ЯМР спектров в SpectrRelax на примере соединений BiFeO_3 , CuCrO_2 : ^{57}Fe и $\text{CaMn}_7\text{O}_{12}$: ^{119}Sn .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 14-02-01109а.

Литература

- [1] M.E. Matsnev, V.S. Rusakov. AIP Conference Proceedings, 2012, 1489, 178-185.
[2] J. Cieslak, S.M. Dubiel. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 95 (1995) 131-140.
[3] M.-M. Tehrani, N. F. Kubrakov, A. K. Zvezdin. // Ferroelectrics. (1997) 204 181-188.
[4] K. Tomala, J.P. Sanchez, P. Vulliet, P.C. Canfield, Z. Drzazga and A. Winiarska. // Physical Review B Volume 58, Number 13 (1998) 8534-8541.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА СИНХРОННОГО НАКОПЛЕНИЯ В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Циноев В.Г., Черепанов В.М., Сдобнов С.И.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
Cherepanov_vm@mail.ru*

MODIFYING OF SYNCHRONOUS ACCUMULATION METHOD IN NUCLEAR PHYSICS

Tsinoev V.G., Cherepanov V.M., Sdobnov S.I.

The advantages and peculiarities of the synchronous detecting method with a key mode of operation are considered. It is shown that for this method the signal/noise ratio in a $\sqrt{2}$ times larger than for a counting one, increased accuracy is achieved by fixing the signal center of gravity. In addition, this modification of synchronous detection allows one to carry out two-dimensional analysis of the signal.

В последние годы самые интригующие результаты по изучению слабого ядерного нуклон-нуклонного взаимодействия, при поиске эффектов отклонения от фундаментальных законов сохранения в ядерных взаимодействиях (нарушение P, T- и P,T-инвариантности) были обнаружены в области физики малых энергий [1]. Они были получены при измерениях степени круговой и линейной поляризации гамма-излучения, асимметрии вылета квантов из поляризованных ядер, что обеспечило рекордно низкие верхние пределы для нарушения T- и P,T-инвариантности до уровня 10^{-4} , в основном полученные методом мессбауэровской спектроскопии и поляриметрии [2]. Все эти эксперименты предполагают выделение весьма малого изменения интенсивности излучения на уровне $10^{-3} - 10^{-7}$ при реверсировании знака приложенного магнитного поля или изменения знака скорости при использовании мессбауэровской методики. Поэтому естественным представляется отказ от импульсной техники регистрации событий (которая при высоких нагрузках дает пропуски при счете) и переход к интегральной (токовой) технике детектирования, которая представляет собой результат усреднения по большому числу регистраций квантов. Статистические флуктуации интенсивности пучка приведут к случайным отклонениям сигнала от его среднего значения и создадут помеху, которая аддитивно наложится на принимаемый сигнал и будет восприниматься регистрирующим устройством как шум, ограничивающий точность измерений. При этом среднее значение или же его постоянная составляющая, очевидно, равна нулю, а его дисперсия представляет собой интенсивность шума. Для выделения полезного сигнала, пропорционального степени нарушения инвариантности, применяют различные схемы временной селекции сигнала, синхронной с периодическим изменением внешнего воздействия, и его накопления. В докладе рассмотрены преимущества и особенности усовершенствованного авторами метода синхронного детектирования со ступенчатым режимом переключения сигнала, подаваемого на операционный усилитель-интегратор. Показано, что отношение сигнал/шум в этом методе в $\sqrt{2}$ раз больше, чем при счетной регистрации событий, также увеличение точности достигается за счет фиксации центра тяжести сигнала. Кроме того, эта модификация синхронного детектирования позволяет проводить двумерный анализ сигнала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-02-00989а.

Литература

[1] В.Г. Циноев, В.М. Черепанов, Е.В. Рогов. ЯФ, 1999, 62, №9, с. 1541-1545.

[2] V.G. Tsinoev, A.V. Tsvyashchenko, A.E. Ugrovatov, and S.N. Vostrikov. Phys.Rev., 2007, C76, 045503 (6).

THE FEATURES OF NUCLEAR GAMMA-RESONANCE OBSERVATION OF ROTATING OBJECTS AND EXTENDED RELATIVISTIC THEORY

Kirichenko V.G. ¹, Kovalenko O.V. ¹, Gofman Yu. I. ²

¹*Kharkov National Karazin University, Kharkov, 61108, Ukraine.*

²*Jerusalem College of Technology, Jerusalem, Israel*

E-mail: val_kir48@mail.ru

The unique resolution of the Mossbauer effect [1] is expressed by the ratio $\Delta E / E$ ($\Gamma = \Delta E$ - line width and the energy of gamma - quanta E) and for the isotopes Fe^{57} and Zn^{67} reaches $3,1 \cdot 10^{-13}$ and $5,2 \cdot 10^{-16}$, respectively. It is noted that in experiments using the Mossbauer Effect for information on the spatial curvature it is necessary to use more accurate experiments, which should include the measurement of geometrical lengths and angles.

The aim of this study is to improve the accuracy of the determination of small energy shifts at the observation of the Mossbauer Effect in physical systems related with moving and rotating objects. As the source of the Mossbauer isotope Fe^{57} gamma - rays was used the nuclei Co^{57} in Cr matrix. The rotating body in form of a disk is the absorber of gamma rays. It takes a fixed absorber crossing the axis of the beam γ - rays emitted by the peripheral part rotor-source. As the objects of experimental study were used the foils and powders of iron enriched with isotope Fe^{57} up to 85% and austenitic steel foils.

The source and absorber, characterized by single lines of emission and absorption, and a rotor rotating at a frequency ω were used. The dependence of the resonant transmission of gamma rays on the parameter $X = n\alpha$ [10^{-3} rad/s] for the determination of small displacements was obtained, where the α - plane tilt angle of the rotor disk for different frequencies of rotation of the disk. The reached accuracy evaluation is $6 \cdot 10^{-6}$ rad/s at measurement accuracy of the resonance transmission a within the statistical error.

The values of the contributions from the quadratic Doppler Effect for Fe^{57} nuclei are small and approximately equal to 0.00005 mm/s. We note that at the measurement of small linear and angular displacements of objects the cross Doppler effect with the Mössbauer technique obstacles arise first of all due to the vibrations, the pulses, disturbance of the strict orientation of objects in space. Leadings as to get rid of these vibrations is impossible. In addition to measuring the linear velocity and displacement by nuclear gamma - resonance it is possible to carry out measurement and control of angular velocities and accelerations.

The maximum high accuracy of electromagnetic irradiation frequency measurement using Mossbauer effect allows to test of one of the consequences of general relativity - "transverse Doppler effect" [5]. As shown Doppler shift between inertial system K' and accelerated system \tilde{K} moving together is determined by the coefficient $(1 - a/A)$ due to the acceleration \tilde{K} relatively K' . Evaluation of maximum acceleration $a = (1.006 \pm 0.063) \cdot 10^{19}$ m/s², using experimental data was carried out.

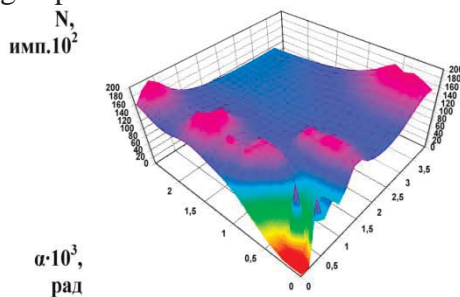


Figure. 3D-diagram which illustrate the dependence of pulse rate from disk orientation

We reached the values of minimum measurable linear velocity of about $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s and angular velocities of $6 \cdot 10^{-6}$ rad/s using the isotope Fe^{57} . It confirms the real possibilities of measurement method Doppler shift using the Mossbauer effect to determine the maximum acceleration n, c^{-1} and the prospects for development of such researchers.

ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

Силаев А.А.(мл.), Силаев А.А., Годовиков С.К.

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им.
М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

godov@srd.sinp.msu.ru

REMOTE ACCESS MOSSBAUER SPECTROMETER PRACTICE

Silaev A.A. (Jr.), Silaev A.A., Godovikov S.K.

Practice of use of the remote access mossbauer spectrometer for the science and education are presented. Internet address: <http://www.efmsb.ru>

В НИИЯФ МГУ в 2011г. в рамках государственного контракта с Минобрнауки РФ была проведена работа по созданию системы удаленного доступа к мессбауэровскому спектрометру. Цель проведенной работы – обеспечение возможности проведения научно-исследовательской и учебной работы в режиме реального времени, с реальным источником для любого пользователя на территории РФ.

Особенностью экспериментов по мессбауэровской спектроскопии является длительный набор статистики для каждого образца. Одной из целей использования удаленного доступа было также уменьшение времени на подготовку и на слежение за экспериментом. Система подачи образцов и удаленного доступа полностью меняет схему проведения эксперимента. За время эксплуатации в период с 2012-2014 г. был, например, проведен научный эксперимент с использованием 10 образцов. Все образцы были сразу загружены в установку. Удаленно были установлены параметры работы спектрометра и запущены измерения. По достижении определенной статистики, спектр измеренного образца сохранялся, после чего спектрометр автоматически подавал следующий образец и производил измерения с ним. Таким образом, без непосредственного участия экспериментатора на рабочем месте установка автоматически проделала всю измерительную работу со всеми образцами. В задачи исследователя входила только первоначальная загрузка образцов, задание последовательности измерения образцов и критериев окончания измерений каждого образца. Критерием может быть время измерения, число событий, или достижение необходимых статистических параметров спектра, которые обсчитываются в реальном времени. Была опробована система уведомления об окончании работы с помощью отправки письма спектрометром на электронную почту вместе со всеми полученными результатами.

В учебной работе установкой пользуется большое количество студентов. В случае обычного практикума студент занимает спектрометр в соответствии с учебным расписанием. В остальное время установка простаивает. Кроме того, в случае обычного спектрометра, без системы подачи образцов, в учебном процессе постоянно задействуется лаборант, который меняет образцы. На мессбауэровском спектрометре удаленного доступа студенты самостоятельно выбирают образцы и выполняют измерения в любое время суток и вне пределов учебного института, если установка свободна или по расписанию. На выполнение работы студенту выделяется 3 часа.

Все данные и параметры настроек сохраняются и передаются в формате XML. Эти файлы могут также быть отредактированы как в программе клиенте, так и в простом текстовом редакторе. Данные импортируются в текстовый формат и в некоторые популярные форматы. Опыт работы показал, что удаленный пользователь для комфортной работы должен иметь Internet со скоростью не менее 500 кБит/с.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНОГО АУДИОИНТЕРФЕЙСА ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

Дулов Е.Н., Ивойлов Н.Г., Хрипунов Д.М., Бикчантаев М.М.
Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия
E-mail: fe57@rambler.ru, 57fe@rambler.ru

DATA ACQUISITION UNIT FOR MOSSBAUER SPECTROSCOPY BASED ON
STANDARD AUDIO INTERFACE OF A PERSONAL COMPUTER
Dulov E.N., Ivoilov N.G., Khripunov D.M., Bikchantaev M.M.

Data acquisition technique and related software for counting rate below 2000 cps are presented. The technique has some advantages in comparison with traditional data collection way. They can be used for educational purposes as well as for scientific experiments with limited counting rates. Some practical applications are demonstrated in this work.

Идея использования стандартного аудиоинтерфейса персонального компьютера (ПК) в любительской гамма-спектрометрии в настоящее время успешно реализована и используется последние несколько лет [1]. Предварительно адаптированный под полосу пропускания аудиовхода сигнал с детектора ионизирующего излучения, как правило, сцинтилляционного, анализируется ПК, выступающего в роли программного многоканального анализатора.

В настоящей работе демонстрируется простое в аппаратной части программно-аппаратное решение, позволяющее построить узел сбора данных мессбауэровского спектрометра на базе аудиоинтерфейса ПК. Предлагаемое решение может быть использовано либо в качестве дополнения к существующим мессбауэровским спектрометрам, либо как основа для учебных или специализированных спектрометров.

Среди преимуществ предлагаемого способа можно выделить:

- Возможность одновременной регистрации множества мессбауэровских спектров, соответствующих большому числу дискретных амплитуд импульсов с детектора. Это существенно облегчает селективные по глубине исследования на электронах конверсии, а также даёт возможность исключить процедуру точной настройки порогов дискриминатора перед началом измерений;
- Легко модифицируемый программный узел многоканального анализатора, способный выступить в качестве полигона для отработки различных алгоритмов цифровой обработки импульсов (Digital Pulse Processing, DPP);
- Удачное сочетание спектра сигнала от газоразрядных детекторов и полосы пропускания, не требующее, как правило, дополнительной обработки сигнала перед подачей на аудиовход.

Среди недостатков:

- Ограниченная предельная скорость счёта (около 2000 имп/сек), что делает предложенный способ малоприменимым для стандартной мессбауэровской спектроскопии поглощения в исследовательских задачах;
- Необходимость предварительной аналоговой обработки сигнала со сцинтилляционных детекторов.

Литература:

1. Marek Dolleiser. Pulse Recorder and Analyser – PRA [Электронный ресурс] // URL: <http://www.physics.usyd.edu.au/~marek/pr/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДРОБНЫХ МОМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ

Храмов А.С., Вагизов Ф.Г., Фатхуллин Б.Ф.
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
askhramov@mail.ru

APPLICATION OF THE FRACTIONAL MOMENTS FOR THE QUALITY EVALUATION OF MOSSBAUER SPECTROMETERS

Khramov A.S., Vagizov F.G., Fatkhullin B.F.

A method of the fractional moments for the quality evaluation of Mossbauer spectrometers is suggested. The results of the fractional moments analysis of Mossbauer data obtained with WissEl spectrometer is presented.

В разных областях науки находит применение метод дробных моментов, основы которого изложены в работах [1,2]. В данном докладе рассмотрено приложение этой теории к оценке «качества» мессбауэровских спектрометров на базе экспериментальных данных, полученных на данном приборе.

Для оценки корреляции между спектрами использовалась обобщенная функция корреляции Пирсона (ОФКП):

$$F_p = \frac{|G_p(1,2)|}{\sqrt{G_p(1,1)}\sqrt{G_p(2,2)}} \\ G_p(k,l) = \left(\frac{1}{N} \sum_i (y_{ki} - \bar{y}_k)^p (y_{li} - \bar{y}_l)^p \right)^{1/p}$$

где y_{ki} , y_{li} y_{ki} - элементы сравниваемых массивов, \bar{y}_k , \bar{y}_l - соответствующие математические ожидания, p - порядок момента, $0 < p < \infty$. ОФКП дает непрерывное распределение значений, зависящее от порядка момента. Для количественной характеристики корреляции массивов использовался минимум функции F_p .

Анализ «качества» проводился для спектрометра фирмы «WissEl». Были получены 20 калибровочных спектров стандартного образца металлического железа (α -Fe). Используя метод дробных моментов, определялась взаимная корреляция между мессбауэровскими спектрами и строились распределения по значению минимума функции F_p .

Анализ построенных распределений показал:

- 1) ОФКП является более чувствительным параметром по сравнению с классическим коэффициентом корреляции;
- 2) Полученные распределения позволяют дать количественную оценку «качества» спектрометра;
- 3) Форма распределения позволяет предположить характер погрешностей, дающих основной вклад в ошибку измерений;
- 4) Использование обобщенного коэффициента корреляции позволяет определить значение критерия сходимости спектров, полученных на данном спектрометре.

Таким образом, использование метода дробных моментов дает дополнительные возможности оценки результатов при обработке мессбауэровских спектров.

- 1) R.R. Nigmatullin. Signal Processing, 2006, 86, 2529-2537.
- 2) R.R. Nigmatullin. Commun. Nonlinear. Sci. Numer. Simulat., 2010, 15, 637-648.

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ МЁССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА

Зехцер М.Ю., Ревякин А.С., Сарычев Д.А.

НИИ физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия
mzekhtser@gmail.com

THERMOSTABILIZATION OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF MOSSBAUER SPECTROMETER DOPPLER MODULATION Zekhtser M.Yu., Revyakin A.S., Sarychev D.A.

The paper presents the method developed to stabilize the velocity of an electrodynamic Doppler modulator for application in an adaptive control system. It is shown that the new adaptive control system with thermostabilization can improve the accuracy of Mossbauer measurements.

В работе описывается способ температурной стабилизации скорости движения подвижной части электродинамического доплеровского модулятора мёссбауэровского спектрометра, реализуемый в самонастраивающейся системе управления модулятором. На основе уравнения движения его подвижной части разработана адаптивная система управления модулятором, не требующая ручной настройки при изменении условий эксперимента. Для формирования нужного сигнала скорости используется рассчитанная по этому уравнению сила тока, приложенная к задающей катушке модулятора. Коэффициентами уравнения движения служат такие параметры колебательной системы как квадрат циклической собственной частоты колебаний и коэффициент затухания. Они определяются спектрометром автоматически из экспресс-анализа свободных затухающих колебаний, выполняемого перед запуском модулятора. На основе полученных коэффициентов рассчитываются цифровые шаблоны силы и идеальной скорости.

Работа с этими шаблонами позволяет реализовать схему температурной стабилизации движения со встроенным в корпус модулятора термометром, непрерывно измеряющим его температуру. Изначально, при наладке мёссбауэровского спектрометра, измеряются и запоминаются температурные коэффициенты изменения шаблонов (для каждого шаблона свой коэффициент). Управляющий модулятором микроконтроллер, основываясь на запомненных температурных коэффициентах, в реальном времени пересчитывает шаблоны силы и скорости, масштабируя их так, что изменение температуры перестаёт влиять на движение модулятора.

При работающей термостабилизации самонастраивающаяся система управления доплеровской модуляцией в составе спектрометра MS1104EM [1] позволяет получить следующие характеристики движения:

- нелинейность скорости модулятора не превышает 0,02% от её амплитуды;
- ошибка задания диапазона скорости модулятора не более 0,03%;
- температурный дрейф нуля скорости не превышает точности его измерения;
- температурный дрейф цены канала не превышает 0,003%/°C.

(у оригинального спектрометра MS1104EM без термостабилизации 0,068%/°C).

Литература:

1. *Китаев В.В., Rogozev Б.И., Сарычев Д.А., Христич С.В.* Экспрессный мёссбауэровский спектрометр MS1104EM // в кн.: Мёссбауэровская спектроскопия и её применения. Под ред. В.Г. Семёнова. – СПб: НИИ химии СПбГУ. 2002. С. 211.

ДЕМОНСТРАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММЫ SpectrRelax ПРИ ОБРАБОТКЕ И АНАЛИЗЕ МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ

Русаков В.С., Мацнев М.Е.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<http://haali.su/SpectrRelax/>; <http://vsrusakov.professorjournal.ru/SpectrRelax/>

rusakov@phys.msu.ru, mike@haali.su

DEMONSTRATION OF SpectrRelax APPLICATION FUNCTIONALITY FOR THE PROCESSING AND ANALYSIS OF MOSSBAUER SPECTRA

Rusakov V.S., Matsnev M.E.

SpectrRelax is an application for analysis and fitting of absorption, emission and conversion electron Mossbauer spectra in the case of isotopes with $1/2 \leftrightarrow 3/2$ transitions under static and relaxation models, as well as for recovery of the distributions of the parameters of these models and improving the resolution in the spectrum. The report describes and demonstrates the functionality of the program SpectrRelax for the processing and analysis of the Mossbauer spectra of various classes of complex systems: phases of variable composition, implant systems, relaxation systems, compounds with spatial spin-modulated structure. Широкое применение Мессбауэровской спектроскопии для исследования сложных систем требует комплексного использования различных методов анализа и обработки экспериментальных спектров. Программа SpectrRelax создана для расшифровки спектров поглощения, рассеяния и конверсионных электронов в случае изотопов с переходами $1/2 \leftrightarrow 3/2$ в рамках статических и релаксационных моделей, а также для восстановления распределений параметров этих моделей и повышения разрешения в спектре.

Некоторые из отличительных особенностей программы. 1. Комплексное (последовательное или одновременное) применение различных методов обработки и анализа. 2. Многообразие статических и релаксационных моделей. 3. Вычисление и оценка ошибок произвольных аналитических выражений параметров моделей с использованием мировых констант, характеристик мессбауэровских изотопов, арифметических операций и элементарных функций. 4. Возможность фиксации и ограничения значений произвольных параметров моделей, наложение связей между параметрами и пользовательскими аналитическими выражениями. 5. Возможность введения варьируемых параметров для создания новых моделей и сложных связей между параметрами различных моделей, наложения ограничения областей их взаимного изменения. 6. Вычисление частных производных методом автоматического дифференцирования с использованием «двойных чисел». 7. Вычисление матрицы линейных коэффициентов корреляции, а также ортонормированного базиса и сингулярных значений из процедуры разложения по сингулярным значениям для решения систем линейных уравнений. 8. Ограничений на число экспериментальных точек, число задаваемых моделей и число аналитических выражений нет; число одновременно варьируемых параметров ограничивается лишь числом точек в экспериментальном спектре. 9. Использование режима многопроцессорных вычислений. 10. Современный интерфейс пользователя в операционных системах Microsoft Windows.

В докладе излагаются и демонстрируются основные функциональные возможности программы SpectrRelax при обработке и анализе мессбауэровских спектров разнообразных классов сложных систем: фаз переменного состава, имплантационных систем, релаксационных систем, соединений с пространственной спин-модулированной структурой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

MÖSSBAUER STUDY OF MAGNETIC ORDERING IN $\text{Ba}(\text{Fe,Nb})\text{O}_3$ AND $\text{Pb}(\text{Fe,Nb})\text{O}_3$ MULTIFERROICS

T. Kmječ¹, J. Kohout¹, K. Závěta¹, D. Kubániová¹, P. Bezdička⁴, V. V. Laguta²,
I. P. Raevski³
kmjec@mbox.troja.mff.cuni.cz

¹ Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, V Holešovičkách 2, Prague 8, CZ 180 00

² Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i., Cukrovarnická 10, Prague 6, CZ 162 53

³ Department of Physics and Research Institute of Physics, Southern Federal University, 344090 Rostov on Don, Russia

⁴ Institute of Inorganic Chemistry AS CR, v. v. i., Husinec-Řež 1001, CZ 250 68

The multiferroic materials $\text{Ba}(\text{Fe,Nb})\text{O}_3$ (BFN) and $\text{Pb}(\text{Fe,Nb})\text{O}_3$ (PFN) were prepared by ceramical method with final sintering for 2 hours at 1350 and 1065 °C, respectively. The phase composition, crystal structure and lattice constant of the samples were characterized by XRD and the chemical composition and its homogeneity were confirmed by ED XRF spectrometry. The crystal structure of BFN at room temperature was found to be cubic with the space group $Pm\bar{3}m$ and $a=4.06(3)$ in agreement with [1]. The main phase ($\text{Pb}(\text{Fe,Nb})\text{O}_3$ 97.3%) in the PFN sample was monoclinic with $a=b=5.67$ and $c=4.02$ Å and $\beta=89.83^\circ$ and the impurity phase (LiFeO_2 2.7%) was cubic with $a=4.16$ Å at RT.

Our Mössbauer spectrometer worked in the transmission-mode with ^{57}Co source in rhodium matrix moving with constant acceleration and was calibrated by $\alpha\text{-Fe}$ foil at room temperature with respect to which the Isomer Shift was given. The Mössbauer spectra of the ^{57}Fe isotope in our multiferroic materials were acquired in the temperature range 4.2 through 300 K with the aim to receive information about the temperature dependence of the magnetic state, in particular to estimate the value of the magnetic transition temperature between the ordered and paramagnetic states. The measurements were complemented by in-field spectra taken in external fields up to 6 T at the temperature of 4.2 K in order to specify in more detail the character of the magnetic order.

References

[1] S. Eitssayeam et al. / Current Applied Physics 9 (2009) 993–996

Acknowledgements

The support of the Grant Agency of the Czech Republic under project No. 13-11473S and of the Grant Agency of the Charles University, project 8313/2013, is gratefully acknowledged.

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В АНАЛИЗЕ АМОΡФНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Балдохин Ю.В.¹, Вавилова В.В.², Заболотный В.Т.², Канныкин С.В.³, Корнеев В.П.²

¹Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия

²ИМЕТ РАН им. Байкова, Москва, Россия

³Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

svkannykin@gmail.com

MÖSSBAUER SPECTROSCOPY ANALYSIS OF AMORPHOUS IRON-BASED ALLOYS Baldokhin Y.V., Vavilova V.V., Zabolotny V.T., Kannykin S.V., Korneev V.P

The crystallization and formation of clusters and nanocrystals in amorphous Fe–P–M (M: V, Mn, Si, C) alloys during annealing, photon treatment and corrosion in 0,1 M Na₂SO₄, which is an analog wet industrial atmosphere contaminated SO₂ is studied by Mossbauer spectroscopy, x-ray diffraction and TEM. The results permit the choice of optimal compositions with soft magnetic properties, hardness and corrosion resistance.

Методами мёссбауэровской спектроскопии, рентгеновской дифракции и просвечивающей электронной микроскопии исследованы структурные превращения в быстрозакаленных сплавах систем Fe-P-M (M: V, Mn, Si, C) при отжиге, фотонной обработке (ФО) и коррозии в 0,1 М Na₂SO₄, являющейся аналогом влажной промышленной атмосферы, загрязненной SO₂.

Для приготовления аморфных сплавов (АС) использовали природнолегированный (V, Mn, Si, C) феррофосфор, что существенно снижает их стоимость, по сравнению со сплавами типа Finemet. Мёссбауэровские спектры снимали на спектрометре с постоянным ускорением в режиме «двухсторонней пилы» для исключения фона от геометрии эксперимента при движении источника ⁵⁷Co(Rh), активностью 15 мКи. Обсчет спектров проводили в программах Univem MS и Normos Dist (распределение сверхтонких полей), при этом учитывали параметры секстетов α-твердых растворов и трех секстетов фазы Fe₃P (т.е. было определено процентное содержание вновь полученных наноструктур, их превращения при отжиге и фотонной обработке, до и после коррозии в 0,1 М Na₂SO₄ во всем диапазоне H_{эф} от 0 до 330 кЭ).

Исходные аморфные матрицы имели H_{эф}=240-260 кЭ, как в большинстве аморфных магнитомягких сплавов. При отжиге и фотонной обработке АС появляются кластеры (H_{эф}=50 кЭ), наночастицы различного состава (H_{эф}=90-170 кЭ) и новая, обедненная железом аморфная фаза на основе Fe₃P. Выбраны режимы отжига и ФО АС на основе Fe-P и оптимальный состав сплавов в трехкомпонентной системе Fe-P-M, которыми можно заменить дорогостоящие аморфные сплавы типа Finemet, и получить нанокристаллические сплавы с размером частиц порядка 2 нм, с улучшенными характеристиками магнитных свойств, прочности и коррозионной стойкости.

Работа поддержана грантом РФФИ №13-03-97523-р_центр_a

Авторский указатель

- Adriana Lancok, 70
Afanasov M.I, 99, 100
Afanasyev S.V, 88
Aksenov S.N, 23
Aldoshin S.M, 106, 111
Alenkina I.V, 91, 96, 97
Anshits A.G, 103
Anshits O.V, 103
Artemov V.V, 67
Avvakumov E. G, 46
Babanin V.F, 114,
Baldi G., 22
Baldokhin Yu.V, 33, 140
Bayukov O.A, 103, 108
Bedin S.A, 67
Belik A.A, 26, 101
Belikov V.V. 30
Bessas D., 22
Bezdička P, 139
Bezmaternykh L. N, 43
Bikchantaev M.M, 134
Bíró B, 92
Bokov A.V, 77
Borduzin I.G, 50
Bortnikov N.S, 118
Brodsky A.R, 104, 109
Bukreeva T.V, 61
Burkhanov G.S, 75
Burnazyan M.A, 33
Byakov V.M, 105
Carini G., 22
Carini Jr. G., 22
Cherepanov V.M, 54, 93, 94, 124, 131
Chernyavskii I.O, 31
Chervonova U.V, 110
Chistyakova N.I, 63, 95
Chuev M.A, 48, 54, 55, 93, 94
Chukin A.V, 117
Chulkina A.A, 78
Chumakov A.I, 22, 120
Crichton W.A., 22
D'Angelo G, 22
Davydova Yu.A, 23
Delmas C, 99
Deyev S.M, 94
Dobysheva L.V, 32
Domracheva N.E, 110
Dorofeev G.A, 83
Dove M.T, 22
Dulov E.N, 134
Duryagina E.V, 102
Elsukov(Yelsukov) E.P, 69
Eryomina M.A, 87
Fabritchnyi P.B, 99, 100
Faizrakhmanov I.A, 65
Fatkhullin B.F, 135
Felser C, 41
Filimonov D.S, 53
Filippenko L.V, 125
Filippov V.P, 76, 77
Fontana A. 22
Frolov K.V, 30, 42, 67
Funtov K.O, 60, 61
Gabbasov R.R, 54, 93, 94
Ganeev V.R, 58, 62
Gapochka A.M, 25, 39, 101
Gavriliuk A.G, 23
Gavrilkin S.Yu, 30
Gendler T.S, 118
Gilioli E, 22
Gippius A.A, 23
Glazkova Ia.S, 26, 101
Godovikov S.K, 27, 34, 35, 75, 133
Gofman Yu. I, 132
Goganov A.D, 126
Goganov D.A, 126
Goloborodskii B.Yu, 59
Gorchakov D.E, 101
Goryunov M.V, 117
Goydenko A.A, 127
Grebennikov I.S, 52
Grigoryeva T.F, 86
Grokhovsky V.I, 113, 117
Gruselle M, 106

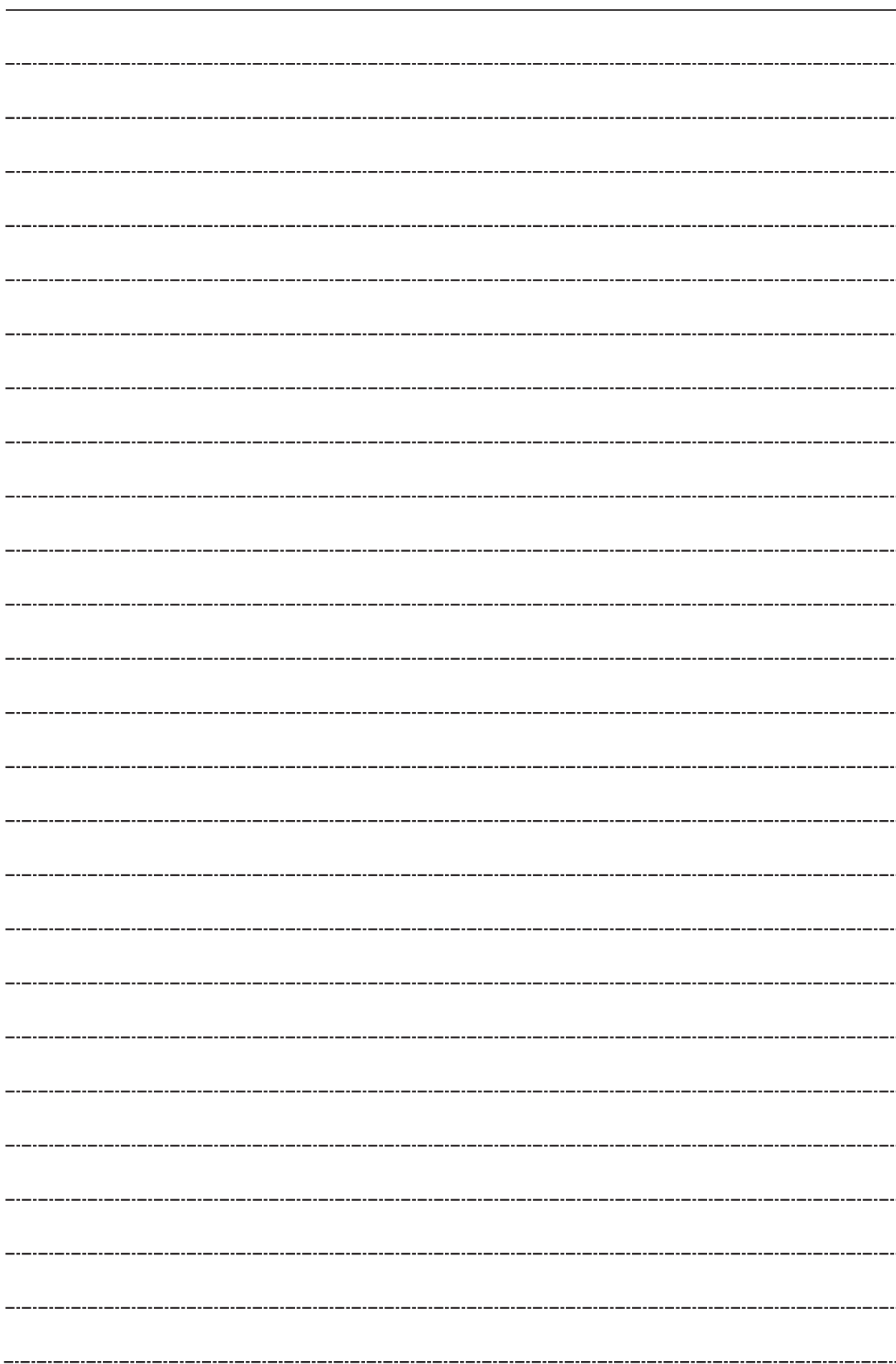
Gruzdev M.S, 110
 Gubaidulina T.V, 40, 63, 101
 Gusev A.A, 46
 Hasegawa T, 58
 Hermann R.P., 22
 Homonnay Z, 90, 92, 113
 Irkaev S.M, 126, 127
 Ishio S, 58
 Isupov V.P, 46
 Ivanov A.V, 114
 Ivanov P.A, 114
 Ivanova A.G, 110, 115
 Ivanova N. B, 43
 Ivoilov N.G, 134
 Jiangwei Cao, 62
 Jianmin Bai, 62
 Kamnev A.A, 90, 92
 Kamzin A.S, 58, 62
 Kannykin S.V. 140
 Kazak N.V, 43
 Kazakov A.P, 63
 Kazakov S.M. 30
 Keding R, 22
 Khlybov E.P, 42
 Khramov A.S, 135
 Khripunov D.M, 134
 Kim O.K, 109
 Kirichenko V.G, 66, 128, 132
 Kiseleva T.Yu, 39, 57, 63, 86, 95
 Kleinerman N.M, 29
 Klencsár Z, 91, 113
 Kmječ T, 139
 Knyazev Yu. V, 43
 Kocharovskaya O.A, 122
 Kohout J, 139
 Kolchugina N.B, 75
 Kolodkin D.A, 79
 Komarov A.E, 39
 Konstantinova T.S, 96
 Korneev V.P. 140
 Korolenko M.V, 100
 Korolyov A.V, 85
 Korotkov N.Yu, 30, 42, 43, 61
 Korotkov V.V, 67
 Korovushkin V.V, 50, 52, 84
 Korshunov L.G, 80, 88
 Koshelets V.P, 125
 Koshkid'ko Yu.S, 75
 Kotikov D.A, 53
 Kovács K, 90, 92
 Kovalenko O.V, 66, 128, 132
 Kovaleva S.A, 86
 Kozin M.G, 125
 Kozlov K.A, 73, 81, 83
 Krisch M., 22
 Krivenkov M.S, 118
 Ksenofontov V, 41
 Kubániová D, 139
 Kubrin S.P, 46
 Kulikov L.A, 33, 90, 102, 105, 107
 Kulova T.L, 74
 Kumar A, 97
 Kundu S, 97
 Kuzmann E, 90, 91, 92, 113
 Labrugère C, 99, 100
 Lagutina E.S, 34
 Laguta V.V., 139
 Lázár K, 92
 Lebedev N.O, 59
 Lekina Yu.O, 25, 101
 Letsko A.N, 86
 Li Y, 106
 Lin C.-R, 60, 61
 Litvinov A.V, 73, 80, 82, 83, 88
 Lomayeva S.F, 87
 Lomov A, 54, 118
 Lomov A.A, 54
 Ľubomír Sklenka, 70
 Lukin A.A, 75
 Lyadov N.M, 65
 Lyashkov K.A, 73, 83
 Lyubutin I.S, 23, 30, 41, 42, 43, 60, 61, 67
 Machala L, 92
 Maiorov M.I, 86
 Makarova A.O, 24, 38, 39
 Maksimova A.A, 113
 Manakova I.A, 71
 Manapov R.A, 110, 115
 Marcel Miglierini, 70
 Maslennikova A.E, 85
 Matsnev M.E, 25, 39, 40, 63, 101, 130,
 137
 Medvedyev S, 41
 Melikhov I.V, 107
 Mezhuev E, 99
 Mikhaleva N.V, 114
 Milan Štefánik, 70
 Milman V, 22
 Milyaev M.A, 59
 Mironovich A.A, 23

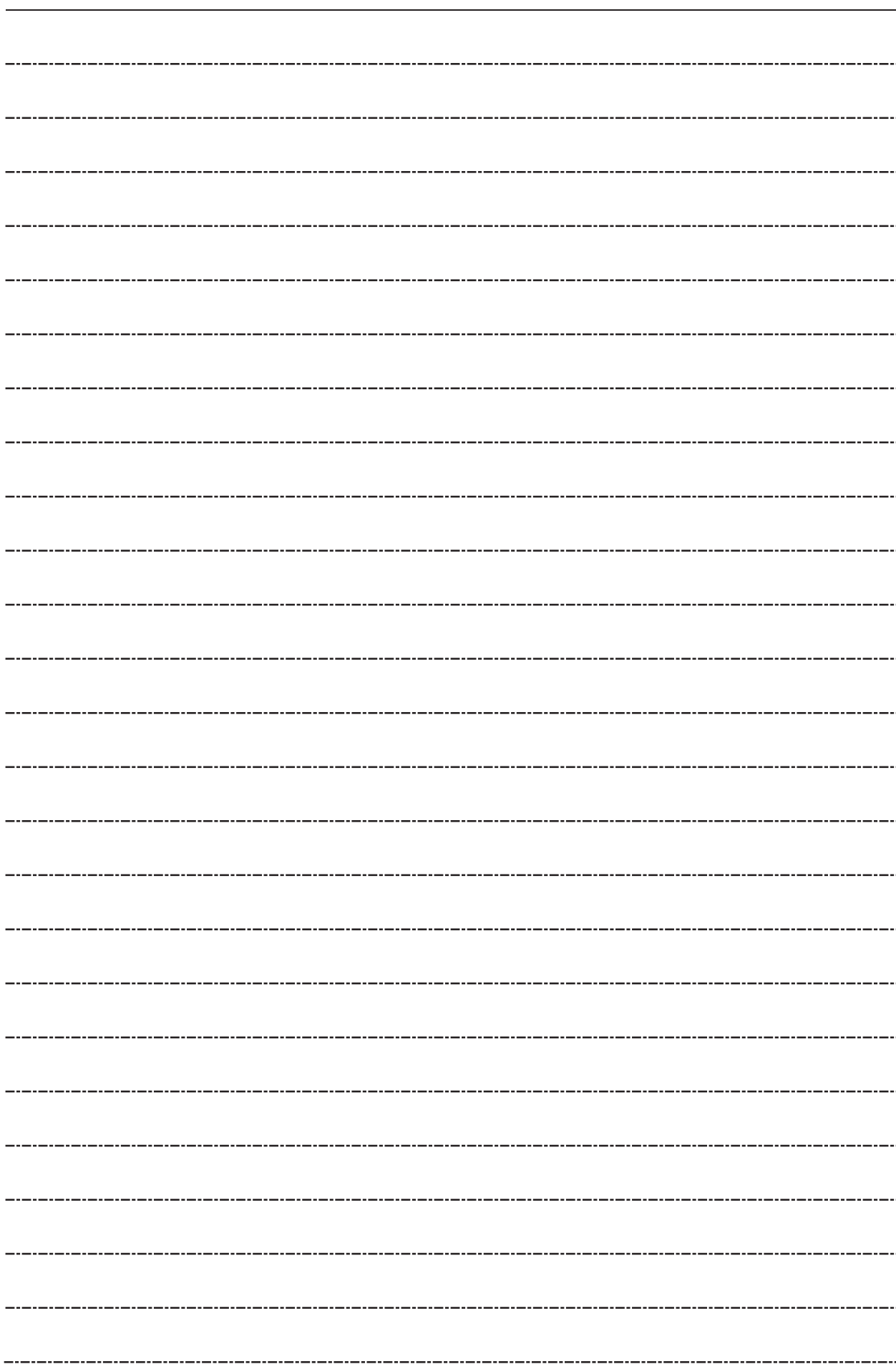
Miroslov Mashlan, 49
 Mischenko I.N, 55
 Morozov I.V, 31
 Morozov V.V, 116
 Muradova A.G, 52
 Mushenok F.B, 106, 111
 Mushnikov N.V, 29
 Naumov P.G, 23, 30, 41
 Nemtsova O.M, 129
 Nikitin M.P, 93, 94
 Nikitin S.M, 34, 35
 Nikitina Z.K, 106
 Nikolaev V.I, 64
 Novakova A.A, 57, 118
 Nurmekhamitov R.N, 65, 122
 Oshtrakh M.I, 91, 96, 97, 113, 117
 Ovanesyan N.S, 106, 111
 Ovchinnikov S.G, 43
 Ovchinnikov V.V, 59
 Ozernoy A.N, 71
 Pall A.F, 107
 Panchenko V.Y, 54, 93, 94
 Panchuk V.V, 126, 127
 Panin Y.N, 124
 Pankov V.V, 53
 Pankratov D.A, 31
 Pecherkina N.L, 81
 Pechousek J, 92
 Peretyatko P.I, 107
 Perfiliev Yu.D, 33, 90, 102, 105, 107
 Perunov I.V, 30
 Pervakov K.S, 42
 Petr Svora, 70
 Petrova E.G, 53
 Petrova E.V, 113
 Platunov M. S, 43
 Pletnev O.N, 103
 Pokatilov V.S, 24, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 56
 Pokatilov V.V, 24, 36, 37, 38
 Pokholok K.V, 53
 Polikarpov D.M, 93
 Polikarpov M.A, 54, 94
 Popov E.V, 102
 Popov V.V, 51
 Porsev V.E, 79
 Presniakov I.A, 25, 26, 31, 101
 Prosvirnin D.V, 34
 Protasov A.V, 78
 Pudalov V.M, 30, 42
 Pustov Yu. A, 33
 Pyataev A.V, 110, 115
 Rabchevskii E.V, 103
 Raevski I.P, 44, 45, 46, 139
 Refson K, 22
 Revyakin A.S, 136
 Romashev L.N, 59
 Romashkina I.L, 125
 Ruffer R., 22
 Rusakov V.S, 24, 25, 28, 29, 36, 39, 40, 63, 71, 74, 95, 101, 130, 137
 Ryzhkov A.V, 124
 Sadakov A.V, 42
 Sadykov E.K, 123
 Sagaradze V.V, 81
 Salikhov S.V, 52
 Sanina N.A, 111
 Sarychev D.A, 44, 45, 46, 136
 Savchenko A.G, 50, 52
 Sdobnov S.I, 131
 Sed'mov N.A, 116
 Sedykh V.D, 28
 Semenov V.G, 126, 127
 Semionkin V.A, 91, 96, 97, 113, 117
 Serikov V.V, 29
 Shabashov V.A, 72, 73, 80, 81, 82, 83, 88
 Shakhmurov R.N, 122
 Shapkin A.A, 63, 95
 Shatohin M.S, 39
 Shchetinin I.V, 50, 52
 Shilov G.V, 106, 111
 Shipilin A.M, 64
 Shipko M.N, 84
 Sigov A.S, 24, 36, 37, 38, 39, 40
 Silaev A.A, 133
 Silaev A.A. (Jr.), 133
 Sirazhdinov R.R, 63
 Sitenkov N.V, 86
 Skundin A.M, 74
 Smirnova-Pinchukova I.O, 125
 Sobolev A.V, 25, 26, 31, 101
 Starchikov S.S, 23, 60, 61
 Stashenko V.V, 44, 45
 Stepanov S.V, 105
 Stepovich M.A, 84
 Stichleutner S, 92
 Sulyanov S.N, 67
 Tagirov L.R, 58
 Talako T.L, 86
 Terzi M.E, 64

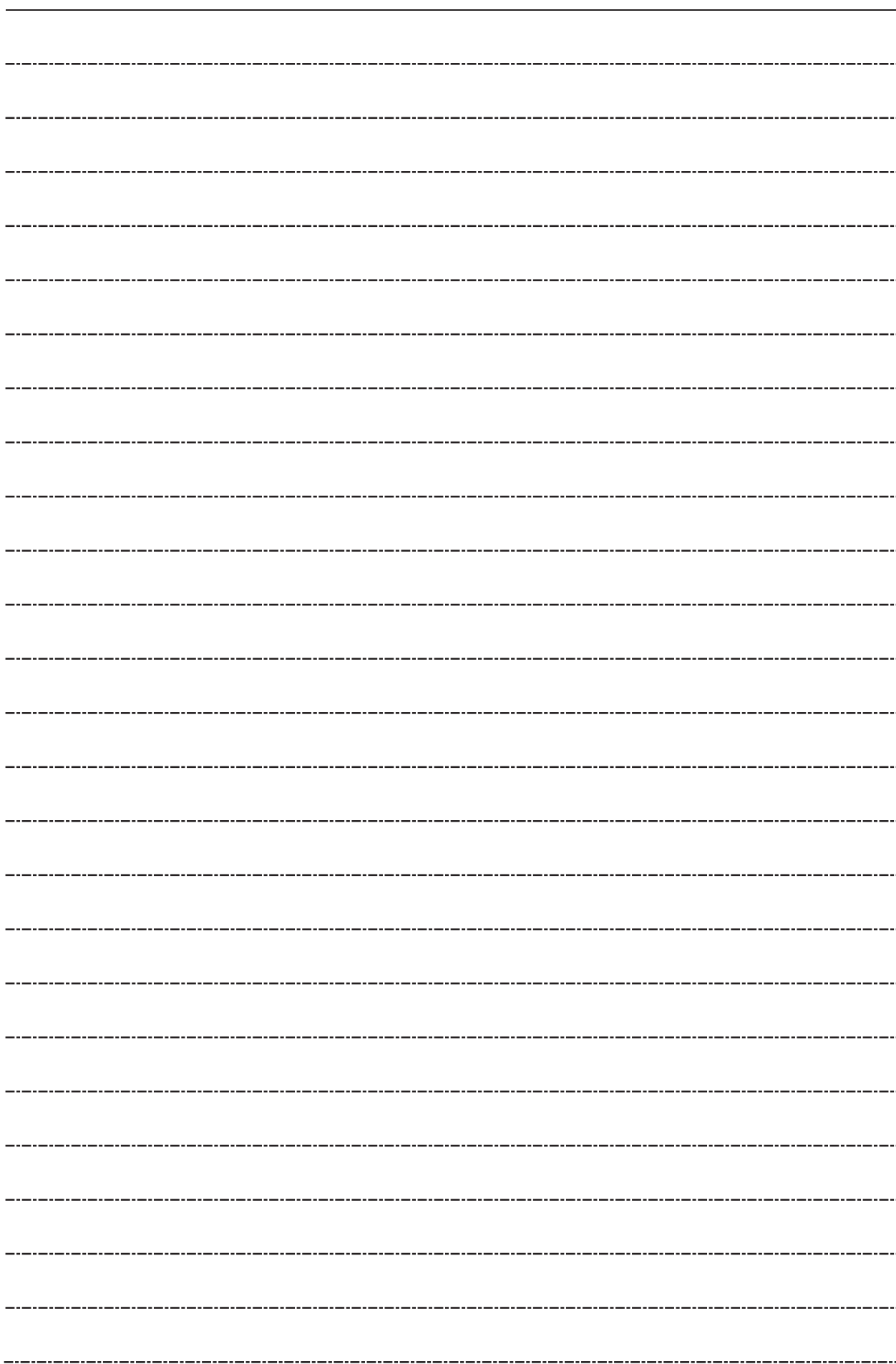
Tkachev A.V, 23
 Tomas Kmjec, 70
 Train C, 106
 Tripodo G, 22
 Trojan I.A, 23
 Tseng Yaw-Teng, 60
 Tsinoev V.G, 124, 131
 Tugarova A.V, 90, 92
 Ulyanov A.I, 78
 Ulyanov A.L, 78, 79, 87
 Ustinov V.V, 59
 Vagizov F.G, 65, 122, 135
 Valiulina S.I, 115
 Valiullin A.A, 58, 62
 Vasyakov D.N. 30
 Vavilova V.V. 140
 Vereshchak M.F, 71
 Vershinin A.V, 29
 Vinogradov A.V, 96
 Volkova L.D, 109
 Vorob`eva I.V, 126
 Voronina E.V, 85
 Wang A.Y, 54
 Wattiaux A, 99
 Wehinger B., 22
 Winkler B, 22
 Yaroslavtsev A.B, 74
 Yaroslavtsev S.A, 74
 Yaskevich V.I, 109
 Yelsukov E.P, 69, 78, 79, 85, 87
 Yue Y.Z, 22
 Yurichuk A.A, 123
 Yurtov E.V, 52
 Zabolotny V. T. 140
 Zagorskii D.L, 67
 Zakarina N.A, 109
 Zakharova A.P, 97
 Zakharova I.N, 64
 Zalutskii A.A, 116
 Zamatovsky A.E, 73, 80
 Zanatta M, 22
 Zariyova L.D, 58, 62
 Zavarzina D.G, 95
 Závěta K. 139
 Zboril R, 92
 Zekhtser M.Yu, 136
 Zhilina T.N, 95
 Zobnin, V.A, 102
 Авакумов Е.Г, 46
 Алдошин С.М, 106, 111
 Артемов В.В, 67
 Афанасов М.И, 99, 100
 Афанасьев С.В, 88
 Бабанин В.Ф, 114
 Балдохин Ю.В., 140
 Баюков О.А, 108
 Бедин С.А, 67
 Безматерных Л.Н, 43
 Белик А.А, 26, 101
 Беликов В.В, 30
 Бикчантаев М.М, 134
 Боков А.В, 77
 Бордюжин И.Г, 50
 Бортников Н.С, 118
 Босак А. 22
 Бродский А.Р, 104, 109
 Бурханов Г.С, 75
 Бухтиярова Г.А, 108
 Бяков В.М, 105
 Вавилова В.В. 140
 Вагизов Ф.Г, 65, 122, 135
 Валиулина С.И, 115
 Ванг А.Ю, 54
 Васюков Д.М, 30
 Ваттио А, 99
 Верещак М.Ф, 71
 Волкова Л.Д, 109
 Воробьева И.В, 126
 Воронина Е.В, 85
 Габбасов Р.Р, 54, 93, 94
 Гаврилкин С.Ю, 30
 Гапочка А.М, 25, 39, 101
 Гендлер Т.С, 118
 Глазкова Я.С, 26, 101
 Гоганов А.Д, 126
 Гоганов Д.А, 126
 Годовиков С.К, 27, 34, 35, 75, 133
 Гойденко А.А, 127
 Голобородский Б.Ю, 59
 Горчаков Д.Е, 101
 Гребенников И.С, 52
 Григорьева Т.Ф, 86
 Груздев М.С, 110
 Грюзель М, 106
 Губайдулина Т.В, 40, 63, 101
 Гусев А.А. 46

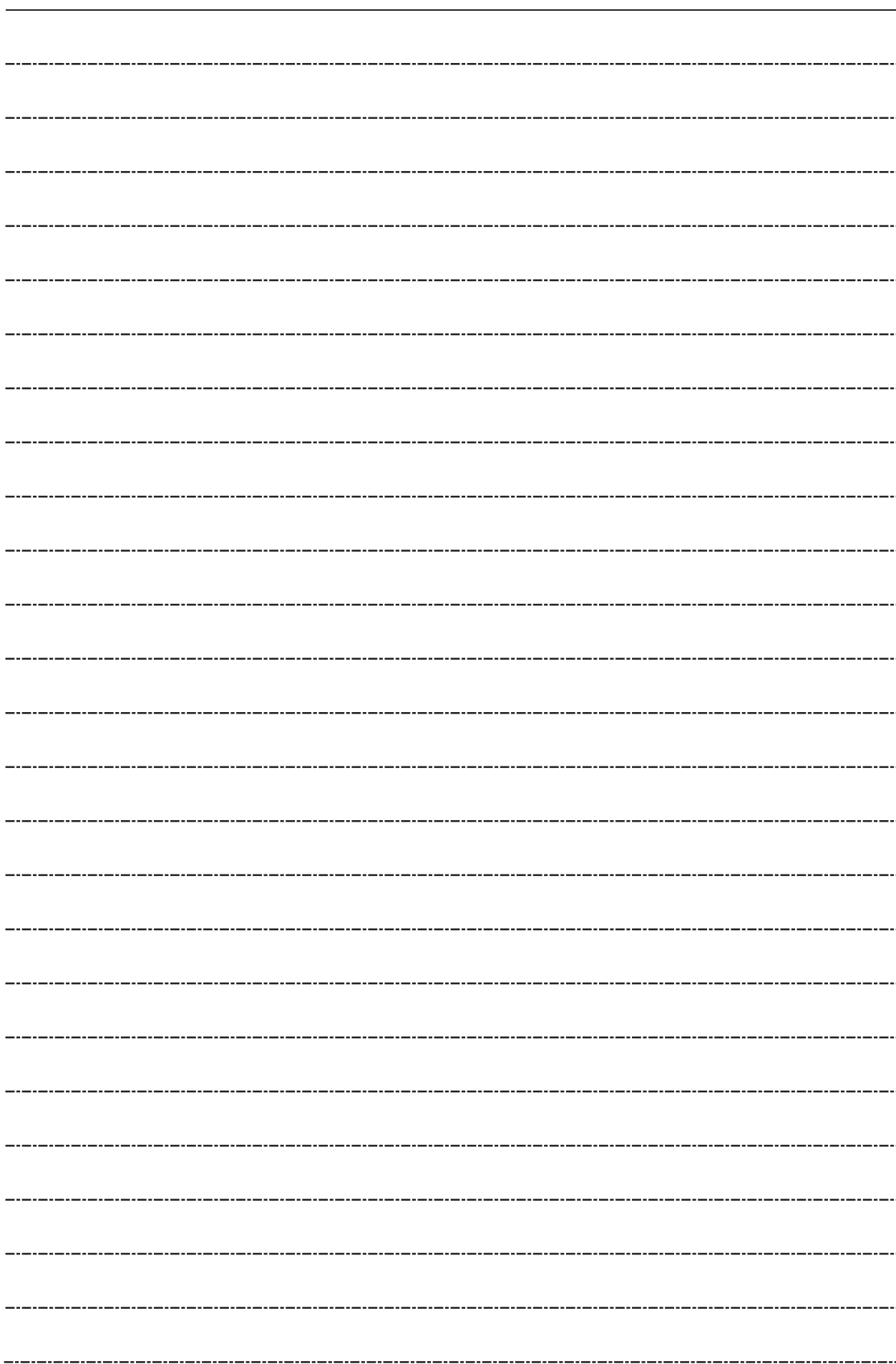
Деев С.М, 94
Дельмас К, 99
Домрачева Н.Е, 110
Дорофеев Г.А, 83
Дубровинская Н, 22
Дубровинский Л, 22
Дулов Е.Н, 134
Дурягина Е.В, 102
Елсуков Е.П, 69, 78, 79, 85, 87
Ерёмина М.А, 87
Жилина Т.Н, 95
Заболотный В.Т. 140
Заварзина Д.Г, 95
Загорский Д.Л, 67
Закарина Н.А, 109
Залуцкий А.А, 116
Заматовский А.Е, 73, 80
Захарова И.Н, 64
Зехцер М.Ю, 136
Зобнин В.А, 102
Иванов А.В, 114
Иванов П.А, 114
Иванова А.Г, 110, 115
Иванова Н.Б, 43
Ивойлов Н.Г, 134
Иркаев С.М, 126, 127
Исупов В.П, 46
Казак Н.В, 43
Казаков А.П, 63
Казаков С.М, 30
Камнев А.А, 90
Канныкин С.В. 140
Ким О.К, 109
Кириченко В.Г, 128
Киселева Т.Ю, 39, 57, 63, 86, 95
Князев Ю.В, 43
Ковалева С.А, 86
Коваленко О.В, 128
Ковач К, 90
Козин М.Г, 125
Козлов К.А, 73, 81, 83
Колодкин Д.А, 79
Кольчугина Н.Б, 75
Комаров А.Е, 39
Корнеев В.П. 140
Коровушкин В.В, 50, 52, 84
Королев А.В, 85
Короленко М.В, 100
Коротков В.В, 67
Коротков Н.Ю, 30, 43
Коршунов Л.Г, 80, 88
Котиков Д.А, 53
Кочаровская О.А, 122
Кошелец В.П, 125
Кошкидько Ю.С, 75
Кривенков М.С, 118
Кубрин С.П, 46
Кузманн Э, 90
Куликов Л.А, 90, 102, 105, 107
Кулова Т.Л, 74
Лабрюжер К, 99, 100
Лагутина Е.С, 34
Лебедев Н.О, 59
Лёкина Ю.О, 25, 101
Лецко А.И, 86
Ли Я, 106
Литвинов А.В, 73, 80, 82, 83, 88
Ломаева С.Ф, 87
Ломов А.А, 54, 118
Лукин А.А, 75
Любутин И.С, 30, 43, 67
Лядов Н.М, 65
Ляшков К.А, 73, 83
Майоров М.И, 86
Макарова А.О, 24, 38, 39
Манакова И.А, 71
Манапов Р.А, 110, 115
Масленникова А.Е, 85
Мацнев М.Е, 25, 39, 40, 63, 101, 130, 137
Межуев Е, 99
Мелихов И.В, 107
Миляев М.А, 59
Мищенко И.Н, 55
Морозов В.В, 114, 116
Морозов И.В, 31
Мурадова А.Г, 52
Мушенок Ф.Б, 106, 111
Наумов П.Г, 30
Немцова О.М, 129
Никитин М.П, 93, 94
Никитин С.М, 34, 35
Никитина З.К, 106
Николаев В.И, 64
Новакова А.А, 57, 118
Новиков В.М, 118
Нурмехамитов Р.Н, 65, 122
Ованесян Н.С, 106, 111
Овчинников В.В, 59
Овчинников С.Г, 43
Озерной А.Н, 71

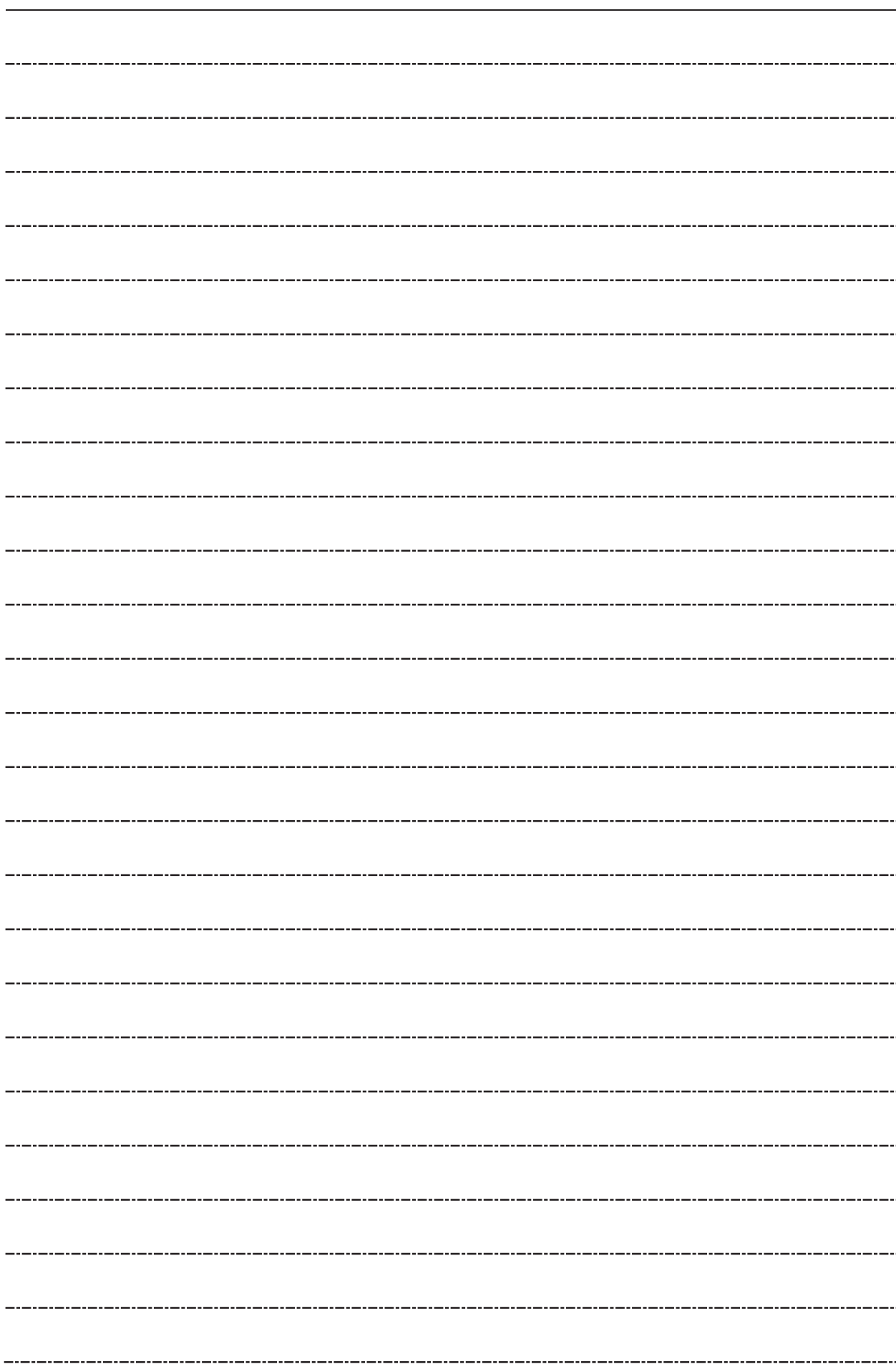
Паль А.Ф, 107
 Панин Ю.Н, 124
 Панкратов Д.А, 31
 Панфилов А.С, 114
 Панченко В.Я, 54, 93, 94
 Панчук В.В, 126, 127
 Паньков В.В, 53
 Перетягтько П.И, 107
 Перунов И.В, 30
 Перфильев Ю.Д, 90, 102, 105, 107
 Петрова Е.Г, 53
 Печеркина Н.Л, 81
 Платунов М.С, 43
 Плетнев О.Н, 108
 Покатилов В.В, 24, 36, 37, 38
 Покатилов В.С, 24, 34, 36, 37, 38, 39, 40,
 56
 Поликарпов Д.М, 93
 Поликарпов М.А, 54, 94
 Попова Е.В, 102
 Порсев В.Е, 79
 Похолок К.В, 53
 Пресняков И.А, 25, 26, 31, 101
 Просвирнин Д.В, 34
 Протасов А.В, 78
 Пудалов В.М, 30
 Пятаев А.В, 110, 115
 Раевский И.П, 44, 46
 Ревякин А.С, 136
 Ромашев Л.Н, 59
 Ромашкина И.Л, 125
 Русаков В.С, 24, 25, 36, 39, 40, 63, 71,
 74, 95, 101, 130, 137
 Рыжков А.В, 124
 Савченко А.Г, 50, 52
 Сагарадзе В.В, 81
 Садыков Э.К, 123
 Салихов С.В, 52
 Санина Н.А, 111
 Сарычев Д.А, 44, 46, 136
 Сдобнов С.И, 124, 131
 Седьмов Н.А, 116
 Семенов В.Г, 126, 127
 Сигов А.С, 24, 36, 37, 38, 39, 40
 Силаев А.А, 133
 Силаев А.А.(мл.), 133
 Сираждинов Р.Р, 63
 Ситенков Н.В, 86
 Скундин А.М, 74
 Смирнова-Пинчукова И.О, 125
 Соболев А.В, 25, 26, 31, 101
 Стащенко В.В, 44
 Степанов С.В, 105
 Степович М.А, 84
 Сульянов С.Н, 67
 Талако Т.Л, 86
 Терзи М.Е, 64
 Трэн С, 106
 Тугарова А.В, 90
 Ульянов А.И, 78
 Ульянов А.Л, 78, 79, 87
 Устинов В.В, 59
 Фабричный П.Б, 99, 100
 Файзрахманов И.А, 65
 Фатхуллин Б.Ф, 135
 Филимонов Д.С, 53
 Филиппенко Л.В, 125
 Филиппов В.П, 76, 77
 Фролов К.В, 30, 67
 Хомоннаи З, 90
 Храмов А.С, 135
 Хрипунов Д.М, 134
 Циноев В.Г, 124, 131
 Червонова У.В, 110
 Черепанов В.М, 54, 93, 94, 124, 131
 Чернявский И.О, 31
 Чистякова Н.И, 63, 95
 Чуев М.А, 48, 54, 55, 93, 94
 Чулкина А.А, 78
 Чумаков А.И, 22, 120
 Шабашов В.А, 72, 73, 80, 81, 82, 83, 88
 Шапкин А.А, 63, 95
 Шатохин М.С, 39
 Шахмуратов Р.Н, 122
 Шилов Г.В, 106, 111
 Шипилин А.М, 64
 Шипко М.Н, 84
 Шуваева М.А, 108
 Щетинин И.В, 50, 52
 Юричук А.А, 123
 Юртов Е.В, 52
 Ярославцев А.Б, 74
 Ярославцев С.А, 74
 Яскевич В.И, 109

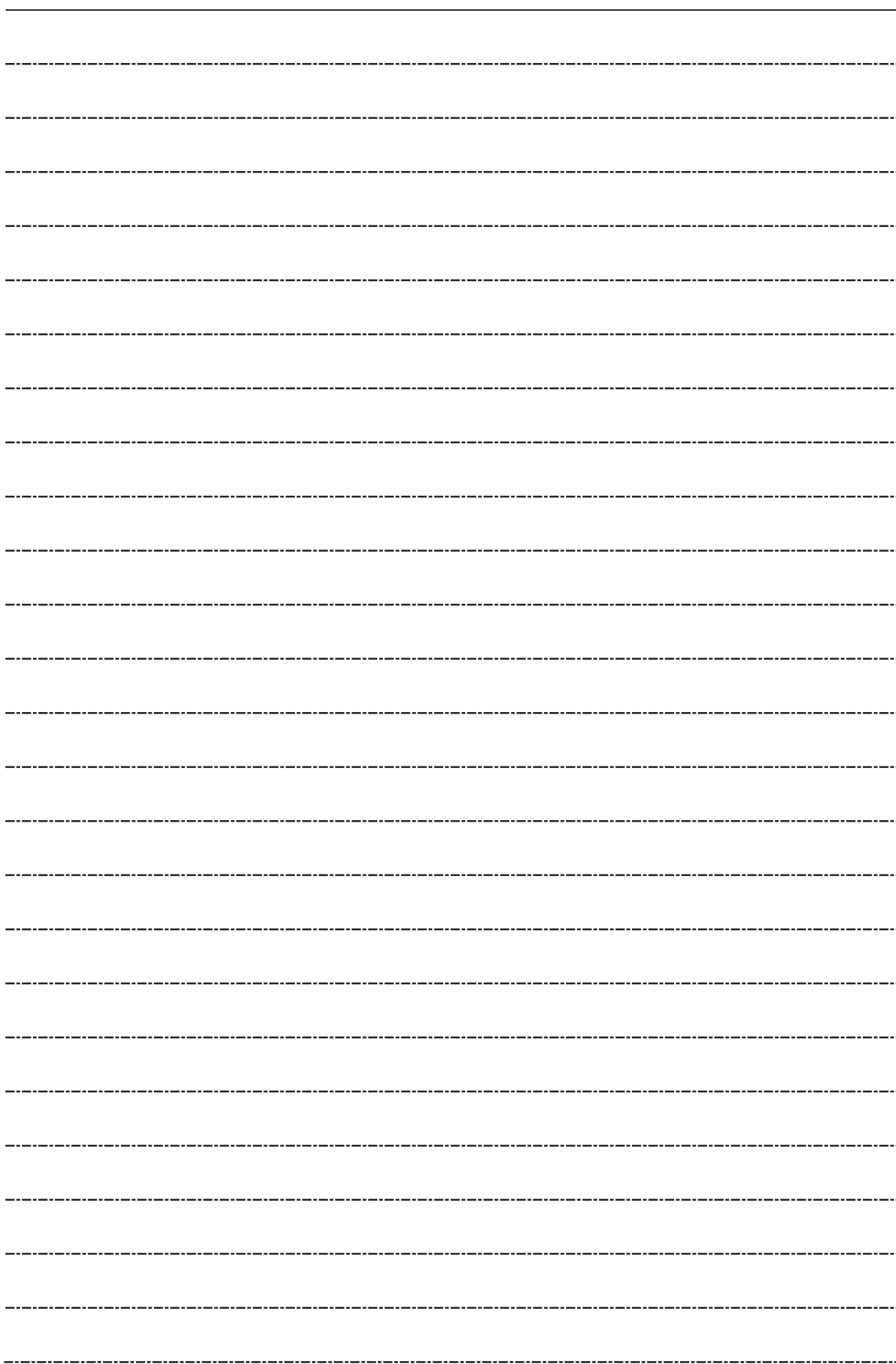


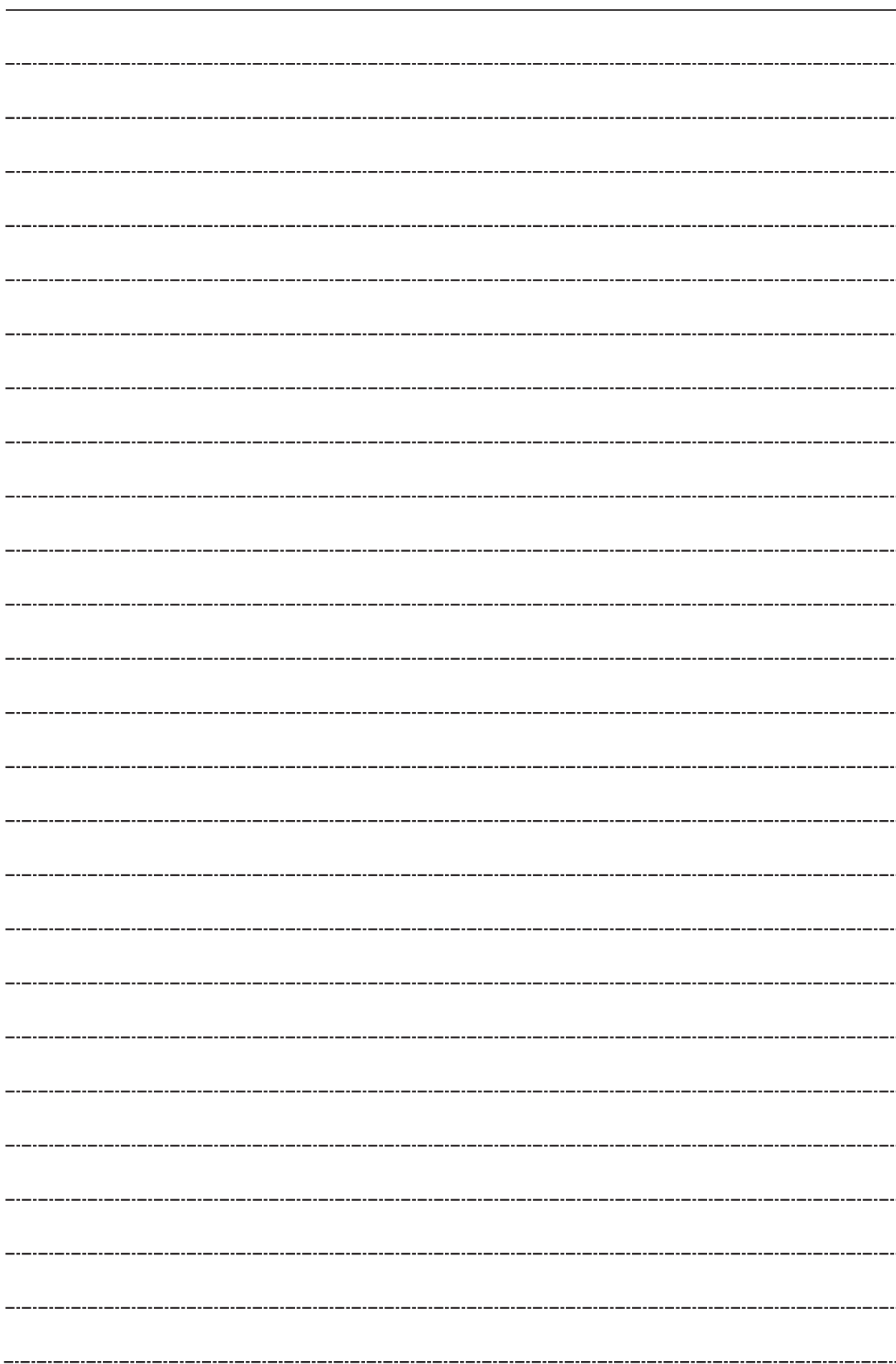


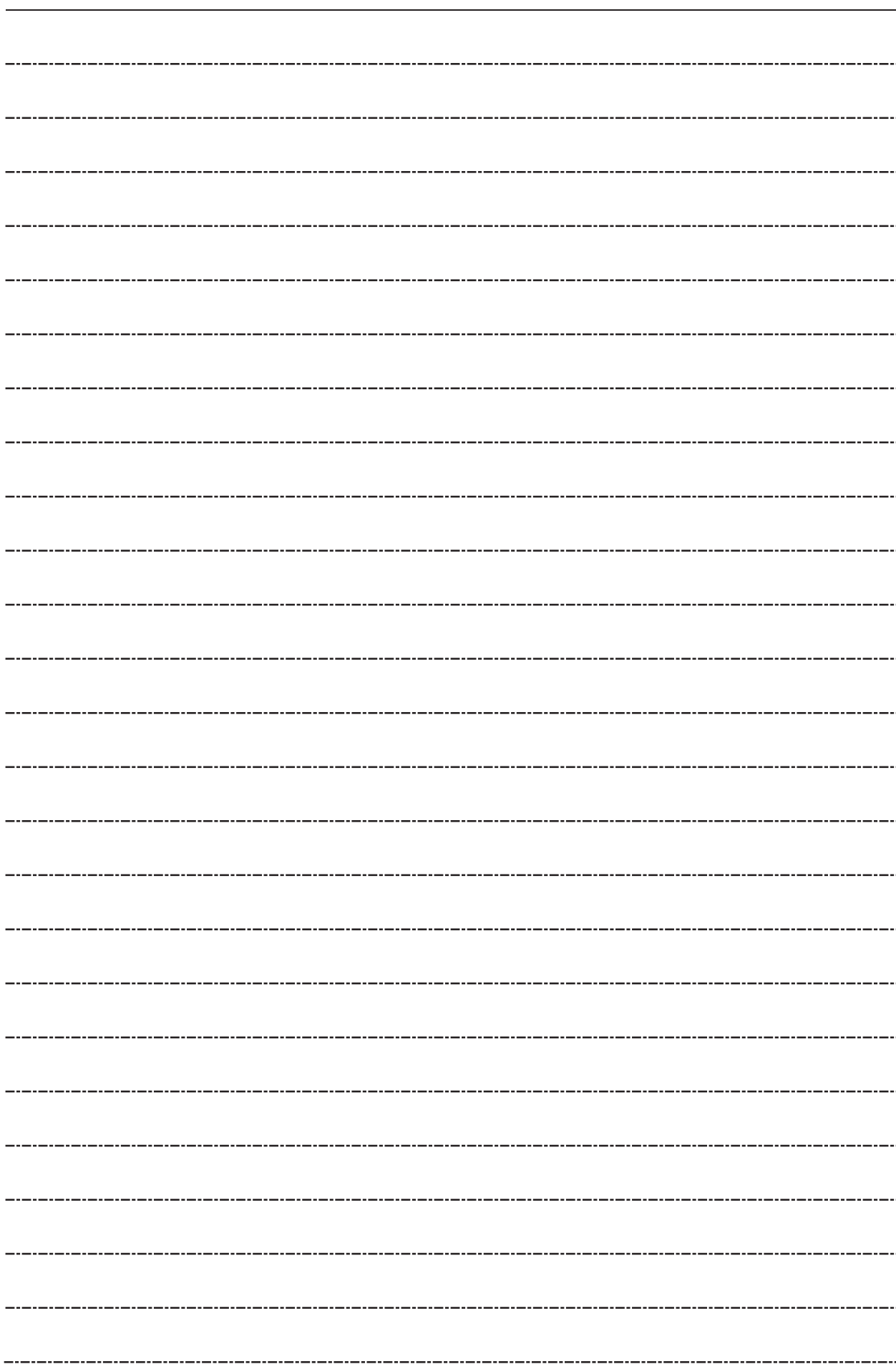


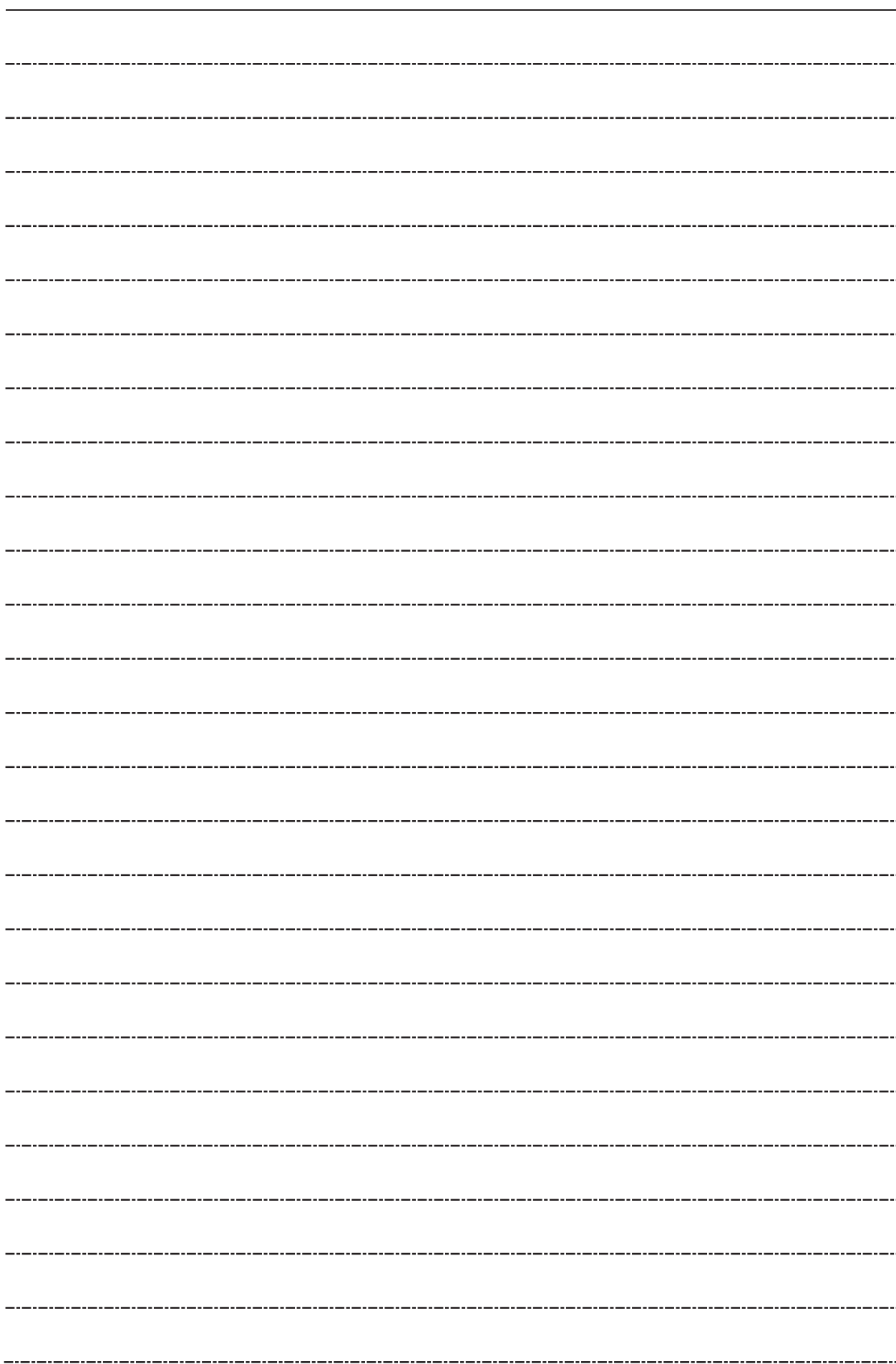


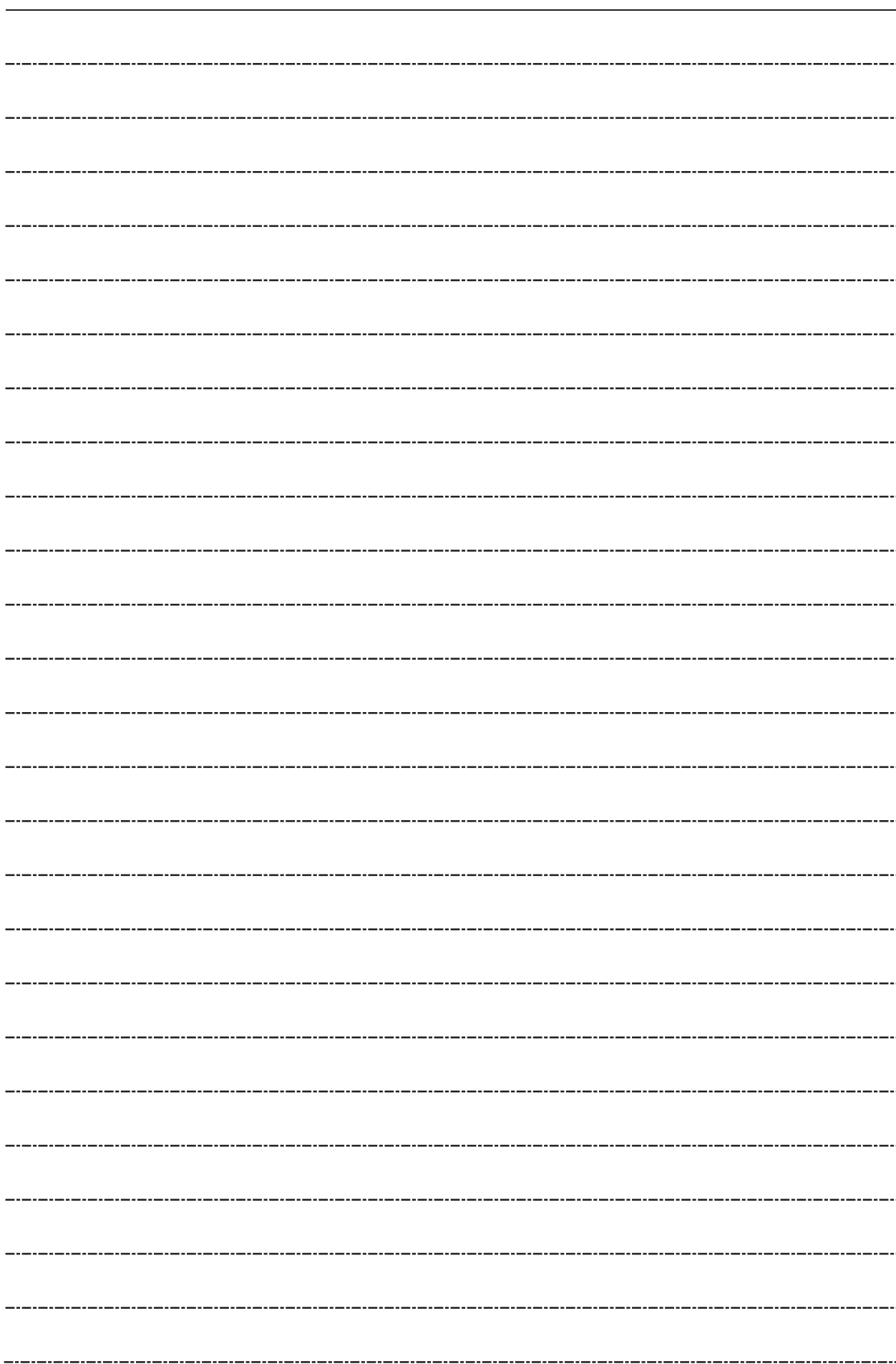


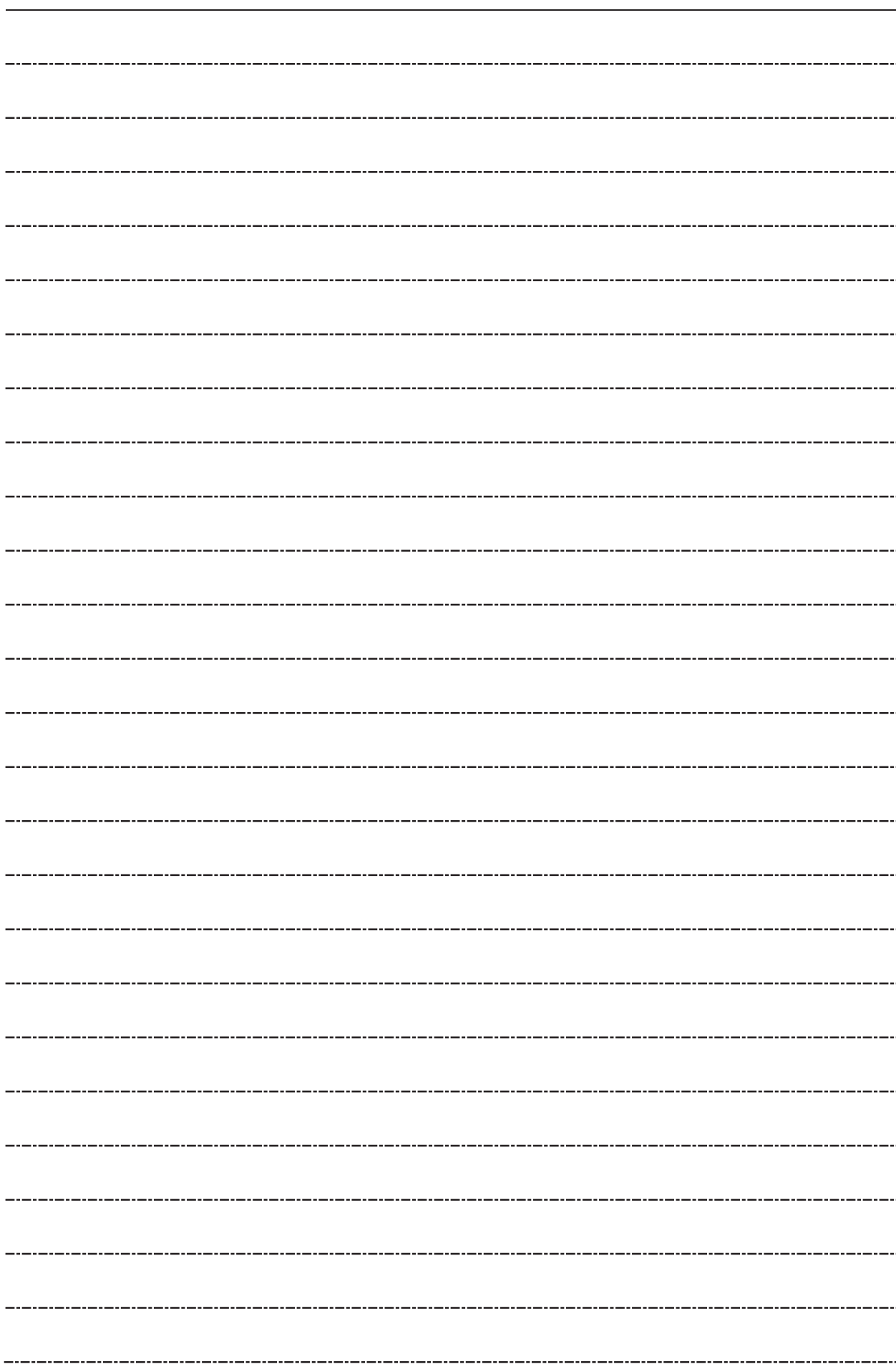


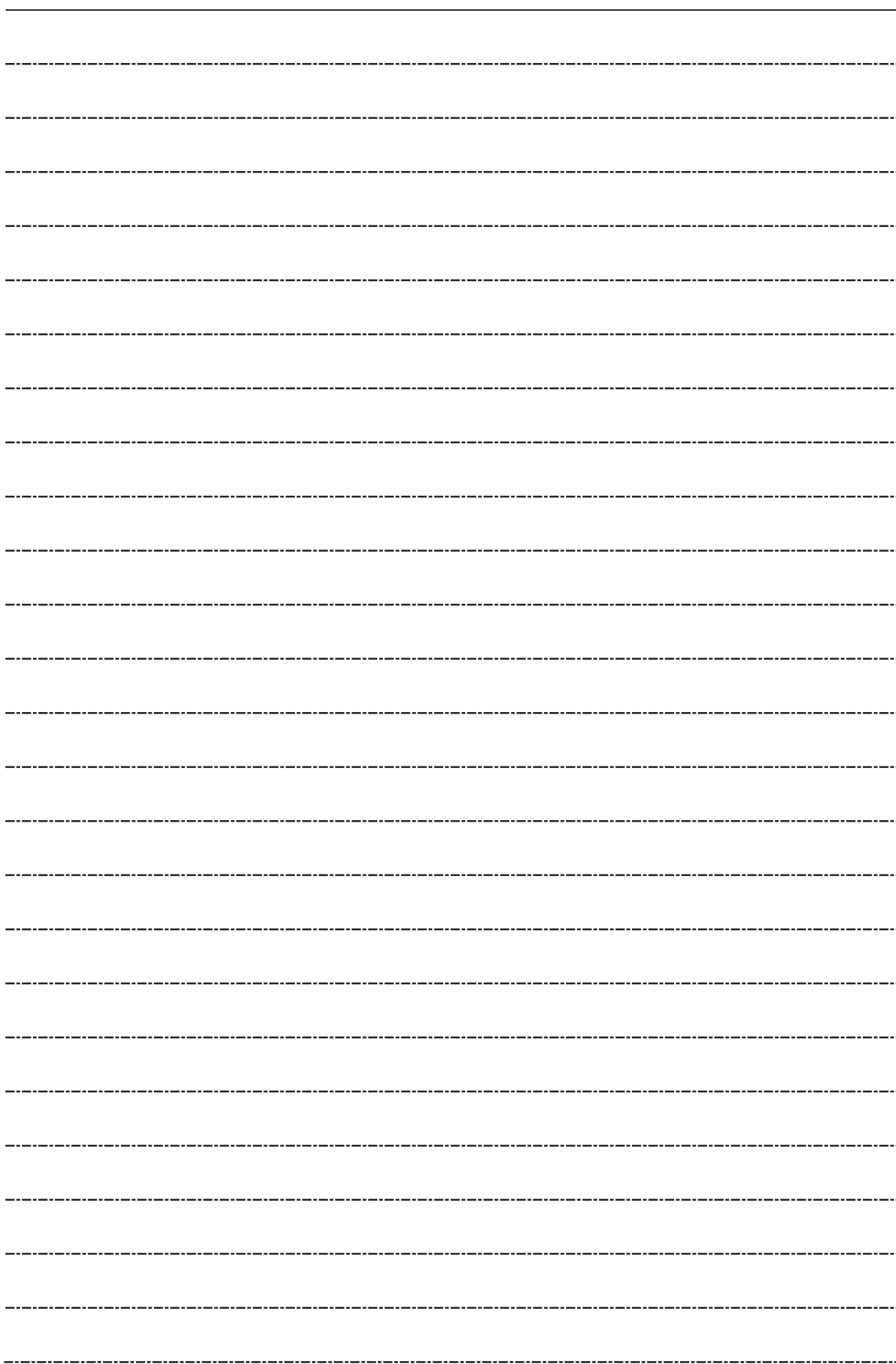


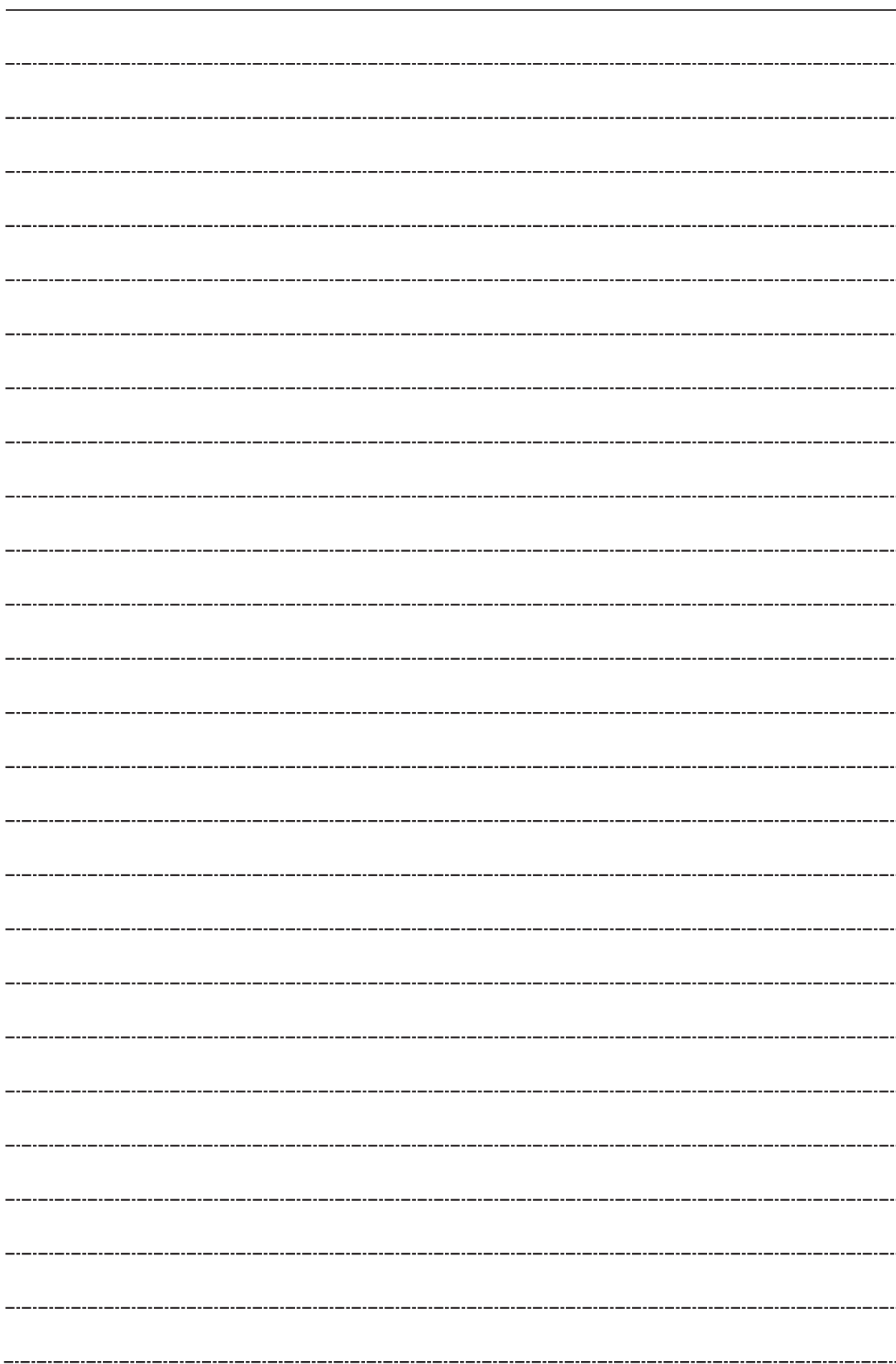


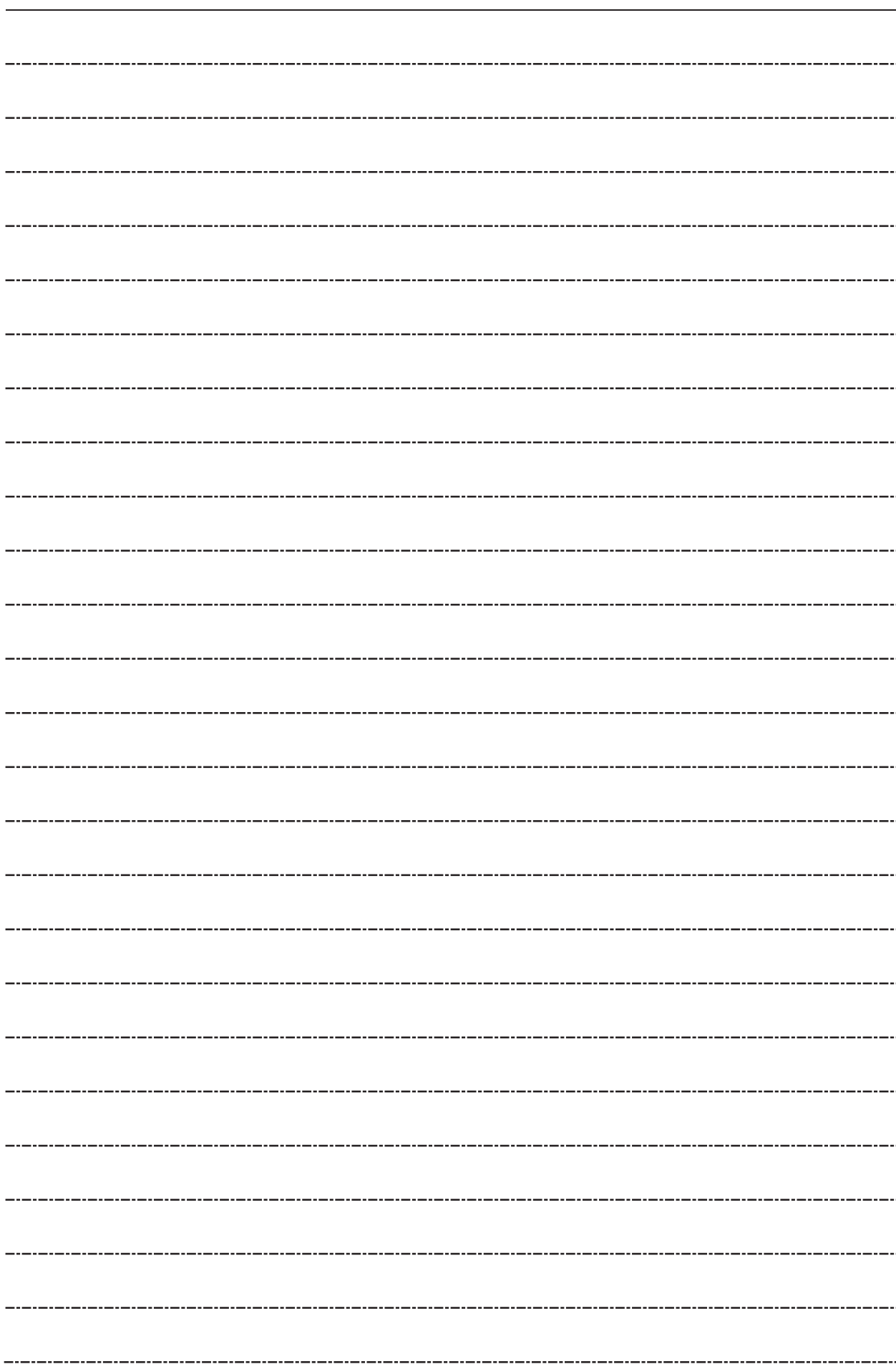


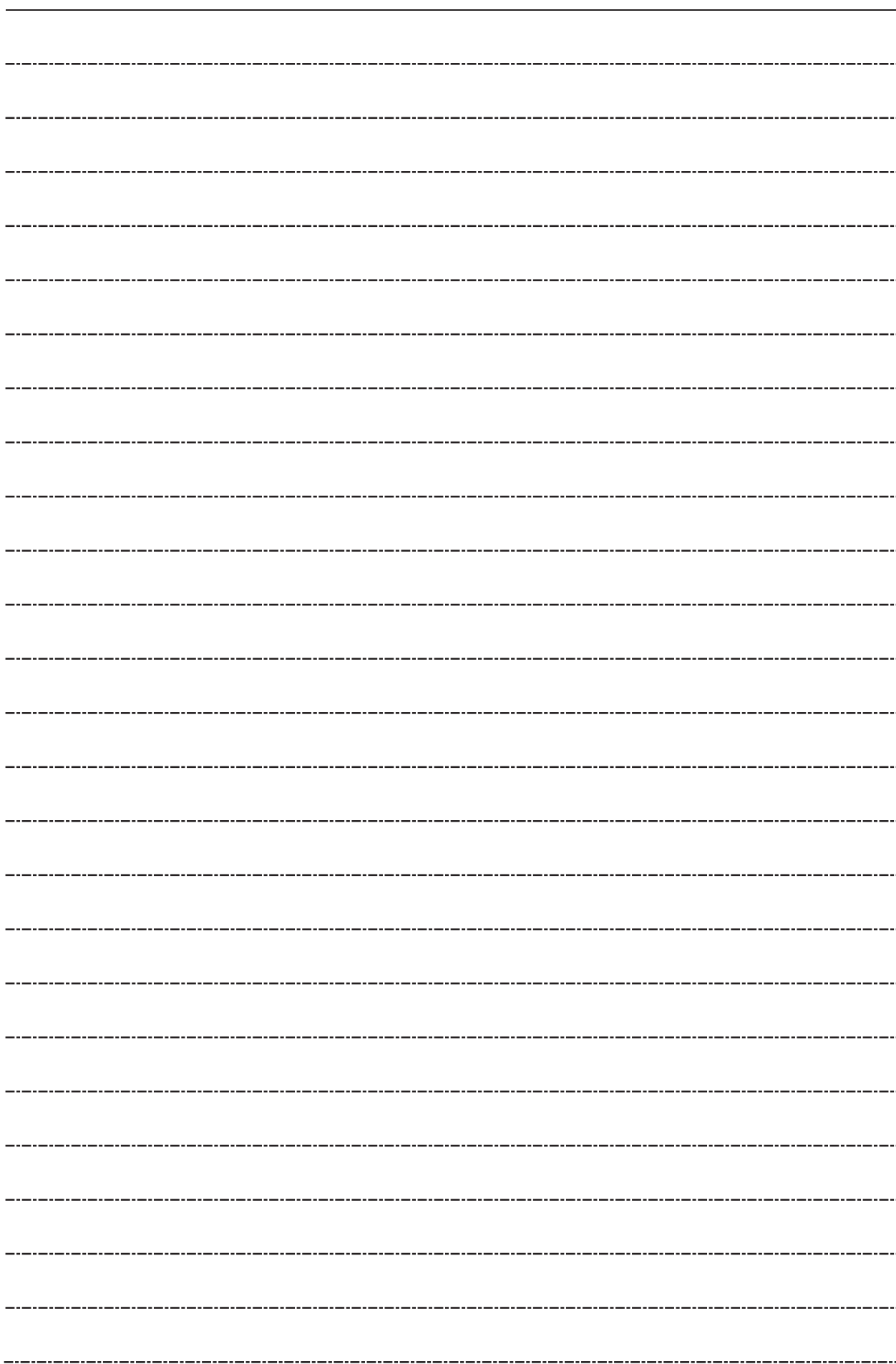


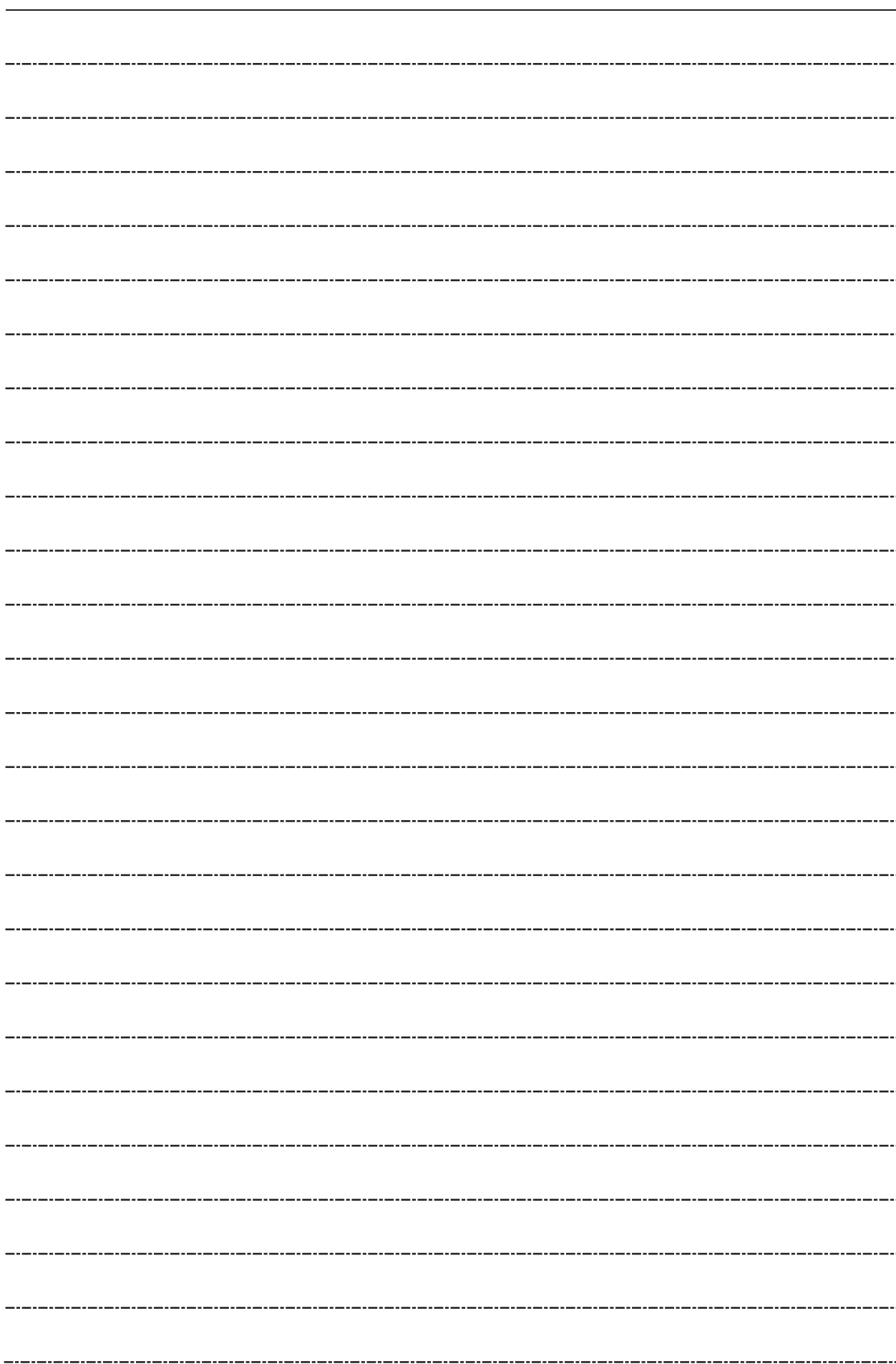


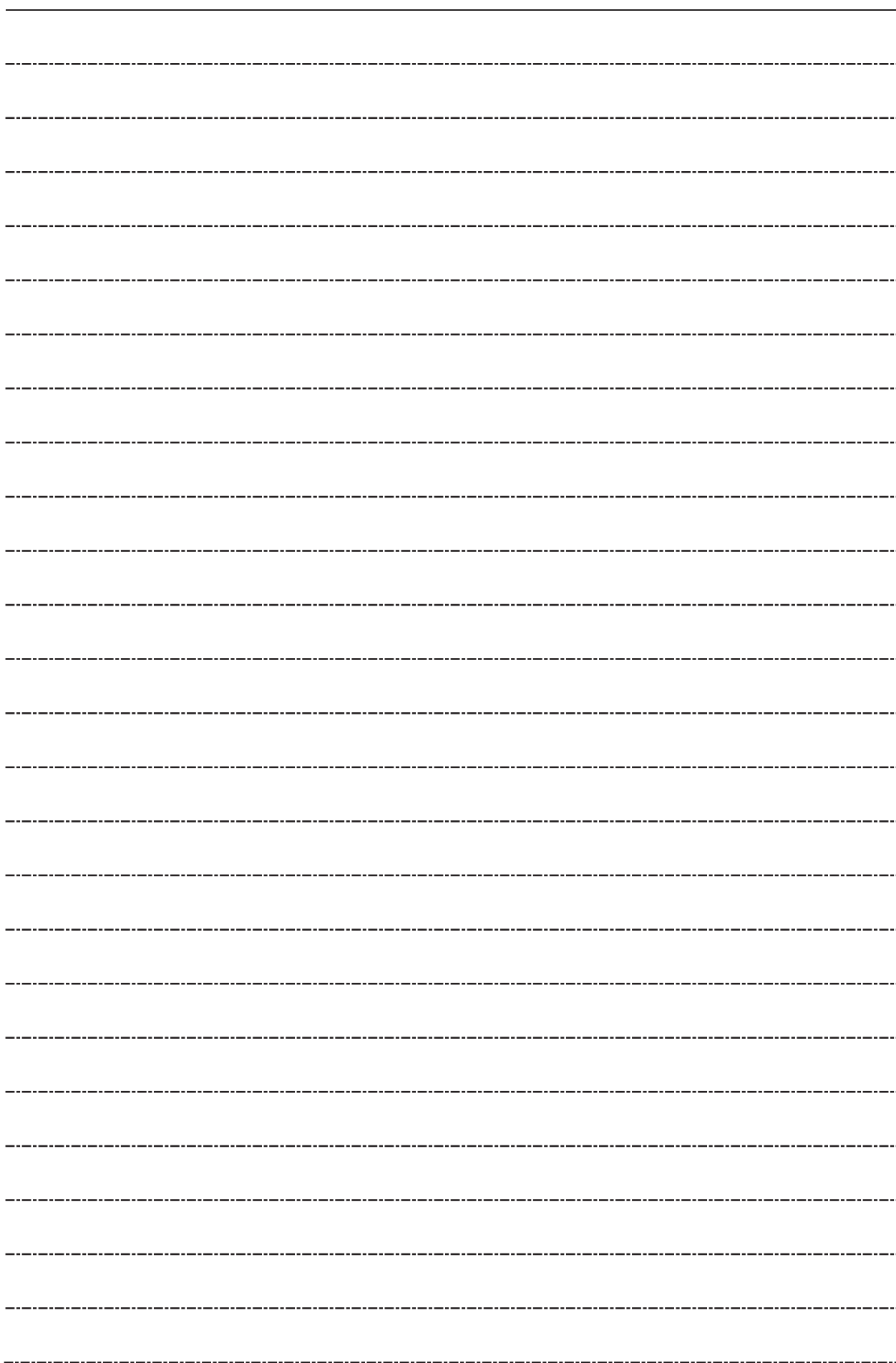


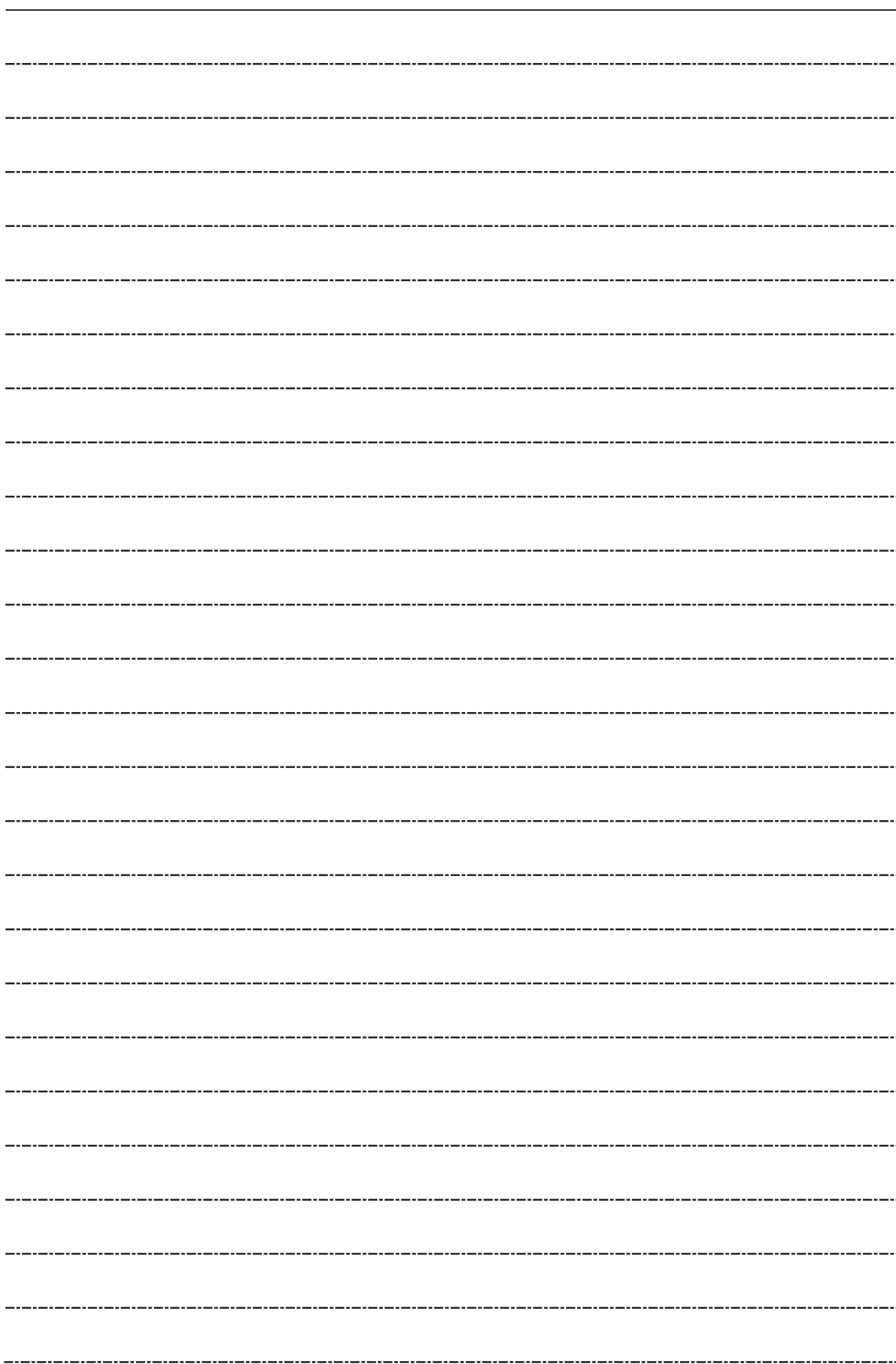












Мёссбауэровские источники и образцовые поглотители

Мёссбауэровские источники: ^{57}Co

Мёссбауэровский резонанс на ^{57}Fe

Активная часть источника изготавливается путём электролитического осаждения и последующей диффузии ^{57}Co высокой чистоты без носителя на тонкую металлическую матрицу (толщина не более 6 мкм). Источники поставляются в матрицах родия или хрома. Возможна поставка с матрицами из других материалов по специальному заказу.

Тип корпуса	DxH, мм	d, мм	Номинальная активность *		Ширина линии, мм/с	Код
			мКи	МБк		
Матрица из родия						
1	11,2x13	8	5	185	0,11-0,13	MCo7.111
			10	370		MCo7.112
			25	925		MCo7.113
			50	1850		MCo7.114
			100	3700		MCo7.115
2	14x14	8	5	185	0,11-0,13	MCo7.121
			10	370		MCo7.122
			25	925		MCo7.123
			50	1850		MCo7.124
			100	3700		MCo7.125
6	6x13	4	5	185	0,11-0,15	MCo7.161
			10	370		MCo7.162
			25	925		MCo7.163
			50	1850		MCo7.164
			100	3700		MCo7.165
9	4x14	1	5	185	0,13-0,15	MCo7.191
			10	370		MCo7.192
10	6x17	1	5	185	0,13-0,15	MCo7.1101
			10	370		MCo7.1102
Матрица из хрома						
1	11,2x13	8	5	185	0,13-0,16	MCo7.511
			10	370		MCo7.512
			25	925		MCo7.513
			50	1850		MCo7.514
2	14x14	8	5	185	0,13-0,16	MCo7.521
			10	370		MCo7.522
			25	925		MCo7.523
			50	1850		MCo7.524

* - Допустимое отклонение +10, -5%

Фактор Мёссбауэра для матрицы: 0,75

Выход гамма-квантов с энергией 14,41 кэВ из источника: $\geq 75\%$

Классификация ISO

Корпус 1, 2, 6: C54243

Корпус 9, 10: C34243

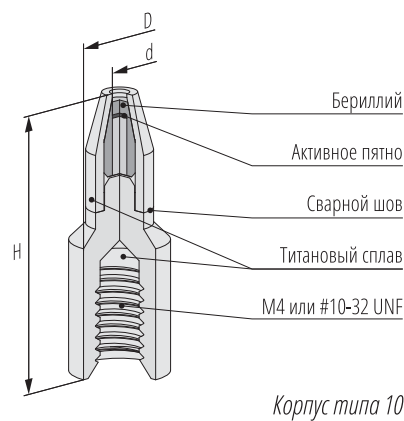
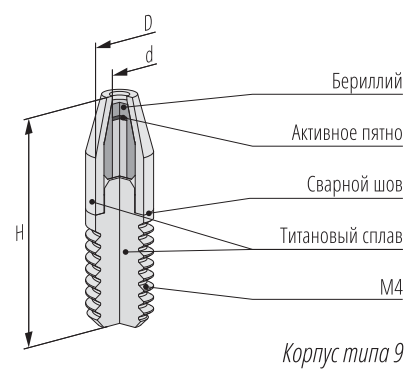
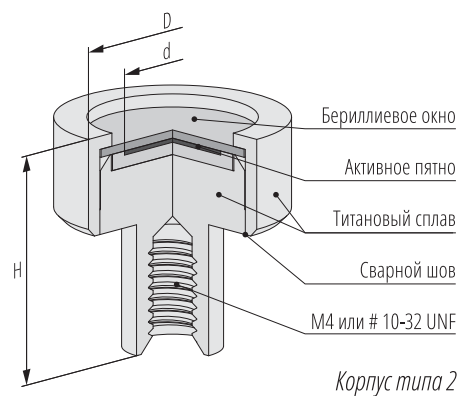
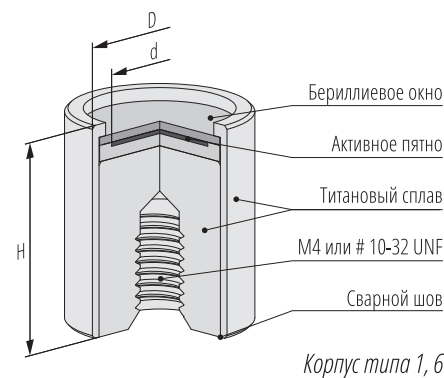
Диапазон рабочих температур

Корпус 1, 2, 6: 4,2 - 700 K

Корпус 9, 10: 220 - 700 K

Назначенный срок службы: 10 лет

Все источники сертифицируются на аттестованном прецизионном Мёссбауэровском спектрометре. Каждый источник поставляется с протоколом испытаний и указанием параметров измеренной Мёссбауэровской линии.



Мёссбауэровские источники: ^{119m}Sn

Мёссбауэровский резонанс на ^{119}Sn

Активная часть источника изготавливается на основе матрицы из стannата кальция $[\text{CaSnO}_3]$, синтезированной с использованием радионуклида ^{119m}Sn высокой удельной активности (> 300 мКи/г).

Тип корпуса	DxH, мм	d, мм	Номинальная активность *		Ширина линии, мм/с	Код
			мКи	МБк		
1	11,2x13	10	2	74	0,38-0,54	MSn9.211
			5	185		MSn9.212
			10	370		MSn9.213
2	14x14	10	2	74	0,38-0,54	MSn9.221
			5	185		MSn9.222
			10	370		MSn9.223
			15	555		MSn9.224
3	18x14	15	10	370	0,38-0,45	MSn9.231
			15	555		MSn9.232
			20	740		MSn9.233
6	6x13	5	2	74	0,45-0,54	MSn9.261
			5	185		MSn9.262

* - Допустимое отклонение +10, -5%

Фактор Мёссбауэра для матрицы: 0,50

Выход гамма-квантов с энергией 23,87 кэВ из источника: $\geq 75\%$

Классификация ISO: C54243

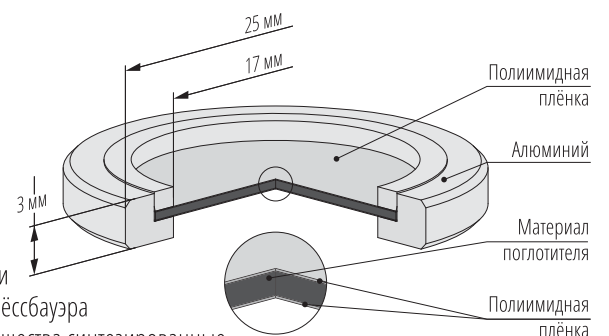
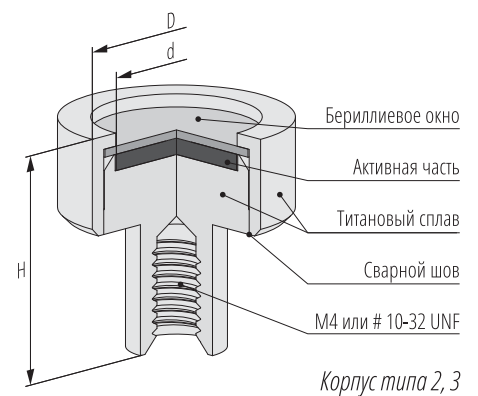
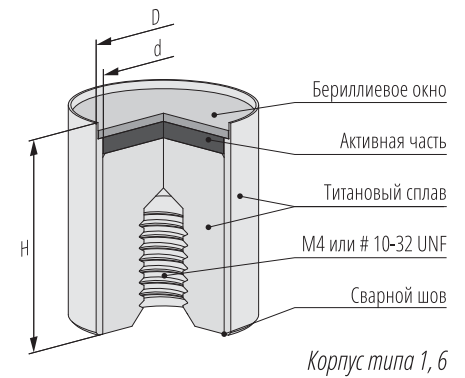
Диапазон рабочих температур: 4,2 - 700 К

Назначенный срок службы: 10 лет

Все источники сертифицируются на аттестованном прецизионном Мёссбауэровском спектрометре. Каждый источник поставляется с протоколом испытаний и указанием параметров измеренной Мёссбауэровской линии.

Образцовые поглотители

Описание	Толщина, мг $^{57}\text{Fe}/\text{см}^2$	Код
Образцовые поглотители с обогащенным железом		
$\text{K}_2\text{MgFe}(\text{CN})_6$	0,25-1,00	MRA.1.1
$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,50-1,00	MRA.1.2
Fe_2O_3	1,00-2,00	MRA.1.3
Образцовые поглотители с природным железом		
$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,13-0,25	MRA.2.2
Fe_2O_3	0,13-0,25	MRA.2.3
$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0,13-1,00	MRA.2.4
α - Fe фольга	28 мкм	MRA.2.6



Образцовые поглотители

для изучения эффекта Мёссбауэра содержат химические вещества синтезированные на основе высокообогащенного ^{57}Fe ($> 95\%$) или природного железа. Эти вещества равномерно распределены по объёму полиэтиленовых дисков диаметром 20 мм, помещённых в алюминиевые держатели. Ферроцианиды калия и калия-магния $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}; \text{K}_2\text{MgFe}(\text{CN})_6]$ характеризуются узкими синглетами в Мёссбауэровских абсорбционных спектрах. Дигидрат оксалата железа $[\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ характеризуется квадрупольным расщеплением, приводящим к появлению дублета в Мёссбауэровских абсорбционных спектрах. Металлическое железо и оксид железа $[\alpha\text{Fe}; \text{Fe}_2\text{O}_3]$ характеризуются сверхтонким магнитным расщеплением спектральной линии, приводящим к появлению секстета в Мёссбауэровских абсорбционных спектрах.

Сборник материалов

ХIII Международная конференция

“МЁССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ
И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ”

Материалы опубликованы в авторской редакции.

ООО «Ваш полиграфический партнер»
127238, Москва, Ильменский пр, д. 1, стр.6
Подписано в печать 12.09.2014
Тираж 125 экз. Заказ № z1467