



Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»

Петербургский институт ядерной физики
Россия, 188300, Ленинградская обл., г.Гатчина, Орлова роща.

ОНИ в 2021 г.

Важнейшие научные результаты

Ученый Совет ПИЯФ

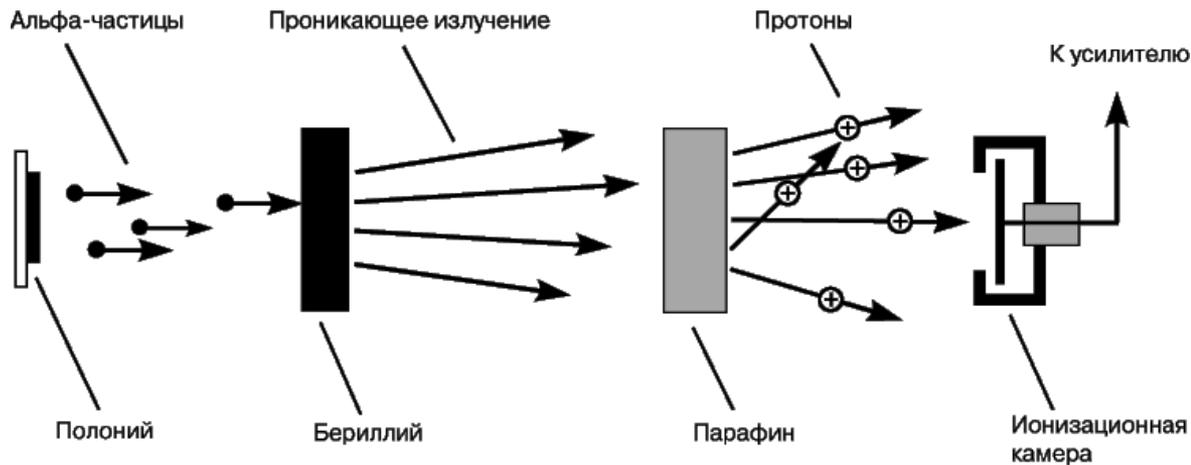
17 февраля 2022 г.

Отделение нейтронных исследований, 2021

ОНФ (А.П.Серебров), ОИКС (И.А. Зобкало), ОПЯД (А.В.Дербин), ОЭНС (В.В.Тарнавич)	162
Общее число работников	
Число научных работников (категории СНИР)	104
Число инженеров	30
Распределение работников по возрастным категориям:	
до 25	16
26-30	23
31-35	17
36-40	6
41-45	7
46-50	7
51-55	7
56-60	12
61-65	12
66-70	14
71-75	19
76-80	8
81-85	5
Старше 85	1
Старше 90	2
Доля молодых (до 35 лет) ученых в общем количестве сотрудников, (%)	24%
В общем количестве научных сотрудников	(39)%
Число кандидатов наук, докторов наук, членов РАН:	
Кандидатов наук	52 (47)
Докторов наук	12 (10)
Член-корреспондентов РАН	1

17 февраля 2022 г. исполняется 90 лет со времени открытия нейтрона.

В 1932 году, 17 февраля Джеймс Чэдвик направил в печать свою статью ("Возможное существование нейтрона", Chadwick, J. Nature, 1932, v.129, p.312). Уже через два года он был удостоен Нобелевской премии ...



Чэдвик Джеймс
(Chadwick, James)
(20.10.1891 - 24.7.1974)

Из речи председателя Нобелевского комитета по физике на церемонии вручения Нобелевской премии в 1935 г. проф. Х.Плайджела (H.Pleijel):

"...за открытие нового фундаментального кирпичика мироздания, из которых построены атомы и молекулы, а именно, за открытие так называемого нейтрона..... Интуиция, мысль и логика вместе с искусством эксперимента позволили профессору Чэдвику доказать существование нейтрона и установить его свойства..."

Достижения

Конкурс лучших работ ПИЯФ 1(1)-1(3)-2(2)

Защиты диссертаций – 2021 – 2+6 (0+3)

2 докторские диссертации – **В.Г. Зиновьев** и **Н.К. Плешанов**
(работа сделана в ОНИ)

и 7 кандидатских диссертации – **В.А. Лямкин, А.В. Чечкин, М.Х. Юзвюк**, сотрудники, которые сделали работы в ОНИ **В.А. Матвеев, П.И. Коник и С.С. Лисин**, а **И.С. Драчнев** получил подтверждение диплома к.ф.-м.н. по PhD.

Премии имени И.В. Курчатова за 2020 год

Среди работ молодых научных сотрудников и инженеров - исследователей:

Яшина Е.Г. "Исследование структурной организации хроматина в ядре биологической клетки методами малоуглового рассеяния нейтронов"

Стипендии DAAD (Германская служба академических обменов) получили **8** молодых сотрудников ОНИ.

Отделение нейтронных исследований, 2021

Достижения

The EPS European Physical Society has awarded the prestigious "Giuseppe and Vanna Cocconi Prize 2021" to the scientific collaboration Borexino.

А.В. Дербин, В.Н. Муратова, Д.А. Семенов, Е.В. Унжаков, И.С. Драчнев, Н.В. Ниязова, И.С. Ломская



В 2021 году коллаборация **Borexino** была удостоена престижной премии Д.&В. Коккони Европейского физического общества за выдающийся вклад в астрофизику элементарных частиц и космологию, а именно, за новаторское наблюдение солнечных нейтрино из pp-цепочки и CNO-цикла.

Достижения

За 2021 год ученые ОНИ опубликовали **69 (53 заруб.)** научных статьи в журналах **WoS** и одну монографию:

В.В. Федоров «История и развитие физических представлений о строении окружающего мира». Изложена история эволюции представлений о строении вещества от древних и до наших дней. Затронуты задачи, решаемые в нейтронной физике, физике высоких энергий, вопросы ядерной и термоядерной энергетики.

Достижения

Большим достижением ОНИ в нынешних непростых условиях была организация и проведение в 2021г. **5** научных школ и конференций.

«Дифракция нейтронов - 2021»

III-я Молодежная конференция «Проект DARIA: Компактные источники нейтронов в России»

VI International Workshop Dzyaloshinskii-Moriya Interaction and Exotic Spin Structures “DMI-2021”

Нейтронные Исследования Конденсированного Состояния «НИКОНС-2021»

X Школа по физике поляризованных нейтронов «ФПН–2021»

Гранты РФФИ - 6

№ п/п	№ Гранта	Руководитель проекта	Название проекта
1	18-12-00375	Курбаков А.И.	"Исследование низкоразмерных фрустрированных магнетиков методами нейтронного и синхротронного излучения"
2	19-12-00157	Козлов М.Г.	"Расчеты многоэлектронных атомных систем для фундаментальных и прикладных исследований"
3	19-12-00363	Воронин В.В.	"Разработка и прототипирование нейтронных станций для компактных источников нейтронов"
4	20-12-00079	Серебров А.П.	"Создание новой нейтринной лаборатории на реакторе СМ-3 в помещении 170"
5	20-12-00063	Дербин А.В.	Исследования Солнца, Земли, других астрофизических объектов и редких физических процессов с помощью нейтринной спектрометрии на полном наборе данных детектора Борексино
6	20-12-00188	Григорьев С.В.	"Универсальный принцип фрактальной организации хроматина в ядре биологической клетки"

Отделение нейтронных исследований, 2021

Гранты РФФИ -10

№ проекта	ФИО руководителя	
РФФИ		
18-29-19008	ЛЕБЕДЕВ В.Т.	
18-29-19172	КУЛЬВЕЛИС Ю.В.	
19-52-12047	ЗОБКАЛО И.А.	
19-03-00249	ЛЕБЕДЕВ В.Т.	
19-02-00547	ФОМИН А.К.	
19-02-00582	ИВАНОВ С.Н.	
19-02-00097	ДЕРБИН А.В.	
20-54-00011	БАЙРАМУКОВ В.Ю.	
20-02-00109	ГОЛОСОВСКИЙ И.В.	
20-02-00571	ТРУШИН М.В.	

Отделение нейтронных исследований, 2021

2. Фундаментальные и прикладные исследования в области физики конденсированного состояния с использованием рассеяния нейтронов, мюонов, рентгеновского и синхротронного излучения.

Отв. руководитель работ:

Зобкало И.А.

*Отдел исследования конденсированного состояния
Отделения нейтронных исследований.*

Срок проведения работ:

1 кв. 2021 г. – 4 кв. 2023 г

Изучение свойств кристаллических, некристаллических и биоматериалов методами рассеяния нейтронов, мюонов, рентгеновского и синхротронного излучения.

Синтез и исследование наноструктур и наноматериалов.

2.1. Кристаллическая и магнитная структура, магнитные свойства материалов.

2.2. Элементарные возбуждения в кристаллах и магнитно-упорядоченных системах.

2.3. Магнетизм нанообъектов и наноструктур.

2.4. Наноматериалы на основе углерода.

2.5. Фрактальная геометрия наноматериалов.

2.6. Изучение электрофизических свойств многослойных магнитных нанокompозитов ф/д/п, электрических флуктуаций и нелинейных магнитных свойств в полупроводниках, аморфных сплавах, безмедных высокотемпературных сверхпроводниках и магнетиках.

2.7. "Ab-initio" моделирование магнитных свойств нанослоев манганитов и интеркалированного графена.

Отделение нейтронных исследований, 2021

2. Фундаментальные и прикладные исследования в области физики конденсированного состояния с использованием рассеяния нейтронов, мюонов, рентгеновского и синхротронного излучения.

Отв. руководитель работ:

Зобкало И.А.

*Отдел исследования конденсированного состояния
Отделения нейтронных исследований.*

Срок проведения работ:

1 кв. 2021 г. – 4 кв. 2023 г

Изучение свойств кристаллических, некристаллических и биоматериалов методами рассеяния нейтронов, мюонов, рентгеновского и синхротронного излучения.

Синтез и исследование наноструктур и наноматериалов.

2.8. Изучение механизма ориентации перелётных птиц по магнитному полю Земли, процесса усвоения магнитных наночастиц при их введении в мезенхимальные стволовые клетки, а также магнитно-электронного фазового разделения в оксидах переходных металлов.

2.9. Механизмы получения постоянных магнитов.

2.10. Изучение электрических флуктуаций в полупроводниках. Исследования влияния дефектов структуры полупроводников на фундаментальные электрические шумы. Изучение возможностей прикладного применения электрических шумов полупроводниковых материалов.

<p>3. Функциональная и структурная организация сложных, мультикомпонентных биологических систем и их динамика Отв. руководитель работ: Лебедев Д.В. <i>Отделение молекулярной и радиационной биофизики.</i></p>	<p>Использование современных физических методов: малоуглового рассеяния нейтронов, и спин-эхо малоуглового рассеяния нейтронов и синхротронного излучения, динамического светорассеяния, конфокальной и атомно-силовой микроскопии, криоэлектронной микроскопии, а также теоретических подходов</p>	<p>3.1.2. Изучение фрактальной геометрии в живых системах нейтронными методами.</p> <p>3.3.2. Исследование структурных свойств биологических наноматериалов на основе продуктов бактериального происхождения.</p>	
---	--	---	--

Отделение нейтронных исследований, 2021

5. Экспериментальные исследования с реакторными нейтронами и нейтрино. Физика ядра и элементарных частиц.
Отв. руководитель работ:
Серебров А.П.

Фундаментальные и прикладные исследования с нейтронами, ядерная спектроскопия и физика деления ядер.
Исследование свойств нейтрино.

5.1. Поиск ЭДМ нейтрона методом УХН.

5.2. Измерение времени жизни нейтрона с гравитационной ловушкой УХН.

5.3. Измерение времени жизни нейтрона с магнитной ловушкой УХН.

5.4. Исследования фундаментальных свойств и взаимодействий нейтрона кристалл-дифракционными методами.

5.5. Исследования динамики деления ядер нейтронами.

5.6. Ядерно-спектроскопический комплекс для проведения нейтронно-активационного и нейтронно-радиационного анализа **на реакторе ПИК**, исследования структуры ядра, оценка ядерных данных, изучение структуры самоассоциатов методами ЯМР и ДРС.

5.7. Поиск нейтринных осцилляций в стерильное состояние в реакторных экспериментах.

Нейтринный мониторинг **реактора ПИК**.

5.8. Изучение свойств солнечных и гео-нейтрино. Исследования астрофизических объектов и редких физических процессов с помощью нейтринной спектрометрии. Поиск редких процессов и временных корреляций с транзиентными источниками. Прецизионные измерения бета-спектров. Поиск частиц темной материи - WIMPs и аксионов.
Эксперименты Borexino, DarkSide, DEAP и IAXO.

Отделение нейтронных исследований, 2021

<p>8. Создание приборной базы для экспериментальных исследований на реакторе ПИК. Отв. руководитель работ: Воронин В.В.</p>	<p>Разработка и создание лабораторных комплексов для исследований по физике твердого тела, структурной биологии, физике ядра и элементарных частиц. Производство ультрахолодных нейтронов для фундаментальных исследований.</p>	<p>8.1. Комплекс экспериментальных станций для физики конденсированного состояния и структурной биологии на реакторе ПИК.</p> <p>8.2. Лабораторный комплекс для проведения исследований по физике фундаментальных взаимодействий с использованием холодных и ультрахолодных нейтронов на реакторе ПИК.</p>	<p>8.3. Создание суперисточника УХН на основе сверхтекучего гелия на горизонтальном пучке ГЭК-4 реакторного комплекса ПИК.</p>
--	---	--	---

Отделение нейтронных исследований, 2021

При активном участии многих сотрудников ОНИ смонтированы на пучках нейтронов и введены в эксплуатацию пять исследовательских экспериментальных станций в зале горизонтальных экспериментальных каналов реактора ПИК. Это - **рефлектометр поляризованных нейтронов NERO-2**, **тестовый нейтронный рефлектометр ТНР**, **тестовый нейтронный спектрометр Т-Спектр**, **текстурный нейтронный дифрактометр ТЕХ-3** и **дифрактометр поляризованных нейтронов DPN**. Введенные в эксплуатацию пять экспериментальных станций обеспечивают реализацию базового набора нейтронных методик: дифрактометрия, рефлектометрия и спектрометрия.

Лабораторный комплекс

Химическая лаборатория

Лаборатория общего назначения

Рентгеновская лаборатория

Лаборатория магнитных измерений

Лаборатория окружения образца

Отделение нейтронных исследований, 2021

Ученые и инженеры ОНИ сейчас разрабатывают и начинают уже создавать узлы новых физических установок для ПИКа.

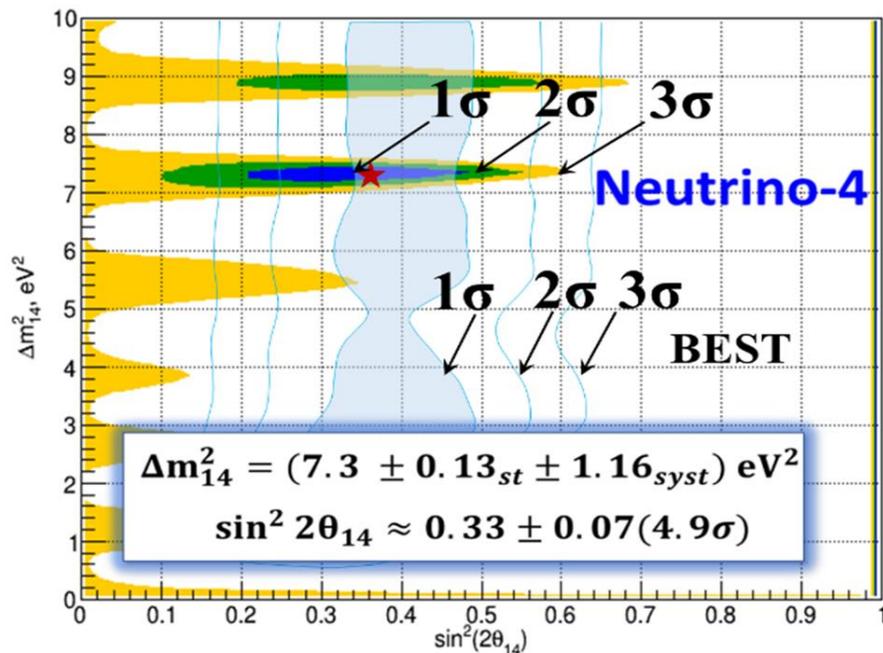
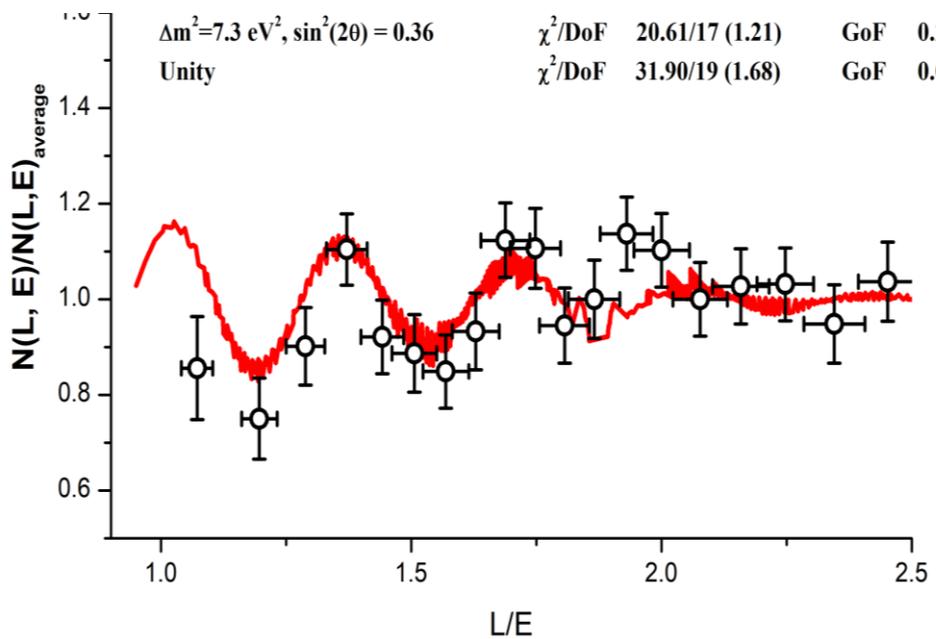
Это установки по физике конденсированных состояний: **порошковые дифрактометры D1 и D3**; **монокристалльные дифрактометры DC-1 и DIPOL**; **нейтронные спектрометры неупругого рассеяния IN1, IN2, IN3 и IN4**; **установки малоуглового рассеяния TENSOR, MEMBRANA, SANS-2 и SESANS**.

По ядерной физике это – **источник ультрахолодных нейтронов (УХН)**, на котором будут располагаться **ЭДМ спектрометр (nEDM)**, **гравитационная ловушка (GTRAP)** и **магнитная ловушка (MTRAP)** для измерения времени жизни нейтрона; **установка бета-распад нейтрона**; **установка Нейтрино**; **ЭДМ нейтрона кристалл-дифракционным методом (DEDM)**; **установка исследования множественности осколков деления (FISCO)**; **спектрометр ядерных излучений (PROGRAS)**; **нейтронно-радиационный анализ (INAA)**, **установка нейтронной радиографии**.

Новая публикация эксперимента Нейтрино-4 и подтверждение эффекта осцилляций в эксперименте BEST. Комбинированное значение составляет $\sin^2 2\theta_{14} = 0.33 \pm 0.07(4.9\sigma)$.

Лаборатория физики нейтрона (А.П. Серебров)

A.P. Serebrov, et al. PHYSICAL REVIEW D 104, 032003 (2021)



$$\Delta m_{14}^2 = 7.30 \pm 0.13_{st} \pm 1.16_{syst}$$

$$\sin^2 2\theta_{14} = 0.36 \pm 0.12$$

Дефицит нейтрино в галлиевом эксперименте BEST составляет 0.84 ± 0.04 [1] и соответствует $\sin^2 2\theta_{14} = 0.32 \pm 0.08(4\sigma)$. Этот результат подтверждает результат эксперимента Нейтрино-4 $\sin^2 2\theta_{14} = 0.36 \pm 0.12(2.9\sigma)$. Комбинированное значение Нейтрино-4 и нового значения ГА составляет $\sin^2 2\theta_{14} = 0.33 \pm 0.07(4.9\sigma)$. [1] 2109.11482 Gavrin arXiv

Перспективы эксперимента Нейтрино.

Изготовление новой установки Нейтрино для реактора ПИК и СМ-3



Перспективы эксперимента Нейтрино

схема новой установки на реакторе СМ-3

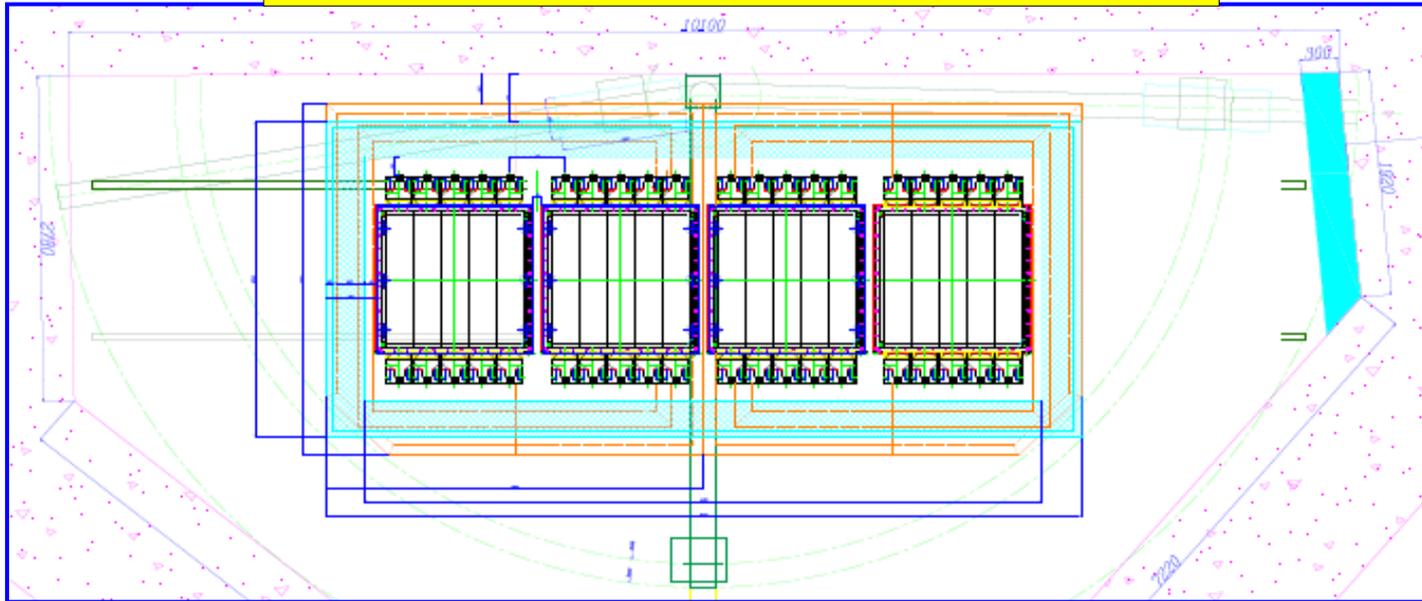
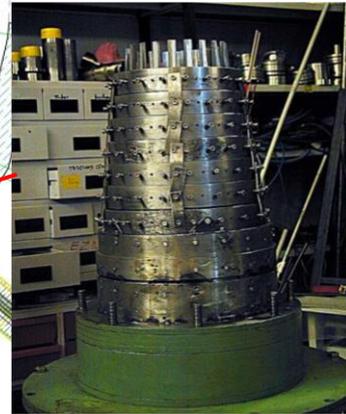
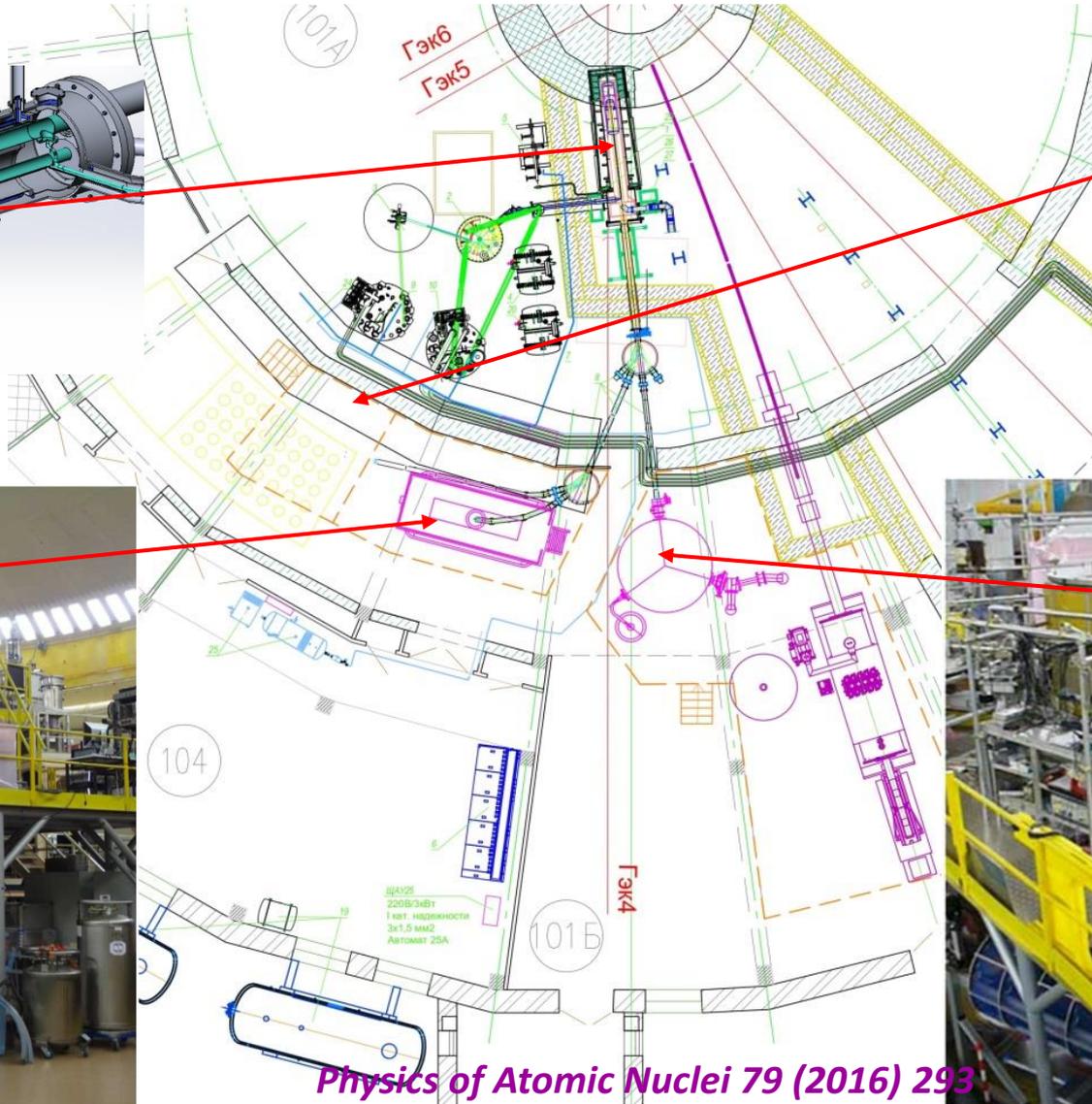
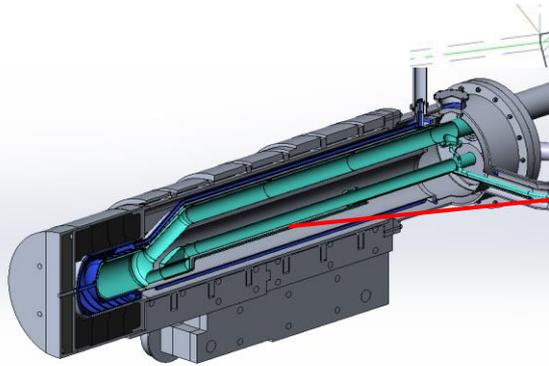


схема новой установки на реакторе ПИК



Источник ультрахолодных нейтронов и комплекс экспериментальных установок на реакторе ПИК

Отдел нейтронной физики (А.П. Серебров)



UCN magnetic trap



GRAVITRAP



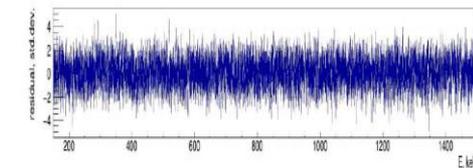
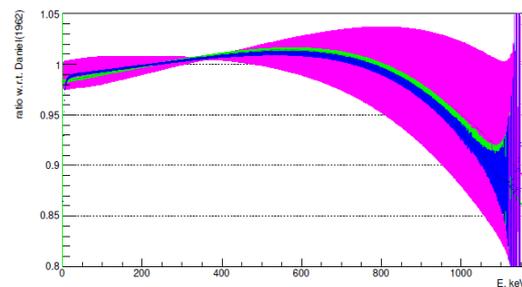
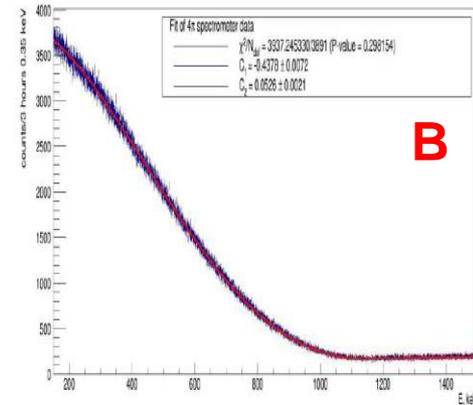
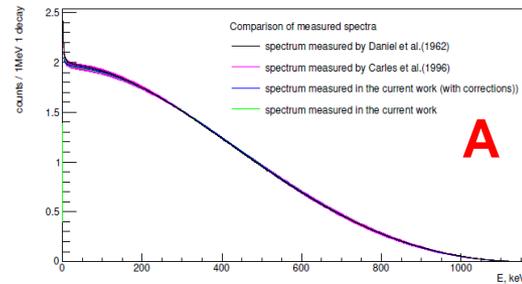
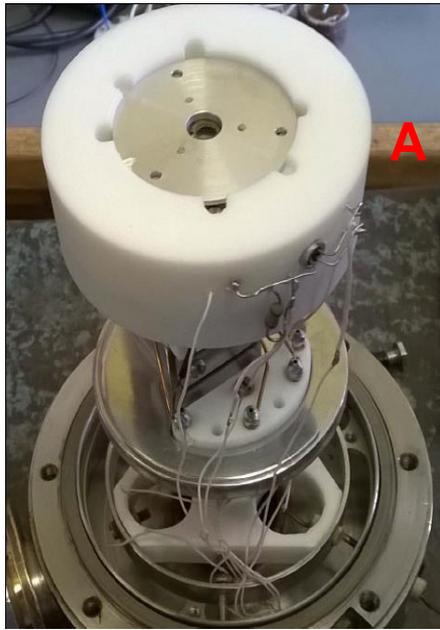
nEDM

Physics of Atomic Nuclei 79 (2016) 293

Technical Physics 92 (2022) 327

Измерения бета-спектра ^{210}Bi для регистрации солнечных CNO -нейтрино (А.В. Дербин, ОПЯД)

Международная коллаборация Борексино, в которой участвуют ученые НИЦ КИ ПИЯФ, представила результаты обнаружения нейтрино, испускаемых в реакциях CNO -цикла на Солнце. Весомый вклад сотрудников ОНИ ПИЯФ связан с измерением с высокой точностью β -спектра ^{210}Bi , знание которого необходимо для анализа потока солнечных CNO -нейтрино.



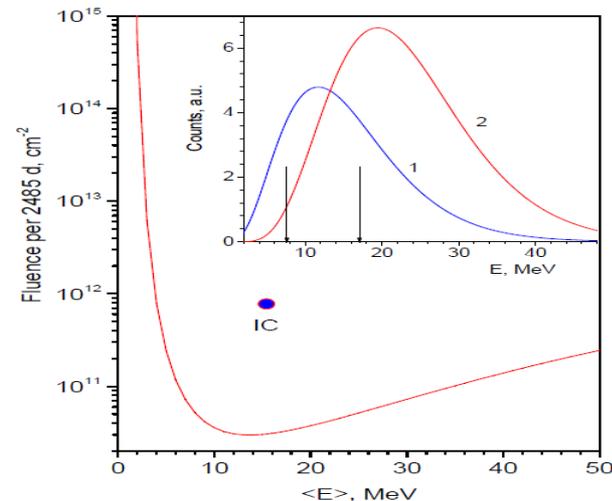
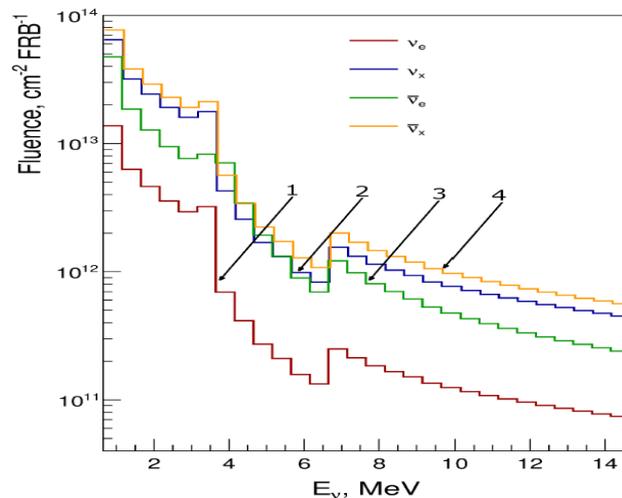
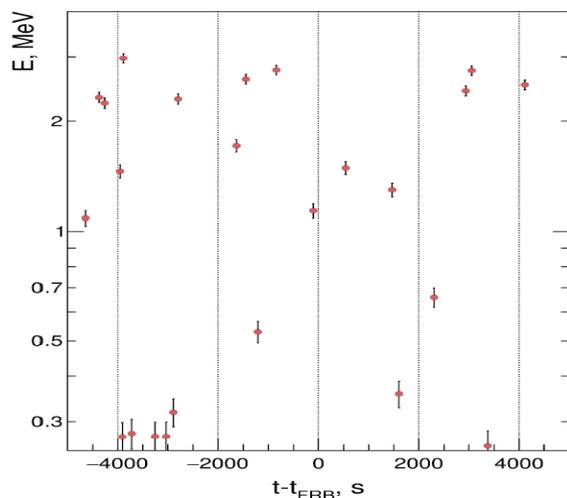
Измерения β -спектров были проведены с Si-спектрометрами двух типов: **A)** схема «мишень-детектор» и **B)** $4\pi\beta$ -спектрометр). Разработаны и изготовлены в ОПЯД ПИЯФ.

A) β -спектр ^{210}Bi , измеренный спектрометром (A) в сравнении с другими экспериментами. **B)** β -спектр ^{210}Bi , измеренный $4\pi\beta$ -спектрометром (B). Опубликовано в *Phys. Rev. C* и *J. of Phys. Conf. Ser.*

Изотоп ^{210}Bi является элементом естественного радиоактивного ряда ^{238}U . Как продукт распадов α/β газа ^{222}Rn и последующего долгоживущего ^{210}Pb , изотоп ^{210}Bi присутствует внутри и на поверхности всех конструкционных материалов. В настоящее время, точное знание β -спектра ^{210}Bi необходимо для моделирования фона современных детекторов нейтрино и частиц темной материи, и для других низкофоновых экспериментов.

Поиски сигналов от нейтрино в детекторе Borexino от быстрых радио-всплесков. (А.В. Дербин, ОПЯД)

Сотрудники ОНИ ПИЯФ предложили и провели поиск нейтринных событий в Borexino в корреляции с 42 наиболее интенсивными БРВ. Анализировались сигналы с энергиями > 250 кэВ в окне ± 1000 с, соответствующем времени регистрации БРВ. Альтернативный подход был основан на поиске характерной формы спектра электронов отдачи при (ν, e) -рассеяния в измеренном спектре Borexino. Статистически значимого превышения над фоном не наблюдалось. В результате установлены наиболее строгие верхние пределы на флюенсы нейтрино всех флейвов, связанных с БРВ, для нейтрино с энергиями $(0,5-50)$ МэВ.



События в Borexino с $E > 0.25$ МэВ в $\Delta t = \pm 5000$ с от FRB 200428 в нашей Галактике.

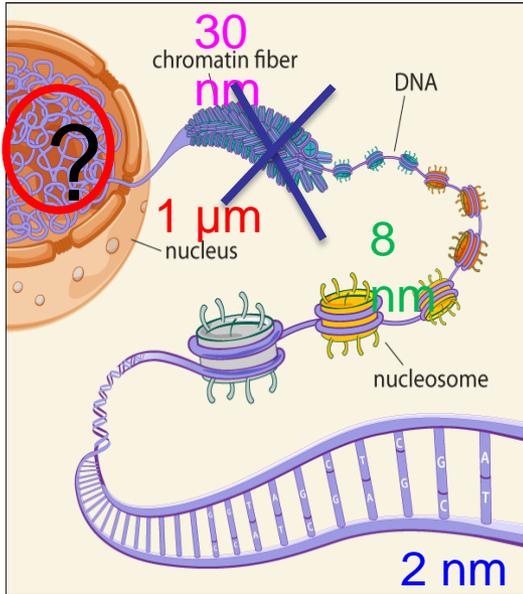
Верхние пределы на флюенс моноэнергетических нейтрино для 42 наиболее интенсивных БРВ.

Ограничения на флюенс электронных анти- ν за 2458 сут. со спектром SN в сравнении с IceCube.

Быстрые радио-всплески (БРВ, Fast Radio Burst, FRB) - единичные миллисекундные радиоимпульсы высокой интенсивности, наблюдаемые с межгалактических и космологических расстояний. Впервые БРВ был обнаружен в 2007 году. Природа БРВ остается невыясненной, предлагаемые модели включают процессы эволюции сверхновых, слияний и коллапсов нейтронных звезд с испусканием **нейтрино** и **аксионов**, которые потенциально могут быть обнаружены черенковскими или сцинтилляционными детекторами большого объема.

Исследование организации хроматина в ядрах биологических клеток (Лаборатория физики неупорядоченного состояния, С.В. Григорьев, Е.Г. Яшина)

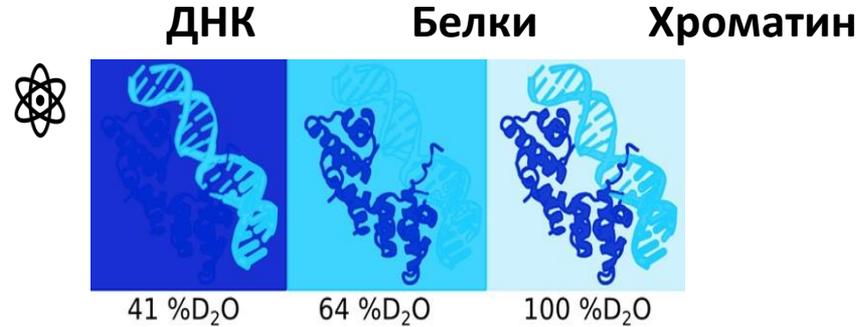
Хроматин (ДНК + белки)



Крупномасштабная структура хроматина?

- Ядра куриных эритроцитов (2020)
- Ядра HeLa (2021)
- Ядра крысиных лимфоцитов (2021)

Методы и объекты исследования



- Исследование методами МУРН и УМУРН ядер HeLa ядер крысиных лимфоцитов с использованием техники вариации контраста.
- Исследование рельефа поверхности деформированных и недеформированных с помощью центрифугирования ядер HeLa ядер крысиных лимфоцитов.

[1] Iashina, E. G., Varfolomeeva, E. Y., Pantina, R. A., Bairamukov, V. Y., Kovalev, R. A., Fedorova, N. D., ... & Grigoriev, S. V. (2021). Bifractal structure of chromatin in rat lymphocyte nuclei. **Physical Review E**, 104(6), 064409.

[2] Grigoriev S. V. et al. Observation of nucleic acid and protein correlation in chromatin of HeLa nuclei using small-angle neutron scattering with D₂O–H₂O contrast variation // **Physical Review E**. – 2021. – Т. 104. – №. 4. – С. 044404.

Магнитное рассеяние нейтронов в восстановленном оксиде графена

В. В. Рунов⁺¹⁾, *А. Н. Бугров*^{*×}, *Р. Ю. Смыслов*^{+*}, *Г. П. Копица*⁺, *Е. М. Иванькова*^{*}, *А. А. Павлова*[°],
А. Феоктистов[∇]

⁺Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова,
Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, 188300 Гатчина, Россия

^{*}Институт высокомолекулярных соединений РАН, 199004 С.-Петербург, Россия

[×]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” им. В. И. Ульянова (Ленина),
197376 С.-Петербург, Россия

[°]Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 С.-Петербург, Россия

[∇]Юлихский центр нейтронных исследований GmbH, 85748 Гархинг, Германия

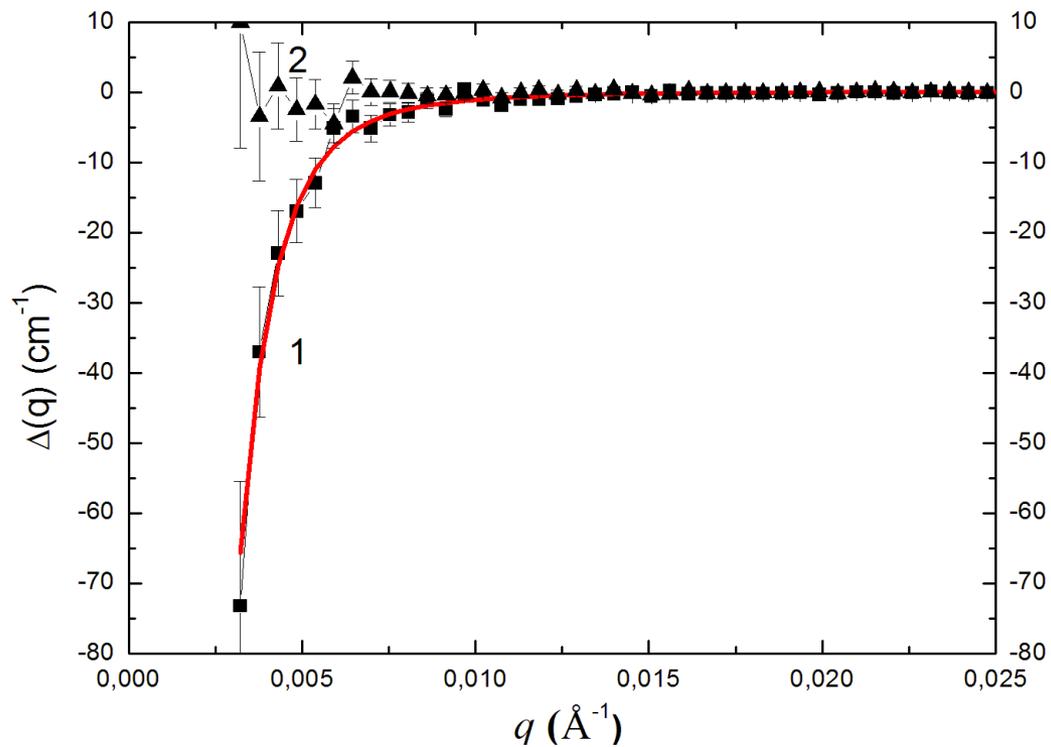
Поступила в редакцию 3 февраля 2021 г.

После переработки 9 февраля 2021 г.

Принята к публикации 9 февраля 2021 г.

Используя метод малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов, удалось, впервые, оценить масштаб магнитных корреляций в материалах на основе восстановленного оксида графена (ВОГ). Полученный результат является основной целью работы, поскольку такую информацию невозможно получить другими методами. Эксперименты показали наличие малоуглового магнитно-ядерного интерференционного рассеяния как для нативного ВОГ, так и для композита на его основе в магнитных полях H порядка 1 Тл, что однозначно свидетельствует о наличии в изучаемых материалах намагниченных областей масштаба 1000 \AA .

DOI: 10.31857/S1234567821060057



Зависимость от вектора рассеяния интенсивности интерференционного рассеяния в поверхностно модифицированном ТМСРМ ВОГ во внешнем магнитном поле $H = 1\text{Тл}$ (1) и при $H = 0$ (2). Сплошной линией показана аппроксимация экспериментальных данных по формуле (2) с корреляционным радиусом $R_C = 640$ (220) А

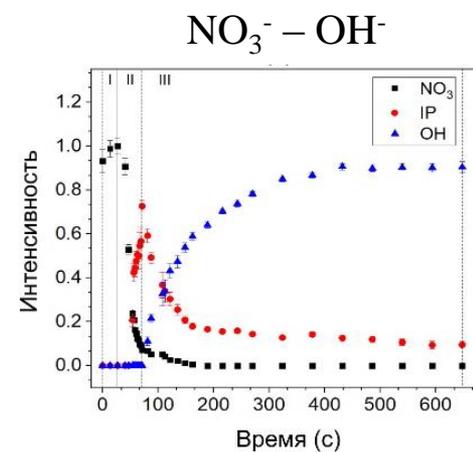
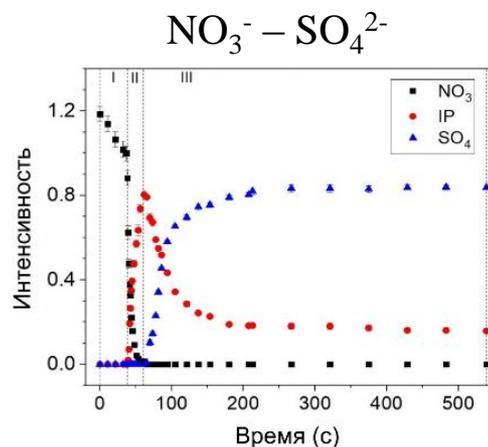
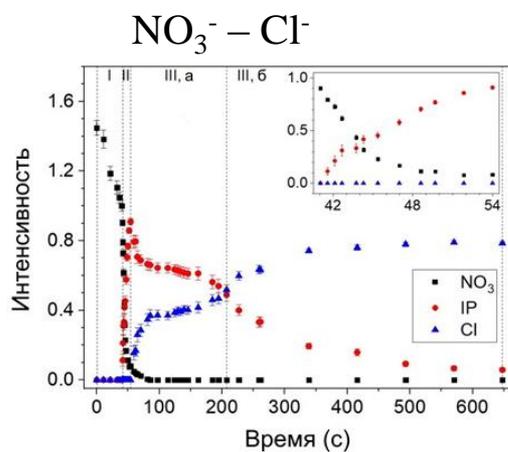
$$\Delta(q) = I[q, P(\text{up})] - I[q, P(\text{down})] \sim P(\Delta\rho_{\text{nuc}}\rho_{\text{mag}}) \quad (1)$$

$$\Delta(q) = a / (q^2 + (1/R_C)^2)^2, \quad (2)$$

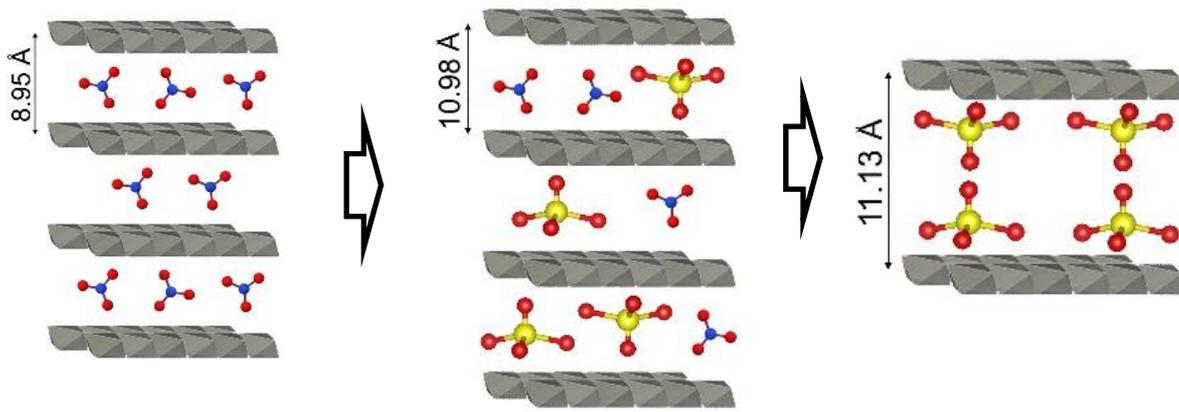
Кристаллографические особенности слоистых двойных гидроксидов (СДГ), выращенных на металлической подложке (М.Х. Юзвюк, И.А. Зобкало, ЛФК)

21 октября 2021 г. на заседании диссертационного совета 02.1.003.01 Юзвюк Марии Херардовне присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности "Физика конденсированного состояния" (1.3.8.).

Пример: Кинетика анионного обмена и структура СДГ на цинке



Диффузионно-контролируемые реакции с замедлением зародышеобразования



Анионные обмены между NO_3^- гостевыми анионами в СДГ на цинке протекают через образование *промежуточной фазы* с двумя типами анионов составе галерей.

Пример: $\text{NO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$

Нейтроннографические исследования взаимодействий и магнитных структур в 4f-3d мультиферроиках (И.В. Голосовский, ЛФК)

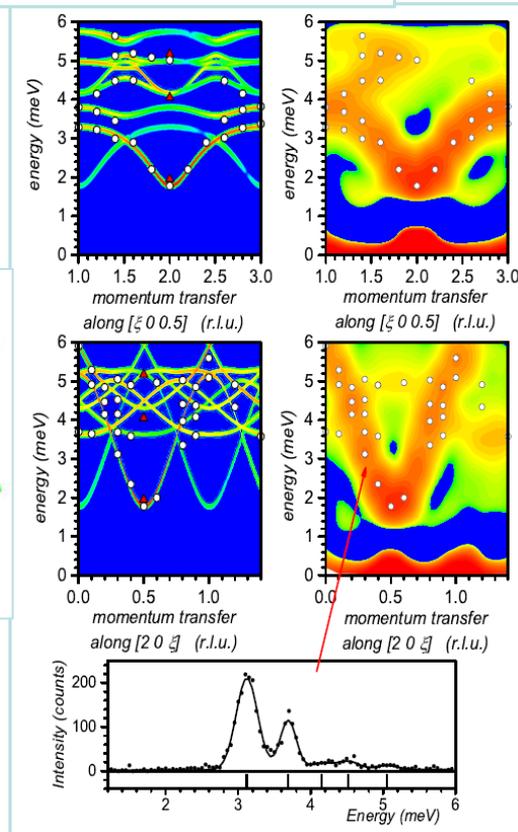
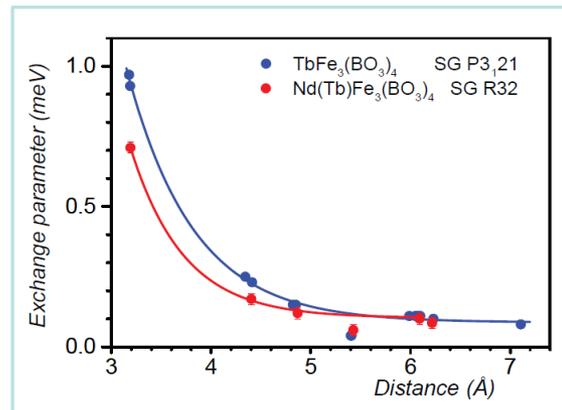
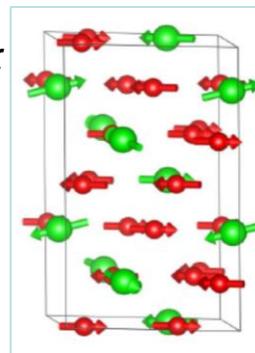
Магнитные возбуждения и обменные взаимодействия в замещенных мультиферроиках $(\text{Nd}, \text{Tb})\text{Fe}_3(\text{BO}_3)_4$ исследованы методом неупругого рассеяния нейтронов.

- Установлена иерархия и величины обменных взаимодействий. Оказалось, что для адекватного описания магنونного спектра необходимо учитывать взаимодействия на очень больших расстояниях, до 7 Å.

“Magnetic excitations and exchange interactions in the substituted multiferroics $(\text{Nd}, \text{Tb})\text{Fe}_3(\text{BO}_3)_4$ revealed by inelastic neutron scattering”. *PRB*, **103**, 214412, 2021.

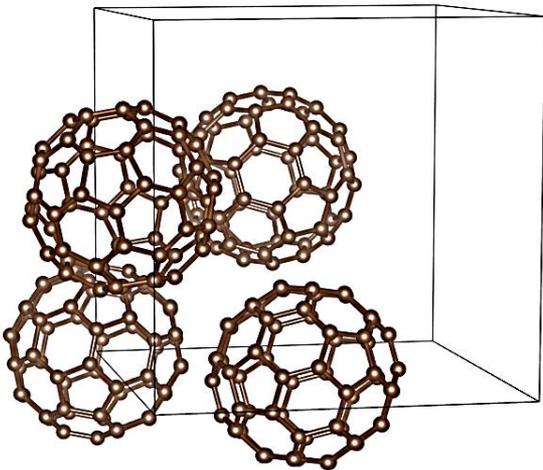
Оптическая спектроскопия высокого разрешения, магнитные свойства и дифракция нейтронов в мультиферроике $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$: ревизия магнитной структуры.

- На примере мультиферроика ферробората гольмия показана плодотворность комбинированного подхода к определению магнитной структуры в сложных многоподрешеточных магнетиках. Этот подход включает нейтроннографию, оптическую спектроскопию высокого разрешения, а также теоретический анализ на основе физически обоснованных моделей.
- “High-resolution optical spectroscopy, magnetic properties, and single-crystal neutron diffraction of multiferroic $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$: Magnetic structure”, *PRB*, **103**, 094411, 2021.

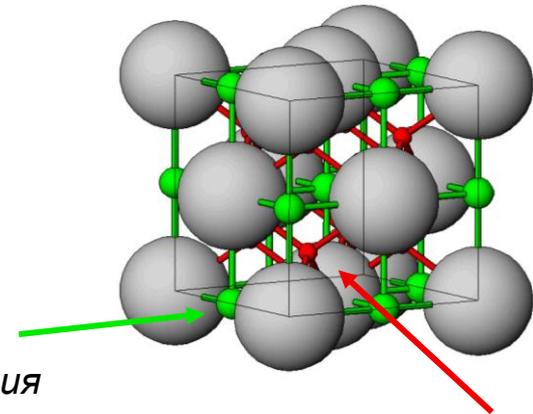


Исследования атомных колебаний в фуллере C_{60} дифракционными методами (И.В. Голосовский, ЛФК)

- Методами нейтронной и рентгеновской порошковой дифракции была обнаружена дополнительная атомная заселённость в октаэдрических и тетраэдрических междуузлиях гранецентрированной кубической ячейки фуллере C_{60} ;
- Наблюдаемая “фантомная” заселенность не зависит от образца и точно соответствует перестройке ориентационного порядка в фуллере при понижении температуры;
- Эта заселенность является результатом атомных колебаний атомов углерода, составляющих молекулу фуллере, что предполагает небольшую, но конечную вероятность существования атомов углерода в междузельных пустотах;
- Обнаруженные “фантомные” заселенности моделируют атомные колебания.

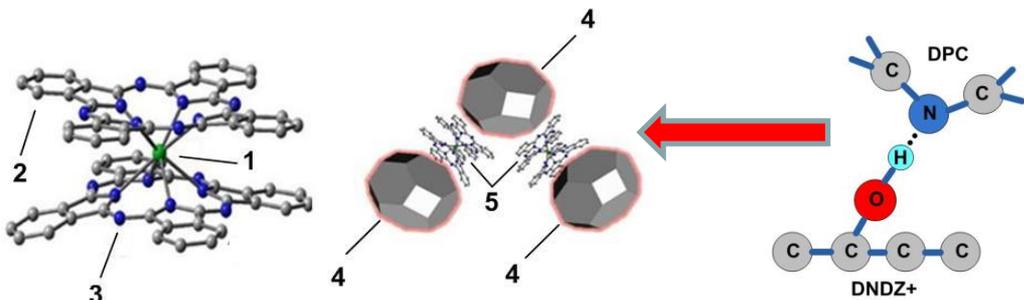


Октаэдрические междуузлия
– позиция $4b$ ($1/2, 1/2, 1/2$)



Тетраэдрические междуузлия
– позиция $8c$ ($1/4, 1/4, 1/4$)

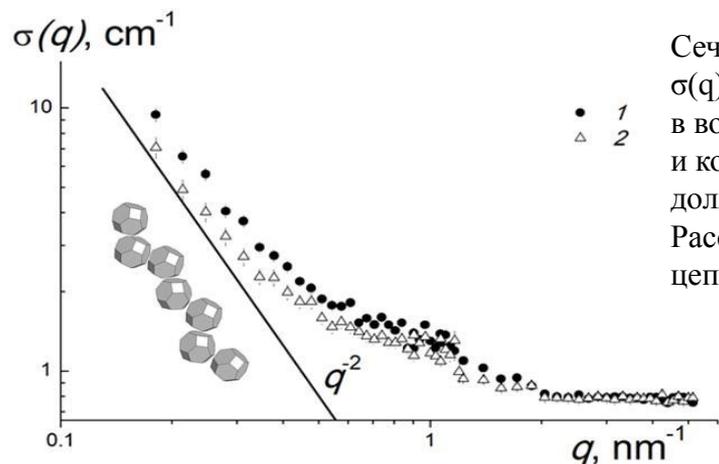
Металлоорганические наноструктуры на основе детонационных алмазов (В.Т.Лебедев, ЛНФХИ)



Впервые синтезированы, изучены и тестированы на биологических клетках люминесцентные магнитные комплексы дифталоцианинов с наноалмазами

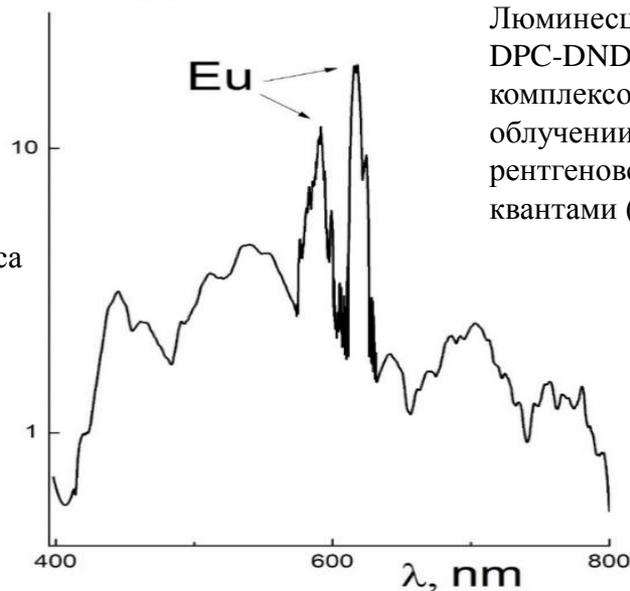
Дифталоцианин (DPC). Атомом Eu (1) связывает лиганды с атомами углерода и азота (2,3). Комплексы алмазов (DNDZ+) (4) с DPC (5)

Водородная связь (DNDZ+)-DPC



Сечение рассеяния нейтронов $\sigma(q)$ в зависимости от импульса в водном коллоиде DNDZ⁺ (1) и комплекса DPC-DNDZ⁺, доля DPC 1.0 % wt. (2). Рассеяние $\sim 1/q^2$ от гауссовых цепей алмазов

Intensity, arb.un.



Люминесценция DPC-DNDZ⁺ комплексов при облучении рентгеновскими квантами (8 кэВ)

Поиск вариации $\mu=m_e/m_p$ на больших z
(Лаборатория молекулярных и атомных пучков, М.Г. Козлов)

Эмиссионные линии в далеком ИК диапазоне наблюдаются для рекордно больших красных смещений z . Это связано с более высокой температурой межзвездного газа в начале расширения вселенной.

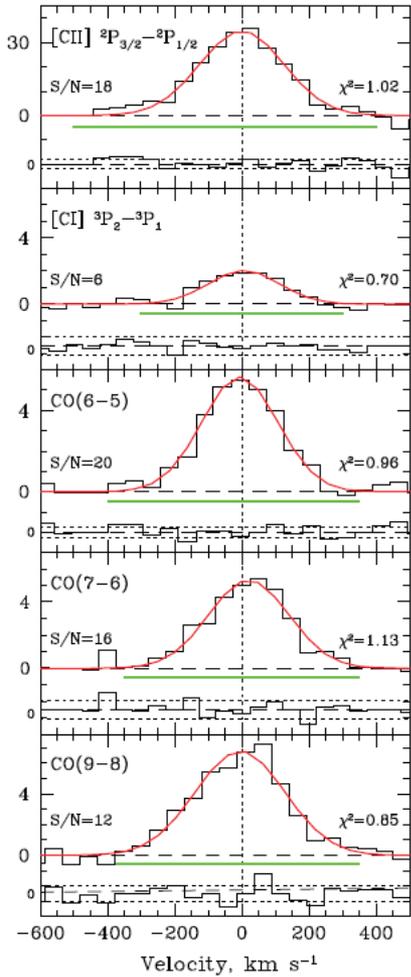
В этот диапазон попадают линии тонкой структуры C и C⁺ и колебательные линии молекулы CO. Эти линии имеют разную чувствительность к вариации $\mu=m_e/m_p$.

Сравнивая красные смещения линий с разной чувствительностью к вариации $\mu=m_e/m_p$ можно получить ограничение на эту вариацию. В данной работе это сделано для рекордно большого красного смещения $z=6.5$.

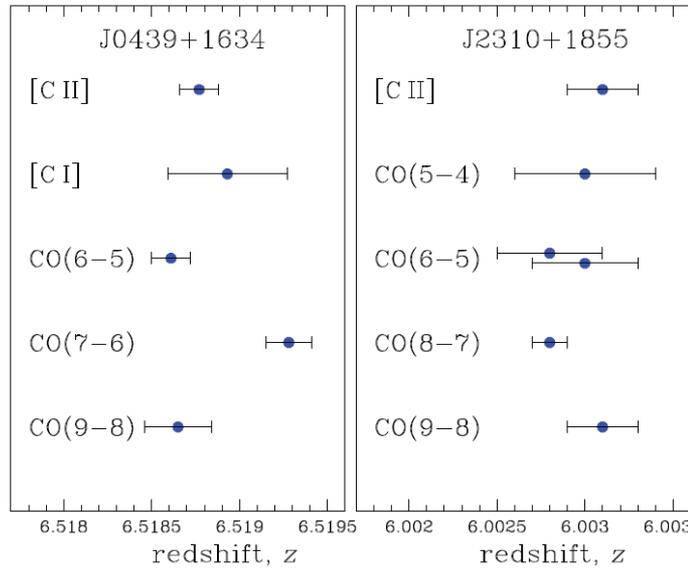
S A Levshakov, M G Kozlov and I I Agafonova, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **498**, 3624 (2020).

Поиск вариации $\mu = m_e/m_p$ на больших z (Лаборатория молекулярных и атомных пучков, М.Г. Козлов)

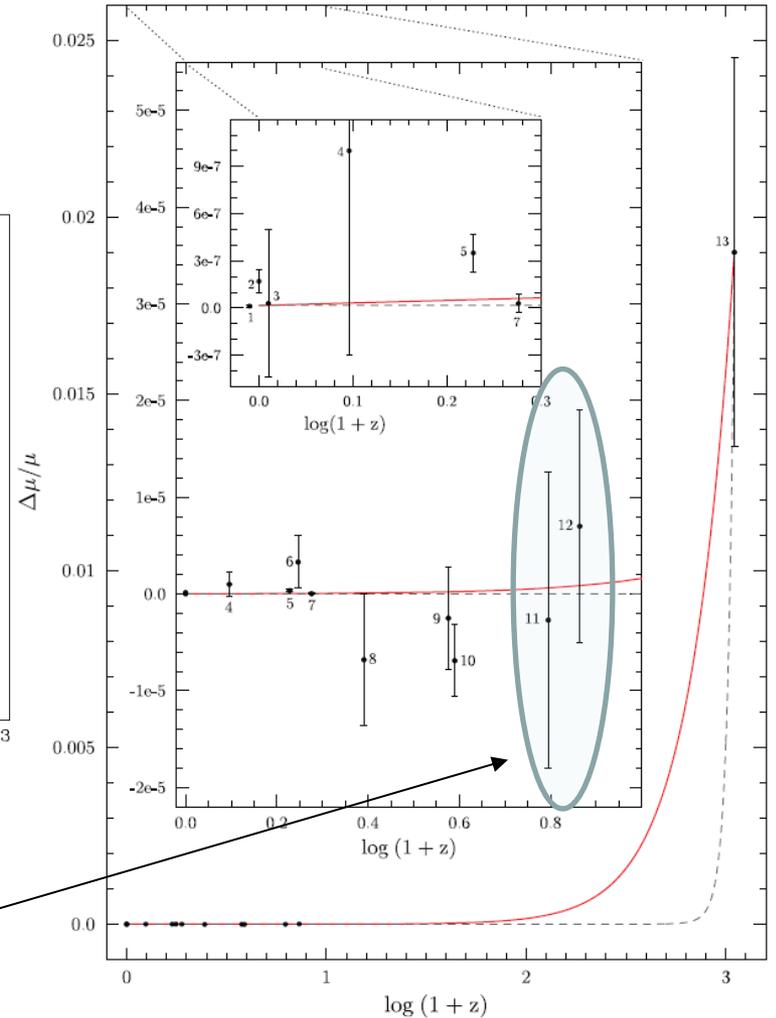
Наблюдения



Красные смещения

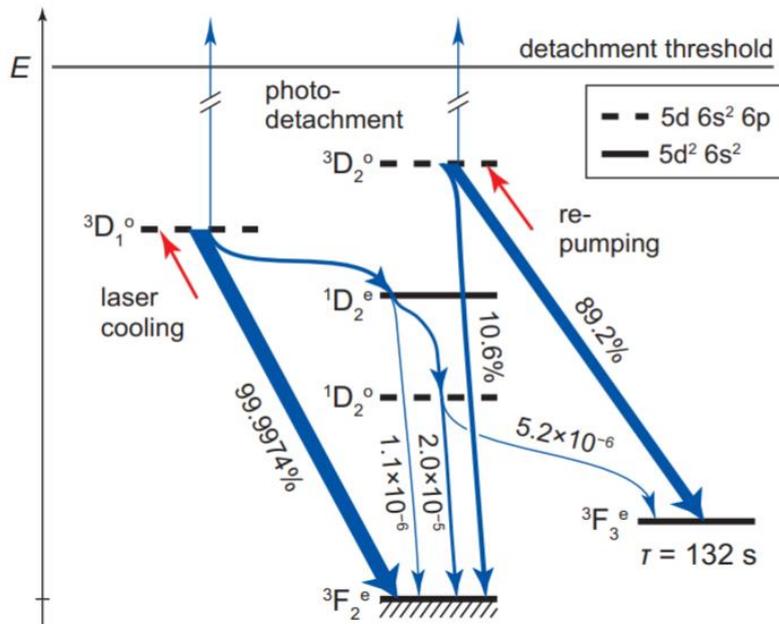


Ограничения на вариацию μ



Эта работа

Предсказание новых узких резонансов в ионе La^- (Лаборатория молекулярных и атомных пучков, М.Г. Козлов)

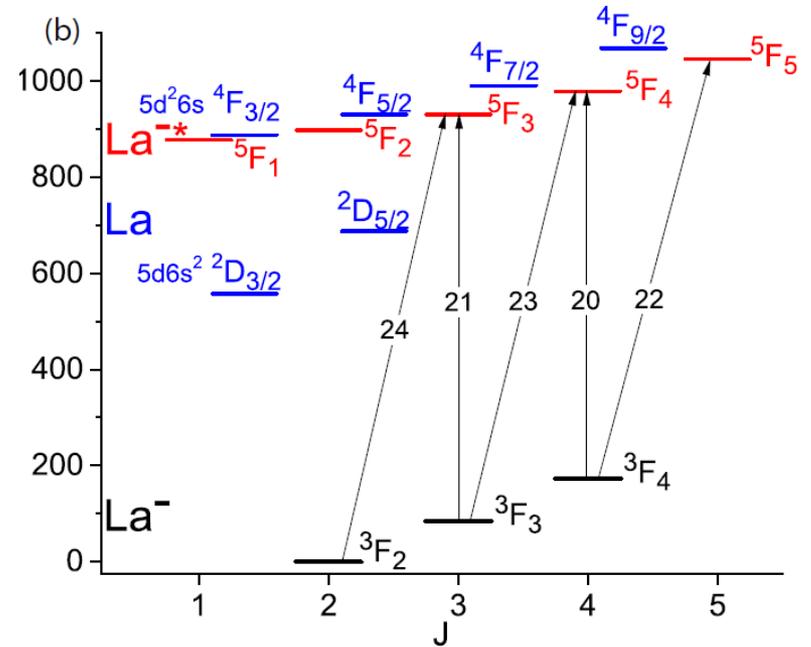
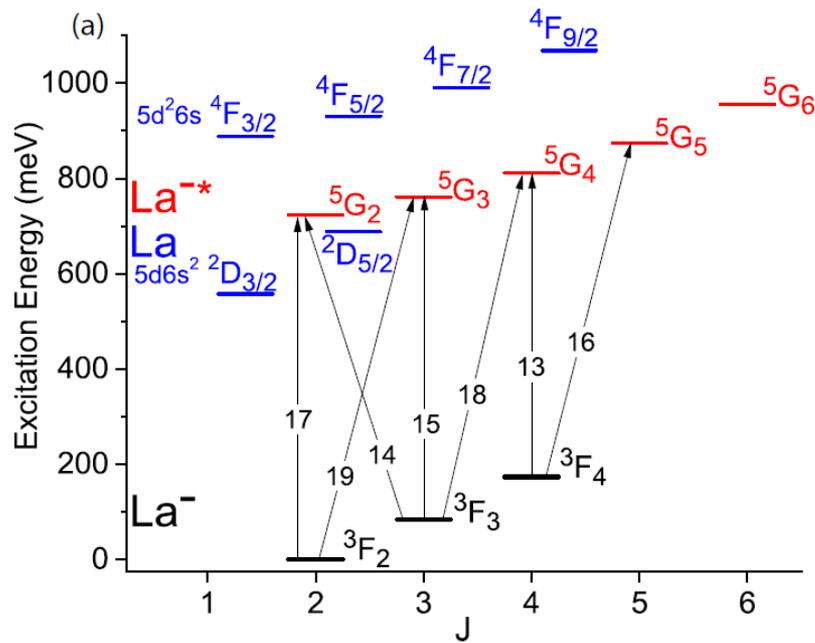


Энергия связи отрицательных ионов очень чувствительна к корреляциям. Большинство ионов имеют 1-2 связанных состояния. La^- уникален тем, что имеет несколько связанных уровней обеих четностей и много резонансов вблизи порога фотоотрыва.

В этой работе проведены расчеты квазисвязанных состояний (резонансов) иона и предсказаны ранее не наблюдавшиеся резонансы. Один из них обнаружен экспериментально в предсказанном месте.

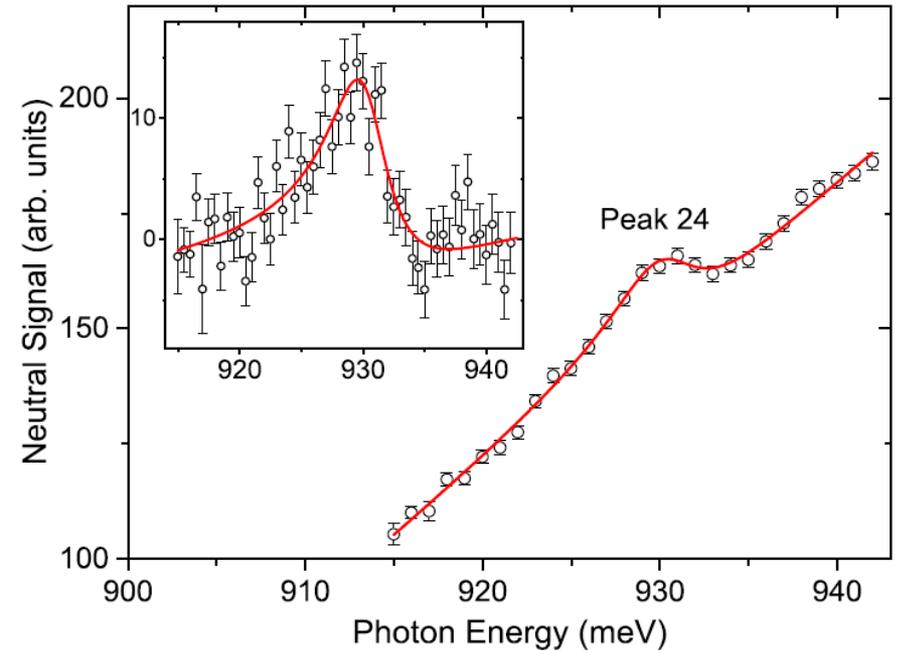
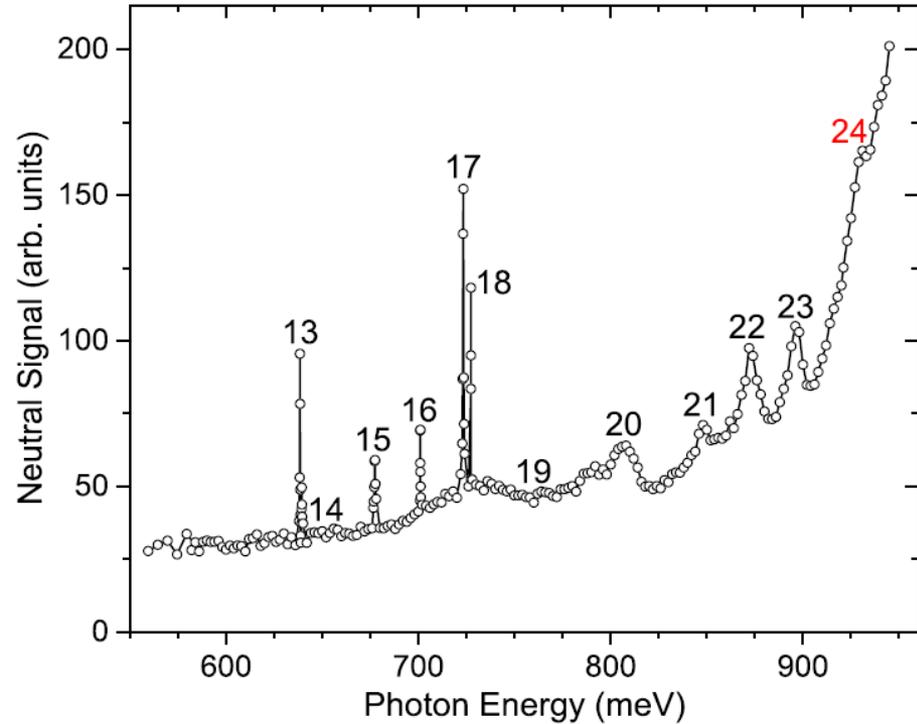
Предсказание новых узких резонансов в ионе La^-

(Лаборатория молекулярных и атомных пучков, М.Г. Козлов)



Расчет уровней энергии La и La^- . Синим цветом выделены уровни La , а красным – квазисвязанные, резонансные состояния La^- . Левая панель – мультиплет G, правая панель – мультиплет F. **Переход 24 – предсказание.**

Предсказание новых узких резонансов в ионе La^-
(Лаборатория молекулярных и атомных пучков, М.Г. Козлов)



Измеренный спектр фотоотрыва электрона от иона La^- . Предсказанный пик **24** ранее не наблюдался.

**Расчет сверхтонкой структуры атомов
для уточнения магнитных моментов короткоживущих изотопов
(Лаборатория молекулярных и атомных пучков, Ю.А. Демидов)**

Константы сверхтонкой структуры зависят от распределения намагниченности внутри ядра. При переходе от одного изотопа к другому возникает сверхтонкая магнитная аномалия (СМА).

Для некоторых изотопов золота СМА превышает 10%, поэтому вклад СМА в величину магнитных моментов короткоживущих изотопов необходимо учитывать.

Если измерены константы сверхтонкой структуры не только для основного, но и для возбужденного состояния, то величину СМА можно извлечь из экспериментальных данных. Для этого отношение сверхтонких магнитных аномалий должно быть найдено теоретически.

Для изотопов золота это сделано в работе:

Yu. A. Demidov et al. “Atomic calculations of the hyperfine-structure anomaly in gold” *Phys. Rev. A* **103**, 032824 (2021).

$${}^1\Delta^2 \equiv \frac{g_I^{(2)} A^{(1)}}{g_I^{(1)} A^{(2)}} - 1$$

$$g_I^* = g_I^{\text{ref}} \frac{A^*}{A^{\text{ref}}} (1 + {}^{\text{ref}}\Delta^*)$$

$$\rho = A(s_{1/2})/A(p_{1/2})$$
$$\frac{\rho^{(1)}}{\rho^{(2)}} - 1 \approx {}^1\Delta_{s_{1/2}}^2 - {}^1\Delta_{p_{1/2}}^2$$

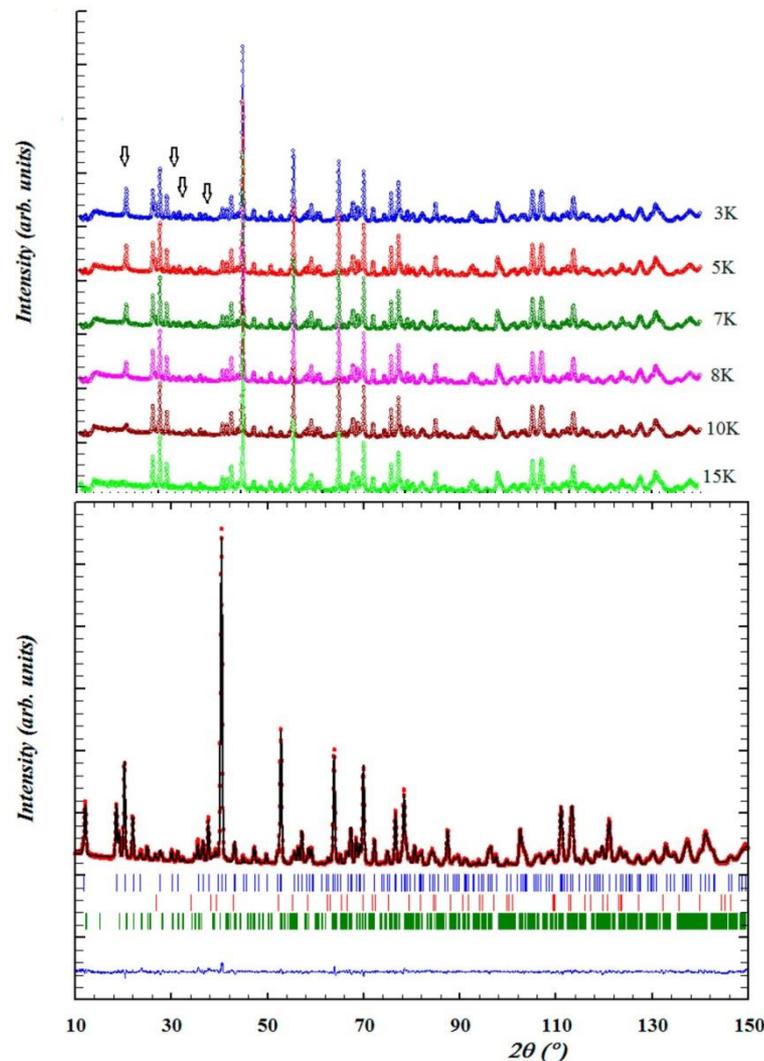
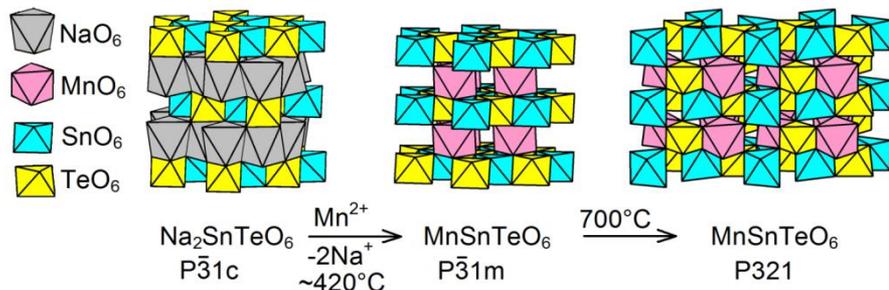
$$\eta = \frac{{}^1\Delta_{s_{1/2}}^2}{{}^1\Delta_{p_{1/2}}^2}$$

Магнетизм двумерных слоистых оксидов с тригональной сверхструктурой магнитных ионов

(Лаборатория исследование материалов, А.И. Курбаков) 1 премия конкурса ПИЯФ 2021

1. «MnSnTeO₆: a Chiral Antiferromagnet Prepared by a Two-Step Topotactic Transformation» *Inorganic Chemistry* 59, (2020) 1532-1546.
2. «Long-range magnetic ordering in Li₂MnGeO₄ and precursor short-range spin correlations» *Physical Review B* 102 (2020) 214420 (9p).

Чтобы найти структурные аналоги **MnSb₂O₆**, мы осуществили гетеровалентные замены. Из них наиболее похожим на **MnSb₂O₆** должен быть его изоэлектронный ДВОЙНИК, **MnSnTeO₆**

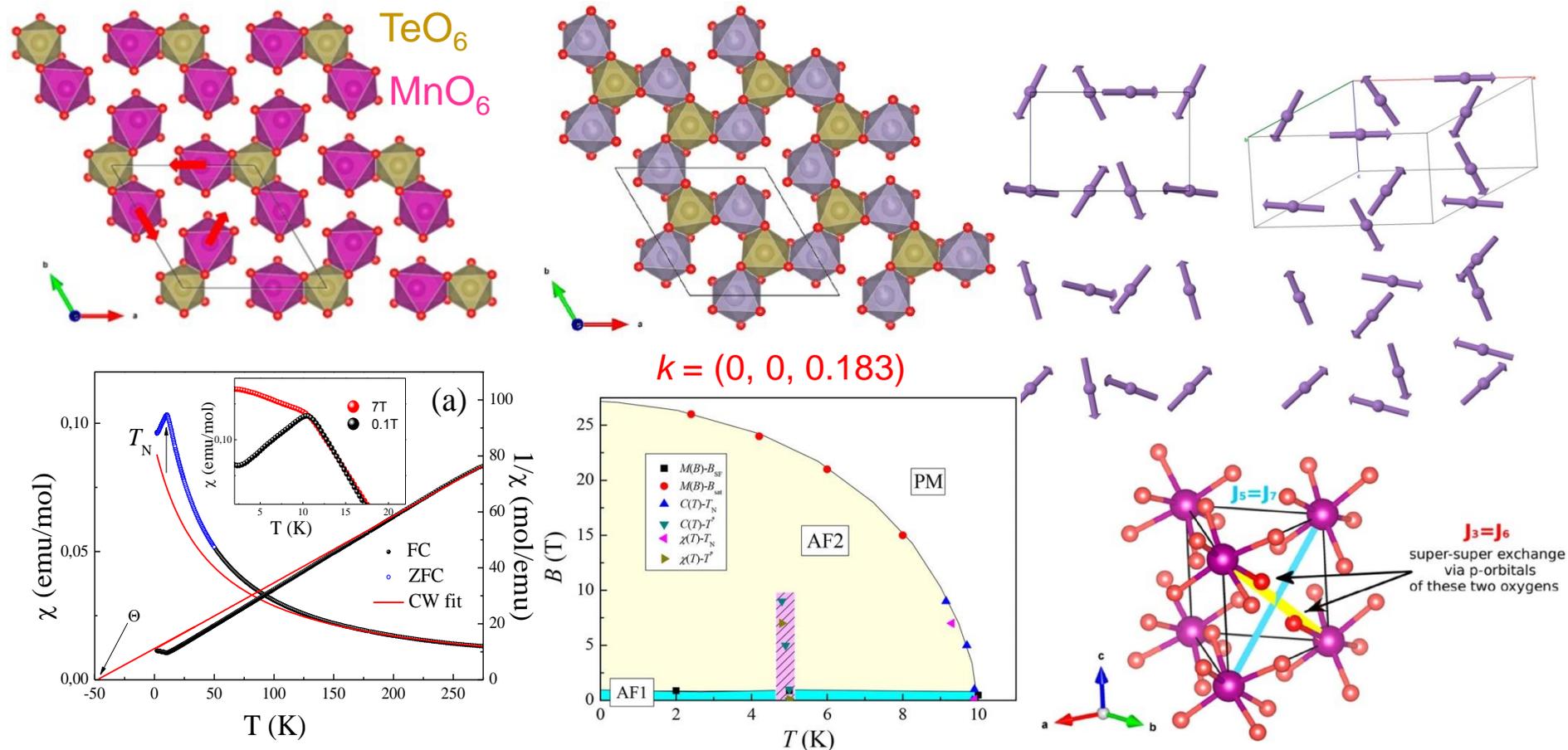


$$b_{\text{Sn}}(Z=50) = 0.62, \quad b_{\text{Te}}(Z=52) = 0.58 \cdot 10^{-12} \text{cm}$$

$$r_{\text{Sn}} = 0.83 \text{ \AA}, \quad r_{\text{Te}} = 0.70 \text{ \AA}$$

$$\begin{aligned} \text{Te1(1a)} - \text{O} &= 1.916 \text{ \AA} \\ \text{Te2(2d)} - \text{O} &= 1.972 \text{ \AA} \\ \text{Sn(3f)} - \text{O} &= 2.060 \text{ \AA} \end{aligned}$$

Особенности магнитного упорядочения в новом хиральном магнетике $MnSnTeO_6$ (Лаборатория исследование материалов, А.И. Курбаков)



	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7
meV	0.12	0.15	0.60	0.12	0.02	0.60	0.02

Обмены ведут себя по-разному в двух типах доменов (хиральность) из-за разницы в супер-суперобменных взаимодействиях.

Основное магнитное состояние в $MnSnTeO_6$ можно описать набором из нескольких циклоид

Спасибо за внимание!

Благодарность всем ученым ОНИ,
представившим материалы для этого сообщения

*Отделение нейтронных исследований
продолжает работать!*

**Всем сотрудникам здоровья и творческих
успехов!**