

# НОВОСТИ НАУКИ



Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова № 3/2023

## ФЕСТИВАЛЬ НАУКА 0+ 2023 ГОДА

90-летие  
ФИЗФАКА МГУ



### СОДЕРЖАНИЕ

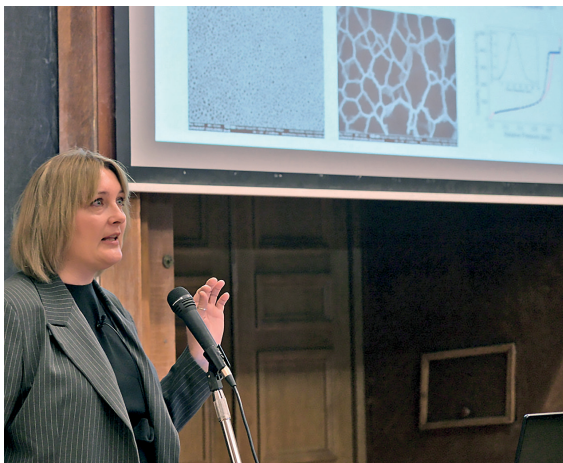
- 1.....Фестиваль "НАУКА 0+"
- 4.....НОВОСТИ НАУКИ
- 20.....КОНФЕРЕНЦИИ
- 23.....ДИССЕРТАЦИИ
- 27.....ПРЕМИИ / НАГРАДЫ
- 28.....Диссертационные Советы
- 30.....УЧЕННЫЕ ФИЗФАКА МГУ



ISSN 2500-2384

С 6 по 8 октября в Москве прошёл 18-й фестиваль НАУКА 0+. Торжественная церемония открытия состоялась в актовом зале Фундаментальной библиотеки МГУ. По традиции Фестиваль открывала лекция ректора Московского университета, академика **Виктора Антоновича Садовниченко**. Каждый год выбирается новая тема Фестиваля НАУКИ. В связи с тем, что в настоящее время проводится международное десятилетие наук об океане, девиз Фестиваля 2023 года — «Океан науки».

Лекцию, открывающую Фестиваль, **Виктор Антонович Садовнический** озаглавил «Океан знаний». Прослушать лекци-



ю-открытие и записи других интересных мероприятий можно по ссылке:

<https://vk.com/video/@festivalnauki>



В рамках Фестиваля НАУКИ в Москве различные мероприятия проводились на таких центральных площадках как Шуваловский корпус МГУ, Президиум РАН, Фундаментальная библиотека МГУ, Парк «Зарядье», ЦВК «Экспоцентр», а также на физическом факультете МГУ.

Мероприятия Фестиваля НАУКИ на физическом факультете МГУ проходили в субботу 7 октября. В Центральной физической аудитории имени Р. В. Хохлова состоялся Лекторий. С приветственным словом к студентам и гостям Фестиваля обратился декан физического факультета, профессор **Владимир Викторович Белокуров**. Затем были представлены следующие лекции: «Нанотехнологии в медицине: от высокочувствительных сенсоров до умных лекарств», **Осминкина Любовь Андреевна**, кафедра медицинской физики, лаборатория физических методов биосенсорики и нанотераностики; «Германиевые нанонити для повышения эффективности металл-ионных аккумуляторов», **Павликов Александр Владимирович**, кафедра общей физики и молекулярной электроники; «Фейерверк физических демонстраций», **Рыжиков**

**Сергей Борисович**, кафедра общей физики.

В перерыве между лекциями в холле напротив ЦФА студенты физического факультета провели научное шоу «Артфизика» с наглядными опытами. После окончания лекционной программы состоялся концерт «Физика музыки» в Музее физического факультета. Организатор концерта — руководитель клуба классической музыки, студент физического факультета **Алексей Карамышев**. Научную сторону концерта представлял профессор кафедры физики колебаний

**Александр Павлович Пятаков**. В рамках концерта выступили лауреаты международных конкурсов: **Борисов Максим Витальевич**, ассистент стажер РАМ имени Гнесиных (флейта); **Ваганова Ольга Игоревна**, доцент, декан оркестрового факультета РАМ имени Гнесиных (альт); **Волкова Наталья Геннадьевна**, доцент РАМ имени Гнесиных (виолончель); **Елизавета Ермакова**, биологический факультет 3 курс (саксофон); **Клеманс Азра**, физический факультет 2 курс магистратуры (фортепиано); **Кучкарова Мадина Акрамжановна**, преподаватель муз. училища имени Гнесиных (скрипка); **Месяц Артемий**, физический факультет 2 курс (фортепиано).

Кроме того, в дни проведения



Фестиваля в Шуваловском корпусе МГУ учеными физического факультета были прочитаны следующие лекции: «Что такое Акустика?», Академик РАН, заведующий кафедрой акустики **Олег Владимирович Руденко**; «Сага о нейтринно: посвящается 90-летию физического факультета МГУ», профессор кафедры теоретической физики **Александр Иванович Студеникин**; «Что такое квантовый компьютер и зачем он нужен?», доцент кафедры квантовой электроники **Станислав Сергеевич Страупе**.



Также в Шуваловском корпусе МГУ работал стенд физического факультета со следующими научными демонстрациями: Наглядная демонстрация технологии МРТ, Квантовый Симулятор, Интерфе-

рометр LIGO в миниатюре. Дополнительно студенты физического факультета проводили научное шоу у входа в Шуваловский корпус

МГУ. Видеозаписи мероприятий, проходивших на физическом факультете доступны в официальной группе физического факультета VK по ссылке:

[https://vk.com/ff\\_mgu](https://vk.com/ff_mgu)



Хотелось бы отметить, что прошедшие мероприятия стали возможны благодаря усилиям многих студентов и сотрудников физического факультета.



# Закон сохранения вероятностей как первый принцип для классических и квантовых систем

Б. И. САДОВНИКОВ, Е. Е. ПЕРЕПЁЛКИН, Н. Г. ИНОЗЕМЦЕВА,  
И. И. АЛЕКСАНДРОВ, А. А. КОРЕПАНОВА

В середине XX-го века А.А. Власовым было произведено рассмотрение классических физических систем в обобщенном фазовом пространстве, которое помимо координаты и скорости (импульса), содержит бесконечный набор кинематических величин всех порядков: ускорения, ускорения второго порядка и так далее. Обобщённое фазовое пространство является областью определения функции плотности вероятностей, для которой А.А. Власов постулировал закон сохранения вероятностей в виде аналога уравнения непрерывности. Интегрирование обобщённого аналога уравнения непрерывности по фазовым подпространствам дало бесконечную само-зацепляющуюся цепочку уравнений Власова для функций плотностей вероятностей разных наборов кинематических величин. Кинематические величины в общем случае являются независимыми случайными величинами и необязательно связаны дифференциальными соотношениями в виде производных по времени. Такая степень свободы позволяет рассматривать, в рамках цепочки уравнений Власова, описание как детерминистических, так и вероятностных физических систем. Условие дифференциальной связанности по времени кинематических величин позволяет получить микроскопическое решение цепочки Власова, частный случай которого широко используется в физике плазмы, астрофизике и ускорительной физике. Отсутствие дифференциальной связанности позволяет рассматривать классические статистические системы и квантовые системы в фазовых пространствах.

Количество кинематических величин, от которых зависит функция распределения, определяет ее ранг и ранг дисперсионного уравнения Власова, которому она удовлетворяет. Предположение о разложении (теорема Гельмгольца) среднего векторного поля кинематической величины на потенциальную и вихревую (соленоидальную) компоненту дает возможность получить из уравнений Власова первого ранга уравнения Шрёдингера для координатного и импульсного представления волновой функции. Функция плотности вероятностей квантовой системы удовлетворяет дисперсионному уравнению Власова первого ранга. Вихревая компонента соответствует векторному потенциалу магнитного поля, а скалярный потенциал — фазе волновой функции. Естественным образом получаются уравнения Гамильтона – Якоби, уравнения движения механики сплошных сред и

уравнения Максвелла. Уравнение Власова второго ранга, используемое в физике плазмы как частный случай содержит уравнение Моэля для функции Вигнера квантовой системы в фазовом пространстве. Применяя данный подход, получают аналоги второго ранга для уравнений Шрёдингера, Гамильтона – Якоби и системы уравнений Максвелла. В работе [1] описанный подход был расширен на всю дисперсионную цепочку уравнений Власова. Для систем с излучением, например электромагнитным или гравитационным, могут быть интересны уравнения Власова третьего и четвертого ранга, так как они записаны для функций распределения, зависящих от ускорений второго и третьего порядка. Согласно формуле Д. Лармора сила радиационного трения пропорциональна ускорению второго порядка. В результате для систем с электромагнитным излучением вместо дифференци-

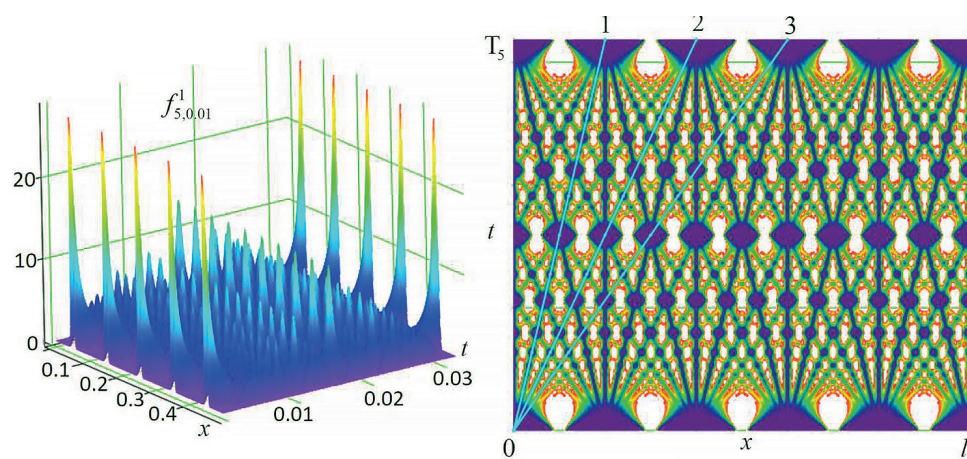


Рис. 1. Эволюция распределения плотности вероятностей  $f_{5,0,01}^1$

ального уравнения Ньютона второго порядка используется уравнение Лоренца – Абрахама – Дирака, имеющее третий порядок. В работе [2] предложено построение функции Вигнера 4-го ранга, зависящей от ускорений второго и третьего порядка, а также получен аналог уравнения Моэля, описывающий ее эволюцию. Функция Вигнера 4-го ранга позволяет построить аппроксимацию среднего поля ускорений второго порядка и оборвать цепочку Власова на третьем уравнении.

Полученная строгая математическая взаимосвязь в описании классических и квантовых систем, позволяет строить их точные решения. В качестве иллюстрации, рассмотрим простейший, но фундаментальный пример — задачу о частице в бесконечно глубокой потенциальной яме. При этом рассмотрим нестационарное решение, выражающееся через  $\theta$ -функции Якоби [3]. На рис. 1 показана эволюция во времени точного модельного решения (так называемый гребень Дирака) для нестационарной квантовой системы [3].

Точное решение  $|\Psi_{\mu,\beta}|^2 = f_{\mu,\beta}^1$ , где  $\mu$  — номер квантового состояния, содержит свободный параметр  $\beta$ , который с позиции статистической физики может трактоваться как обратная температура. Решение  $\Psi_{\mu,\beta}$  является периодическим с периодом  $T_\mu$ . Усреднение по периоду  $T_\mu$  функции распределения  $f_{\mu,\beta}^1$  дает плотность вероятностей квантовой системы  $\bar{f}_{\mu,\beta}^1(x)$ , совпадающую с распределением Гиббса из статистической физики.

Функция Вигнера  $f_{\mu,\beta}^{1,2} = \hbar W_{\mu,\beta}$ , являющаяся решением уравнения Власова второго ранга, позволяет определить энергетический спектр квантовой системы  $\langle E_\mu \rangle$ . При «заморозке»

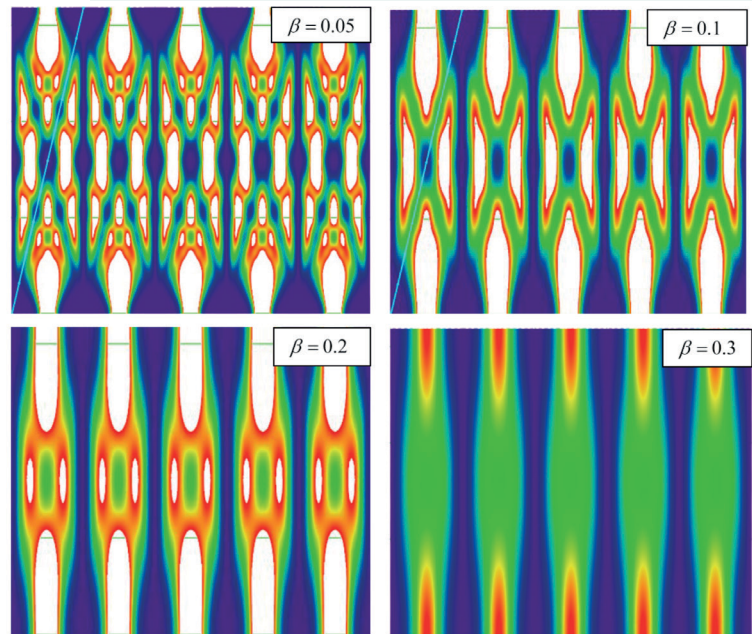


Рис. 2. Размывание временной неоднородности  $f_{5,\beta}^1$  с ростом  $\beta$ .

(стремление обратной температуры к бесконечности) квантовой системы, распределение плотности вероятностей  $f_{\mu,\beta}^1$  стремится к распределению стационарной квантовой системы (см. рис. 2), а ее энергетический спектр  $\langle E_\mu \rangle$  стремится к известному энергетическому спектру стационарной системы  $E_\mu$  (см. рис. 3).

В явном виде получаются выражения для волн вероятностей квантовой системы (см. рис. 4), квантового давления, координатного распределения энергии (см. рис. 5) и энтропии. На рис. 4 для основного состояния  $\mu = 0$  по-

казано распространение волн вероятностей вправо (красный цвет) и влево (синий цвет) относительно центра потенциальной ямы. В течение первого полупериода

$t \in (0, T_1/2)$  волны вероятностей, отразившись от стенок потенциальной ямы, постепенно угасают и возникают отраженные волны, распространяющиеся в противоположные стороны в течение второго полупериода  $t \in (T_1/2, T_1)$ . На конец периода  $t = T_1$ , как и на его начало скорости равны нулю. Для квантовых состояний с номерами  $\mu > 1$  получаются распределения в виде «суперпозиций» распределений, изображенных на рис. 4.

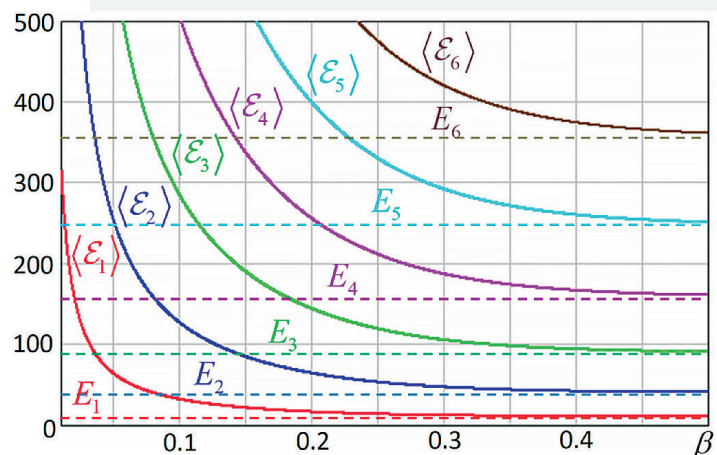


Рис. 3. Зависимость средней энергии  $\langle E_\mu \rangle_{Gibbs}$  от обратной температуры.

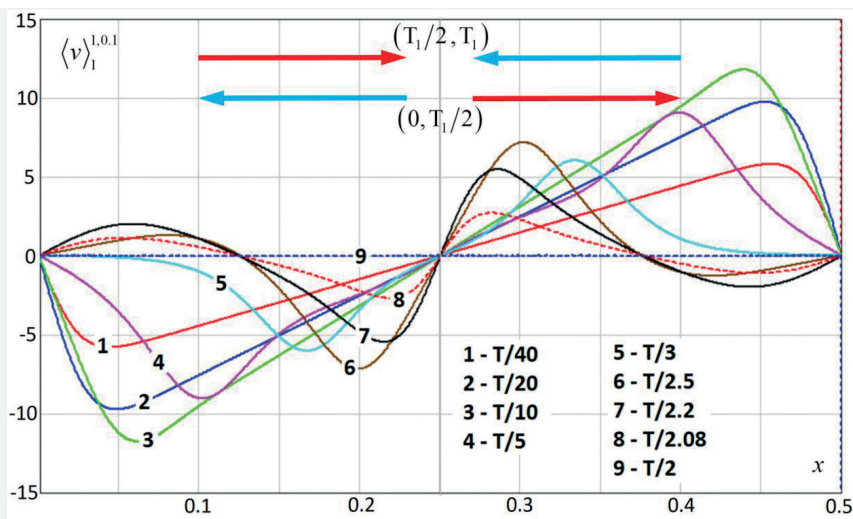


Рис. 4. Эволюция распределения поля скоростей  $\langle v \rangle_1^{1,0,1}$  в течение полупериода  $t \in (0, T_1/2)$

При увеличении  $\beta$  эволюционная картина для распределений  $f_{\mu,\beta}^1$  и  $\langle v \rangle_1^{\mu,\beta}$  вырождается в стационарное распределение.

На рис. 5 приведены распределения средней энергии  $\langle \bar{E}_{2,\beta} \rangle$  (усредненный по периоду  $T_\mu$ ) для квантового состояния с номером  $\mu = 2$  и различными значениями параметра обратной температуры. Распределение  $\langle \bar{E}_{2,\beta} \rangle$  имеет три полюса

(в точках  $x = 0, x = l, x = l/2$ ), которые определяются тремя нулями функции распределения  $\bar{f}_{2,\beta}^1(x)$ . Полюса разбивают (создают бесконечно высокие энергетические барьеры) распределение энергии  $\langle \bar{E}_{2,\beta} \rangle$  внутри потенциальной ямы на два симметричных распределения в двух одинаковых областях размером  $l/2$ . На рис. 5 видно, что при уменьшении «температуры» квантовой системы ( $\beta \rightarrow +\infty$ ) энергия внутри каждой области выравнивается, а при по-

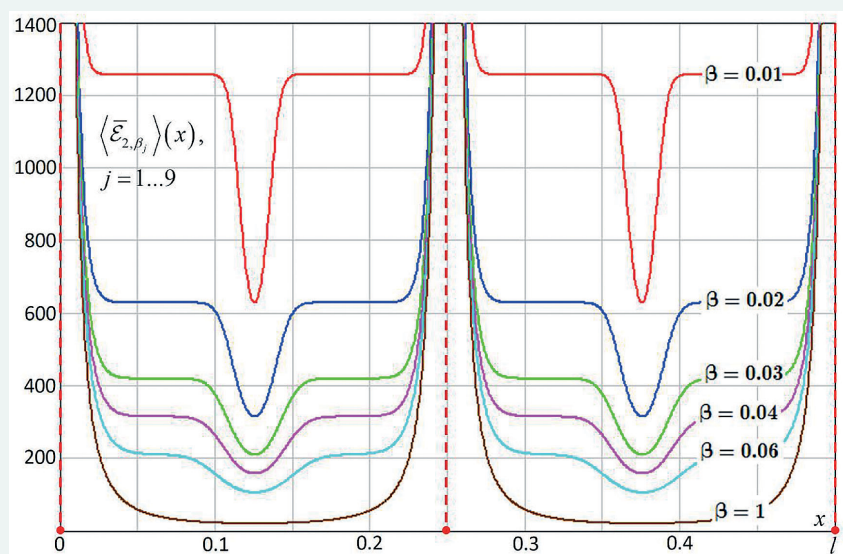


Рис. 5. Распределение средней энергии  $\langle \bar{E}_{2,\beta} \rangle$  внутри потенциальной ямы.

вышении «температуры» ( $\beta \rightarrow 0$ ) энергия имеет сильную неоднородность распределения в середине

каждой области. Энтропия  $S(\beta)$  рассматриваемой квантовой системы также стремится к нулю при её «заморозке». Картина такого поведения находится в соответствии с классическими представлениями механики сплошных сред и подробно описана в работе [3].

Таким образом, разработанный математический формализм дисперсионной цепочки уравнений квантовой механики позволяет производить анализ классических и квантовых систем в рамках единого подхода. Функция распределения несет полную информацию о кинематике системы. Уравнения поля, движения, законы сохранения являются следствиями первого принципа — закона сохранения вероятностей в обобщенном фазовом пространстве.

Литература:

1. Perepelkin E.E., Sadovnikov B.I., Inozemtseva N.G., Korepanova A.A. "Dispersion chain of quantum mechanics equations". J. of Physics A: Mathematical and Theoretical, 2023, **56**, № 145202, pp. 145202-1–145202-42

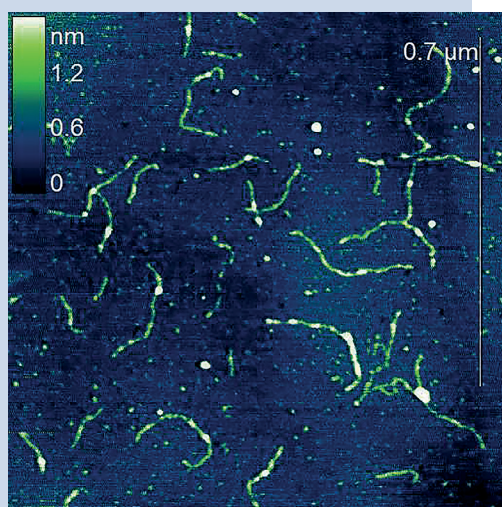
2. Perepelkin E.E., Sadovnikov B.I., Inozemtseva N.G., Korepanova A.A. "Wigner function of the 4-th rank", Physics Letters, Section A: General, Atomic and Solid State Physics, 2023, **484**, № 129085, pp. 129085-1–129085-17

3. Perepelkin E.E., Sadovnikov B.I., Inozemtseva N.G., Aleksandrov I.I. "Exact time-dependent solution of the Schrödinger equation, its generalization to the phase space and relation to the Gibbs distribution", Physica Scripta, 2023, **98**, № 015221, pp. 015221-1–015221-26



## Воздействие солей хрома на молекулы коллагена

Ученые физического факультета совместно с коллегами обнаружили два эффекта, происходящих при воздействии солей хрома (III) на белок коллагена. Обработка биоматериалов на его основе растворами хрома является наиболее известной методикой химической сшивки белка. Несмотря на то, что в кожной промышленности обработка хромом используется на протяжении столетий, эффекты, возникающие при этом процессе на молекулярном уровне, не были до конца изучены. Ученые восполнили этот пробел, охарактеризовав изменение конформации отдельных молекул коллагена и оптических свойств разбавленных растворов белка при воздействии различных солей хрома.



АСМ-изображение молекул коллагена, подвергнутых воздействию раствора  $CrCl_3$ .

Коллаген является самым распространенным белком животных и человека и имеет огромное биомедицинское значение. Он входит в состав сухожилий, костей и кожи в организме. Материалы на основе коллагена широко используются как в медицине, например, для регенерации кожи, в тканевой инженерии, так и в производстве продукции для повседневной жизни, например, косметики, обуви, сумок и т.д.

Одним из основных недостатков биоматериалов на основе коллагена является их неустойчивость к внешним факторам. В частности, они разлагаются в организме в результате воздействия протеолитических ферментов, таких как коллагеназы. Для того, чтобы замедлить биодеградацию биоматериалов на основе коллагена, а также придать им дополнительную прочность, используются различные методики химической сшивки белка, наиболее известной из которых является обработка растворами хрома. Обработка хромом известна в кожной промышленности уже несколько веков как хромовое дубление кожи. И хотя воздействие хрома на волокна коллагена хорошо изучено, остается непонятным, как катионы хрома влияют на отдельные молекулы коллагена — тропоколлаген.

Сотрудники физического факультета МГУ в.н.с. Е.В. Дубровин и доц. И.А. Сергеева совместно с коллегами из Федерального научно-клинического центра физико-химической медицины им. академика Ю. М. Лопухина и университета Тюбингена выявили два эффекта, происходящие при воздействии солей хрома (III) на коллаген:



Доц. И.А. Сергеева.



В.н.с. Е.В. Дубровин.

значительное увеличение гибкости молекул тропоколлагена и их агрегацию в растворе. Обнаруженные эффекты не зависят от того, какая из трех солей хрома использовалась: ацетат хрома, хлорид хрома или нитрат хрома. Авторами также продемонстрирован одинаковый эффект замед-

Irina A. Sergeeva, Dmitry V. Klinov, Tilman E. Schäffer, Evgeniy V. Dubrovin. "Characterization of the effect of chromium salts on tropocollagen molecules and molecular aggregates". *International Journal of Biological Macromolecules*. **242**, Part 2, (2023), 124835.

ления протеолитического расщепления коллагена, предварительно обработанного разными солями хрома (III).

В работе использовались два взаимодополняющих метода: атомно-силовая микроскопия и динамическое рассеяние света. Для объяснения обнаруженных эффектов предложена модель формирования внутри- и межмолекулярных шпиков коллагена, опосредованных катионами хрома (III).

Полученные результаты способствуют лучшему пониманию молекулярных механизмов, лежа-

щих в основе процесса хромового дубления коллагеновых материалов, таких как увеличение гибкости молекул коллагена и перекрестное связывание нескольких молекул коллагена друг с другом. Комбинированный подход, сочетающий в себе АСМ-исследование молекул коллагена на поверхности модифицированного графита и ДРС-анализ растворов коллагена, представляет собой платформу для изучения влияния других факторов на конформацию и физические свойства молекул коллагена.

Исследование поддержано Российским научным фондом.

## Интерпретация сигналов, зарегистрированных глубоководными обсерваториями при прохождении атмосферной волны, вызванной взрывом вулкана

*Сотрудники кафедры физики моря и вод суши совместно с коллегой из Института сейсмологии и вулканологии университета Хоккайдо (Япония) по данным глубоководных обсерваторий DART и DONET проанализировали проявления атмосферной волны Лэмба, сформированной взрывом вулкана Хунга Тонга – Хунга Хаапай 15.01.2022, в вариациях придонного давления. Предложена теоретическая интерпретация наблюдаемых сигналов и способ выделения свободных поверхностных гравитационных волн (цунами).*

Мощное взрывное извержение вулкана Хунга Тонга – Хунга Хаапай, произошедшее в южной части Тихого океана 15 января 2022 г., привело к формированию волны Лэмба в атмосфере и волн цунами в океане. Атмосферная волна отчетливо наблюдалась с геостационарного спутника GOES-17, проявлялась в ионосфере Земли и была зарегистрирована многочисленными наземными барографами. Волны цунами отмечались по всему Тихому океану: по данным Global Historical Tsunami Database (NOAA) максимальная высота волн достигала 22 м в ближней зоне и 1–3 м в дальней зоне (Чили, Мексика, США, Япония) — на расстоянии 8–10 тыс.км от вулкана.

В 1960-х годах С.Л. Соловьевым был предложен надежный и удобный метод регистрации волн цунами в открытом океане, который основан на прецизионных измерениях вариаций придонного давления. Этот метод в настоящее время широко применяется как для изучения явления цунами, так и для решения задач оперативного прогноза.

Одним из немногих недостатков глубоководных регистраторов цунами является зашумленность сигнала проявлениями сейсмических и гидроакустических волн. При сильных цунамигенных землетрясениях, особенно вблизи очага цунами, уровень этих «шумов» может превосходить уровень



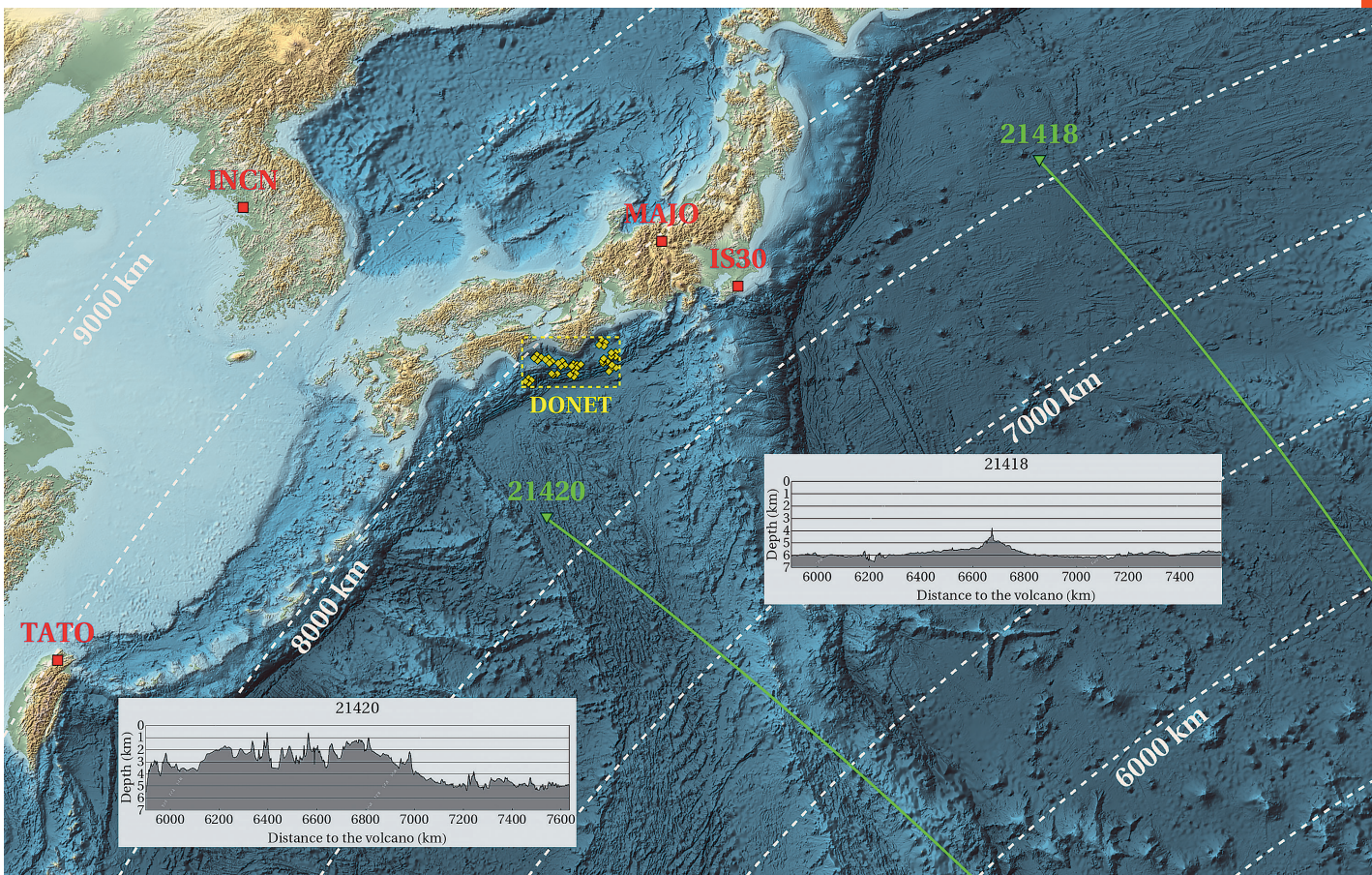


Рис. 1. Взаимное расположение наземных барографов (красные квадраты), глубоководных обсерваторий DART (зеленые треугольники) и DONET (желтые ромбы). Белые пунктирные линии, показывающие удаление от вулкана Хунга Тонга – Хунга Хаапай, построены с интервалом 500 км. На врезках показаны профили глубин, построенные вдоль дуг большого круга, соединяющих вулкан и станции DART (зеленые линии).

сигнала цунами на несколько порядков. Но при регистрации сейсмогенных цунами «полезная» и «шумовая» компоненты вариаций придонного давления принадлежат различным частотным диапазонам, поэтому для выделения сигнала цунами возможно использовать частотную фильтрацию.

Колебания атмосферного давления в волне Лэмба также способны обеспечивать своеобразный «шумовой» вклад в вариации придонного давления. Как различить на записях вариаций придонного давления прямые проявления волны Лэмба и свободные поверхностные гравитационные волны (цунами), сформированные этой атмосферной волной? Частотная фильтрация в данном случае не может обеспечить разделение сигналов, т. к. период волны Лэмба, наблюдавшейся 15 января 2022 г. (десятки минут), соответствует типичным периодам волн цунами.

Первая цель настоящей работы состояла в теоретическом анализе процесса генерации возмущений в водном слое атмосферной волной давления. Вторая цель заключалась в интерпретация вариаций давления, зарегистрированных наземными барографами и глубоководными датчиками давления (DONET, DART) в регионе Японских островов во время прохождения волны Лэмба 15 января 2022 г.

В работе теоретически показано, что отклик водного слоя на атмосферную волну Лэмба представляет собой суперпозицию вынужденного возмущения и свободных гравитационных волн. Форма вынужденного возмущения повторяет форму атмосферной волны. Амплитуда вынужденного возмущения существенно зависит от соотношения скорости распространения атмосферной волны и скорости длинных волн, которая определяется глубиной океана. Свободные

волны (цунами) возникают как результат перестройки вынужденного возмущения при изменении глубины океана. Для скачкообразного изменения глубины получены явные аналитические формулы, описывающие амплитуду и энергию свободных гравитационных волн. С использованием численного моделирования установлено, что для подводных склонов конечной длины  $L$  амплитуду и энергию свободных волн можно оценивать с использованием аналитических формул, полученных для скачкообразного изменения глубин, вплоть до  $L \sim 50$  км. При дальнейшем увеличении длины склона амплитуда и энергия свободных волн заметно уменьшаются.

По данным регистраторов атмосферного и придонного давления, расположенных в регионе Японских островов (4 наземных барографа, 2 станции DART и 44 обсерватории DONET — см. рис. 1)

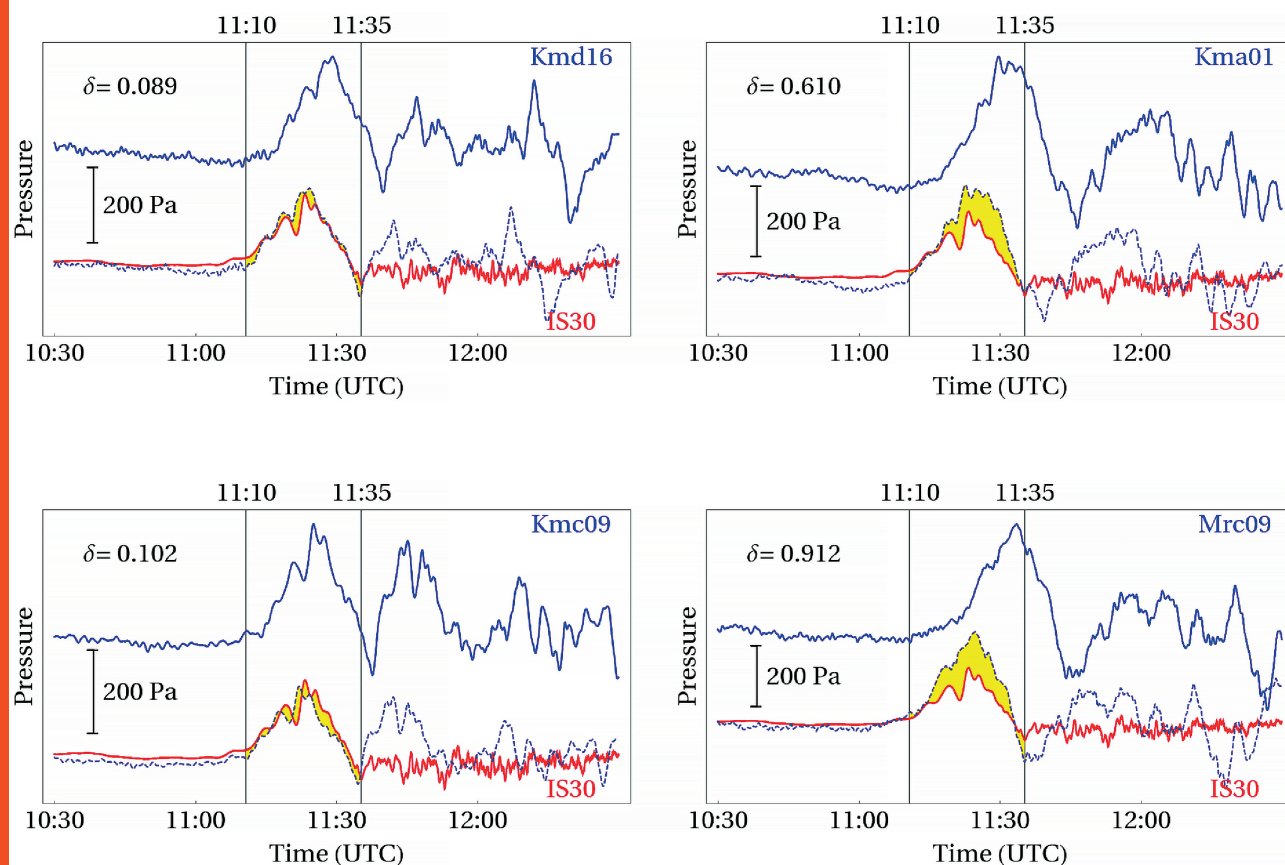


Рис. 2. Вариации давления, зарегистрированные станциями DONET (синяя сплошная линия) на дне океана и барографом IS30 в атмосфере (красная сплошная линия). Синяя пунктирная линия показывает вариации придонного давления, помноженные на теоретически рассчитанный корректирующий коэффициент и сдвинутые по времени, исходя из разницы расстояний «вулкан – барограф IS30» и «вулкан – станция DONET». Желтой заливкой показано различие между красной и синей пунктирной кривыми во время прохождения положительной фазы волны Лэмба.

Nosov, M.A.; Kolesov, S.V.; Sementsov, K.A. "Interpretation of Signals Recorded by Ocean-Bottom Pressure Gauges during the Passage of Atmospheric Lamb Wave on 15 January 2022." *Remote Sens.* 2023, **15**, 3071.

проанализированы проявления атмосферной волны Лэмба, вызванной взрывом вулкана Хунга Тонга – Хунга Хаапай 15 января 2022 г. Установлено, что донные датчики давления, расположенные на обширной абиссальной равнине и в глубоководной части материкового склона, зарегистрировали вариации давления, близкие по форме волне Лэмба в атмосфере (рис. 2, левая колонка). Амплитуда вариаций придонного давления всегда

заметно превосходила амплитуду колебаний атмосферного давления. Показано, что в этих случаях отношение амплитуд соответствует коэффициенту, значение которого рассчитывается теоретически по скорости волны Лэмба и глубине океана в точке постановки измерителя давления.

Для датчиков давления, расположенных на небольшом удалении от крупных форм рельефа дна, на вынужденную волну накладываются свободные гравитационные волны, сформированные при прохождении волны Лэмба над подводными склонами. В этих случаях эквивалентности форм сигналов, зарегистрированных на дне и в атмосфере, не наблюдается (рис. 2, правая колонка).

Для оценки цунамиопасности по сигналам, регистрируемым донными датчиками давления, важ-

но иметь простой в применении способ выделения свободных гравитационных волн. Изложенные в данной работе теоретические представления и анализ натуральных данных позволяют предложить такой способ. Из исходного ряда вариаций придонного давления следует вычестить запись колебаний атмосферного давления в волне Лэмба, умноженную на теоретический коэффициент, величина которого определяется скоростью распространения атмосферного возмущения и глубиной океана. Тем самым из вариаций придонного давления исключается компонента, соответствующая вынужденному возмущению, и остается сигнал, соответствующий свободным гравитационным волнам. Следует отметить, что описанный способ легко алгоритмируется, что обеспечивает принципиальную возможность его использования в оперативном прогнозе цунами.

# Выявлены различия в механизмах возникновения ферромагнитной фазы в соединениях FeRh при различных внешних воздействиях

До сих пор остается ряд нерешенных вопросов, которые возникают при детальном изучении этого явления. Однако, авторам недавнего исследования удалось выявить ряд особенностей, которые возникают при индуцировании фазового перехода за счет включения внешнего магнитного поля. Раньше считалось, что нагрев соединений, которые обладают магнитным фазовым переходом, или помещение их во внешнее магнитное поле являются эквивалентными механизмами, приводящими к изменению типа магнитного упорядочения в кристалле. В обсуждаемой работе авторы исследования продемонстрировали, что наличие магнитострикции (изменение линейных размеров кристаллической решетки в присутствии внешнего магнитного поля) и доменной структуры материала являются факторами, которые обуславливают возникновение нелинейных процессов роста ферромагнитной фазы в малых магнитных полях.

Для решения поставленной задачи была проведена экспериментальная работа с использованием различных измерительных методик. Выявить различия в механизмах возникновения ферромагнитной фазы удалось за счет сравнения результатов измерения намагниченности и сопротивления, которые были получены с использованием одинаковых протоколов измерений. Дальнейшие экспериментальные исследования планируется проводить с использованием синхротронных источников нового поколения, строи-

тельство которых реализуется в настоящее время в рамках Мега-сайтс проектов. Ожидается, что полученные результаты станут частью фундамента для создания обобщенной феноменологической теории подобных фазовых переходов.

Проведенные исследования имеют интерес не только с фундаментальной точки зрения, но и с прикладной. Соединения с подобным фазовым переходом могут быть использованы в твердотельных охлаждающих системах. Используемая в настоящее время газокompрессионная технология охлаждения имеет ряд недостатков: является менее энергоэффективной, экологичной и долговечной по сравнению с предлагаемой твердотельной технологией, которая основана на использовании скрытой теплоты, возникающей в процессе магнитного фазового перехода. Таким образом, исследования проводимые в этой области способствуют технологическому развитию новых отраслей.

Исследования выполнены при финансировании Министерства образования и науки, грант № 075-15-2021-1353.

*Ученые из МГУ совместно с коллегами из УРФУ выявили различия в процессах магнитного фазового перехода, индуцируемого нагревом от индуцируемого внешним магнитным полем. В качестве объекта исследования была выбрана тонкая пленка сплава FeRh. В качестве простого примера фазового перехода первого рода можно рассмотреть процесс кристаллизации воды. При охлаждении в воде образуются небольшие кристаллиты — лед. В бинарных FeRh существует похожий фазовый переход, только это соединение меняет не агрегатное состояние, а тип упорядочения магнитных моментов на ионах в кристаллической решетке.*

A. S. Komlev, R. A. Makarin, V. E. Maltseva, V. I. Zverev, A. S. Volegov and N.S. Perov. "Magnetoresistance features at the magnetic field-induced phase transition in the FeRh thin films." J. Math. Fund. Sci., 2023

# Электрические и структурные свойства нановолокон оксида кобальта с цинком

Ученые физического и химического факультетов МГУ изучили электрические и структурные свойства нановолокон оксида кобальта с цинком и показали возможность варьирования проводимости оксида цинка в широких пределах на несколько порядков. Полученный материал с возможностью подбора проводимости имеет широкие перспективы применения: от газовых сенсоров до сверхпроводников. Результаты работы приближают исследователей к созданию стабильных устройств на основе оксида кобальта.

Оксид кобальта  $\text{Co}_3\text{O}_4$  применяется в различных областях, таких как газовые сенсоры, селективные покрытия для солнечных коллекторов, фотокаталитически активные материалы. Он даже проявляет уникальные свойства как сверхпроводящий материал. Особенности структуры оксида кобальта дают возможность более эффективного управления его свойствами. Оксид кобальта имеет структуру шпинели, элементарная ячейка которой представлена на рис. 1. Такая структура характерна для соединений с формулой  $\text{AB}_2\text{O}_4$ , где А — двухвалентный металл, который находится в тетраэдрическом состоянии, а В — трехвалентный металл, находя-

щийся в октаэдрической решетке. В качестве двухвалентного металла в оксиде кобальта выступает ион  $\text{Co}^{2+}$ , а в качестве трехвалентного — ион  $\text{Co}^{3+}$ . Двухвалентный ион кобальта тетраэдрично ориентирован по отношению к ионам кислорода, трехвалентный ион — октаэдрично.

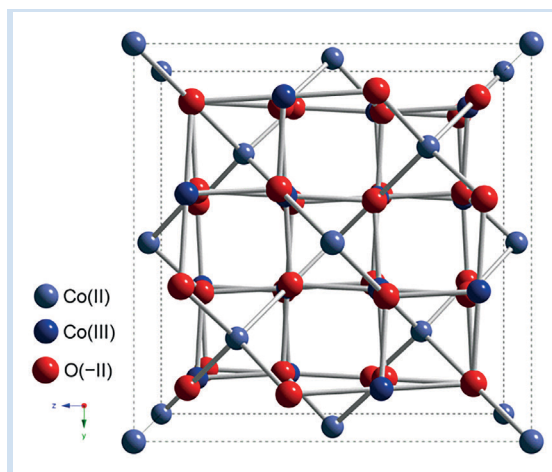


Рис. 1. Структура  $\text{Co}_3\text{O}_4$

Основным недостатком оксида кобальта является его низкая проводимость, а легирование оксида кобальта происходит крайне неэффективно. Ученые смогли значительно повысить проводимость оксида кобальта. Для повышения проводимости и других электрических свойств оксида кобальта в него были внедрены атомы цинка. При этом ионы цинка заместили ионы кобальта. Было получено повышение проводимости нановолокон оксида кобальта на шесть порядков при внедрении атомов цинка (рис. 2).

Для получения такого значительного роста проводимости был также подобран оптимальный метод синтеза композитов, позволив-



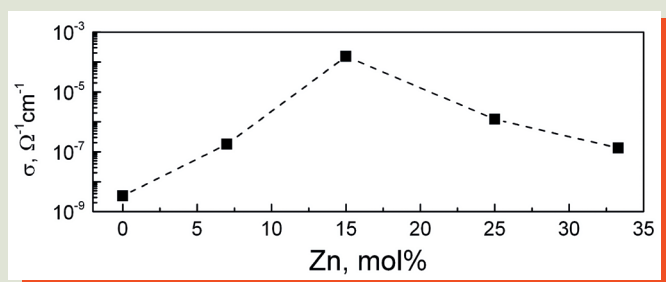


Рис. 2. Зависимость проводимости композитов от содержания цинка в них.

ший эффективно внедрять цинк в наноструктурированный оксид кобальта. При использовании метода химического осаждения оксалатов с последующим термическим разложением цинк встраивается как в тетраэдрические позиции, так и в октаэдрические позиции решетки шпинели, в которых находятся атомы кобальта. Встраивание цинка в различные позиции позволило увеличить эффективность повышения проводимости оксида кобальта.

«Наше исследование посвящено изучению структурных и электрофизических свойств нановолокон оксида кобальта и цинка  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Zn}$ , синтезированных методом электроспиннинга. Диапазон исследуемых концентраций цинка в композитах варьировался от 0 до 33 моль%. Было обнаружено, что проводимость нанокompозитов оксида кобальта и цинка изменяется немонотонно при увеличении содержания цинка в композите и достигает максимума при 15 мол.%»,

— рассказал соавтор статьи П.А. Форш.

Полученные данные о влиянии морфологических особенностей композитов оксида кобальта с цинком с различным содержанием атомов Zn на их структурные и электрические свойства могут быть использованы при разработке новых высокоэффективных катализаторов и газовых сенсоров.

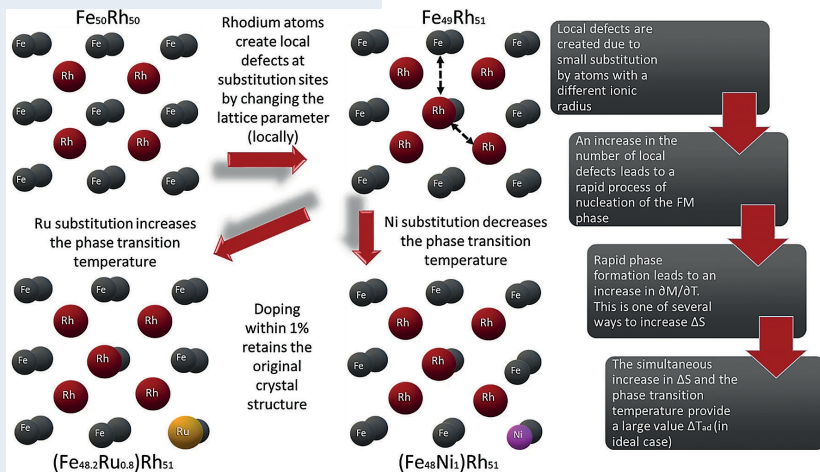
## Рекордный магнитокалорический эффект

При фазовом магнитном переходе первого рода твердое тело переходит из одного состояния в другое, при этом меняется как кристаллическая структура, так и другие физические свойства. Например, скачкообразное изменение структурных свойств приводит к наблюдению эффекта гигантской магнитострикции. Данный сплав также меняет свое магнитное состояние в процессе фазового перехода, в результате скачком увеличивается его намагниченность. Из-за тесной взаимосвязи между структурными, магнитными и калорическими свойствами происходит изменение последних:

если включить магнитное поле и индуцировать фазовый переход, то температура образца в процессе будет изменяться — наблюдается магнитокалорический эффект.

В опубликованной работе авторы продемонстрировали, что синтез нестехиометрического сплава  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$  приводит к появлению большего количества кристаллических дефектов по сравнению с  $\text{Fe}_{50}\text{Rh}_{50}$ . Дефекты в данном случае являются точками роста новой фазы, поэтому величина магнитокалорического эффекта при изменении состава увеличивается.

Сотрудники кафедры магнетизма физического факультета МГУ обнаружили рекордный магнитокалорический эффект в сплаве  $\text{FeRh}$ , легированном атомами  $\text{Ru}$ , а также предложили гипотезу, объясняющую увеличение эффекта. Сплавы с магнитокалорическим эффектом могут использоваться для создания твердотельных холодильников и нового поколения жестких дисков.



A. S. Komlev, R. A. Makarin, K. P. Skokov, A. M. Chirkova, R. R. Gimaev, V. I. Zverev, N. V. Baranov & N. S. Perov. "Tuning Magnetocaloric Effect in Ternary FeRh-Based Alloys by Slight Doping." *Metallurgical and Materials Transactions A* (2023) 108 Accesses, 7 Altmetric 2023

Далее ученые легировали этот сплав другими элементами в малых концентрациях, чтобы не изменять кристаллическую структуру. На рисунке ниже видно, что в зависимости от типа легирующих атомов температура фазового перехода может как увеличиваться, так и уменьшаться. Пока нет общей теории, которая может предсказать это изменение, однако ученые предполагают, что это зависит от ионного радиуса замещенного атома и изменяющейся локальной электронной структуры.

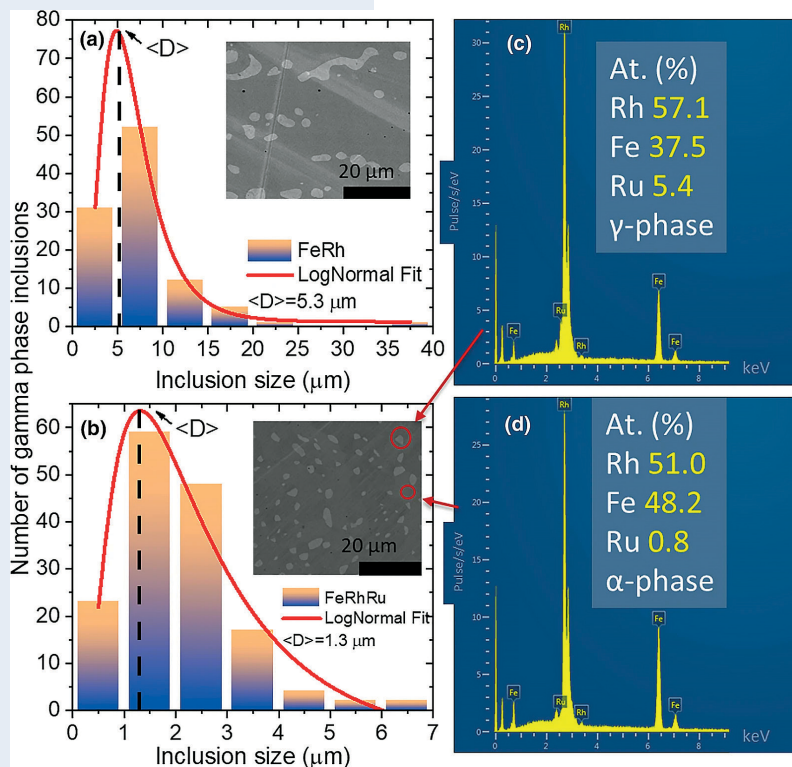
Рекордные значения магнитокалорического эффекта были обнаружены в сплаве (Fe48.2Ru0.8)Rh51. При циклическом приложении маг-

нитного поля 2 Тл вблизи комнатной температуры. Исследуемый образец охлаждался на 7.1 К в цикле, а при первом включении — на 10.4 К. На данный момент это рекордные значения при заданных условиях.

«К сожалению, железо-родиевые сплавы не годятся для практического применения, так как родий очень дорогой металл. Однако обнаруженные тенденции в поведении магнитных, структурных и калорических свойств могут быть справедливы для похожих сплавов, что позволит достичь больших величин эффекта в коммерчески доступных сплавах», — прокомментировал м.н.с. кафедры магнетизма физического факультета МГУ Алексей Комлев.

Самое известное применение исследуемых сплавов — рабочее тело для твердотельных охлаждающих устройств, так называемых магнитокалорических холодильников. Они более экологичные и долговечные по сравнению с газоконденсационными холодильниками. Однако пока что поиск рабочего тела продолжается — нужно найти недорогой сплав с фазовым переходом вблизи комнатной температуры с достаточно большим эффектом при небольших магнитных полях.

«Дальше планируем изучать тройные сплавы с различными легирующими атомами, так как информации об их поведении мало. Мы будем исследовать корреляции между структурными, магнитными и электронными свойствами таких систем. Также ведется работа по бинарным сплавам железа-родия. В них интерес представляет динамика фазового перехода — где именно зарождается новая фаза и по каким законам происходит ее рост, пока неизвестно. Мы планируем обнаружить общие тенденции на примере простых сплавов, а затем распространить на более структурно сложные, это приведет к углубленному пониманию механизмов процессов возникновения магнитных фазовых переходов», — рассказал Алексей Комлев.



# Методом пульсарного тайминга открыты низкочастотные гравитационные волны

*«29 июня 2023 г. вошел в историю современной фундаментальной науки как день обнаружения стохастического фона низкочастотных гравитационных волн — чрезвычайно слабого «шума» пространства-времени, приходящего на Землю изотропно со всех направлений», — сообщил директор ГАИШ МГУ чл.-корр. РАН Константин Постнов.*

В открытии этого сигнала приняли активное участие бывшие выпускники ГАИШ МГУ С. Бабак, Н. Порайко, а также директор ГАИШ МГУ чл.-корр. РАН К.А. Постнов и студент 4 курса астрономического отделения физического факультета МГУ Тимур Хизриев.

В отличие от гравитационных волн, открытых в 2015 году наземными гравитационно-волновыми

интерферометрами LIGO от сливающихся двойных черных дыр или нейтронных звезд, это стохастический сигнал, создаваемый не одним, а совокупностью большого количества независимых источников или даже случайными флуктуациями пространства — времени в ранней Вселенной.

Для регистрации такого сигнала в области наногерцовых частот не требуется создания специальных дорогостоящих детекторов — природа сама позаботилась, как можно искать следы такого слабого «шепота Вселенной» в сигнале от «космических часов» — радиопульсаров, быстровращающихся нейтронных звезд, которые с 1967 года наблюдаются радиоастрономами. Замечательно, что идея регистрации гравитационных волн с помощью радиопульсаров (так называемый метод «пульсарного тайминга») был предложен в 1978 году в работе молодого тогда сотрудника ГАИШ МГУ Михаила Васильевича Сажина (и независимо — годом позже — американским астрофизиком Детвейлером). Для регистрации такого шума потребовалось несколько десятилетий регулярного слежения за временами прихода импульсов от нескольких десятков миллисекундных радиопульсаров, очень стабильных «кос-

мических часов». Эта программа велась целой сетью мировых радиопульсаров в Европе, США, Австра-

лии и Китае. Следы такого шума уже появлялись в данных американской коллаборации NANOGrav, но для доказательства природы наблюдаемого остаточного шума в «расписании» прихода импульсов от радиопульсаров потребовались усилия сотен астрономов и тщательный анализ огромных массивов данных.

«Для окончательного доказательства гравитационно-волновой природы шума требуются новые наблюдения, но уже сейчас ясно, что обнаруженный сигнал с 99.9% вероятностью имеет астрофизическое происхождение. Наиболее вероятным источником такого гравитационно-волнового шума являются тесные двойные сверхмассивные черные дыры в ядрах галактик, которые сливаются за счет излучения гравитационных волн. Однако не исключено (и по мнению некоторых исследователей даже более правдоподобно), что стохастический фон гравитационных волн в наногерцовом диапазоне частот имеет космологическую природу. Это может быть след нетривиальных физических процессов, происходящих в конце инфляционной стадии расширения Вселенной, предшествовавшей «Большому взрыву» — объяснил Константин Постнов.

# Полимерные системы и "мягкие среды" на физфаке



*Одно из направлений на кафедре физики полимеров и кристаллов — теория и моделирование полимерных систем и «мягких» сред. Представители медиацентра факультета (МЦФ) поговорили со старшим научным сотрудником Рустамом Гумеровым о том, как проходит обучение на кафедре, какими научными направлениями занимается и с кем сотрудничает лаборатория.*

*Старший научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов Гумеров Рустам Анрикович*

## **Медиацентр факультета (МЦФ): Расскажите коротко о том, чем занимается лаборатория?**

Меня зовут Рустам Гумеров, я старший научный сотрудник лаборатории теории полимерных систем и «мягких» сред. Наша лаборатория под руководством профессора Игоря Ивановича Потемкина проводит исследования на базе кафедры физики полимеров и кристаллов. Мы занимаемся методами компьютерного моделирования, а также теоретическими методами для изучения полимерных систем и мягких сред.

«Мягкие» среды — это обобщающее название физических систем, общее свойство которых можно сформулировать следующим образом: приложение небольшого внешнего воздействия вызывает немалый отклик. В качестве примера таких систем можно привести гидрогели: они могут поглощать огромные объемы жидкости, тем самым изменяя свои размеры в несколько раз. Более того, зача-

стую гидрогели синтезируются из полимеров, чувствительных к изменению температуры. В таком случае объемы геля можно значительно менять за счет нагрева или охлаждения в пределах пары десятков градусов. К другим примерам мягкой среды можно также отнести коллоидные системы и системы поверхностно-активных веществ (ПАВ), например, эмульсии и пены.

## **МЦФ: Ваша лаборатория является теоретической или есть эксперименты?**

По профилю наша лаборатория, в первую очередь, теоретическая. В то же время, мы непрерывно взаимодействуем с различными экспериментальными группами. Например, мы активно сотрудничаем с научными институтами Германии, где наши коллеги проводят синтез различных полимерных объектов с новой структурой и свойствами. Также мы работаем с другими лабораториями в рамках кафедры. Как следствие, значительная часть

наших публикаций в научных журналах содержит результаты и моделирования, и эксперимента.

## **МЦФ: Почему Вы решили заниматься наукой именно в этой области?**

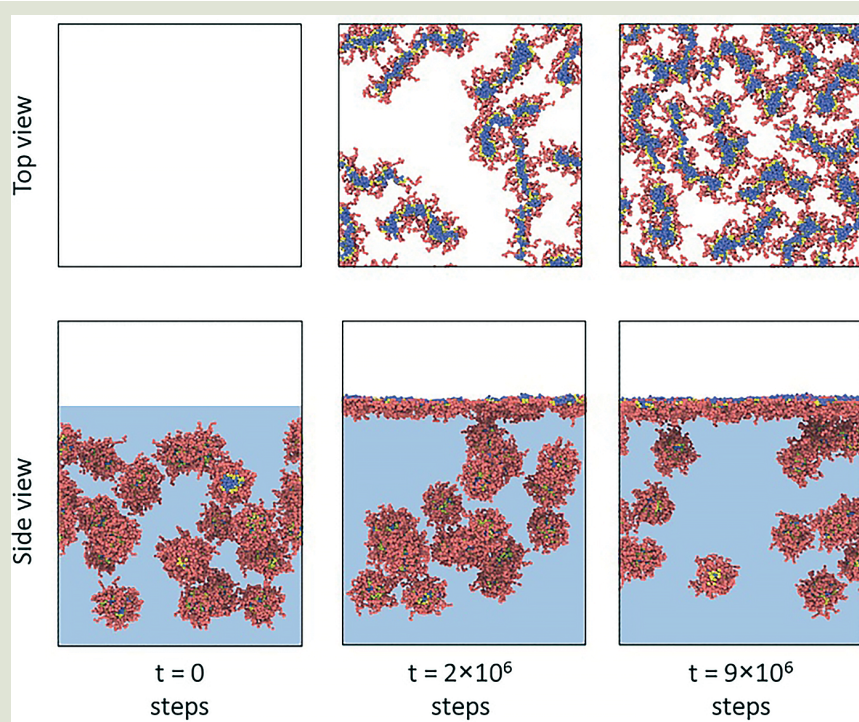
У меня вся семья занималась научной деятельностью: дед — доктор технических наук, дядя — доктор физико-математических наук. Соответственно, они тоже хотели, чтобы я стал ученым. Правда, когда я учился на физфаке, заниматься наукой мне совсем не хотелось. На 2 курсе по совету одногруппника решил делать курсовую на кафедре физики полимеров и кристаллов: мол, кафедра простая, можно спокойно закончить. Однако оказалось, что, во-первых, кафедра далеко не простая, и учебная нагрузка немалая, а во-вторых, на кафедре активно занимаются наукой. Видимо, одногруппник имел устаревшие данные, потому что до 90-х кафедра называлась просто кафедрой физики кристаллов и она действительно была, так сказать, «спокойной»\*. Сначала я пробовал себя в эксперименте, но мне быстро стало неинтересно, и я перешел в лабораторию И.И. Потемкина. Впоследствии, занимаясь научными задачами на старших курсах и далее в аспирантуре, я внезапно осознал, что «это мое».



Немалую роль в этом сыграл тот факт, что параллельно с учебной работой я работал программистом, и эта работа казалась однообразной. Поездки на несколько зарубежных конференций также убедили меня в том, что мои результаты очень важны для экспериментаторов и что, занимаясь моделированием, можно объяснить достаточно большой круг явлений на нано- или микроуровне. В итоге, приняв осознанное решение, после защиты кандидатской остался в науке. И надо сказать, не жалею.

### **МЦФ: Как проходит обучение на кафедре? Много ли студентов в вашей лаборатории?**

Поскольку сотрудники кафедры занимаются не только преподаванием, но и наукой, то отношение к студентам, на мой взгляд, более гуманное, нежели чем на общих курсах. Однако ошибочно утверждать, что из этого следует «легкость» учебы. На 3 курсе ведется только один спецкурс по основам науки о полимерах. А вот уже на 4 курсе и дальше спецкурсов немало, и они очень разнообразные. Например, на кафедре есть обязательный курс «Молекулярные основы живых систем», который читается 2 семестра. На нем сотрудники по сути рассказывают про молекулярную биологию. Большинство людей думает, что полимеры — синтетические материалы, однако это не так. Белки и ферменты — это также полимеры, в основе которых лежат аминокислоты. С другой стороны, поскольку кафедра не только физики полимеров, но и кристаллов, также читается, например, курс о физических принципах нанотехнологий. Для старших студентов есть курс об органической электронике, что на данный момент является одним из популярных направлений в науке и технологии. То есть, как я уже сказал, набор спецкурсов широк, и до 4 курса включительно почти все они являются обязательными.



*Моделирование раствора молекулярных щеток на границе "вода-воздух": при адсорбции на границе полимерные частицы деформируются и меняют свою форму.*

Если говорить про лабораторию, то на данный момент в ней работает больше 15 человек. Я являюсь научным руководителем двух студентов, профессор И.И. Потемкин курирует научную работу шести студентов. Коллектив дружный, и мы всегда готовы прийти друг другу на помощь.

### **МЦФ: Какие нужны начальные знания, чтобы начать работать в лаборатории?**

Мы не требуем, чтобы студенты обладали особыми навыками, однако с точки зрения физики нужно хорошо понимать термодинамику и статистическую физику. Фактически, физика полимеров является логическим продолжением именно этих разделов физики.

В рамках наших исследований хотелось бы, чтобы студент обладал необходимым математическим аппаратом и, конечно, знания программирования также приветствуются, так как мы занимаемся

моделированием полимерных систем. Кроме того, большинство литературы выходит на английском языке, поэтому в научном мире без знаний языка достаточно сложно.

### **МЦФ: Обязательно ли посещать лабораторию, если проводится в основном теоретическая работа?**

Мы стараемся следовать мировым тенденциям в области полимерных систем и мягких сред. Раз в неделю в лаборатории проводится семинар, где каждый сотрудник, аспирант или студент рассказывает об исследованиях, опубликованных в научных журналах за последнее время. Вместе обсуждаем некоторые статьи, чтобы понять, как наши знания коррелируют с общемировыми, и быть на острие науки.

Мы не требуем обязательного посещения лаборатории, но необходимо выполнять поставленные задачи. Преимущество нашей ла-

\* В советское время существовала кафедра физики кристаллов. В 1994 году заведующим кафедры стал профессор Алексей Ремович Хохлов. Он организовал полимерные лаборатории, пригласил талантливых ученых, и кафедра получила современ-

ное название. Полимеры могут кристаллизоваться, поэтому объединение исследований полимерных и кристаллических систем неслучайно.

боратории заключается в том, что работать можно из любой точки земного шара. Поскольку основным местом, где осуществляется моделирование, является суперкомпьютер, главное, чтобы под рукой был ноутбук с интернетом: скачать данные с суперкомпьютера, обработать их и подготовить презентацию. И, конечно, осознать полученные результаты, но это приходит со временем.

**МЦФ: Могут ли в лабораторию прийти первокурсники? Найдутся ли для них подходящие задачи?**

Да, совсем недавно к нам в лабораторию пришел заинтересованный студент-первокурсник. Сначала мы предложили ему литературу для базового изучения теории полимерных систем, где доходчиво объясняется, что такое полимеры и какое место они имеют в нашей жизни. И после этого достаточно быстро мы можем давать ознакомительные задачи для моделирования. Конечно, мы понимаем, что на младших курсах студент не может все время уделять науке, потому что учеба на общих курсах действительно тяжелая. Но сейчас, сделав несколько задач, в случае поступления на кафедру он может с большей степенью самостоятельности ставить определенные задачи и моделировать их.

Мы всегда рады видеть студентов в нашей лаборатории, готовы помогать и отвечать на все интересные вопросы.

**МЦФ: Чем можно заниматься после кафедры физики полимеров и кристаллов или конкретно вашей лаборатории?**

Я закончил физфак в 2013 году. Треть нашей группы осталась в науке, а кто-то уже стал доцентом в американском университете. Также после выпуска люди идут работать в IT, финансовую и банковскую сферы. Если человек привык обучаться, то и в любой другой сфере он несомненно добьется успеха.

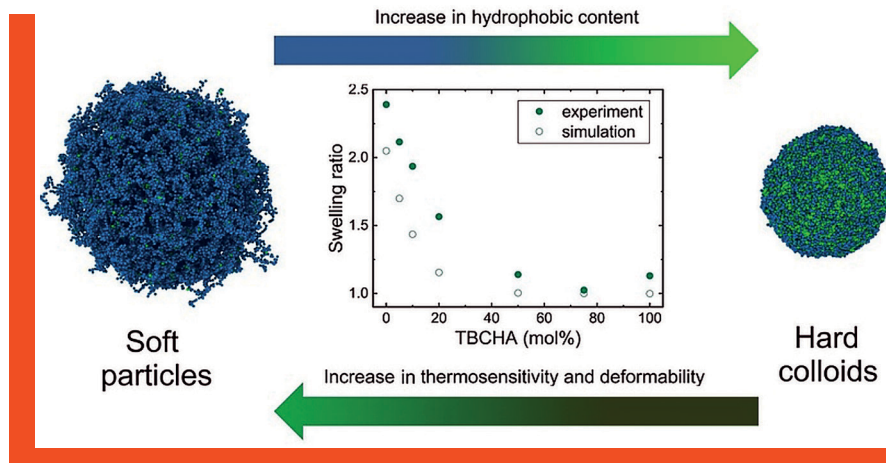
Некоторые выпускники физфака думают, зачем же они вообще потратили время на обучение здесь и все многочисленные курсы. Однако после двух-трех лет работы в другой сфере физфакское образование «выстреливает». Человек понимает, что его научили обучаться, у него развитый кругозор, он сам по себе пытливый в плане получения новых знаний и желания разобраться в чем-то неизвестном. Именно это и отличает его от выпускников других вузов.

Кроме того, я рекомендую поработать вне науки, чтобы понять, что для вас действительно важно и чем хочется заниматься, также это научит вас дисциплине.

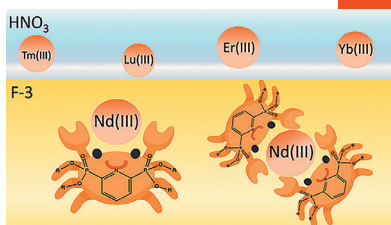
**МЦФ: С кем вы сотрудничаете в науке?**

В рамках проекта Российского научного фонда (РНФ) мы сотрудничаем с институтом Лейбница интерактивных материалов (г. Ахен, Германия): компьютерное моделирование биоклея на основе полипептидов. Полипептиды — это биополимеры, которые состоят из аминокислотных остатков. После растворения в воде они могут вступать в физическое взаимодействие с другими молекулами. И, как следствие, хорошо склеиваться друг с другом, поэтому на их основе можно сделать биоклей. Сам эксперимент проводился в Германии и Китае, а мы осуществляли моделирование на микроуровне. Для чего это нужно? После операций (особенно внутрисполостных) велика вероятность занесения инфекции через швы в организм. Так как полипептиды — это органические вещества, можно добиться быстрого заживления ран без риска воспаления от инородных объектов.

В рамках Московского университета мы сотрудничаем с кафедрой высокомолекулярных соединений Химического факультета. Там ставятся задачи с химической точки зрения, у нас же — с физической, но занимаемся мы примерно одним и тем же. В рамках другого проекта РНФ вместе с лабораторией кафедры ассоциирующих полимеров и коллоидных систем и институтом элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН мы занимаемся изучением систем на основе ПАВ и микрогелей. Последние представляют собой сетчатые частицы микрометровых размеров, которые сочетают в себе свойства полимеров и твердых коллоидов. Они могут находить применение как в адресной доставке лекарств, так и в качестве «умных» стабилизаторов эмульсий, что в частности имеет большую актуальность для нефтяной и нефтехимической промышленности.



Полимерные микрогели с различной долей растворимых и нерастворимых групп (моделирование и эксперимент)



# Новые растворители для переработки ядерных отходов

Развитие атомной энергетики не только приносит человечеству большое количество дешевой энергии, но и заставляет задуматься о способах утилизации радиоактивных материалов и отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Когда реактор прекращает работу, в нем остаются радионуклиды разной степени активности. В России переработка реализуется по схеме замкнутого ядерно-топливного цикла: топливо извлекают из реактора, затем выделяют уран и плутоний для повторного использования, а остальные элементы переводят в безопасные формы для захоронения. Но не все радионуклиды можно переработать одним и тем же способом: «Один из компонентов, америций, мы можем “дожигать” в реакторе на быстрых нейтронах. Он превращается в другие более короткоживущие радионуклиды, которые проще утилизировать. Но вместе с америцием в ОЯТ присутствуют лантаноиды — нейтронные яды. Они снижают эффективность работы реактора», — рассказала автор работы, младший научный сотрудник кафедры радиохимии химического факультета МГУ Екатерина Конопкина.

Для решения проблемы технологи и исследователи предложили делить высокоактивные отходы на фракции со схожими химическими или ядерно-физическими свойствами. Это помогает подобрать матрицу для иммобилизации радионуклидов и безопасно захоронить их. Один из способов разделить несколько элементов — жидкостная экстракция ионов металлов из раствора с помощью органических соединений — лигандов. Эффективность процесса напрямую зависит от строения лиганда и механизма его взаимодействия с ионом.

Ранее ученые предложили экстрагенты на основе фенантролина — азотсодержащего полицикли-

ческого соединения. Но вскоре нашли еще одно интересное решение — лиганды на основе пиридина, модифицированного фосфором, — пиридиндифосфонаты. Они легче синтезируются и обладают достаточной селективностью. Однако изучить механизм взаимодействия металлов и лиганда в растворе оказалось непросто. «В работе мы использовали несколько разных подходов, чтобы доказать строение образующихся комплексов: спектроскопию рентгеновского поглощения EXAFS, ЯМР- и спектрофотометрическое титрование. Изучать

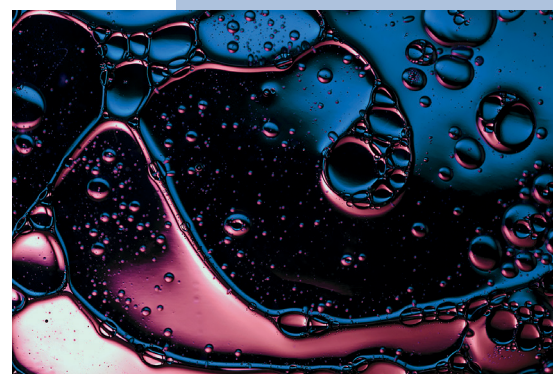
ридиндифосфонатов к d-элементам и создают потенциометрические сенсоры с этими лигандами. Также продолжается работа по поиску более эффективных экстрагентов. Вполне возможно, что пиридиндифосфонаты — еще одна ступень на пути к многокомпонентным селективным экстракционным системам.

В исследовании, помимо ученых МГУ, приняли участие сотрудники Курчатовского института и Института общей и неорганической химии РАН.

*Коллектив ученых химического и физического факультетов МГУ получил и исследовал новый класс лигандов для переработки отработанного ядерного топлива. Полученные данные вместе с разработанным подходом к изучению комплексных соединений в растворе позволяют подобрать эффективный экстрагент для выделения редкоземельных и переходных металлов из смесей. Результаты исследования поддержаны грантом Минобрнауки России в рамках национального проекта «Наука и университеты»*

строение соединения в растворе трудно, так как для этой цели подходит немного методов, а результаты, полученные только одним методом, часто не считаются достоверными. Мы провели экстракцию ряда лантаноидов из азотнокислых растворов и установили состав образующихся комплексных соединений — ML и ML<sub>2</sub> (где M-металл, L-лиганд). Кроме того, мы обнаружили зависимости между некоторыми физическими и химическими параметрами комплексов. Все эти данные мы сможем использовать не только в разработке новых лигандов, но и для создания новых экстракционных систем», — пояснила Екатерина Конопкина.

На этом эксперименты с лигандами не заканчиваются. Ученые уже исследуют селективность пи-



"Solvent Extraction and Complexation Studies of Pyridine-di-Phosphonates with Lanthanides(III) in Solutions". E. A. Konopkina, P. I. Matveev, A. V. Kharcheva, T. B. Sumynova, A. S. Pozdeev, D. A. Novichkov, ... Solvent Extraction and Ion Exchange. **41**, 2023 - Issue 5 . P. 627–653 2023.

# 21-я Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц

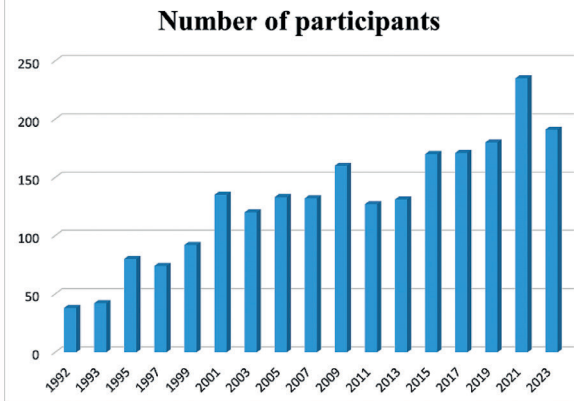


Пик числа докладчиков 20-й Ломоносовской конференции (235 докладов) обусловлен тем, что эта конференция проходила в августе 2021 года полностью в «онлайн» формате из-за ковидных ограничений и по этой причине были использованы все 7 дней для научных заседаний без выходного, который обычно бывает в середине указанного периода.

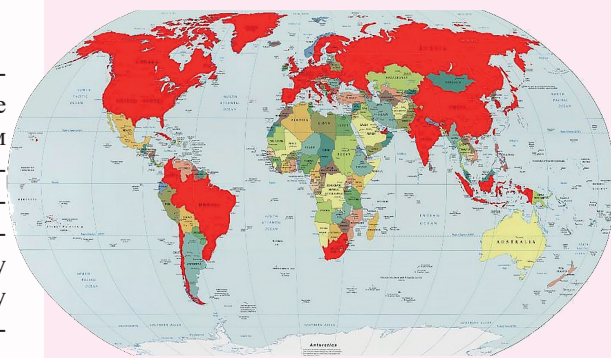
На представленной карте мира красным цветом отмечены страны, ученые из которых выступили с докладами на Ломоносовских конференциях.

Подготовка и проведение 21-й Ломоносовской конференции активно поддерживались деканом физического факультета МГУ профессором В.В. Белокуровым, который открыл первую пленарную сессию конференции.

Конференция была организована при тесном сотрудничестве с Объединенным институтом ядерных исследований и Институтом ядерных исследований РАН. Организаторы конференции благодарны директору ОИЯИ академику Г.В.Трубникову и директору ИЯИ РАН член-корреспонденту РАН М.В.Либанову за оказанную существенную помощь при организации данного научного форума.



С приветственным словом к участникам на открытии конференции выступили научный руководитель ОИЯИ академик В.А. Матвеев, заместитель директора ИЯИ РАН Г.И. Рубцов и директор Национального центра физики и математики (Саров) А.В. Васильев.



На физическом факультете МГУ с 24 по 30 августа 2023 г. в очном формате проведена 21-я Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц (21st Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics). Данная серия международных конференций проводится с 1992 года (с 1993 года — по нечетным годам) под патронажем ректора МГУ академика В. А. Садовниченко и является одним из крупнейших регулярно проходящих в России международных мероприятий по фундаментальной науке. За прошедшие годы Ломоносовские конференции стали престижными международными форумами и привлекают значительное внимание международного научного сообщества. Приведенный график показывает регулярный рост числа докладчиков Ломоносовских конференций за последнее десятилетие.



Двадцать первая Ломоносовская конференция была посвящена 90-летию физического факультета МГУ, 270-летию МГУ (2025 год) и 300-летию Российской академии наук (2024 год). В рамках научной программы конференции была также проведена 15-я Международная школа по физике нейтрино и астрофизике, посвященная 110-летию со дня рождения выдающегося советского ученого итальянского происхождения Бруно Максимовича Понтекорво, который внес фундаментальный вклад в развитие физике нейтрино. По программе нейтринной школы на конференции был организован просмотр научно-публицистического фильма на английском языке «Maksimovich. The story of Bruno Pontecorvo» (автор сценария — Джузеппе Муссардо, Италия).

Тематика 21-й Ломоносовской конференции охватывает широкий круг вопросов физики элементарных частиц, гравитации и космологии. В программу конференции (общее число участников более 400 человек) были включены доклады ведущих ученых научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений России (из Москвы, Санкт-Петербурга, Дубны, Протвино, Новосибирска, Томска, Грозного, Самары, Сургута и Сарова) и 28 стран: Азербайджан, Алжир, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Грузия, Индия, Ирак, Иран, Испания, Италия, Китай, Колумбия, Корея, Нидерланды, Польша, Португалия, Сербия, Сирия, США, Тайвань, Турция, Украина, Уругвай, Черногория и Япония.

За шесть рабочих дней на форуме было представлено 212 докладов, включающие 65 пленарных докладов, 131 секционных и 16 постерных. Из 196 устных докладов 142 доклада были сделаны в очном формате, а 54 доклада — в удаленном формате. Иностранцами учеными были сделаны 46 докладов, 14 китайских ученых приняли участие в конференции персонально в очном формате.

Утренние заседания конференции, которые проводились в ЦФА, посвящались пленарным докладам по наиболее важным вопросам физики элементарных частиц, астрофизики, гравитации и космологии. Это позволило всем участникам ознакомиться с основными идеями и результатами из смежных областей физики. Информация о конференции и копии слайдов презентаций всех докладов, сделанных на конференции, размещены на сайте конференции [www.lomcon.ru](http://www.lomcon.ru). На этом же сайте размещаются интервью, которые во время конференции дали участники конференции председатель оргкомитета.

На конференции также было организовано 16 параллельные секции, проходивших в послеобеденное время 25, 26, 28 и 29 августа, на которых были представлены доклады по более узким темам, представляющим интерес для конкретного круга специалистов в той или иной области. Параллельные секции проходили в ЦФА, ЮФА и СФА.

Плодотворные научные дискуссии продолжались в холле ЦФА, где во время конференции располагался оргкомитет и были организованы кофе-брейки для участников и гостей конференции.

Научная программа конференции, в которой нашли отражение практически все актуальные про-

блемы современной фундаментальной физики, состояла из несколько крупных блоков вопросов. Среди главных тем конференции - новейшие достижения в области ускорительной физики высоких энергий, физике нейтрино, физике космических лучей, астрофизики и гравитации. Тематика докладов отражала общее состояние и тенденции развития исследований по указанным направлениям.

В области физики высоких энергий помимо докладов по результатам многих ведущих в настоящее время экспериментов следует особо выделить состоявшееся на конференции обсуждение направления и перспектив развития ускорительной физики, в том числе дискуссии о преимуществах обсуждаемых в настоящее время различных новых проектов ускорителей в Европе и Китае. Несколько докладов посвящен важному вкладу в развитие данного направления на российских установках в связан с мегасайенс проектом НИКА в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) и развитием исследований на ускорительном комплексе Института ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. Серия докладов на конференции была представлена от имени ведущих коллабораций ЦЕРНа, причем значительная их часть была сделана российскими учеными.



Повышенный интерес на конференции вызвало обсуждение проблемы аномального магнитного момента мюона. В настоящее время имеются указания на существенное отклонение предсказаний теории от экспериментальных данных, что должно быть проверено при проведении в ближайшее время серии новых экспериментов на ускорителях в США и Японии. Результаты, полученные на CDM-3 детекторе в СО РАН, о которых было доложено на конференции, играют одну из ключевых ролей в решении данного вопроса.

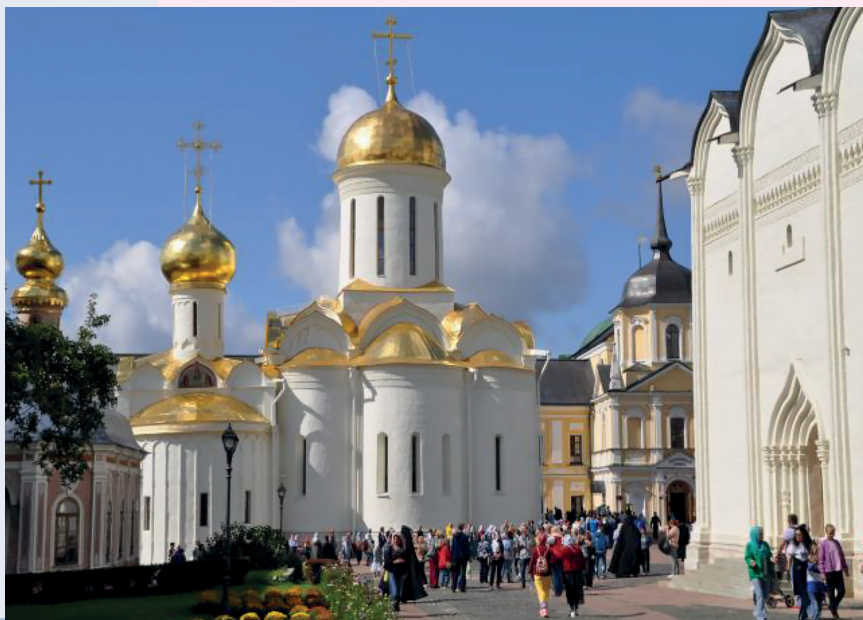
Одним из важнейших (и наиболее представительным с точки зрения количества докладов) был нейтринный блок программы. Доклады по физике нейтрино и смежным вопросам были объединены в проведенной на конференции 15-й Международной школе по физике нейтрино и астрофизике. Российские ученые на протяжении многих лет традиционно вносят существенный вклад в развитие как экспериментальных, так и теоретических исследований в данном направлении. Безусловный оптимизм при оценке перспективы развития данного направления в России связан с активным участием российских ученых во многих ведущих международных (и находящихся за пределами России) коллаборациях. Отметим заметный вклад в развитие данного направления ученых

Московского университета (физический факультет и НИИЯФ), которые активно проводят соответствующие теоретические исследования и участвуют во многих нейтринных экспериментальных проектах, в том числе двух крупнейших международных нейтринных коллаборациях ДЖУНО (Китай) и Гипер-Камиоканде (Япония).

К одной из особенностей программы 21-й Ломоносовской конференции можно отнести заметное увеличение в программе (относительного предыдущих выпусков Ломоносовской конференции) числа теоретических докладов по актуальным вопросам квантовой теории, гравитации и космологии.

К проведению 21-й Ломоносовской конференции была приурочена достаточно обширная культурная программа. Вечером первого рабочего дня конференции итоговое заседание было проведено на корабле, который проследовал по Москве-реке через центр города. Вечером второго рабочего дня конференции для участников была организована автобусная экскурсия по Москве.

В свободный от научных сессий день конференции по приглашению Ректора Московской Духовной Академии епископа Кирилла (который является кандидатом технических наук) состоялся визит участников конференции в Троице-Сергиевую Лавру и Московскую Духовную Академию.



Усилиями ученого секретаря Совета МДА игумена Адриана (который является выпускником факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ и кандидатом физико-математических наук и также кандидатом богословия), директора Церковно-археологического кабинета А.С. Новикова и руководства АНО «Царские чертоги» для участников конференции была обеспечена очень интересная программа пребывания в Лавре и Академии. После обстоятельных обзорной экскурсии по Лавре и экскурсии по Церковно-археологическому кабинету в праздничных палатах Академии для участников был ор-

ганизован обед, в котором приняли участие регент Лавры отец Мефодий и четыре участника мужского хора МДА, исполнившие а капелла несколько духовных и народных произведений.

Результаты проведенной 21-й Ломоносовской конференции по физике элементарных частиц будут служить стимулом для дальнейшего развития исследований в данной области, станут основой для написания новых статей по тематикам представленных докладов, а также найдут полезное применение в учебном процессе образовательных проектов различных уровней. Сборник статей, которые подготовят докладчики 21-й Ломоносовской конференции на основе доложенных ими материалов, будет опубликован на английском языке отдельным томом в журнале Moscow University Physics Bulletin (Вестник Московского университета. Физика. Астрономия).



Успешное проведение 21-й Ломоносовской конференции обеспечены четкой и слаженной работой локального оргкомитета, основу которого составили студенты и аспиранты физического факультета.

*Александр Студеникин, профессор кафедры теоретической физики, председатель Оргкомитета 21-Ломоносовской конференции со студентами и аспирантами.*

*Доцент кафедры акустики  
Андрей Сергеевич Шуруп*

*23 июня 2023 года в диссертационном совете МГУ.013.6  
ШУРУП Андрей Сергеевич  
защитил диссертацию на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук  
по специальности 1.3.7. – «Акустика»*

*на тему:*



## «Модовая томография неоднородных сред с приложениями к гидро- и сейсмоакустике»

Диссертационная работа посвящена развитию методов акустической томографии природных сред и исследованию возможностей их практического применения с учетом специфики гидро- и сейсмоакустических задач. Привлечение методов акустической томографии позволяет проводить дистанционную оценку характеристик среды распространения по данным измерений зондирующих сигналов на границе исследуемой области. В гидроакустических приложениях это открывает возможности проведения мониторинга пространственно-временной изменчивости обширных акваторий в режиме близком к режиму реального вре-

мени, в геофизических приложениях томографические методы являются основным источником информации о внутреннем строении Земли. В диссертационной работе получены новые научные результаты в области развития методов неадиабатической модовой томографии неоднородного движущегося океана, основанных на математически строгих функционально-аналитических алгоритмах решения обратных задач рассеяния; развиты методы пассивной гидро- и сейсмоакустической томографии характеристик водного слоя и дна океана по данным с одиночных звукоприемников, регистрирующих векторно-фазовую структуру акустического поля;

получены новые решения задачи совместного восстановления скалярных и векторных неоднородностей среды методами модовой томографии, использующей алгоритмический учет произвольного смещения антенн из точек их первоначальной постановки. Результаты диссертации являются теоретической и эксперименталь-

ной основы нового научного направления, связанного с решением задач модовой томографии неоднородных сред на основе строгих математических методов решения обратных задач с упрощенными требованиями на техническую сложность и стоимость гидро- и сейсмоакустического мониторинга.



*Доцент кафедры общей физики и волновых процессов  
Потёмкин Фёдор Викторович.*

*14 сентября 2023 г. в диссертационном совете МГУ.01.13 Потёмкин Фёдор Викторович защитил диссертацию на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика*

*на тему:*

## «Широкодиапазонные фемтосекундные ИК лазерные источники нового поколения и нелинейные преобразования в конденсированных и плотных газовых средах»

Фемтосекундные источники ближнего и среднего ИК диапазонов с высокой пиковой и средней мощностью предоставляют уникальные возможности для развития междисциплинарных научных направлений на стыке лазерной физики, нелинейной оптики, физики конденсированного состояния, физической химии и физики высоких энергий. Исследованию нелинейно-оптических процессов взаимодействия интенсивного лазерного излучения с веществом посвящена большая часть многолетних исследований в России и мире, что связано со стремлением ученых к пониманию фундаментальных механизмов формирования нелинейного отклика вещества, невозможного без создания эффективных методов расширения спектра. Однако необходимость поддержания интенсивности на уровне более 1 ТВт/см<sup>2</sup> при узком выборе источников и ограниченном доступе к управлению параметрами лазерного излучения не позволяло обеспечить широкий спектральный охват генерируемого когерентного излучения, что также было связано с наличием в системе чаще всего лишь одного мощного канала лазерного излучения с фиксированной длиной волны. В рамках выполненных по диссертации исследований удалось разработать концепцию расширения диапазона фемтосекундной лазерной генерации на длины волн более 1 мкм за счёт использования лазерных кристаллов на основе ионов хрома в матрице форстерита, то есть Cr<sup>4+</sup>:Forsterite ( $\lambda=1,24$  мкм), отойдя от ранее созданной на кафедре общей физики и волновых процессов фемтосекундной эксимерной XeCl лазерной системы. Это обеспечило в процессе эволюционного развития исследова-

ний получение уникальных для такого класса активных сред выходных параметров лазерного излучения, а именно субтераваттный уровень пиковой мощности при поддержании средней мощности на уровне ватта. В результате с опорой на созданный новый источник накачки в диссертации были предложены и реализованы высокоэффективные схемы расширения спектра лазерной генерации на средний (4–8 мкм) ИК диапазон в процессе оптического параметрического усиления в неоксидных нелинейных кристаллах тиогаллата серебра (AgGaS<sub>2</sub>) и тиогаллата лития (LiGaS<sub>2</sub>) с достижением рекордной эффективности преобразования (до ~10 % в две волны и до ~3 % в средний ИК диапазон) и микроджоулевой энергии в импульсе при сохранении сверхкороткой длительности, близкой к двум-трём оптическим периодам поля. Выход на мультигигаваттный уровень пиковой мощности широкополосного излучения в перспективном среднем ИК диапазоне было реализовано в новой, не имеющей аналогов ни в России, ни в мире, концепции лазерного усиления в халькогенидных активных кристаллах A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> группы, легированных ионами железа Fe<sup>2+</sup> с оптической накачкой мощными 3-мкм наносекундными лазерными источниками. Предложенные в диссертации методы эффективного преобразования излучения ближнего ИК диапазона в терагерцевый диапазон в молекулярных кристаллах и тонкое управление дисперсией при распространении мощного излучения среднего ИК диапазона вблизи молекулярных полос поглощения позволило впервые создать широкодиапазонный (от УФ до ТГц) источник излучения сверхкороткой длительности,



и вместе с разработанными эффективными (от 1% до 10%) схемами преобразования ИК излучения открывают доступ к мультиспектральному сверхбыстрому воздействию на вещество. Лазерные источники созданы на отечественной компонентной базе, что обуславливает устойчивое развитие данного направления и даёт возможности для дальнейшей реализации самых смелых и критических экспериментов в физике сверхсильного светового поля и аттосекундной физике.

С физикой сверхсильного светового поля неразрывно связана задача получения экстремального состояния вещества. Острая фокусировка фемтосекундного лазерного излучения в объём конденсированной среды позволяет создавать такие состояния в лабораторных условиях. Особый интерес с фундаментальной точки зрения представляет эволюция лазерно-индуцированного экстремального состояния вещества, которая может включать быстрые фазовые переходы, недостижимые в стационарных условиях. В диссертации развиты лазерные методы создания и диагностики экстремального состояния вещества, работающие в широком временном окне (от фемто-

секунд до пикосекунд) и применимые для широкого класса сред (диэлектрики, полупроводники). В результате, были предложены и реализованы новые подходы к управлению энерговкладом (вплоть до 10 кДж/см<sup>3</sup>) при воздействии острогофокусированного фемтосекундного лазерного излучения с интенсивностью более 1 ТВт/см<sup>2</sup> на объём диэлектрических и полупроводниковых сред в области их прозрачности, что в сочетании с разработанными методами диагностики плазмы и эволюции лазерно-индуцированного экстремального состояния вещества с использованием нелинейно-оптического метода микроскопии на основе процесса генерации третьей гармоники позволяет создавать и регистрировать динамические и стационарные лазерно-индуцированные фазовые переходы. Исследованные эффекты экстремального воздействия лазерного излучения на объём прозрачной конденсированной среды могут лечь в основу создания лазерно-индуцированных фаз вещества и методов объёмного микроstructuring диэлектрических и полупроводниковых материалов, что важно для развития элементной базы современной ИК фотоники.

*Доцент кафедры физической электроники  
Иван Камилевич Гайнуллин*

*Решением диссертационного совета МГУ.013.7 от 15 июня 2023 г.,  
№ 3, доценту физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова  
Гайнуллину Ивану Камилевичу присуждена ученая степень доктора  
физико-математических наук.*

*Диссертация на тему:*

## «Трёхмерный неадиабатический подход к расчетно-теоретическому описанию электронного обмена ионных пучков с металлическими поверхностями»

была представлена по специальностям 1.3.5. Физическая электроника и 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Работа посвящена компьютерному моделированию резонансного электронного обмена при взаимодействии ионных пучков с металлическими поверхностями. Электронный обмен важен для создания источников отрицательных ионов и диагностики поверхности методом рассеяния медленных ионов (РМИ). Докладчиком создан комплекс программ для решения трехмерного нестационарного уравнения Шредингера, обладающий высокой производительностью за счет специально разработанной гибридной численной схемы и эффективного распараллеливания расчетов на графических вычислителях. Производительность комплекса программ в несколько раз превосходит существующие аналоги, а поддерживаемый размер расчётной области до 105 нм<sup>3</sup> делает его уникальным для моделирования задач электронного обмена. Также была усовершенствована физическая модель и разработана методика трехмерно-

го моделирования электронного обмена, учитывающие неадиабатические эффекты, неоднородную атомную и электронную структуру металла. Что в несколько раз повысило точность расчетов по сравнению с ранее применяемыми двумерными/адиабатическими подходами и позволило количественно (с точностью 10%) описывать экспериментальные данные. Был численно промоделирован эффект анизотропии распространения электрона вдоль поверхности и показано, что эффективность электронного обмена с наносистемами зависит от ее размеров (квантово-размерный эффект) и латерального положения атомной частицы. Также дано количественное объяснение ряда важных экспериментальных закономерностей электронного обмена, включая зависимость от азимутального направления движения ионов, немонотонную зависимость вероятности нейтрализации положительных ионов от энергии, сильное увеличение вероятности нейтрализации на нанокластерах.





Доцент кафедры математики  
Евгений Александрович Михайлов

1 июня 2023 года на Диссертационном совете МГУ.011.2 физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова состоялась защита диссертации на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика доцента кафедры математики Евгения Александровича Михайлова (научный консультант — проф. Д.Д. Соколов)

на тему:

## «Эволюционные модели промежуточного типа для магнитного поля в проводящей среде»

Диссертация посвящена так называемым моделям промежуточного типа для магнитного поля в проводящей среде. Соответствующие задачи возникают как в астрофизике при изучении магнитных полей галактик и аккреционных дисков, так и в ряде технических приложений, связанных с металлургией, свойствами электролитов и т.д. Исторически сложилось, что при решении подобных проблем первоначально использовались довольно грубые качественные модели, которые давали возможность получить лишь крайне приблизительные оценки. В самом конце XX века в жизнь научных работников стали входить достаточно мощные компьютеры, поэтому большинство коллективов переориентировалось на создание вычислительных моделей при изучении магнитных полей и их влияния на течения жидкостей и газов. Вместе с тем, несмотря на очевидные достоинства (возможность получить довольно точное решение и учесть все возможные факторы), численные решения обладают рядом недостатков. В первую очередь надо сказать о том, что они обычно не позволяют ответить на вопрос о том, каков принципиальный механизм взаимосвязи между основными параметрами среды, величиной магнитного поля, скоростью течения и т.д. Наконец, даже для современных суперкомпьютеров некоторые из уравнений оказываются «неподъ-

емными». В диссертационной работе была поставлена цель создать промежуточные модели, которые бы сочетали в себе возможность построения аналитического решения, и достаточно высокую точность, проверяемую в ходе эксперимента или наблюдений.

Одной из ключевых задач было изучение условий генерации магнитных полей в тонких дисках, к которым относятся галактики и аккреционные диски. Это происходит за счет действия динамо, связанного со свойствами турбулентности и крупномасштабного вращения. Были определены условия генерации магнитного поля, аналитически исследована его пространственная структура. В рамках нелинейной модели изучено возникновение инверсий магнитного поля. Важно, что полученные результаты полностью совпали с данными наблюдений для Млечного Пути. Отдельно хотелось бы упомянуть вопросы, связанные с магнитными полями в аккреционных дисках. Оказалось, что ключевое влияние на структуру поля в диске в целом оказывает внутренняя граница и поведение поля около нее.

Отдельно были рассмотрены магнитные поля для тех случаев, когда приближение тонкого диска перестает работать. В первую очередь это актуально для внешних колец, которыми обладают некоторые галактики. В

таком случае оказывается возможной генерация так называемых дипольных магнитных полей, асимметричных относительно экваториальной плоскости.

Изучен процесс генерации магнитного поля на ранних этапах эволюции галактики. Это происходит за счет механизма Бирмана. В работе построена модель, позволяющая получить структуру магнитного поля, которое затем усиливается за счет динамо.

Исследовался вопрос о том, как астрофизические магнитные поля могут усиливаться за счет конвекции. Оказывается, что за счет замороженности в плазму они «сгребаются» к границе ячеек, где происходит их экспоненциальный рост.

Большое внимание в диссертации уделяется приложениям, связанным с течениями проводящих жидкостей в «земных» условиях. При прохождении через них тока меняющейся плотности возникают электровихревые течения. Были исследованы течения в двух практически важных случаях, результаты сравнивались с экспериментальными данными.

Указом Президента РФ №643 от 25 августа 2023 года "О награждении государственными наградами Российской Федерации" присвоено почетное звание «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации» за заслуги в научно-педагогической деятельности, подготовке квалифицированных специалистов и многолетнюю добросовестную работу



заведующему кафедрой физики Земли профессору **Владимиру Борисовичу Смирнову**

и Заслуженному профессору Московского университета **Владимиру Алексевичу Бушуеву**



Гордимся нашими учеными и сердечно их поздравляем! Желаем крепкого здоровья и творческих успехов!

## Лауреаты 43-го конкурса Совета молодых ученых МГУ

Приказом ректора МГУ № 876 от 28 июня 2023 года и в соответствии с решением жюри утверждены победители и финалисты 43-го конкурса работ молодых ученых, проводимого Советом молодых ученых (СМУ) МГУ для поощрения исследований, выполняемых по актуальным научным тематикам.

Лауреатом первой премии стал:

- **Гудимчук Никита Борисович**

По решению жюри почетными грамотами награждаются финалисты 43-го конкурса работ молодых ученых МГУ:

- **Григорьев Кирилл Сергеевич;**
- **коллектив авторов в составе: Гришин Кирилл Алексеевич, Афанасьев Антон Валериевич (Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга);**
- **коллектив авторов в составе: Кобялко Кирилл Владимирович, Богуш Игорь Андреевич (физический факультет).**

## Итоги конкурсов РФ Президентской программы исследовательских проектов 2023 года

Подведены итоги конкурсов Президентской программы исследовательских проектов 2023 года на получение грантов по мероприятиям «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» и «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых», а также конкурса продления проектов научных групп под руководством молодых ученых, поддержанных в 2020 году.

Победители конкурсов из МГУ имени М.В. Ломоносова:

«Проведение инициативных исследований молодыми учеными»:

- **Вервальд Алексей Михайлович** (физический факультет), "Разработка спектрального метода качественного и количественного определения состава поверхностных групп углеродных наночастиц"

- **Киреев Дмитрий Сергеевич** (физический факультет), "Фундаментальные и прикладные аспекты модификации поверхности аддитивных материалов ускоренными атомарными и кластерными ионами"

«Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых»

- **Смирнов Александр Михайлович** (физический факультет), "Нелинейно-оптические, фотоэлектрические и электрические свойства полупроводниковых нанокристаллов и гибридных композитов на их основе"

# ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ МГУ С ЗАЩИТАМИ В 2023 Г.

## МГУ.013.3 (МГУ.01.01)

Председатель – Хохлов Алексей Ремович, д.ф.-м.н., проф., acad. РАН  
Зам. председателя – Орешко Алексей Павлович, д.ф.-м.н., проф.  
Уваров Александр Викторович, д.ф.-м.н., проф.  
Уч. секретарь – Малышкина Инна Александровна, к.ф.-м.н., доц.

21.09.2023

1. **МАННАНОВ Артур Линарович.** «Органические солнечные элементы на основе звездообразных и линейных донорно-акцепторных сопряженных молекул». 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

2. **ДОЛБНЯ Дарья Илларионовна.** «Воздействие наносекундного объемного разряда на нестационарное высокоскоростное течение в канале». 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Кандидатская диссертация.

19.10.2023

1. **ЗАЙЦЕВ Владимир Борисович.** «Активные молекулярные системы на поверхности твердых тел». 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Докторская диссертация.

## МГУ.013.4(МГУ.01.13)

Председатель – Андреев Анатолий Васильевич, д.ф.-м.н., проф.  
Зам. председателя – Макаров Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н., проф.  
Уч. секретарь – Коновко Андрей Андреевич, к.ф.-м.н.

14.09.2023

1. **ПОТЁМКИН Фёдор Викторович.** «Широкодиапазонные фемтосекундные ИК лазерные источники нового поколения и нелинейные преобразования в конденсированных и плотных газовых средах». 1.3.19 – Лазерная физика. Докторская диссертация.

19.10.2023

1. **РОЖКО Михаил Викторович.** «Широкополосное нелинейно-оптическое преобразование мощных сверхкоротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона». 1.3.19 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

2. **ГОРЛОВА Диана Алексеевна.** «Ускорение электронов и вторичные процессы при взаимодействии лазерного импульса релятивистской интенсивности со слоем подкритической плазмы». 1.3.19 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

**МГУ.013.5 (МГУ. 01.18)**

*Председатель* – Перов Николай Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.  
*Зам. председателя* – Васильев Александр Николаевич, д.ф.-м.н., проф.  
 Каишкарров Павел Константинович, д.ф.-м.н., проф.  
*Уч. секретарь* – Шапаева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н.

**5.10.2023**

**1. МАКАРОВ Андрей Владимирович.** «Исследования структурных, магнитных и магнитооптических свойств трёхслойных тонкоплёночных систем Fe/полидифенилен-

фталид/Fe, Co/Gd/Co и Co/Cu/Co». 1.3.12 – Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

**МГУ.013.6 (МГУ.01.08)**

*Председатель* – Салецкий Александр Михайлович, д.ф.-м.н., проф.  
*Зам. председателя* – Балакиев Владимир Иванович, д.ф.-м.н., проф.  
 Васильев Андрей Николаевич, д.ф.-м.н.  
*Уч. секретарь* – Косарева Ольга Григорьевна, д.ф.-м.н., доц.

**05.10.2023**

**1. ТРОФИМОВА Елена Сергеевна.** «Время-разрешённая спектроскопия фосфатов, легированных редкоземельными ионами». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

**2. ГАРТМАН Александра Дмитриевна.** «Оптические метаповерхности и интегральные фотонные структуры на основе кремния и нитрида кремния для управления светом на субволновых масштабах». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

**19.10.2023**

**1. ШИРШИН Евгений Александрович.** «Оптика эндогенных флуорофоров: фотофизические процессы и применение для биомедицинской диагностики». 1.3.6 – Оптика. Докторская диссертация.

**МГУ.01.12**

*Председатель* – Федянин Андрей Анатольевич, д.ф.-м.н., проф., проф. РАН  
*Зам. председателя* – Вятчанин Сергей Петрович, д.ф.-м.н., доц.  
 Кузелев Михаил Викторович, д.ф.-м.н., проф.  
 Рахимов Александр Турсунович, д.ф.-м.н., проф.  
 Черныш Владимир Савельевич, д.ф.-м.н., проф.  
*Уч. секретарь* – Карташов Игорь Николаевич, к.ф.-м.н.

**14.09.2023**

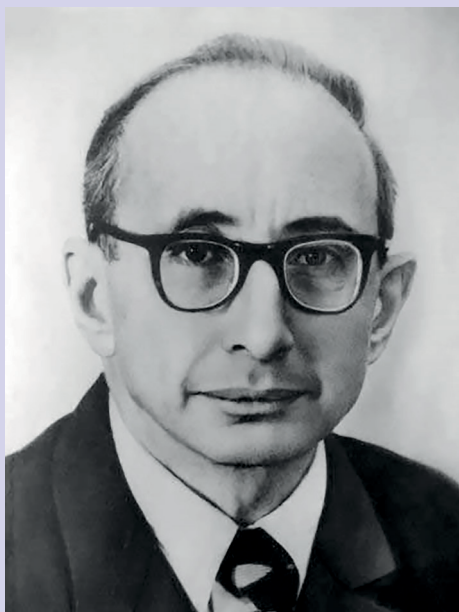
**1. НАЗАРОВ Антон Викторович.** «Угловые распределения материала, распыленного с поверхности металлов газовыми кластерными ионами». 1.3.5 – Физическая электроника. Кандидатская диссертация.

**2. ЕВСЕЕВ Александр Павлович.** «Влияние облучения заряженными частицами на характеристики функциональных углеродных наноматериалов». 1.3.5 – Физическая электроника. Кандидатская диссертация.

**21.09.2023**

**1. ПАВЛОВА Евгения Александровна.** «Анализ, синтез и математическое моделирование робастных систем управления положением, током и формой плазмы в токамаках». 1.3.2. – Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатская диссертация.

# Памяти Виктора Леопольдовича Бонч-Бруевича (1923-1987)



*В 2023 г. исполняется 100 лет со дня рождения профессора кафедры физики полупроводников Виктора Леопольдовича Бонч-Бруевича.*

*По прошествии времени вспоминается общий портрет этого незаурядного, талантливое, яркого, и, конечно, не всегда однозначного и противоречивого человека. Человека, учёного, трудоголика, невероятно требовательного прежде всего к себе и сделавшего себя вопреки трагическим изломам судьбы. У таких людей бывают либо недоброжелатели, либо друзья. Равнодушных нет.*

Виктор Леопольдович Бонч-Бруевич (Бонч) родился в Москве 8 января 1923 г. Его учёбу в МГУ прервала война. В 1941 году он добровольцем ушёл на фронт, участвовал в боевых действиях сначала в составе коммунистического батальона Красной Армии, а затем — после ранения — в десантных войсках. После демобилизации окончил физфак МГУ и аспирантуру в Институте физической химии АН СССР под руководством Ф.Ф. Волькенштейна, затем преподавал в институте связи, а с 1955 г. работал на кафедре физики полупроводников физфака МГУ.

Бонч любил университет, он им жил и дышал. Кафедра физики полупроводников была его домом. Работа, будь то чтение лекций или проведение научного семинара, или работа секции физики и химии полупроводников, или же постоянная общественная работа в созданной им самим Школе молодого лектора — к ней относился с полной отдачей сил. А работу для галочки он никогда не признавал. На кафедре Бонча, конечно, побаивались, подшучивали над его чудачествами, но уважали и любили. Он был свой. Неравнодушный.

Виктор Леопольдович сыграл исключительную роль в становлении теории полупроводников в нашей стране. В активный период развития физики полупроводников он стал в Москве центром, около которого закипела бурная теоретическая полупроводниковая жизнь. Бонч основал семинар по теории полупроводников, тогда единственный в своём роде, на котором впервые выступали современные «полупроводниковые и твёрдотельные» корифеи. Выступить на этом семинаре было почётно и опасно — критика часто бывала острейшей, если не «беспощадной». В окружении Бонча царил атмосфера активного научного творчества, в которой увлечённо жил сам Виктор Леопольдович. Разумеется, всё это стало возможным потому, что Виктор Леопольдович обладал энциклопедическими знаниями в теоретической физике, непрерывно следил за всеми новыми идеями и достижениями и немедленно с успехом применял их в теории полупроводников.

В большой степени благодаря деятельности Виктора Леопольдовича Бонч-Бруевича теория полупроводников превратилась в самостоятельный раздел теоретической физики — и это одно из основных его достижений.

Бонч блестяще читал лекции. Он к ним тщательно готовился, адаптируя сложный материал до понятного студентам уровня. Если видел по глазам, что студенты устали, он тут же рассказывал какую-либо забавную историю. Бонч считал, что чтение лекций это особая профессия.

Бонч был прирождённый педагог и учитель. У Бонча всегда было много аспирантов, он их брал на конференции, пропускал через научный семинар, где, как говорится, «возили мордой о стол», в случае претензий разговаривал с аспирантом требовательно, но всегда тет-а-тет, а на кафедре защищал их и говорил, что дела идут хорошо, и обязательно доводил до защиты кандидатской диссертации. Многие же и после защиты приходили к Бончу на семинар, чтобы послушать, обсудить и пообщаться за чашкой чая...

Конечно, у Бонча были пунктики, главные из которых — не обманывать, не перебивать, не опаздывать. Когда было 50-летие Виктора Леопольдовича в школьные каникулы, жена и сын уехали. Он дома был один. Бонч не хотел пышно отмечать свой юбилей на факультете, поэтому пригласил «свой семинар» к себе домой к 19 часам. Без пяти семь вечера на лестничной площадке около его двери собрались все приглашённые и сверили часы. Ровно в 19 часов позвонили в дверь. Разумеется, не было ни одного опоздавшего.

Когда праздновали 30-летие кафедры в столовой возле ГАИША, пришло очень много народу, включая многочисленных учеников Бонча за многие годы. Мы все были в ударе и получилось так, что это — апофеоз Бончу. Он купался в улыбках... Пели под гитару, читали разные шуточные эссе и стихи.

Декан всегда давал Бончу «распутывать» хитроумные изобретения создателей вечных двигателей. Надо обладать широкой эрудицией. Кроме того, изобретатели вечных двигателей — люди упёртые в непогрешимости своего «открытия». Здесь Бончу помогали знания теоретика, быстрота реакции и, конечно, педагогический опыт. Но он мог разговаривать и жёстко, например, по поводу волокиты или утери нужных бумаг в бюрократических анналах. Когда я спросила его, зачем он так резко говорит, Бонч сказал: «Бывают ситуации, когда следует так говорить». И это получалось.

Виктор Леопольдович Бонч-Бруевич был зампреда секции физики и химии полупроводников НТС Минвуза СССР (председателем был В.С. Вавилов — зав. кафедрой).

Вильнюс, Ленинград, Тбилиси, Ужгород, Одесса, Томск, Баку, Тарту, Черновцы, Саратов, Нукус, Калининград... Это неполный перечень городов, в университетах которых секция неоднократно проводила выездные заседания с докладами и проверками научной работы их лабораторий.

Бонч, как руководитель, видел задачу секции в том, чтобы облегчить деятельность лабораторий, а не скрупулёзно выискивать любые недостатки. Поэтому сложился доброжелательный и деловой климат. С Бончем работалось легко, не было никакого внутреннего

напряжения. Конечно, у него были и пунктики. Когда мы с Бончом были в Нукусе на выездном заседании, то после доклада, проверки лаборатории и написания отчёта для Минвуза нас хотели свозить в Самарканд и Бухару, но Бонч сказал НЕТ. Считал, что это не положено. Но ведь мы уже отчёт скрепили подписями. Было безумно жалко. Но это опять же Бонч...

Бонч очень любил классическую музыку, она его успокаивала, помогала в творчестве и вдохновляла. У Бонча была большая коллекция (несколько стеллажей) пластинок разных исполнителей и дирижёров.

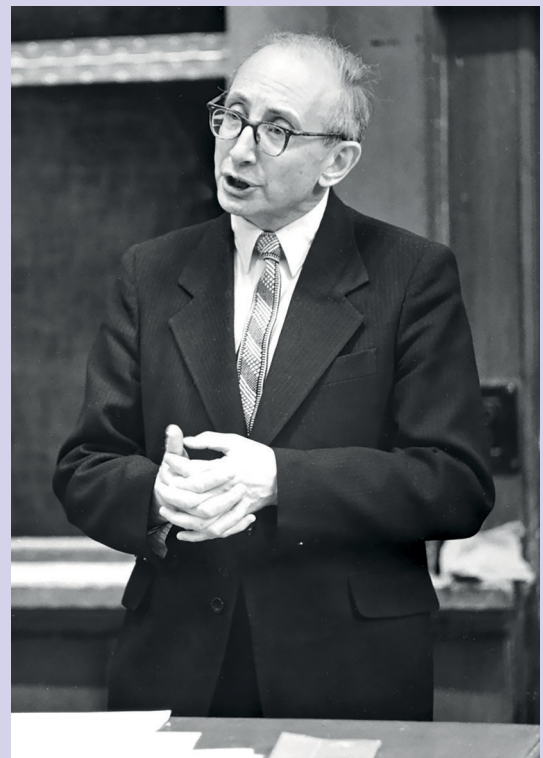
Но трагические моменты прошлого ускорили его уход; они оказались сильнее и безжалостнее...

Бончу было 64 года.

Похоронили Бонча на Ваганьковском кладбище, рядом с матерью.

Деньги собрали его ученики и поставили памятник из розового гранита с эмблемой, символизирующей движущийся электрон...

А через год, в 1988 году друзья и коллеги из Грузии организовали и провели в Батуми конференцию в память В. Л. Бонч-Бруевича.





Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ». © 2023 Физический факультет МГУ.

Главный редактор: В.В. Белокуров

Редакторы:  
П.А. Форш, В.Н. Задков, Н.Б. Баранова

Начальник отдела оперативной печати:  
Салецкая О.В.

Дизайн и верстка: И.А. Силантьева

Фотограф: С.А. Савкин

Подписано в печать 20.10.2023. Формат 60×90/8.

Усл.-печ. л. 2.0 Бумага мелованная.

Тираж 150 экз.

Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,  
119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2



ISSN 2500–2384