



Филиал МГУ в Дубне открывает двери



В учебном корпусе филиала Московского государственного университета в г. Дубне состоялось торжественное мероприятие, посвященное началу нового учебного года. Два года назад филиал стал отдельным подразделением МГУ и теперь впервые принимает в своих стенах студентов, поступивших на первый курс магистратуры.

В этом году в филиал на программы «Физика элементарных частиц» и «Фундаментальная и прикладная ядерная физика» поступило 11 обучающихся, которые представляют университеты из разных регионов России: Владикавказ, Воронеж, Дубна, Иркутск, Казань и Самара.

В своем приветственном слове и.о. директора филиала МГУ в Дубне, заведующий отделением ядерной физики физического факультета МГУ, директор НИИЯФ МГУ член-корреспондент РАН Эдуард Боос рассказал об истории основания учреждения. Созданное изначально для научно-образовательного сотрудничества между ведущим вузом страны и уникальным международным центром, дубненское подразделение НИИЯФ МГУ сыграло важную роль в воспитании кадров для ОИЯИ. В период с 1963 по 2015 г. было выпущено более 800 студентов и 200 аспирантов. С 2016 по 2021 годы было подготовлено около

СОДЕРЖАНИЕ

1.....	Новости науки
19.....	Премии / награды
20.....	Диссертации
21.....	Диссертационные Советы
23.....	Ученые физфака МГУ

40 магистров-физиков, а два года назад по инициативе МГУ и ОИЯИ филиал обрел статус независимого подразделения МГУ.



И.о. директора филиала МГУ в Дубне, заведующий отделением ядерной физики физического факультета МГУ, директор НИИЯФ МГУ, член-корреспондент РАН Эдуард Боос.

Сегодня одной из основных задач филиала МГУ остается подготовка кадров высшей квалификации по фундаментальным дисциплинам для работы над проектами Объединенного института ядерных исследований. При этом в планы филиала входит расширение спектра специальностей обучения: в 2025 г. появится программа по информационным технологиям, а в дальнейшем — по радиохимии, биологии, математике и другим.

С рассказом об исследованиях в ОИЯИ и истории сотрудничества Института с МГУ выступил заведующий кафедрой фундаментальных ядерных взаимодействий физического факультета МГУ, директор ОИЯИ и руководитель программы «Фундаментальная и прикладная ядерная физика» в филиале МГУ в Дубне, академик РАН Григорий Трубников. Он представил основные направления научной программы института и рассказал о крупных проектах каждой из лабораторий ОИЯИ.



Заведующий кафедрой фундаментальных ядерных взаимодействий физического факультета МГУ, директор ОИЯИ и руководитель программы «Фундаментальная и прикладная ядерная физика» в филиале МГУ в Дубне, академик РАН Григорий Трубников.

Уникальной особенностью обучения в филиале является приобщение студентов к работе в особой профессиональной среде международной организации на базе научной инфраструктуры мирового уровня, созданной в ОИЯИ. К ней относятся ускорительный комплекс NICA, Фабрика сверхтяжелых элементов, основанная на универсальном циклотроне высокой интенсивности DC-280, глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD, исследовательский импульсный реактор ИБР-2, Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК) и другие.

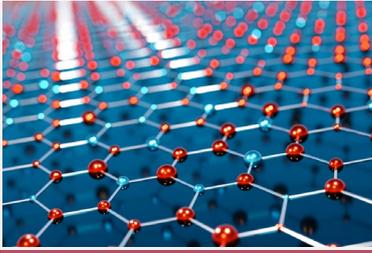
«ОИЯИ благодарен сотрудникам физического факультета МГУ за то, что сегодня в Дубне существует филиал крупнейшего университета России, — подчеркнул Григорий Трубников. Благодаря большой истории плодотворного сотрудничества между нашими организациями ученые Объединенного института совместно со студентами физфака имеют возможность успешно реализовывать многие проекты как в российских, так и в зарубежных научных центрах, используя научную инфраструктуру ОИЯИ».

Проректор МГУ Станислав Бушев также поздравил студентов, отметив, что Дубна обладает уникальным сочетанием высокого научного потенциала и комфортной городской среды для жизни.



По завершении выступлений Григорий Трубников, Эдуард Боос и заместитель директора филиала Александр Ольшевский провели торжественную церемонию вручения студенческих билетов первокурсникам, а для знакомства с Объединенным институтом для студентов и гостей была организована экскурсия на один из флагманских проектов ОИЯИ — ускорительный комплекс NICA.





Наноустройство для генерации новых частот света

Физики МГУ установили, что при охлаждении двумерных материалов, помещенных на диэлектрические метаповерхности, до 10 кельвинов можно в 100 раз усилить нелинейно-оптические эффекты.

Нелинейно-оптические эффекты играют важную роль в области оптических коммуникаций для модуляции передаваемой информации, увеличения пропускной способности волоконной линии связи и дальности передачи. Они являются основой работы лазерных установок для генерации новых частот света. Однако по своей природе эти эффекты относительно слабы и для достижения больших величин необходимо брать макроскопические среды. Это существенно ограничивает дальнейшее развитие технологий и препятствует созданию миниатюрных устройств. Обнаруженный способ усиления генерации второй оптической гармоники открывает новые перспективы развития этого направления.

«Нелинейная нанофотоника предоставляет много возможностей для создания миниатюрных наноустройств повышенной эффективности, которые нам еще предстоит реализовать», — отметил доцент кафедры нанофотоники Александр Мусорин.

В опубликованной работе учеными Московского университета было предложено взять атомарно-тонкий слой материала с квадратичной нелинейной восприимчивостью, расположить его на метаповерхности и поместить в криогенную камеру для охлаждения до гелиевых температур. Метаповерхность — упорядоченная структура диэлектрических нанодисков, поддерживающих возбуждение высоккодобротных оптических резонансов. Охлаждение уменьшает неупорядоченное тепловое движение электронов и повышает нелинейно-оптические свойства двумерного материала — монослоя дихалькогенида переходного метал-

ла MoSe_2 . Показано, что, изменяя угол падения излучения, можно добиться совпадения частоты резонанса метаповерхности с резонансом нелинейно-оптического материала. Методом нелинейно-оптической микроспектроскопии проводилось измерение сигнала удвоенной оптической частоты в зависимости от частоты излучения возбуждающего фемтосекундного лазерного импульса. Наблюдалось 20-кратное усиление интенсивности второй оптической гармоники при комнатной температуре. Если исследуемую систему охладить до 10 К, то в сравнении с монослоем без наноструктуры усиление достигает 100 раз.

Нелинейная нанофотоника — стремительно развивающаяся в последнее десятилетие область исследований, как в России, так и в мире. Открытия, сделанные в этой области, могут быть применены в оптоэлектронике, разработке сенсоров или для создания компактных лазеров.

«Проведенный эксперимент можно смело отнести к научным работам мирового уровня. Это подтверждается тем, что результаты исследования опубликованы в одном из наиболее престижных рецензируемых журналов первого квартала по оптике и фотонике *Nanophotonics*. Данные, полученные в ходе этой научной работы, могут быть использованы при создании источников излучения на фотонном чипе. Все это стало возможным благодаря поддержке Программы развития МГУ и Российского научного фонда», — рассказал заведующий кафедрой нанофотоники физического факультета МГУ Андрей Федянин.

Работа является результатом международной кооперации трех университетов: МГУ, Института исследований и проектирования материалов (Сингапур) и Технологического университета Сиднея (Австралия). Предсказание эффектов, численное моделирование и экспериментальное подтверждение были сделаны в Московском университете, а изготовление образца — зона ответственности зарубежных коллег.

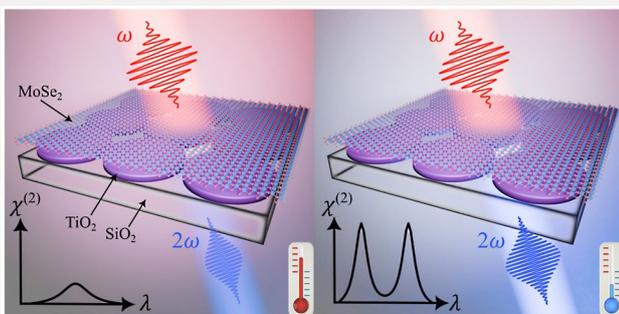


Рис. 1. Схема эксперимента. Слева — генерация второй оптической гармоники (SHG) в монослое MoSe_2 на метаповерхности TiO_2 при комнатной температуре. Справа — усиление SHG при криогенной температуре.

A. A. Nazarenko, A. M. Chernyak, A. I. Musorin, A. S. Shorokhov, Lu Ding, V. Valuckas, M. Nonahal, I. Aharonovich, Son Tung Ha, A. I. Kuznetsov and A. A. Fedyanin. "Cryogenic nonlinear microscopy of high-Q metasurfaces coupled with transition metal dichalcogenide monolayers" *Nanophotonics*. Published online by De Gruyter June 6, 2024.

Первичная специализированная аккредитация медицинских физиков



Сотрудники МГУ совместно с российскими компаниями разработали оценочные средства и программное обеспечение для проверки теоретических знаний и практических навыков будущих медицинских физиков. Статья о первичной специализированной аккредитации данных специалистов опубликована в журнале «Медицинская физика».

Медицинские физики помогают лечить у людей многие болезни, включая рак, используя современные высокотехнологичные методы. Сегодня ни одно отделение лучевой терапии не может обойтись без таких специалистов. При этом специалисты, имеющие высшее немедицинское образование и стаж работы менее пяти лет, должны пройти первичную специализированную аккредитацию.

Чтобы сделать этот процесс удобнее, был разработан банк из 2 тысяч вопросов для проверки теоретических знаний. Проект выполнен преподавателями кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и научными сотрудниками отдела ядерно-физических методов в медицине и промышленности НИИЯФ МГУ.

В рамках соглашения между МГУ имени М.В. Ломоносова, компаниями «РТ-7» и «Градиация» создано новое программное обеспечение, которое поможет быстрее подготовить медицинских физиков к работе и оценить их практические навыки.

Отечественные инженеры из компаний предоставили ПО для четырех станций симуляционного этапа и специальные учебные модули, которые помогут будущим медицинским физикам лучше подготовиться к работе. В основе модулей — программное обеспечение, которое уже используется в отделениях лучевой терапии.

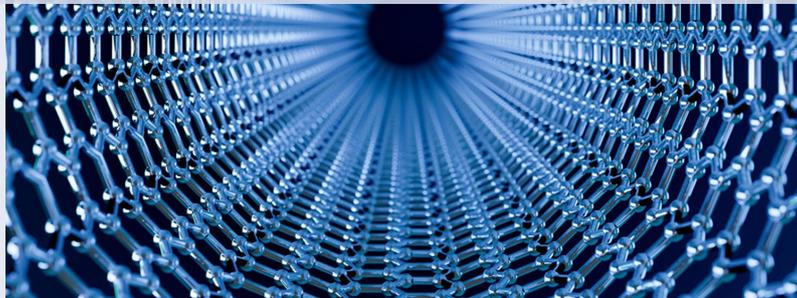
В мае 2024 года при поддержке факультета фундаментальной медицины в Аккредитационном центре МГУ сформирована первая в России комиссия для проведения первичной специализированной аккредитации медицинских физиков.

«Московский университет более 20 лет готовит медицинских физиков для ведущих учреждений страны. Сейчас планируется проведение первой в России первичной аккредитации специалистов в области медицинской физики. Но предстоит еще много работы для совершенствования этой процедуры. Университеты и ведущие онкологические центры нашей страны должны продолжать совместную работу в этом направлении», — отметил заведующий кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ Александр Черняев.

Черняев А.П., Акоюн Ж.А., Антипина Н.А., Гаврилова С.А., Гранин Д.И., Грибков Д.М., Логинова А.А., Лебедева Ж.С., Медведев П.А., Локтев В.Р., Лыкова Е.Н., Моисеев А.Н., Пашков О.В., Ремизов П.Д., Студеникин Ф.Р., Фадюкова О.Е., Щербакова Л.Н., Щербаков А.А., Энграф И.В. "Первичная специализированная аккредитация медицинских физиков". Медицинская физика. 1, (2024).

Улучшение метода производства МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ на основе кобальта

Ученые кафедры общей физики и молекулярной электроники и кафедры магнетизма физического факультета МГУ совместно с коллегами из НИИЯФ МГУ предложили улучшенный метод производства наночастиц на основе кобальта. Наночастицы могут использоваться для адресной доставки лекарств или в биосенсорике.



Интерес к созданию магнитных наночастиц обусловлен возможностями их использования для адресной доставки лекарств и детектирования меченых такими частицами клеток или биомолекул (антигенов, антител, белков и нуклеиновых кислот) с помощью сенсоров магнитного поля. Кроме того, возможно использовать магнитные частицы для «магнитной гипертермии», где нагрев происходит в результате воздействия внешнего СВЧ магнитного поля.

Для внедрения наночастиц в живой организм нужна их высокая химическая чистота, достигаемая физическими методами синтеза. В данном исследовании ученые выбрали метод лазерной абляции в воде тонких пленок (толщиной от 5 до 500 нм), что дало дополнительную возможность управлять размерами и составом наночастиц.

«Есть некоторые характерные толщины пленок, на которых происходят изменения лазерно-индуцированного нагрева вещества, — это глубина термической диффузии (несколько сотен нанометров), глубина скин-слоя (что более важно для данной статьи). В этом исследовании мы оценили толщину скин-слоя в 38 нм, и она являлась характерной толщиной тонкой пленки, на границе которой должны происходить эти изменения», — прокомментировал Станислав Заботнов, доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники физического факультета МГУ.

Когда излучение проникает в металл, оно локализуется иначе на толщинах меньших, чем глубина скин-слоя — тепло от поглощенного излучения сильнее «растекается» в плоскости поверхности. Если же пленка становится толще, то заметную роль играют процессы теплопереноса и термической диффузии — тепло при поглощении локализовано уже не в скин-слое, а проникает вглубь. В результате возникают различия в пространственном распределении температуры и протекании абляции.

Ученые обнаружили изменения распределений наночастиц по размерам в зависимости от толщины используемой пленки. При толщинах больше глубины скин-слоя средний размер частиц находится в диапазоне 70–100 нм, а само распределение по размерам имеет большую дисперсию (порядка 40%, что типично для метода лазерной абляции). Это соответствует случаю так называемой откольной абляции, когда происходит механический отрыв кусков пленки в результате ее лазерного нагрева и плавления. При толщинах меньше 35 нм наблюдалась немонокотонная зависимость среднего размера (растет до 1 мкм, потом начинает спадать с дальнейшим уменьшением толщины), при этом относительная дисперсия составляла всего лишь 20%, что соответствует фазовому взрыву, когда перегретый материал переходит в парокapельную смесь.

Далее физики исследовали магнитный отклик частиц методом вибрационной магнитометрии. Было обнаружено наличие петли гистерезиса, что соответствует ферромагнитным свойствам чистого кобальта. Другие исследования (спектроскопия комбинационного рассеяния света, спектроскопия электронного парамагнитного резонанса) показали также наличие оксида кобальта в изготовленных наночастицах.

В дальнейших планах ученых — создание магнитных биосенсоров, где будут использоваться такие магнитные наночастицы.

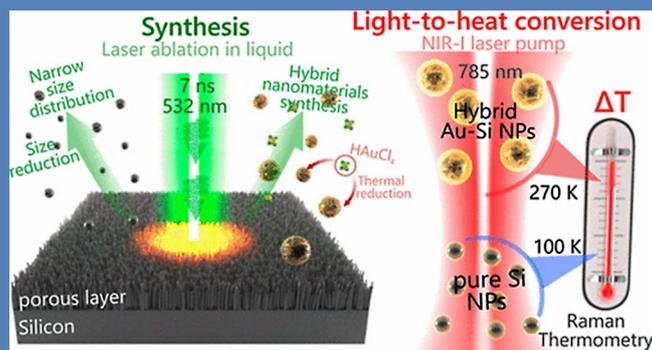
I. O. Dzhun, V. Yu. Nesterov, D. V. Shuleiko, S. V. Zaboltnov, D. E. Presnov, Yu. A. Alekhina, E. A. Konstantinova, N. S. Perov & N. G. Chechenin. "Magnetic Nanoparticles Produced by Pulsed Laser Ablation of Thin Cobalt Films in Water". *Bulletin of the Russian Academy of Science: Physics*. **88**, p. 540–548, (2024).

Усовершенствование метода производства декорированных кремниевых наночастиц



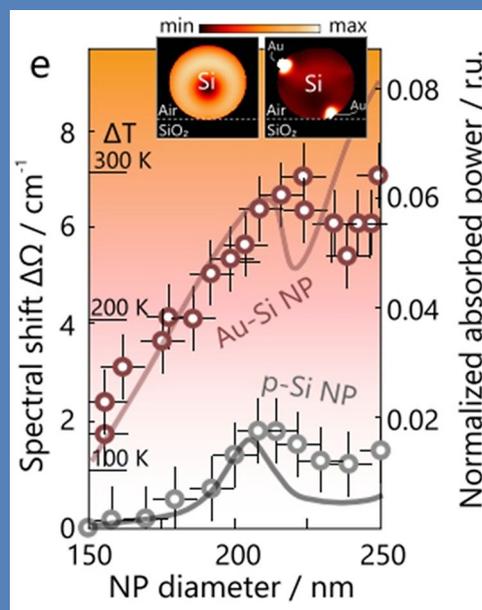
Кремниевые наночастицы представляют интерес для диагностики и терапии в ряде биомедицинских приложений, в частности в качестве агентов для фотогипертермии. Наночастица помещается в область, где расположена злокачественная опухоль, и облучается светом в окне прозрачности биоткани (ближний ИК-диапазон). За счет увеличенного поглощения частицами опухоль нагревается сильнее и разрушается при температуре, превышающей 42°C, в то время как здоровая ткань без наночастиц остается целой.

«Кремниевые наночастицы хороши тем, что они биосовместимы и мы можем управлять их размерами, но при этом кремний плохо нагревается в ближнем ИК-диапазоне из-за слабого поглощения падающего излучения. Чтобы повысить эффективность нагрева, нужно либо увеличивать концентрацию наночастиц, что плохо для биосовместимости и биodeградируемости, либо модифицировать частицы какими-то поглощающими веществами, слаботоксичными для живых организмов. В частности, если в кремний добавить частицы благородных металлов, то за счет плазмонного поглощения* нагрев будет больше — отсюда идея создания кремний-золотых частиц», — прокомментировал Станислав Заботнов, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники.



(Слева — схема процессов, протекающих при абляции пленки пористого кремния. Справа — схема, отражающая отличие нагрева между наночастицами чистого кремния и декорированных золотом кремниевых наночастиц.

Ученые кафедры общей физики и молекулярной электроники совместно с коллегами из Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН усовершенствовали метод создания кремниевых наночастиц, декорированных более мелкими золотыми частицами. Такие наночастицы могут повысить эффективность уничтожения раковых опухолей методом фотогипертермии.



Отличие в поглощении лазерного излучения в ближнем ИК-диапазоне (785 нм) между наночастицами чистого кремния и декорированными золотом кремниевыми наночастицами.

*Лазерная абляция — выбивание продуктов абляции (атомы, брызги мишени) лазерным излучением. Частицы агрегируют в кремниевые остовы; эффективность агрегации и покрытие группами зависит от того, в каком молекулярном окружении происходит процесс. Изопропиловый спирт выступает как поверхностно активное вещество, которое позволяет ионам золота «прилипнуть» к частицам кремния. Эффективность процесса зависит от концентрации ионов золота.

*Плазмонное поглощение обусловлено наличием золотых наночастиц (резонансное поглощение в металле происходит в частицах определенного размера по теории Ми).

Для хорошей биосовместимости наночастицы должны быть химически чистыми (без токсичных примесей, которые могут являться остаточными продуктами химических реакций в случае применений нанотехнологий химического синтеза). Поэтому ученые использовали метод лазерной абляции* кремния в жидкости — эта технология позволяет минимизировать количество нежелательных примесей. Пластины кристаллического и пленки пористого кремния помещались в изопропиловый спирт, куда добавляли золотохлористоводородную кислоту, что приводило в процессе абляции к покрытию (декорированию) формирующихся кремниевых наночастиц золотыми включениями. В результате получились наноконпозиты со структурой типа «ядро – спутник»: кремниевое ядро размером несколько сотен нанометров, декорированное золотыми кластерами с характерными размерами, не превышающими несколько десятков нанометров.

Предложение ученых использовать для абляции не только мишени монокристаллического кремния, но и пористого позволило добиться улучшения распределения наноконпозитов по размерам: в случае абляции монокристаллического кремния средний размер частиц получался 600 нм с широким распределением по размерам, а в случае пористого кремния — средний размер составил 200 нм, а распределение по размерам стало существенно уже.

Частицы с меньшим размером обладают двумя преимуществами. Во-первых, меньшие частицы легче внедрять в живые организмы. Во-вторых, расчет плазмонного поглощения для ближнего ИК-диапазона (длины волн вблизи 800 нм) показывает, что для полученных наночастиц со средним размером 210 нм реализуются оптимальные условия для нагрева, что практически соответствует случаю абляции пористого кремния, а декорирование золотом обеспечивает дополнительное увеличение эффективности нагрева в 3 раза по сравнению с использованием частиц без декорирования.

«Таким образом мы показали потенциальную возможность улучшить свойства кремниевых наночастиц при использовании нашего метода производства. В дальнейших планах использовать получившиеся наноконпозиты для лечения раковых опухолей с помощью фотогипертермии», — рассказал Вячеслав Нестеров, аспирант кафедры общей физики и молекулярной электроники.

S.O. Gurbatov, A.Yu. Zhizhchenko, V.Yu. Nesterov, E.B. Modin, S.V. Zobotnov, A.A. Kuchmizhak. "Au-Si Nanocomposites with High Near-IR Light-to-Heat Conversion Efficiency via Single-Step Reactive Laser Ablation of Porous Silicon for Theranostic Applications". *ACS Applied Nano Materials*. 7, I. 9, 10779–10786, (2024).

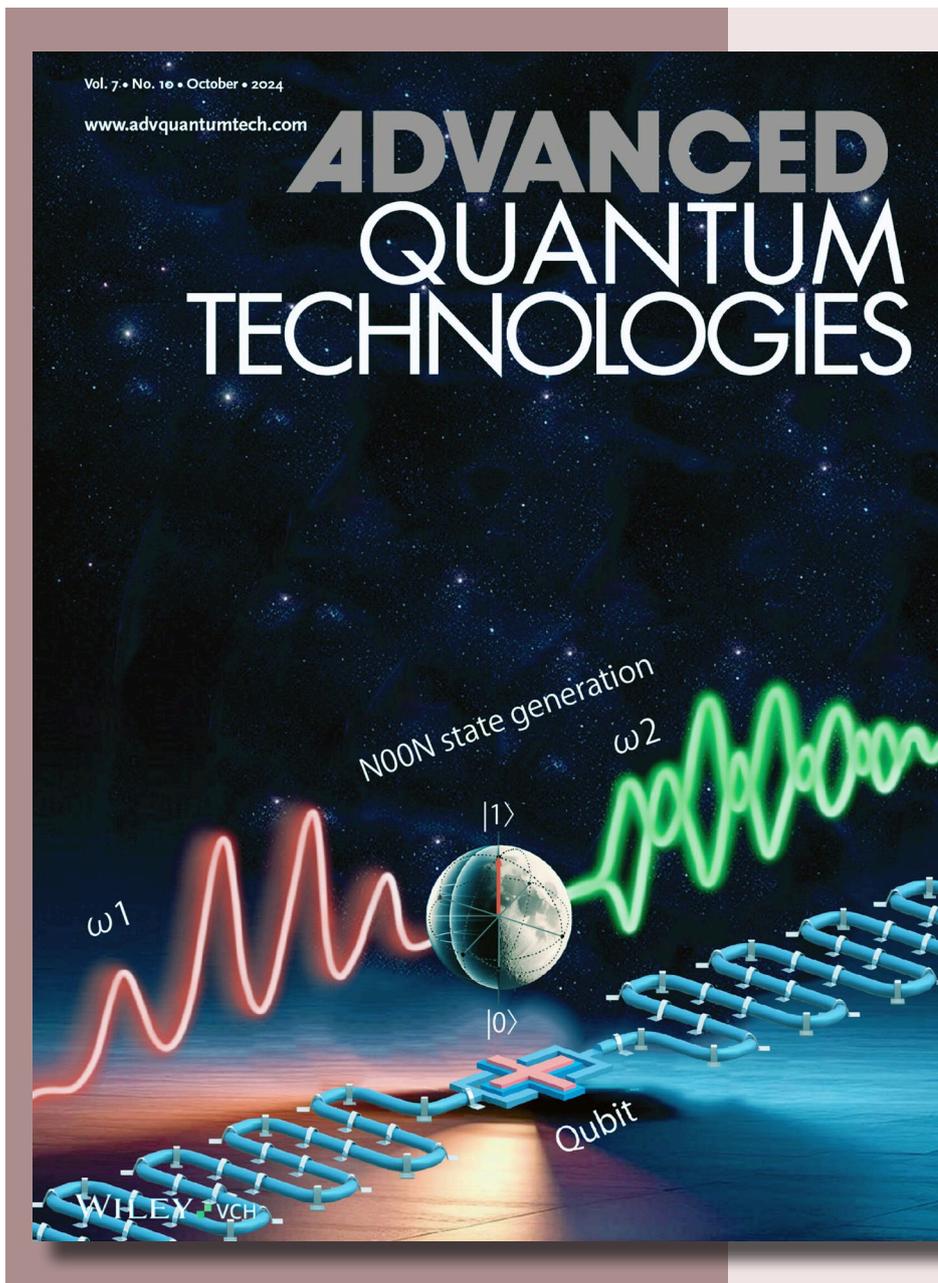


Устройство для гибридных квантовых сетей

Устройство для гибридных квантовых сетей, которые объединяют преимущества твердотельных кубитов (искусственных атомов) и фотонов для передачи информации, предложили создать физики из НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ (Ольга Тихонова, Игорь Соловьев) и физического факультета МГУ (Роман Захаров, Николай Кленов) вместе с коллегами из Сколтеха (Владимир Антонов) и Парижского университета науки и литературы (Дмитрий Яковлев). Результаты исследований опубликованы в журнале *Advanced Quantum Technologies*, а статья представлена на обложке октябрьского выпуска.

Современные исследования в области квантовой материи в значительной степени сосредоточены на квантовых вычислениях и коммуникациях. В статье рассматривается новый подход к созданию квантовых сетей, где для передачи информации используются как твердотельные кубиты, так и фотонные кубиты. Основная идея заключается в разработке устройства, которое может преобразовывать квантовую информацию между этими двумя типами кубитов.

В качестве примера предлагается использование сверхпроводниковых кубитов на базе джозефсоновских переходов, которые могут взаимодействовать с электромагнитными полями в микрополостях. Это открывает возможность создания масштабируемых квантовых систем, где информация передается между чипами с помощью неклассических электромагнитных полей.

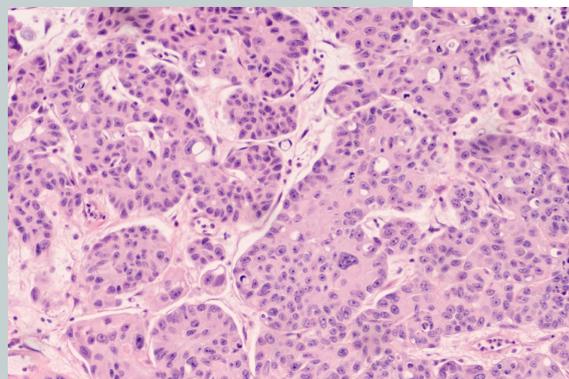


«Одной из особенностей предложенной системы является способность преобразовывать неклассическое поле с одной частотой в поле с другой частотой, что позволяет адаптировать сигналы для передачи между различными типами квантовых устройств. Примечательно, что высокая чувствительность сверхпроводниковых атомов к внешним полям, которая обычно представляет собой трудность при конструировании квантовых компьютеров, здесь используется конструктивно для создания квантового контроллера», — отметил участник научного коллектива Игорь Соловьев, ведущий научный сотрудник отдела микроэлектроники НИИЯФ МГУ.

Предложенный авторами статьи новый подход к проектированию и реализации гибридных квантовых сетей позволит приблизиться к созданию более эффективных и масштабируемых квантовых компьютеров, и распределенных квантовых систем, таких как «квантовый интернет».

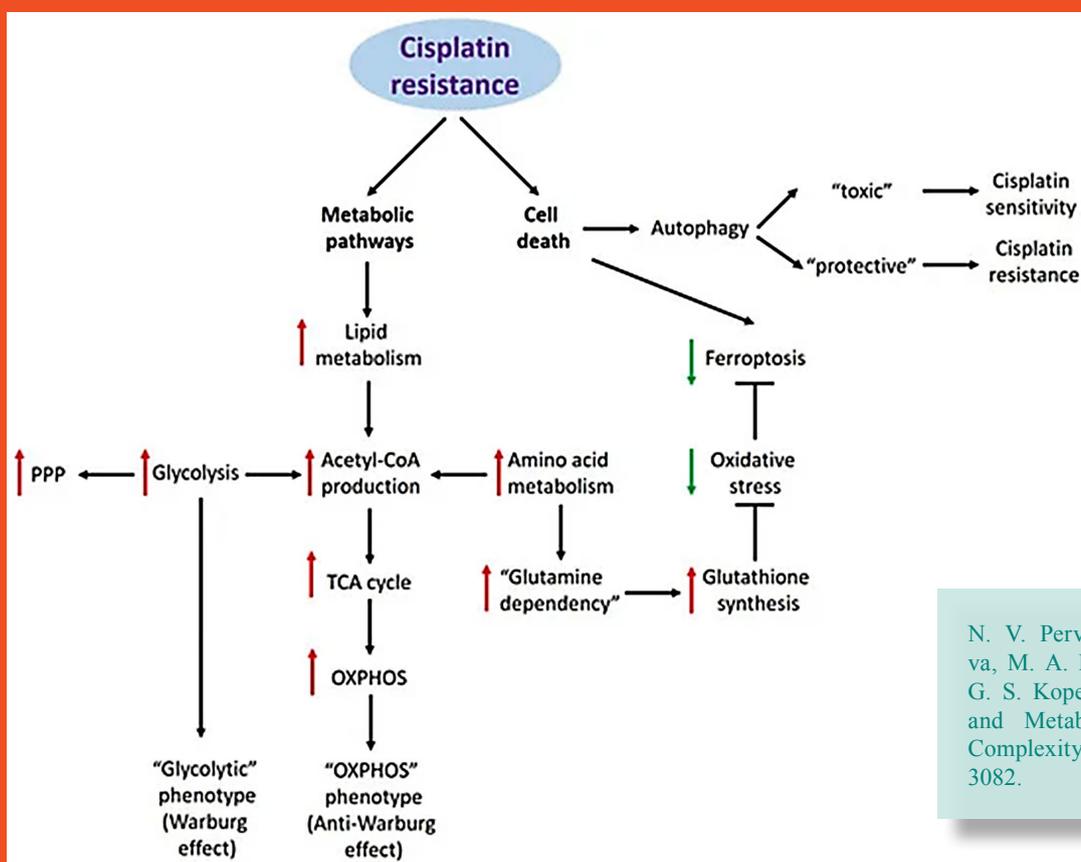
R.V. Zakharov, O.V. Tikhonova, N.V. Klenov, I.I. Soloviev, V.N. Antonov, D.S. Yakovlev. Front Cover: "Solid-State Qubit as an On-Chip Controller for Non-Classical Field States" (Adv. Quantum Technol. 10/2024). Advanced Quantum Technologies: 7, Issue 10, 2470027.

Изменения в опухолевых клетках с устойчивостью к химиотерапии



Сотрудники факультета фундаментальной медицины и физического факультета МГУ провели анализ научной литературы и классифицировали возможные метаболические изменения, которые наблюдаются в опухолевых клетках различного происхождения, характеризующихся приобретенной устойчивостью к

действию ДНК-повреждающего агента Цисплатина. Кроме того, было изучено влияние на пролиферацию этих клеток и способность выживать в условиях постоянного генотоксического стресса, вызванного этим химиопрепаратом. Исследование проводилось в рамках НОИ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».



N. V. Pervushin, M. A. Yaprntseva, M. A. Panteleev, B. Zhivotovsky, G. S. Kopeina. "Cisplatin Resistance and Metabolism: Simplification of Complexity" *Cancers*, 2024, 16(17), 3082.

Рис. 1. Изменения метаболизма и регуляции запрограммированной клеточной смерти цисплатин-резистентных раковых клеток. Примечания: красные и зеленые стрелки показывают увеличение и уменьшение активности выбранных процессов.

Существенной проблемой, возникающей при использовании в онкологии практически всех лекарственных препаратов, является развитие эффекта приобретенной лекарственной устойчивости к ним, что приводит к уменьшению их терапевтической эффективности. Особое значение этот эффект имеет для противоопухолевых химиотерапевтических соединений, поскольку может привести к прогрессированию онкологических заболеваний и гибели пациентов. В ходе работы было обнаружено, что развитие резистентности к Цисплатину сопряжено с различными изменениями метаболизма глюкозы, аминокислот и липидов. При этом эти модификации могут быть различными. Так, например, часть устойчивых клеток переходят на преимущественно гликолитическое окисление глюкозы, в то время как в других линиях отмечается усиление окислительного фосфорилирования и снижение активности гликолиза.

«Важно отметить, что изменения метаболизма способствуют «ускользанию» устойчивых клеток от запуска механизмов программируемой гибели клеток (ПГК) — рассказывает аспирант ФФМ МГУ, один из авторов

исследования Мария Япрынцева. — Известно, что применение Цисплатина приводит к активации различных типов ПГК: апоптоза, ферроптоза, аутофагии. Интересно, что устойчивые к данному химиопрепарату клетки становятся более зависимыми от глутамина, который способствует повышенному образованию глутатиона — важного участника системы защиты клеток от окислительного стресса. А уменьшение активных форм кислорода ведет, в свою очередь, к подавлению активации запуска ферроптоза и усилению устойчивости к цисплатину».

«Таким образом, приведенные в нашей работе примеры позволяют лучше понять, каким образом опухолевые клетки могут приспосабливаться к воздействию Цисплатина и успешно нейтрализовать его цитотоксическое действие, — заключает научный сотрудник ФФМ МГУ, один из авторов исследования Николай Первушин. — Рассмотренные нами биомаркеры, уровень которых увеличивается в резистентных клетках, могут быть потенциальными мишенями для преодоления устойчивости к Цисплатину за счет комбинации с другими лекарственными препаратами».

Эффект Эйнштейна – де Гааза в двумерных магнетиках

Ученые кафедры физики колебаний физического факультета МГУ обнаружили эффект Эйнштейна – де Гааза в ван-дер-ваальсовой микроэлектромеханической системе.



Графеноподобные магнитные материалы толщиной в несколько молекулярных слоев (ван-дер-ваальсовы магнетики) были обнаружены в 2016 г. и стали объектом пристального внимания ученых: они заставили пересмотреть многие привычные представления о магнитных явлениях.

Столетием ранее в опыте Эйнштейна – де Гааза, в котором изменение намагниченности образца приводило к его механическому вращению, была установлена взаимосвязь магнитного и механического моментов. В качестве образца использовался массивный магнитный стержень, еле уловимый поворот магнита наблюдался при резонансе крутильного маятника, а детектировался с помощью самого чувствительного метода на начало XX в. — весов Кулона (по отклонению светового «зайчика» от зеркала, прикрепленного на оси вращения маятника).

Для обнаружения аналогичного эффекта в ван-дер-ваальсовом материале авторы статьи предложили воспользоваться аналогом весов Кулона XXI в. — оптической системой детектирования колебаний кантилевера в атомном силовом микроскопе, а сам кантилевер изготовить из зажатого между графеновыми электродами ван-дер-ваальсова антиферромагнетика, в котором магнитный момент одного слоя компенсируется соседним слоем. Прикладывая переменное электрическое напряжение к графеновым электродам можно вызывать за счет магнитоэлектрического эффекта периодическое изменение магнитного момента, а вследствие магнитомеханической связи — также и вибрацию кантилевера.

«Идея провести такое исследование пришла во время проведения занятия по механике вращательного движения для студентов младших курсов. Проследим, например, за движением квадрокоптера, которое полностью определяется скоростью вращения винтов: если аппарат висит неподвижно, моменты импульсов двух диагональных винтов полностью компенсируются другой диагональю. Если же вы хотите повернуть аппарат по часовой стрелке, то для

этого нужно увеличить скорость вращения винтов, крутящихся против часовой стрелки: вследствие закона сохранения момента импульса корпус квадрокоптера повернется в противоположную сторону. Также и в антиферромагнетике: если вызвать декомпенсацию магнитных моментов под решеток с помощью электрического поля, то вследствие закона сохранения момента импульса такая декомпенсация приведет к вращению кристалла. В этом и заключается идея электроиндуцированного эффекта Эйнштейна – де Гааза», — прокомментировал профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ Александр Пятаков.

Говорить о практическом применении электроиндуцированного эффекта Эйнштейна – де Гааза в ван-дер-ваальсовых антиферромагнетиках пока рано, поскольку оценки его величины для немногих известных ван-дер-ваальсовых магнитов дают скромные значения. Однако если вместо линейного магнитоэлектрического эффекта использовать резкий переход антиферромагнетик – ферромагнетик, то эффект увеличится в тысячи раз, и его можно будет использовать в MEMS — микроэлектромеханических устройствах, которые уже находятся в каждом смартфоне и планшете.

Koliushenkov M. A., Pyatakov A. P. "On the Einstein–de Haas effect in van der Waals micro-electromechanical systems". *Europhysics Letters*. 147, 36002 (2024).

Модель связанных квантовых мемристоров на одиночном ионе

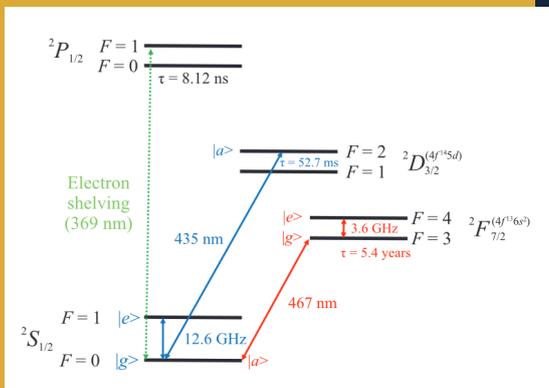
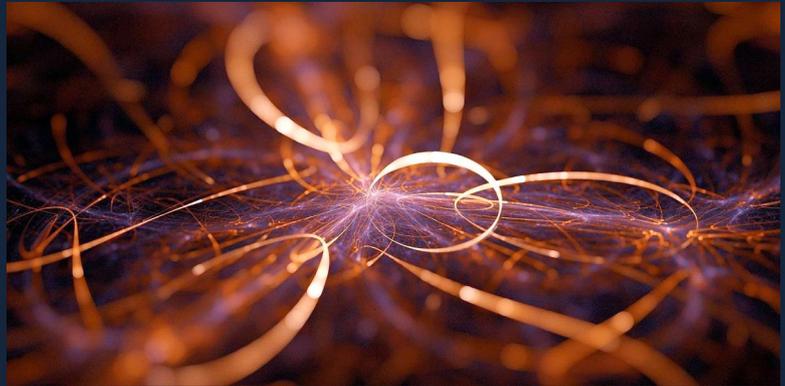


Рис. 1. Частичная схема электронных уровней иона $^{171}\text{Yb}^+$ (не в масштабе). Электрический дипольный переход $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ (E1) на длине волны 369 нм используется для доплеровского охлаждения и регистрации населенности основного состояния иона методом МКС. Переход между уровнями $^2S_{1/2}(F=0)$ ($|g\rangle$) и $^2D_{3/2}(F=2)$ ($|a\rangle$) и переход между подуровнями сверхтонкой структуры $^2S_{1/2}(F=0)$ и $^2S_{1/2}(F=1)$ ($|e\rangle$) основного состояния могут использоваться для реализации первого квантового мемристора на одиночном ионе (уровни и переходы выделены синим цветом). Переход между подуровнями сверхтонкой структуры $^2F_{7/2}(F=3)$ ($|g\rangle$) и $^2F_{7/2}(F=4)$ ($|e\rangle$) и переход между уровнями $^2F_{7/2}(F=3)$ и $^2S_{1/2}(F=0)$ ($|a\rangle$) могут использоваться для реализации второго квантового мемристора на одиночном ионе (уровни и переходы выделены красным цветом).



Ученые физического факультета МГУ совместно с коллегами из Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук развили свою модель квантового мемристора на одиночном ионе иттербия. Они предложили способ совместного применения двух связанных друг с другом квантовых мемристоров на одиночном ионе посредством использования оптических и радиочастотных переходов, возбуждаемых резонансными лазерными полями. Предложенный способ позволяет задействовать всего один ион для управления статистическими весами в двухслойных перцептронах.

Исследования проводились в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

В рамках данной работы предложены две схемы уровней ионов $^{171}\text{Yb}^+$, которые являются подходящими и удобными для экспериментальной реализации квантового мемристора на основе ультрахолодных ионов, захваченных в ловушки Пауля. В предложенных двух схемах задействуется один общий уровень $^2S_{1/2}(F=0)$, что позволяет проводить обучение таких систем.

«Наличие двух схем уровней на одном ионе с существенно различающимися друг от друга возбуждающими резонансными частотами позволяет предложить схему связанных квантовых мемристоров на одиночном ионе, когда последовательное действие резонансных полей позволяет передавать состояние от мемристора к мемристору», — прокомментировал свои исследования доктор физико-математических наук, профессор, заместитель

декана по научной работе физического факультета МГУ Павел Форш.

Таким образом, на одном ионе реализуется два слоя мемристоров, что вместе с предложенной ранее схемой передачи информации по цепочке связанных низкочастотной колебательной модой центра масс ультрахолодных ионов позволяет сформировать многослойные квантовые перцептроны.

«Следует отметить, что классический мемристор по своим свойствам близок к синапсу, обеспечивающему контакт между нейронами в мозге. В то же время, некоторые ученые

склоняются к тому, что работу мозга определяют законы квантовой физики. Если это так, то квантовый мемристор и вычислительные системы на его основе могут более точно имитировать работу мозга. Таким образом, разработка и создание квантовых мемристоров, а также многослойных квантовых перцептронов на их основе, рассматриваемых в качестве основных элементов в биоподобных схемах обучения, полностью относится к природоподобным технологиям», — подвел итог проведенным исследованиям доктор физико-математических наук, профессор физического факультета МГУ Сергей Стремоухов.

С. Ю. Стремоухов, П. А. Форш, К. Ю. Хабарова, Н. Н. Колачевский. "Модель связанных квантовых мемристоров на основе пойманного в ловушку одиночного иона $^{171}\text{Yb}^+$ ". Письма в ЖЭТФ, **119**(2024), вып. 5, с. 343 – 347.

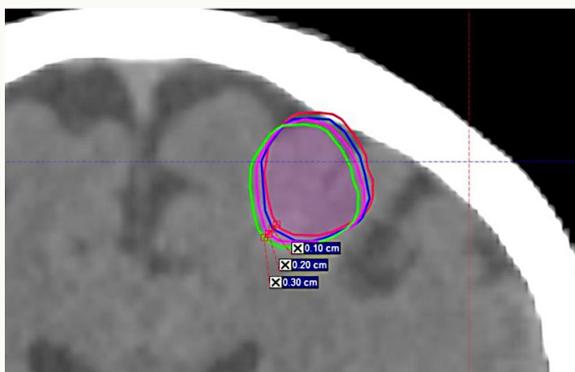
Метод оценки искажений МРТ-изображений для лучевой терапии

Участники научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» разработали метод, позволяющий оценить искажения на МРТ-снимках, используемых при создании планов лучевого лечения. Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» проект №23-ШО6-22

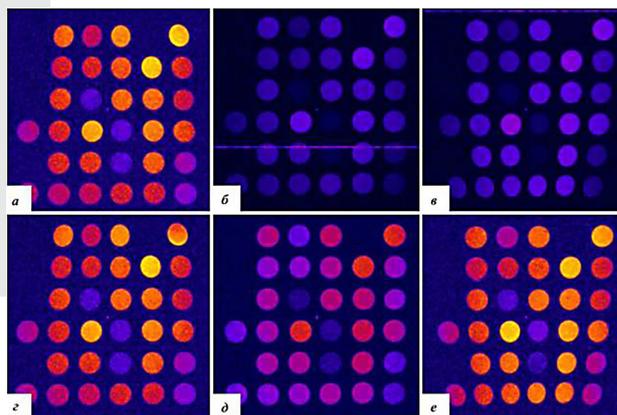
На сегодняшний день магнитно-резонансная томография является одним из основных методов медицинской визуализации. В онкологии МРТ используется для диагностики и создания планов лучевого лечения.

«Несмотря на то, что использование снимков компьютерной томографии (КТ) предпочтительно, для ряда онкологических заболеваний планирование лечения по МРТ-снимкам — необходимость», — отмечает доцент кафедры физики ускорителей и радиационной медицины, медицинский физик МКНЦ имени А.С. Логинова Екатерина Лыкова.

Однако, по ряду причин, изображения, полученные с использованием магнитно-резонансной томографии, подвержены искажениям. При проведении лучевой терапии данные искажения могут стать причиной снижения эффективности лечения или привести к отдаленным последствиям.



«Такие искажения в медицинской физике называются дисторсией. Каждый аппарат МРТ характеризуется своими показателями дисторсии, которые должны быть оцениваться и учитываться медицинскими физиками при работе. Для этого требуются простые и эффективные методы оценки искажений», — сообщает младший научный сотрудник кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физфака МГУ Алексей Щербаков.

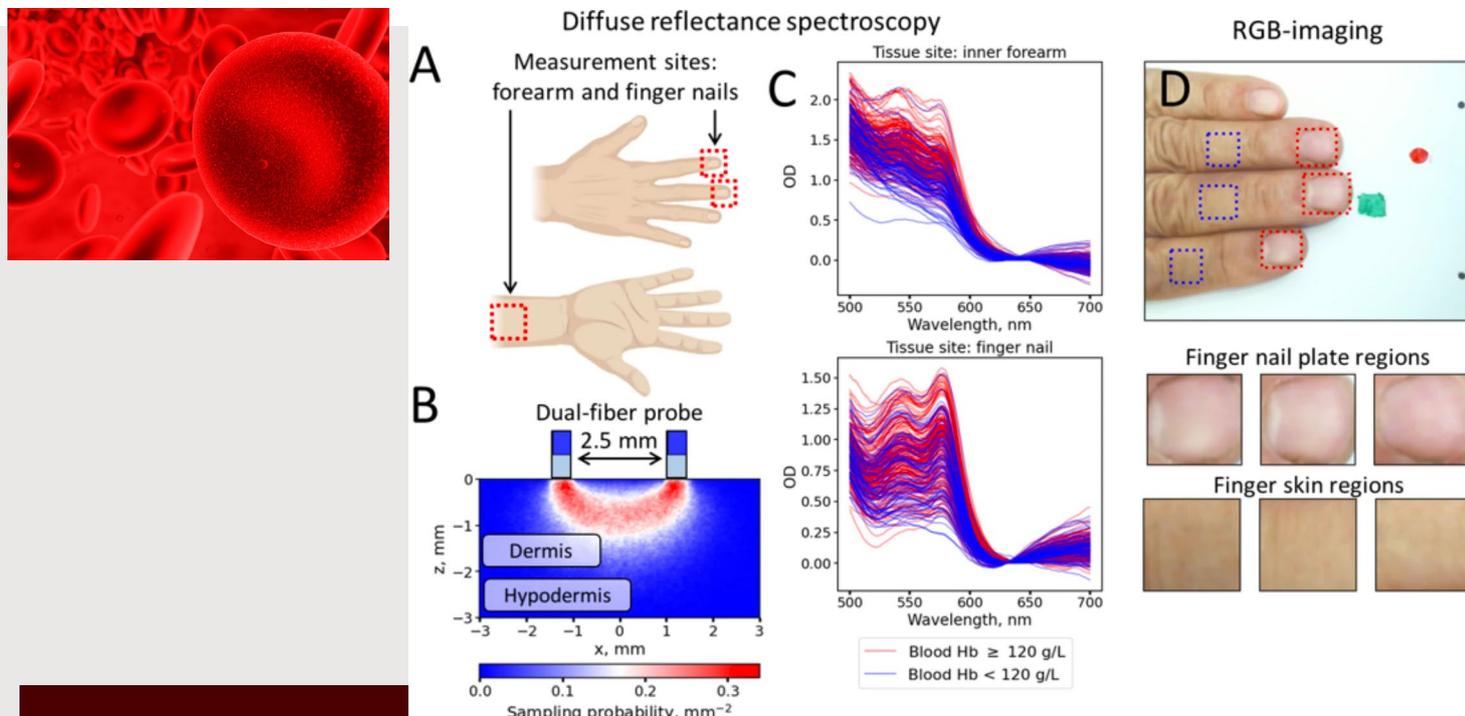


Работа в данном направлении ведется в МГУ на протяжении нескольких лет под руководством заведующего кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета, заведующего отделом ядерно-физических методов в медицине и промышленности НИИЯФ МГУ Александра Черняева. В результате проведенных исследований был разработан метод оценки дисторсии, который был проверен на нескольких используемых в клинической практике томографах. Также была проведена оценка снижения эффективности лучевой терапии, связанного с дисторсией.

Проведенные исследования показывают важность коррекции дисторсии в клинической практике. На сегодняшний день сотрудниками МГУ разрабатываются алгоритмы коррекции дисторсии для конкретных томографов, установленных в российских центрах.

Е.Н. Лыкова, А.А. Щербаков, А.П. Стрелковская, Ф.Р. Студеникин, С.А. Гаврилова, А.П. Черняев. "Экспериментальная оценка дисторсии изображений магнитно-резонансной томографии для планирования лучевой терапии", Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2024. № 4.

Оценка новых методов определения уровня гемоглобина



Сотрудники физфака МГУ — участники НОИП «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» — представили новые разработки в области неинвазивного определения уровня гемоглобина с использованием биофотоники.

Рис. 1. (А) Участки ткани, используемые для неинвазивной оценки низкого уровня Hb. (В) Вероятность выборки фотонов для двухволоконного зонда диффузного отражения при 560 нм для модели кожи. (С) Спектры эффективной оптической плотности ($OD = -\log I$) для участков кожи предплечья и ногтевой пластины у пациентов с низким уровнем Hb в крови (< 120 г/л) и с высоким уровнем Hb (≥ 120 г/л). (D) Примерные RGB-изображения кончиков пальцев: сегментированные области, соответствующие ногтевым пластинам (красные прямоугольники) и областям кожи (синие прямоугольники), и результат их сегментации.

Уровень гемоглобина в крови — один из ключевых показателей, контролируемых в общем анализе крови. Мониторинг уровня гемоглобина особенно важен для диагностики анемии (пониженного уровня гемоглобина), которая в той или иной форме затрагивает десятки миллионов людей по всему миру. Обычно этот показатель определяется с помощью инвазивного анализа крови. Такой анализ требует времени, дорогостоящего оборудования, квалифицированного медицинского персонала, а самое главное — доставляет дискомфорт пациенту, особенно когда сдавать кровь на анализ необходимо регулярно. На этом фоне значимость безболезненных и быстрых неинвазивных методов становится все более актуальной.

В гонке за точным неинвазивным определением уровня гемоглобина по оптическим данным бьются такие гиганты как Google Health и Masimo (крупнейший производитель FDA-сертифицированных пульсоксиметров), отдельные стартапы и научные группы, однако клинически точных

методов, определяющих уровень гемоглобина с низкой погрешностью до сих пор не представлено. Одним из возможных способов повышения точности является совмещение нескольких оптических методик для определения уровня гемоглобина, другим — создание независимых открытых источников данных, на которых было бы возможно проводить тестирование уже созданных и разработку новых алгоритмов. Именно этим двум решениям посвящены опубликованные исследования.

В части работы, опубликованной в Scientific Reports, представлено сравнительное исследование методов диффузной спектроскопии и RGB-имиджинга в предсказании анемии. Показана высокая точность выявления анемии у людей (площадь под ROC-кривой более 0.8), оценены преимущества и пределы совмещения двух методик для определения низкого уровня гемоглобина.

Еще одна часть работы, представленная в журнале Scientific Data (входит в топ-5 мировых изданий, публикующих открытые высококачественные научные датасеты), нацелена на стандартизацию оптических подходов в определении уровня гемоглобина. Авторы подготовили уникальный и стандартизованный открытый набор данных RGB-визуализации тканей рук для 250 пациентов с известным уровнем гемоглобина. Эта публикация — важный шаг к созданию универсальных и воспроизводимых алгоритмов для неинвазивного определения уровня гемоглобина. «Датасет открыт для всех исследователей, работающих над усовершенствованием существующих методов и созданием новых, что представляет собой большой колоссальный вклад в развитие области оптической диагностики, а также пример прозрачности и открытости научных исследований», — говорит с.н.с. кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Борис Якимов.

Опубликованные исследования ярко иллюстрируют будущее медицинской диагностики — точной, быстрой и доступной каждому. Неинвазивные методы определения уровня гемоглобина могут кардинально изменить медицинскую практику, сделать мониторинг состояния здоровья проще и удобнее, как в клиниках, так и в домашних условиях.

B. Yakimov, K. Buiankin, G. Denisenko, Yu. Shitova, A. Shkoda & E. Shirshin. "Diffuse reflectance spectroscopy and RGB-imaging: a comparative study of non-invasive haemoglobin assessment". Scientific Reports, 14, №: 22874 (2024)

B. Yakimov, K. Buiankin, G. Denisenko, I. Bardadin, O. Pavlov, Yu. Shitova, A. Yuriev, L. Pankratieva, A. Pukhov, A. Shkoda & E. Shirshin. "Dataset of human skin and fingernails images for non-invasive haemoglobin level assessment". Scientific Data 11, Article number: 1070 (2024)

Метод нахождения воды в виде льда на астероидах



Предложенный подход основан на обнаружении пыли вблизи поверхности этих космических объектов. Так, оценивая состав пылевой экзосферы астероидов в ближней ультрафиолетовой части спектра, авторам удалось примерно на 20% повысить вероятность нахождения водяного льда по сравнению с ранее используемым методом. Работа ученых способствует более эффективному поиску воды на астероидах, которая в будущем может стать источником водородного топлива для космических миссий. Результаты исследования, поддержанного грантом Российского научного фонда (РНФ).

В исследовании также принимали участие ученые из Института астрономии РАН (Москва) и Института космических исследований РАН (Москва).

Лед на астероидах — это ценный ресурс для будущих космических миссий, потому что воду, содержащуюся на астероидах в виде льда, можно будет расщеплять на водород и кислород при помощи электрического тока (электролиза). Это позволит получить водородное топливо, используемое в реактивных двигателях и необходимое для работы ракет и других космических аппаратов. Однако точно определить, есть ли на астероиде лед, довольно сложно из-за удаленности астероидов от Земли и их малых размеров. Кроме того, вода в виде льда на астероидах примитивного состава обычно скрыта в недрах. На поверхности космического тела она, как правило, может оказаться при столкновениях астероидов в Главном поясе, где вероятность таких событий наиболее высокая. Поэтому ученые ищут эффективные методы обнаружения водяного льда и на поверхности, и в недрах астероидов.

Ученые из Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова разработали новый метод, который позволяет оценить, есть ли в недрах астероидов вода в виде льда. Для этого авторы предложили анализировать состав потоков пыли и газа над поверхностью астероидов, движущихся на небольших расстояниях от Солнца — менее 4 астрономических единиц (астрономическая единица равняется расстоянию от Земли до Солнца).

Эти космические тела были выбраны из-за того, что на поверхности астероидов, близких к нашей звезде, лед нестабилен из-за сублимации — прямого перехода из твердого состояния в газ без промежуточной жидкой фазы. Поэтому он может выбрасываться из глубин астероидов на поверхность при внешнем воздействии, например, при приближении астероида к Солнцу. В результате в экзосфере астероида образуются разреженные потоки газа и пыли, которые мы можем наблюдать в виде «хвоста», как у комет, но очень ограниченное время. Именно эти эффекты, по мнению ученых, могут указать на присутствие в составе вещества астероида льда.

Исследователи проанализировали спектральные характеристики 102 разных астероидов (а некоторые из них — многократно при повторных наблюдениях), а также численно смоделировали их спектры отражения. По тому, как пылевые выбросы над астероидом взаимодействуют с солнечным электромагнитным излучением, можно оценить химический состав и структуру пылевых частиц в составе экзосферы. У астероидов вблизи поверхности может образоваться разреженная экзосфера, но концентрация частиц в ней очень низкая по причине слабых гравитационных полей этих малых тел. Хотя в видимой области спектра такая пылевая экзосфера малозаметна, ее можно обнаружить в коротковолновой (ближней ультрафиолетовой) части спектра. Именно в этой области наиболее высокую отражательную способность по сравнению с другими соединениями имеют частицы водяного льда, а также некоторые астрономические силикаты, распространенные в космических условиях.



Авторы отмечают, что предложенный подход дает возможность определить наличие льда в недрах астероида с вероятностью не менее 50%. Такая погрешность в оценке связана с тем, что спектры отражения водяного льда в этом диапазоне похожи на спектры отражения силикатов, поэтому между собой их сложно различить.

При этом предложенный подход все равно точнее предыдущего метода, предложенного в 1970-е годы американскими астрономами и основанного на использовании инфракрасного излучения. Их исследования показали, что водяной лед на астероидах поглощает свет в ближнем инфракрасном диапазоне. Однако на этих длинах волн полоса поглощения водяного льда сравнима с похожими полосами поглощения двух других классов веществ: гидросиликатов и водорастворимых органических соединений. Таким образом, выборка из трех примерно равно распространенных соединений, любое из которых может дать такой признак, приводит к вероятности обнаружения водяного льда, равной только 30%.

«Предлагаемая нами методика также актуальна для обнаружения водяного льда на астероидах, сближающихся с Землей. Для определения потенциальной угрозы важно оценивать их состав как можно более точно. С другой стороны, в отдаленной перспективе такие астероиды могут рассматриваться как источники важнейших внеземных ресурсов, в частности воды. В дальнейшем мы планируем продолжать исследования в этом направлении, проводя поиски активных астероидов при их обзорных наблюдениях и используя при этом более крупные телескопы», — рассказывает руководитель проекта, поддержанного грантом РФФИ, Владимир Бусарев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела исследования Луны и планет ГАИШ МГУ.

V. V. Busarev, E. V. Petrova, V. B. Puzin, S. I. Barabanov, M. P. Shcherbina, S. Yu. Kuznetsov. "An Optically Thin and Thick Dust Exosphere of Active Asteroids: Spectral Signs and Possible Formation Mechanisms". *Solar System Research*, **58**, p. 315–325, (2024).

Новая технология заморозки клеток человека

Ученые МГУ предложили метод стабилизации мембраны клеток человека холестерином для повышения их выживаемости при криоконсервации. Процедура криоконсервации часто используется в биологии и медицине для сохранения клеток и тканей. Однако процесс заморозки-разморозки может привести к гибели более 50% клеток. Исследователи установили, что для увеличения концентрации холестерина в мембранах клеток и, как следствие, повышения эффективности криоконсервации, можно использовать продукты самосборки анионных карбоксиметил циклодекстринов на поверхности катионных липосом, формирующие наноконтейнеры с высокой ёмкостью по холестерину. Разработка позволит усовершенствовать технологию криоконсервации клеток.

Исследования проводились в рамках проекта 23-ШО1-15 Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Фундаментальные и прикладные исследования космоса».



Криоконсервация биоматериала расширяет возможности современной биологии и медицины, позволяя сохранять генетический материал, способствует созданию криобанков и является неотъемлемой частью вспомогательных репродуктивных технологий. В процессе заморозки-разморозки клеток в результате образования кристаллов льда, а также осмотического шока мембраны сперматозоидов могут повреждаться, что приводит к потере жизнеспособности клеток. Так, подвижность и морфологические показатели сперматозоидов могут ухудшаться на 30–70% после криоконсервации. Для снижения негативных воздействий криоконсервации используют криопротекторные среды с проникающими в клетку компонентами, как глицерин, и не проникающими компонентами, как дисахариды — трегалоза и сахароза. Однако наиболее эффективным методом, сохраняющим жизнеспособность клеток, является стабилизация мембраны путем повышения в ней концентрации холестерина.

Доцент кафедры биофизики физического факультета МГУ Екатерина Симоненко рассказывает: «Одна из самых актуальных и сложных задач для нас — придумать эффективный способ доставки молекул холестерина в мембраны клеток, который можно было бы использовать в рутинных методах криоконсервации. В нашей научной группе предложили использовать олигосахариды — циклодекстрины — в качестве такого "доставщика" холестерина к мембранам клеток и добавить их как компоненты в криопротекторные среды для повышения выживаемости клеток при криоконсервации. В ходе работы мы установили, что включение молекул холестерина в производные бета-циклодекстринов позволяет создавать криопротекторные среды, обогащающие клеточные мембраны холестерином и повышающие их устойчивость к осмотическому шоку».

Доцент кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета МГУ Андрей Сыбачин дополняет: «Мы, в свою очередь, задались вопросом, как организовать взаимодействие комплексов циклодекстринов-холестерин с клеточной мембраной с максимальной эффективностью. Для этого мы создали биосовместимый наноконтейнер на основе катионной липосомы, поверхность которой покрыта молекулами карбоксиметил бета-циклодекстрина. Оказалось, что такой наноконтейнер способен транспортировать гидрофобные соединения, в том числе и холестерин, в количествах на порядок превышающих ёмкость традиционных липосомальных наноконтейнеров».

Учёные химического и физического факультетов МГУ совместно установили, что молекулы карбоксиметил циклодекстринов адсорбируются на липидные мембраны не по одиночке, а формируя надмолекулярные структуры. Визуализацию таких структур удалось получить используя комбинацию методов Лэнгмюр-Блоджетт и атомно-силовой микроскопии. Были получены липидные монослои, к которым добавляли различные количества циклодекстринов, а затем полученные комплексы переносили на подложку и анализировали их морфологию. Удалось установить, что при любом соотношении липидов к циклодекстринам олигосахариды имеют тенденцию формировать многоуровневые структуры. При этом на один катионный липид может приходиться до 10 молекул циклодекстринов. Данный результат весьма важен для создания наноконтейнеров для доставки гидрофобных соединений. Обычно для липосомальных наноконтейнеров доля включенных водонерастворимых биологических веществ не превышает 10%. Поскольку молекулы бета циклодекстрина обычно способны инкапсулировать от 0.5 до 1 молекулы гидрофобного соединения, содержащего ароматический фрагмент, то ём-

кость комплексного наноконтейнера по таким соединениям по сравнению с единичной липосомой возрастает более чем на порядок. Этот результат интересен сам по себе, но для обогащения мембраны сперматозоидов холестерином, он является принципиальным. Использование липосом для повышения доли холестерина в клетках бесперспективно, поскольку вместе с целевым холестерином в мембрану вводятся и липиды, формирующие липосому. Комплекс олигосахаридов с катионной липосомой способен не только привести значительное количество молекул холестерина в мембрану, но и за счёт своего заряда обеспечить более эффективную адсорбцию наноконтейнера на поверхность клеток.

Дальнейшими планам исследования поделился студент физического факультета МГУ Илья Григорян: «Сейчас

ведётся работа по оптимизации состава наноконтейнера, подбора подходящего состава липидов, размера липосом, а также общего заряда. Помимо этого, также будет проверена гипотеза о возможном влиянии комплексного наноконтейнера на снижение образования кристаллов льда при криозаморозке сперматозоидов».

И.В. Григорян, А.М. Адельянов, Г.Б. Хомутов, А.П. Пархаева, Е.Ю. Симоненко, А.Г. Миронова, В.А. Пигарева, А. В. Сыбачин. "Особенности формирования комплексов β -карбоксиметил циклодекстринов на поверхности липидных монслоёв". Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2024. № 5. 2450701.

Способ отличить белые карлики от нейтронных звезд

Астрономы МГУ обнаружили наблюдательные спектральные признаки, отличающие белые карлики от нейтронных звезд, входящих в состав рентгеновских аккрецирующих двойных систем. Эта задача была одной из ключевых проблем астрофизики последних двух десятилетий. Использование нового метода облегчает путь к разгадке природы компактных объектов, если их природа является спорной или неизвестной.



Нейтронные звезды и белые карлики представляют собой уникальную возможность исследования свойств материи в сверхплотных состояниях, не встречающихся в земных условиях. Известно, что эти объекты отличаются геометрическими и физическими параметрами. Однако наблюдательная грань между ними очень тонкая.

Учёные МГУ обнаружили, что нейтронные звёзды и белые карлики в рентгеновских двойных системах демонстрируют различия в спектральных индексах α во время вспышек. Эти различия обусловлены различными физическими условиями на их поверхностях: нейтронные звезды имеют более высокую температуру (1.1–1.5 кэВ), чем белые карлики (0.1–0.2 кэВ). Горячая поверхность нейтронных звезд отражает рентгеновское излучение от аккреционного диска, тогда как холодная поверхность белого карлика его поглощает. Эти различия позволяют легко диагностировать природу компактного объекта с помощью высокоточных орбитальных телескопов.

«Эти наблюдательные признаки просты в применении на практике и не требуют дополнительных теоретических моделирований. В самом деле, следует лишь отнаблюдать источник во время рентгеновской вспышки и установить характер эволюции и величину спектрального индекса, что сразу укажет на природу компактного объекта. В перспективе использование нового метода облегчает путь к разгадке природы компактных объектов в двойных рентгеновских системах, если их природа является спорной или неизвестной», — заявила Сейфина Елена, ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ.

L. Titarchuk, E. Seifina. "How to distinguish white dwarf and neutron star X-ray binaries during their X-ray outbursts?" World J. of Physics; Research 2 (1) 110–142. (2024).

Еще один метод поиска экзопланет



Экзопланеты — это планеты вне Солнечной системы, которые представляют большой интерес для ученых по всему миру. Для обнаружения таких планет разработано большое число методов, этой задаче посвящено множество международных проектов, в том числе и космических. Первый в своем роде проект COROT был запущен для поиска транзитных планет на определенных участках неба. Проект KEPLER открыл тысячи экзопланет, наблюдая одну и ту же область неба в течение продолжительного времени. В настоящее время активно работает спутник TESS, который осуществляет обзор всей небесной сферы в поисках экзопланет.

Транзит экзопланеты происходит, когда планета проходит между своей звездой и Землей, временно уменьшая ее блеск при наблюдении с Земли. Этот эффект позволяет выявлять экзопланеты, основываясь на периодических колебаниях наблюдаемой яркости звезды — это транзитный метод обнаружения. Кроме того, экзопланеты можно обнаруживать с помощью таких методов, как гравитационное микролинзирование и доплеровская спектроскопия (спектр излучения меняется при смещении звезды относительно центра масс системы звезда-планета).

Ученые МГУ решили использовать фотометрический транзитный метод для поиска экзопланет, который выгоден своей простотой: для его реализации достаточно телескопа с диаметром объектива 40 см, что значительно дешевле и проще, чем использование более сложных спектроскопических инструментов и крупных телескопов. Например, проект KELT, который использовал объектив профессиональной камеры и ПЗС-матрицу, смог непрерывно наблюдать тысячи квадратных градусов небесной сферы и открывать новые экзопланеты.

В основе представленного метода лежит использование глобальной сети роботов-телескопов МАСТЕР, созданной под руководством профессора физического факультета, заведующего лабораторией космического мониторинга ГАИШ МГУ Владимира Липунова в 2002 г. Каждый телескоп этой сети состоит из двух труб с диаметром 40 см с высокой скоростью наведения, обеспечивая обширное поле

Сотрудники ГАИШ МГУ представили методику поиска экзопланет с использованием данных, полученных сетью роботизированных телескопов МАСТЕР с 2002 г. Применение метода позволит подтверждать кандидатов в экзопланеты и находить новые, а также обнаруживать объекты переменной яркости.

зрения — до 8 квадратных градусов. Основное преимущество системы — полная роботизация, то есть автономная работа без управляющего человека. Обсерватории сети сами планируют список объектов для наблюдения, наблюдают их и проводят первичную обработку. Еще одна полезная вещь сети — все полученные за 20 лет кадры сохраняются в архив наблюдений, расположенный на суперкомпьютере «Ломоносов». Архив доступен для ученых, которые могут использовать его для научных целей в любой момент.

Среди сохраненных наблюдений есть такие, в которых одна и та же область неба наблюдалась в течение длительного времени. Для каждого из объектов, попавших в кадр, можно сделать фотометрию и пронаблюдать изменение кривой блеска с течением времени. С помощью этого подхода астрономам удалось независимо подтвердить существование экзопланеты TOI-3570.01 и уточнить значение ее орбитального периода.

Долгосрочные наблюдения, охватывающие 20 лет, позволяют значительно более точно определять параметры орбит, чем при использовании только современных данных. Например, без учета архивных наблюдений МАСТЕР экзопланета наблюдалась 5 лет (с 2019 по 2024 год), тогда как с их учетом время наблюдения увеличивается на 3 года. Важность анализа архивных данных заключается и в том, что не требуются затраты ограниченных наблюдательных ресурсов.

«На данный момент в проекте МАСТЕР выделено два основных направления работы по обработке архива: независимая проверка известных кандидатов в экзопланеты и поиск новых экзопланет. Если в архиве обнаруживается кандидат в экзопланету, запускается программа для дальнейшего наблюдения за этим участком неба, что требует значительно меньше наблюдательных ресурсов, чем случайный поиск. Кроме того, во время фотометрирования звезд в кадре исследователи могут обнаруживать новые переменные звезды и собирать данные для уже известных объектов. Эти сведения полезны для дальнейших исследований», — рассказал студент кафедры экспериментальной астрономии физического факультета МГУ Александр Тарасенков.

V. M. Lipunov, A. N. Tarasenkov, A. S. Kuznetsov, P. V. Balanutsa, G. A. Antipov, Ya. Yu. Kechin, N. V. Tyurina, E. S. Gorbvskoy, D. A. H. Buckley, C. Francile, F. Podesta, A. G. Tlatov, R. Rebolo Lopez, N. M. Budnev, O. A. Gress & V. V. Yurkov. "The Detection and Investigation of Exoplanets with MASTER Global Network Telescopes". *Astronomy Reports*; **68**, 557–564, (2024).

Указом Президента Российской Федерации от 18 сентября 2024 года № 800 за «заслуги в научно-педагогической деятельности, подготовке высококвалифицированных специалистов и многолетнюю добросовестную работу» заведующий кафедрой магнетизма физического факультета Николай Сергеевич ПЕРОВ награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

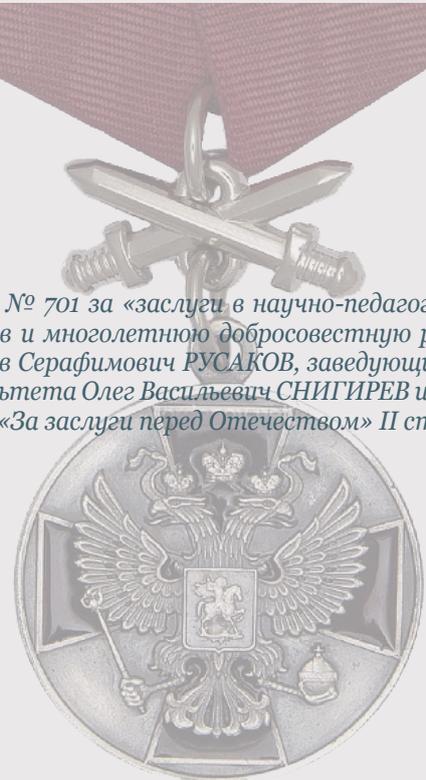


ПЕРОВ
Николай
Сергеевич

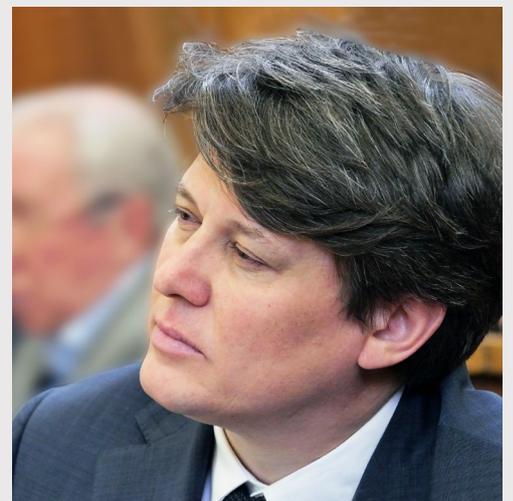


РУСАКОВ
Вячеслав
Серафимович

Указом Президента Российской Федерации от 17 августа 2024 года № 701 за «заслуги в научно-педагогической деятельности, подготовке высококвалифицированных специалистов и многолетнюю добросовестную работу» профессор кафедры общей физики физического факультета Вячеслав Серафимович РУСАКОВ, заведующий кафедрой физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета Олег Васильевич СНИГИРЕВ и проректор МГУ Андрей Анатольевич ФЕДЯНИН удостоены медали ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.



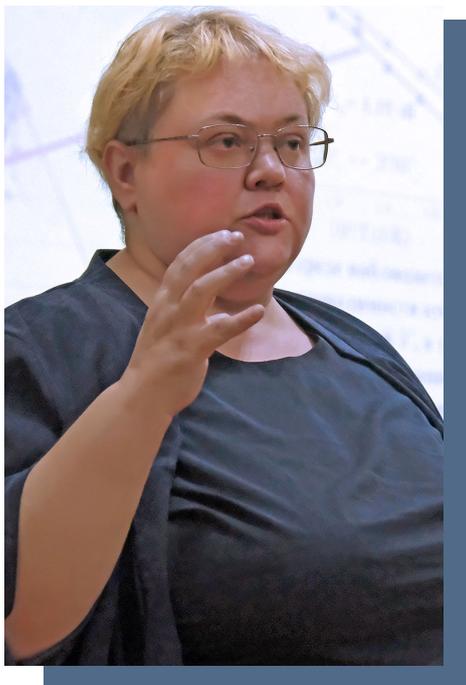
СНИГИРЕВ
Олег
Васильевич



ФЕДЯНИН
Андрей
Анатольевич

ПОЗДРАВЛЯЕМ!

ПРЕМИИ / НАГРАДЫ



Доцент кафедры физики полимеров и кристаллов
Елена Петровна Харитонова

19 сентября 2024 года

в диссертационном совете МГУ.013.3 (МГУ.01.01)

Елена Петровна Харитонова

защитила диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности: 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

на тему:

«ФАЗООБРАЗОВАНИЕ, ПОЛИМОРФИЗМ И СВОЙСТВА КИСЛОРОДПРОВОДЯЩИХ МОЛИБДАТОВ И ВОЛЬФРАМАТОВ СО СТРУКТУРОЙ, БЛИЗКОЙ К ФЛЮОРИТОВОЙ»

Соединения с кислородной проводимостью давно привлекают внимание исследователей не только в связи с возможностью их практического применения как материалов для высокотемпературных топливных элементов в газовых сенсорах, в катализе, и многих других приложениях, но и с научной точки зрения, в связи с исследованием взаимосвязей состав – структура – свойства. Количество структур, обладающих способностью к быстрому анионному переносу невелико. В настоящее время кислородпроводящие соединения найдены в структурных типах флюорита, перовскита, пироклора, апатита, димолибдата лантана $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ и фаз Ауривиллиуса.

Разупорядоченность анионной подрешетки кислородпроводящих оксидов не только обуславливает высокую кислородную проводимость соединений, но также часто приводит к возникновению в них сложной последовательности фазовых переходов, так, что высокой проводимостью по кислороду обладает лишь высокотемпературная высокосимметричная фаза. Сложный полиморфизм является препятствием для практического использования кислородных проводников, однако допирование определенными примесями в некоторых случаях позволяет избавиться от фазовых переходов и стабилизировать высокотемпературную кислородпроводящую фазу при комнатной температуре. Исследование полиморфизма кислородпроводящих соединений, изучение влияния примесей на их физические свойства, поиск новых соединений с кислородной проводимостью являются основными задачами данной диссертационной работы.

В диссертационной работе было синтезировано и исследовано более 500 соединений, относящихся к семействам оксида висмута (Bi_2O_3), оксидвольфрамата висмута (Bi_2WO_6), а также сложных молибдатов лантана и неодаима ($\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$, $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$). Ряд соединений был синтезирован в виде монокристаллов. В результате работы были получены новые кислородпроводящие соединения, изучены их основные физические характеристики, сделаны выводы, касающиеся фазообразования соединений, последовательности их фазовых переходов, термической стабильности и электрофизических свойств.

В работе показано, что для соединений семейств Bi_2O_3 и $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$, в структуре которых имеется большое количество собственных вакансий по кислороду (вакансионный тип проводимости), характерны сложный полиморфизм и экстремально высокие показатели проводимости по кислороду в высокотемпературной кубической фазе, тогда как низкотемпературная моноклинная фаза демонстрирует проводимость на 2–3 порядка ниже. В случае оксида висмута кубическую фазу с высокой проводимостью по кислороду можно стабилизировать при содопировании двумя катионами, наилучшие результаты были получены при содопировании парами катионов Nd–Mo и Pr–Mo. В случае соединений на основе $\text{La}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ кубическая фаза может быть стабилизирована примесями при комнатной температуре, однако ее структура и свойства отличаются от высокотемпературной кубической фазы. Для обоих семейств было отмечено изменение механизма проводимости при нагреве образцов, от закона Аррениуса к закону Фогеля – Таммана – Фулчера. В соединении

ях семейства оксида висмута обнаружены соединения не только с кислородной, но и с протонной проводимостью

В случае соединений со структурой типа $\text{Nd}_5\text{Mo}_3\text{O}_{16}$, было показано, что при высокой температуре соединения являются смешанными электрон-кислородными проводниками, однако доля электронной проводимости уменьшается с понижением температуры. Транспорт кислорода в соединении главным образом осуществляется не по кислородным вакансиям, а по межузельным полостям структуры (интерстиционный тип проводимости). Гетеровалентное допирование соединений со структурой типа $\text{Nd}_5\text{Mo}_3\text{O}_{16}$ приводит к исчезновению кислорода из межузельных полостей и понижению проводимости. В работе было сделано предположение о том, что пустые полости могут быть заполнены водой, и, действительно, оказалось, что все допированные соединения на основе $\text{Nd}_5\text{Mo}_3\text{O}_{16}$ обладают гигроскопическими свойствами.

В диссертационной работе было показано, что для соединений со структурой Bi_2WO_6 гетеровалентное допирование в позицию вольфрама приводит к образованию кислородных вакансий в структуре и повышению кислородной проводимости на два порядка величины. Наилучшие допированные соединения по величине проводимости оказались сравнимы с известными кислородпроводящими соединениями на основе допированного оксида циркония. Помимо этого гетеровалентное допирование приводит к исчезновению высокотемпературного реконструктивного перехода Bi_2WO_6 , что предотвращает разрушение монокристаллов при этом переходе, улучшает механические свойства керамики и открывает возможность ее практического использования в качестве кислородпроводящего материала.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ МГУ С ЗАЩИТАМИ В 2024 Г.

МГУ.011.2 (МГУ.01.06)

Председатель – Садовников Борис Иосифович, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Нефедов Николай Николаевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Поляков Петр Александрович, д.ф.-м.н., проф.

17.10.2024

- ХЛОПУНОВ Михаил Юрьевич** «Гравитационно-волновые эффекты в теориях с большими дополнительными измерениями». 1.3.3 - Теоретическая физика. Кандидатская диссертация.
- АНДРЕЕВ Павел Александрович** «Представление квантовой механики многочастичных систем в терминах эволюции коллективных наблюдаемых». 1.3.3 - Теоретическая физика. Докторская диссертация.

МГУ.013.3 (МГУ.01.01)

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

19.09.2024

- ХАРИТОНОВА Елена Петровна** «Фазообразование, полиморфизм и свойства кислородпроводящих молибдатов и вольфраматов со структурой, близкой к флюоритовой». 1.3.8 - Физика конденсированного состояния. Докторская диссертация.

17.10.2024

- КОСТРОВ Сергей Александрович** «Создание низкомолекулярных магнитоактивных полимерных материалов и изучение их вязкоупругих свойств во внешних магнитных полях». 1.4.7 - Высокомолекулярные соединения. Кандидатская 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.
Стрёмухов Сергей Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Коновко Андрей Андреевич, к.ф.-м.н., Доц.

02.10.2024

1. **ЛЬВОВ Кирилл Вячеславович** «Динамика носителей заряда и генерация когерентного излучения фемто-секундными лазерными полями в газовых и конденсированных средах». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.
2. **ГАРМАТИНА Алена Андреевна** «Генерация рентгеновских фотонов при взаимодействии импульсно-периодического фемтосекундного лазерного излучения ближнего ИК диапазона с твердотельной мишенью в газовой среде». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

30.10.2024

1. **Новиков Илья Алексеевич** «Нестационарная магнитооптическая и терагерцовая спектроскопия одномерных плазмонных кристаллов». 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.
Кашкаров Павел Константинович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Шапаева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н., доц.

20.06.2024

1. **ЛЮ Наньнань** «Изучение механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах, перспективных для лечения рака с помощью магнитной гипертермии: магнитотепловые свойства наночастиц феррита ZnMn». 1.3.12 – Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.
2. **КОМЛЕВ Алексей Степанович** «Релаксация намагниченности в объектах различной размерности на основе сплава FeRh». 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 – Балакиши Владимир Иванович, д.ф.-м.н., проф.
Васильев Андрей Николаевич, д.ф.-м.н.
Уч. секретарь – Косарева Ольга Григорьевна, д.ф.-м.н., доц.

10.10.2024

1. **ГЛАЗУНОВ Павел Сергеевич** «Распространение электромагнитных волн в плоскостойких средах с неоднородными металлическими плёнками». 1.3.4 – Радиофизика. Кандидатская диссертация.
2. **ПОПОВА Мария Михайловна** «Когерентный контроль при ионизации атомов электромагнитными полями кратных частот». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

17.10.2024

1. **ГОНЧАРСКИЙ Антон Александрович** «Разработка методов синтеза нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений». 1.3.6 - Оптика, 1.2.2 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Докторская диссертация.

Анатолий Филиппович ТУЛИНОВ

(24.09.1924 – 17.01. 2011)

Профессор Тулинов принадлежал к тому поколению российских ученых, которых принято по праву считать патриархами отечественной науки. С его именем связано возникновение целого ряда научных направлений не только в Московском государственном университете, но и в мире. Невозможно переоценить роль Анатолия Филипповича в подготовке высококвалифицированных физиков-ядерщиков для нашей страны. Исследования, проведенные самим Анатолием Филипповичем и учеными, принадлежащими его научной школе, по праву входят в число выдающихся достижений отечественной науки.

Анатолий Филиппович Тулинов родился 24 сентября 1924 г. в Алтайском крае в большом сибирском селе Смоленское недалеко от города Бийска. Его родители учительствовали. По поручению Наркомпроса отец организовывал в разных местах новые спецшколы для глухонемых детей, в связи, с чем семья несколько раз меняла место жительства. Будучи ребенком, Анатолий Филиппович жил некоторое время в небольшом городке Бердске (около Новосибирска). Через несколько десятков лет на этом месте был построен Институт ядерной физики Сибирского отделения АН. В тридцатые годы он в течение двух лет обучался в школе-интернате имени С.Т. Шацкого, которая располагалась в лесу около небольшого разъезда Обнинское Киевской железной дороги. После войны как раз на месте этой школы был создан Физико-энергетический институт ядерного профиля, построена первая атомная электростанция и вырос наукоград — город Обнинск. Непосредственно перед войной он жил в городе Серпухове, вблизи того места, где позже был построен 76 ГэВ-ный ускоритель и был создан Институт физики высоких энергий. По этому поводу Анатолий Филиппович любил шутить, что с ядерной физикой у него не просто профессиональная, но и какая-то мистическая связь.

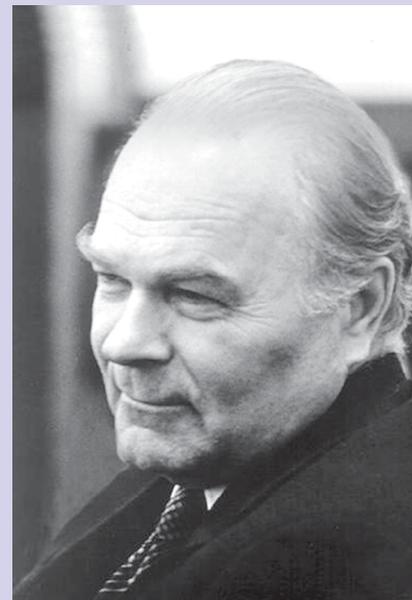
Анатолий Филиппович относился к тому поколению, которое было опалено Великой Отечественной войной в самой жестокой степени. Призывники 1923 и 24 гг. попали в полосу самых

ожесточенных боев. Известно, что мужчин 1924 г. рождения после войны в живых осталось не более 6%.

Первый раз Анатолий Филиппович столкнулся с войной практически сразу после ее начала, будучи еще школьником. В первых числах июля 1941 г. комсомольской организацией г. Серпухов были созданы из школьников старших классов отряды, которые направлялись в Брянскую и Смоленскую области на рытье противотанковых рвов. Работали по 12–14 часов в сутки. Немцы неоднократно бомбили детей-строителей, были потери. Все это продолжалось до начала октября, когда началось известное наступление немцев на Москву. Уходили практически вместе с отступающими войсками.

Затем — продолжение учебы, окончание средней школы, призыв в армию, учеба в пехотном училище, фронт. Анатолий Филиппович непосредственно участвовал в боях на III Белорусском фронте. Бои шли за освобождение Белоруссии, Литвы, операции в восточной Пруссии. При штурме Кенигсберга Анатолий Филиппович был ранен и конец войны встретил в госпитале.

После демобилизации из армии в 1946 г. Анатолий Филиппович поступил на физический факультет. Окончил факультет с отличием в 1951 г., после чего в 1952–55 гг. был в аспирантуре (ядерное отделение, кафедра ускорителей, лаборатория ядерных реакций, научный руководитель — доцент

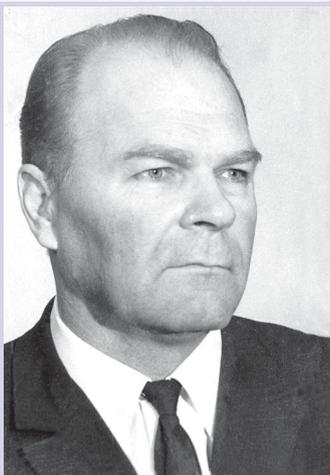


С.С. Васильев). В кандидатской диссертации на тему «Использование ядер отдачи для изучения ядерных реакций», защищенной в 1955 г., им был разработан оригинальный для того времени метод исследования возбужденных состояний атомных ядер по углу вылета ядер отдачи.

После окончания аспирантуры Анатолий Филиппович работал в НИИЯФ МГУ. С 1961 по 1978 г. он был заведующим сектором.

В 1957–58 гг. Анатолий Филиппович предложил и разработал полностью оригинальный метод измерения времени жизни возбужденных состояний ядер по отношению к γ -переходам, чувствительный к диапазону времен 10^{-12} – 10^{-14} сек.

Анатолия Филипповича постоянно занимал вопрос, как создать метод, с помощью которого можно было продвинуться на несколько порядков в сторону меньших значений времен и тем самым начать прямые измерения времени протекания ядерных реакций с испусканием не только γ -квантов, но и нуклонов. В 1964 г. у Анатолия Филипповича возникла плодотворная идея такого метода, связанная с использованием монокристаллов. Если в качестве мишени использовать монокристалл, то в угловых распределени-



ях продуктов реакций в направлении цепочек ядер должны возникать некоторые особенности — тени. Цепочка закрывает путь частицам в направлении оси кристалла. Форма теней должна зависеть от того, насколько составное ядро отошло от цепочки в поперечном направлении к ней. Скорость составного ядра известна из законов сохранения, поэтому его сдвиг определяется временем жизни составного ядра. Таким образом, если фиксировать форму тени, то можно извлекать из нее значение времени жизни ядра. Оказалось, что до того времени эффект образования тени в угловом распределении продуктов реакции никто не наблюдал. Анатолий Филиппович первый выполнил ряд работ по их наблюдению и изучению. Работа по обнаружению эффекта теней была впоследствии (1964) зарегистрирована как открытие (№ 54 в Госреестре). Важно подчеркнуть, что открытие было сделано не путем осмысления обнаруженного экспериментально явления, а путем предсказания, что заряженная частица, вылетающая из атома, находящегося в узле кристаллической решетки, не может двигаться в направлении атомной цепочки (плоскости), ее путь закрыт, должна быть тень в этом направлении. Эксперимент, специально, целенаправленно поставленный на 120-сантиметровом циклотроне НИИЯФ МГУ, подтвердил это предсказанное явление. Далее эта работа развивалась по двум направлениям. С одной стороны, усилия были направлены на реализацию идеи определения времени протекания ядерных реакций, а с другой, обнаружение эффекта теней позволило решать много интересных задач, связанных с прохождением заряженных частиц через монокристаллы и с физикой твердого тела.

Результатом многолетней работы стало создание метода определения ультрамалых значений времени жизни в ядерных реакциях (10^{-14} – 10^{-19} сек). Метод стали использовать во многих лабораториях разных стран (СССР, Дания, Германия, Франция, Италия, США, Канада, ЮАР, Индия). Возникло по существу новое направление — изучение процессов протекания ядерных реакций в реальном времени.

Наиболее эффективным использованием нового метода оказалось в случае деления тяжелых ядер. Был проведен значительный цикл исследований деления ядер ^{235}U и ^{238}U под действием быстрых нейтронов (3–12 МэВ). Еще более богатая информация о временных характеристиках реакции вынужденного деления была получена в реакциях с заряженными частицами. Эти эксперименты проводились на циклотроне НИИЯФ МГУ с использованием монокристаллических мишеней $^{235}\text{UO}_2$, $^{238}\text{UO}_2$ и $^{232}\text{ThO}_2$ и пучков легких заряженных частиц — протонов, дейтронов, альфа-частиц и ^3He . Очень плодотворным оказалось сотрудничество группы А.Ф. Тулинова с сотрудниками лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований в Дубне, где проводилось изучение процесса вынужденного деления под действием тяжелых ионов. Эти эксперименты получили горячую поддержку со стороны руководителя данной лаборатории — академика Г.Н. Флерова. В дальнейшем группа А.Ф. Тулинова провела большую серию экспериментальных исследований с помощью метода теней в различных ускорительных центрах мира — университете г. Орхус (Дания), ускорительной лаборатории Леньяро (Италия), ускорительной лаборатории Чек-Ривер (Канада) и др.

Всего было изучено деление свыше 20 тяжелых ядер, получена важная для физики деления информация и дополнительное указание на двугорбый характер барьера деления. Получены интересные новые данные о зависимости оболочечных поправок от энергии возбуждения ядра, а также о вязкости ядерного вещества в делящихся ядрах.

По направлению, связанному с взаимодействием заряженных частиц с веществом, также получены интересные

результаты. Сформировалось новое научное направление — протонография, позволяющее изучать структуру кристаллов. Наиболее важная область применения протонографии — изучение тонких приповерхностных слоев кристаллов, их структуры, степени совершенства, количество и тип дефектов решетки, положение примесных атомов в ячейке кристалла.

Впервые на тонких кристаллах проведено исследование элементарного акта взаимодействия частицы, движущейся в кристалле вдоль кристаллографического направления. Этот акт — рассеяние на одной цепочке атомов.

Развит метод так называемого обратного рассеяния ионов на кристаллах, позволяющий изучать структуру, стехиометрический состав, динамические свойства тонких слоев. Уникальной особенностью этого метода является возможность исследовать свойства тонких слоев, лежащих на разных расстояниях от поверхности, без разрушения образца. Это объясняется тем, что, в отличие от электронов, для тяжелых заряженных частиц (p , d , α и т.д.) многократное рассеяние и разброс по энергиям на фиксированной глубине малы, поэтому имеется четкая связь между потерей энергии и пройденным расстоянием.

Впервые продемонстрирована интересная возможность увеличения выхода ядерных реакций путем помещения бомбардируемых ядер в каналы кристаллических мишеней. Исследования интенсивно продолжаются, круг вопросов, которые изучаются с помощью ориентационных методов, непрерывно расширяется.

В 1966 г. Анатолий Филиппович защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование ядерных реакций на монокристаллах», в 1968 г. утверждён в звании профессора. Впоследствии в результате слияния трех кафедр образовалась кафедра физики атомного ядра. Анатолий Филиппович был заместителем заведующего кафедрой, а с 1973 г. — заведующим кафедрой.

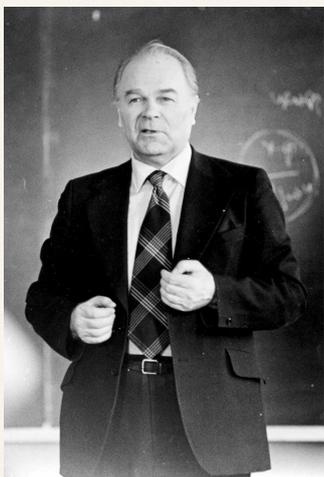
Будучи заведующим кафедрой, Анатолий Филиппович одновременно в течение многих лет (1978–1991) руководил отделом физики атомного ядра — крупнейшим на то время отделом

НИИЯФ, в состав которого входили 3 ныне существующих отдела: Отдел физики атомного ядра, Отдел ядерных реакций и Отдел ядерно-спектроскопических методов. В 1991 г., в связи с существующими возрастными ограничениями на занятие административных должностей, Анатолий Филиппович перешел по отделению ядерной физики физического факультета МГУ на должность профессора кафедры, а по институту на должность главного научного сотрудника.

Среди учеников Анатолия Филипповича девять человек защитили докторские диссертации, свыше 40 — кандидатские. Сформировалась научная школа Анатолия Филипповича по физике взаимодействия частиц с кристаллами, получившая широкое признание среди специалистов ведущих стран. Неослабевающий успех имеет традиционная ежегодная международная конференция по физике взаимодействия частиц с кристаллами, в которой принимают участие ученые из разных стран ближнего и дальнего зарубежья и уже давно среди специалистов называется «тулиновской». Много лет А.Ф. Тулинов был членом оргкомитета Международной конференции ICACS.

Научная активность Анатолия Филипповича, как личная, так и связанная с работой большого научного коллектива, — не единственное поле его деятельности.

В течение всего времени после окончания университета он работал со студентами. Когда Анатолий Филиппович был еще аспирантом, он читал лекции по общей физике в МИИТе. После аспирантуры, работая старшим



научным сотрудником НИИЯФ, читал лекции для студентов МАИ.

И до самого последнего времени, несмотря на почтенный возраст, Анатолий Филиппович продолжал читать лекции студентам ядерного отделения физфака. При этом он, как в молодости, легко осваивал совершенно новые для себя области физики: физику твердого тела, космофизику и т.п.

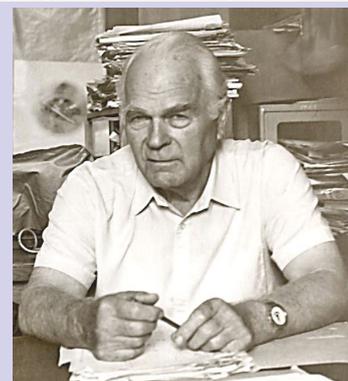
На физическом факультете МГУ Анатолий Филиппович читал общедотделенческие курсы лекций: «Ядерная физика», «Физика атомного ядра», «Экспериментальные методы в ядерной физике», «Физика ядерных реакций», а также кафедральные специальные курсы лекций «Взаимодействие ядерных излучений с веществом», «Физика конденсированного состояния», «Физика элементарных частиц и космология», руководил целым рядом научных семинаров в НИИЯФ.

Обширен масштаб разнообразной общественной и научно-организационной работы Анатолия Филипповича, выходящей за рамки кафедры и лаборатории.

В течение многих лет он был заместителем председателя Совета АН СССР по приложению методов ядерной физики в смежных областях. Этот Совет возглавлялся академиком Г.Н. Флеровым. Одновременно Анатолий Филиппович был председателем секции пучковых методов в этом Совете. По инициативе Анатолия Филипповича традиционно, раз в 2 года в течение более 20 лет, проводился Российско-японский симпозиум по взаимодействию частиц с твердым телом, сопредседателем Оргкомитета которого с российской стороны неизменно являлся Анатолий Филиппович.

Много лет Анатолий Филиппович был председателем комиссии при Госкомитете по открытиям и изобретениям. Свыше 20 лет он работал редактором раздела «Ядерные реакции» в журнале ВИНТИ.

Внутри Университета общественная деятельность Анатолия Филипповича была не менее обширной. Еще в студенческие годы он был секретарем комсомольской организации физического фа-



культета. Позже был секретарем парткома факультета, членом парткома МГУ. В парткоме МГУ он в течение ряда лет возглавлял комиссию по координации научной работы в Университете. Анатолий Филиппович относился к категории ученых — энтузиастов, обладающих широким кругозором и разнообразными интересами. С 1996 г. до своей кончины Анатолий Филиппович являлся Председателем Физического общества МГУ.

Боевые и трудовые заслуги Анатолия Филипповича получили высокую оценку. Он — кавалер многих правительственных наград — награжден орденами Красной Звезды (1945), Трудового Красного Знамени (1967), Октябрьской Революции (1980), Отечественной войны I степени (1985), медалями «За отвагу» (1944), «За взятие Кенигсберга» (1945), «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» (1945), «За освобождение Белоруссии» (2004). Лауреат Государственной премии (1972), Ломоносовской премии 1-й степени (1966). В 1996 г. ему присвоено звание Заслуженный профессор Московского университета.

Коллеги, ученики





ISSN 2500-2384



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

Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ».
© 2024 Физический факультет МГУ.

Подписано в печать 19.11.2024.
Физический факультет МГУ
имени М.В.Ломоносова,
119991, Москва ГСП-1,
Ленинские горы, д. 1, стр. 2