



Премия «За верность науке» вручена ректору МГУ за фестиваль НАУКА 0+

28 октября в концертном зале «Зарядье» прошла торжественная церемония вручения X премии «За верность науке». В этом году специальной награды «Российская наука — миру» (имени К. Э. Циолковского) за популяризацию научных достижений и поддержку престижа научной деятельности удостоен проект Московского университета — Международный фестиваль науки НАУКА 0+. Пятиконечную золотую звезду со вписанной в неё «кристаллической решеткой» ректору МГУ академику В. А. Садовничему вручил заместитель руководителя Администрации президента Российской Федерации пресс-секретарь главы государства Д. С. Песков.

«Наверное, это долг нашей страны — вносить свой вклад в развитие мировой науки... У нас открылось очень много новых направлений, где наши ученые находят новые возможности для взаимодействия и сотрудничества... Наши ученые продолжают оставаться открытыми всему миру. Происходит циркуляция, которая обеспечивает необходимую энергию для развития науки. Ни одна наука не может развиваться под стеклянным колпаком. Она должна быть открыта, особенно такая великая наука такой великой страны. Я поздравлю в лице Виктора Антоновича всех МГУшников», — отметил Д. С. Песков.

Ректор Московского университета академик В. А. Садовничий: *«От имени оргкомитета НАУКА 0+ сердечно благодарю за то, что отметили наш вклад в общие усилия по продвижению ценностей науки и образования в мире. Премия “За верность науке” по праву принадлежит людям, самым верным людям науки в нашей стране — выдающимся ученым, молодым исследователям, студентам, волонтерам, которые понимают ценность популяризации науки. Которые, отрываясь от важных дел, готовы жертвовать своим временем, вкладывать силы в продвижение науки! И самые главные в этом процессе, конечно, журналисты, корреспонденты, операторы, продюсеры, блогеры, которые вдохновились темой науки, стали друзьями науки и помогают донести нам ценности знаний. Это наше действительно общее и большое дело!»*

Ректор МГУ также отметил, что Фестиваль науки — это сильный узнаваемый бренд, сегодня сложилась хорошая команда, целое сообщество организаторов и партнеров фестиваля. *«Уже почти 20 лет назад мы запустили эту инициативу в Московском университете. Сегодня это поистине проект не только всей страны, всей России, но и всего мира, — подчеркнул В.А. Садовничий. — Это действительно уникальный и очень востребованный об-*

ществом формат. Редко где на одной площадке могут встретиться и академик, и школьник. К нам приходят действительно выдающиеся ученые, которые читают лекции, успешные исследователи, которые показывают свои разработки».



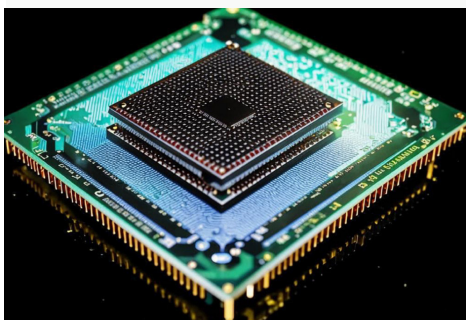
«Фестиваль науки по факту уже стал международным. В прошлом году прошли мероприятия в Беларуси, Узбекистане, в Китае — на базе нашего совместного российско-китайского университета МГУ-ППИ в Шэньчжэне. В этом году он уже второй раз проходил, только что завершился. С лекцией выступали наши академики, космонавты, деятели искусства, молодые исследователи. Даже Валерий Гергиев, который дирижирует в этом зале “Зарядье” перед благодарной публикой, встретился с посетителями фестиваля науки в Китае, ведь наука и культура неотделимы. Более 500 мероприятий, 450 тысяч участников!» — добавил ректор Московского университета.

В.А. Садовничий также выразил заинтересованность шире использовать площадки и возможности для популяризации науки за рубежом. «Огромный запрос на такие проекты мы видим на Международных форумах ректоров вузов, которые проводит Российский союз ректоров. Верю, что Фестиваль науки и дальше будет расширяться, покорять новые страны», — сказал он.

СОДЕРЖАНИЕ

1.....	Новости науки
21.....	Конференции
22.....	Премии / награды
27.....	Докторские диссертации
30.....	Диссертационные Советы
34.....	Ученые физфака МГУ

Модель связанных квантовых мемристоров на одиночном ионе



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 статисти-

ческими весами в двухслойных персептронах. Результаты работы опубликованы в журнале Письма в ЖЭТФ. Исследования проводились в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

Мемристор — это энергонезависимое запоминающее устройство, сопротивление которого зависит от прошедшего через него заряда, то есть резистор с памятью. Он позволяет хранить информацию без источника питания, а также имитировать поведение нейронных синапсов. Способность мемристоров совмещать как хранение данных, так и вычисление в одном элементе, идеально подходит для реализации биоинспирированных нейронных сетей.

Практически у всех созданных и исследованных на данный момент мемристоров входные и выходные сигналы (это, как правило, электрический ток и напряжение) являются классическими. Вместе с тем, в свете существенного развития квантовых технологий, возникает закономерный вопрос о возможности создания квантового мемристора, который бы имел истинно квантовое поведение, что позволяло бы манипулировать квантовой информацией. Квантовый мемристор сочетает преимущества квантовых вычислений с возможностью хранения информации, что выгодно отличает его как от квантовых устройств хранения информации, так и от устройств реализации квантовых вычислений.

К настоящему моменту направление развития квантовых мемристоров только формируется. Существуют некоторые наиболее проработанные предложения по реализации квантового мемристора в сверхпроводящих схемах с использованием эффектов памяти, которые естественным образом возникают в джозефсоновских переходах. Также достаточно результативным с точки зрения создания квантового мемристора на данный момент представляется использование квантовых фотонных платформ и захваченных ультрахолодных ионов. Концепция квантового мемристора на ультрахолодных ионах была предложена в 2023 г. сотрудниками физического факультета МГУ совместно с коллегами из Физического института имени П. Н. Лебедева РАН.

В рамках данной работы предложены две схемы уровней ионов $^{171}\text{Yb}^+$, которые являются удобными для экс-

периментальной 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 возбуждающими резонансными частотами позволяет предложить схему связанных квантовых мемристоров на одиночном ионе, когда последовательное действие резонансных полей позволяет передавать состояние от мемристора к мемристорам», — прокомментировал заместитель декана по научной работе физического факультета МГУ, профессор Павел Форш. Таким образом, на одном ионе реализуется два мемристора, что вместе с предложенной ранее схемой передачи информации по цепочке связанных низкочастотной колебательной модой центра масс ультрахолодных ионов позволяет сформировать многослойные квантовые персептроны.

«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 персептронов на их основе, рассматриваемых в качестве основных элементов в биоподобных схемах обучения, полностью относится к природоподобным технологиям», — резюмировал профессор физического факультета МГУ Сергей Стремоухов.

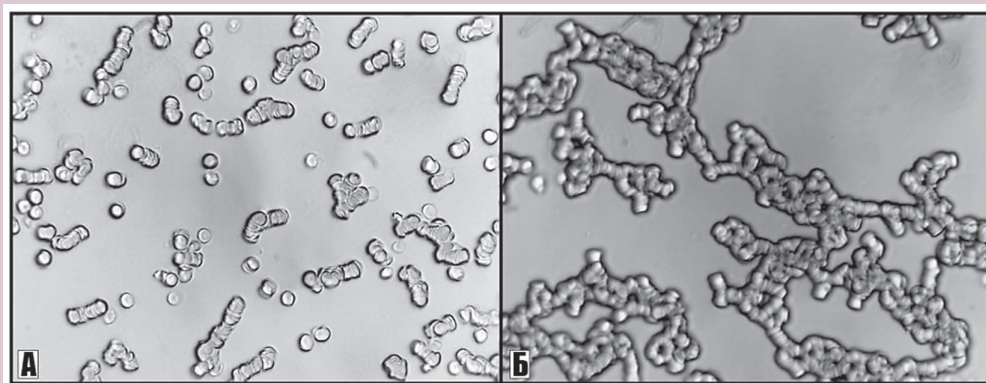
С.Ю. Стремоухов, П.А. Форш, К.Ю. Хабарова, Н.Н. Колачевский. "Модель связанных квантовых мемристоров на основе пойманного в ловушку одиночного иона $^{171}\text{Yb}^+$ ". Письма в ЖЭТФ, **119**, вып. 5, с. 343–347 (2024).

Изучение клеток крови пациентов с хронической сердечной недостаточностью

В рамках работы НОИШ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» группа ученых физического факультета, факультета фундаментальной физико-химической инженерии и Медицинского научно-образовательного института обнаружила связь изменений свойств эритроцитов и тромбоцитов с переносимостью физических нагрузок (функциональным статусом) пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН).



Студент 2 курса магистратуры физфака Умеренков Д.А. (лаборатория биомедицинской фотоники).



Микрофотографии эритроцитарных агрегатов, характерных для крови здоровых доноров (А) и пациентов с ХСН (Б).

Проведение таких исследований стало возможным благодаря разработанному и четко обоснованному протоколу исследований, который стал результатом аккумуляции предварительных экспериментальных данных клинического опыта специалистов МГУ — медиков, физиков и инженеров. Предложенный протокол позволяет проводить исследования и набирать статистику параллельно с лечением пациентов в клинике МГУ без изменения терапевтических подходов.

Особенностью данной работы является применение современных оптических технологий и методов искусственного интеллекта. Для измерения параметров эритроцитов и тромбоцитов используются лазерно-оптические методы, позволяющие быстро и точно получать информацию о взаимодействии эритроцитов и их механических свойствах, а также о параметрах, ответственных за тромбообразование.

Предварительные результаты исследования показали, что микрореологические изменения, включая свойства эритроцитов и тромбоцитов, могут играть важную роль в развитии и прогрессировании ХСН. Эти изменения оказывают значительное влияние на микроциркуляцию, общее периферическое сопротивление сосудов и кровообращение в целом. Первые результаты опубликованы в журнале «Кардиологический вестник».

По данным ВОЗ, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются ведущей причиной смертности во всем мире. ХСН — одно из наиболее распространенных и тяжелых осложнений ССЗ. Снижение переносимости физических нагрузок начинает проявляться уже на ранних стадиях ХСН, определяет ухудшение качества жизни и является предиктором неблагоприятного прогноза развития заболевания. Микрореологические изменения, включая свойства эритроцитов и тромбоцитов, могут играть важную роль в развитии и



Вверху: аспирант 2-го года физфака Максимов М.К. внизу: студент 5 курса физфака Мольдон П.А. (лаборатория биомедицинской фотоники).

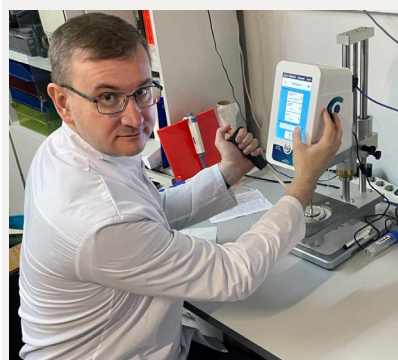
прогрессировании ХСН, оказывая значительное влияние на микроциркуляцию крови, общее периферическое сопротивление сосудов и кровообращение в целом. Деформируемость эритроцитов, их способность к агрегации играют ключевую роль в поддержании нормального кровотока. Выявление взаимосвязи этих параметров с функциональным статусом пациентов и с переносимостью ими физической нагрузки способствует разработке новых методов диагностики и терапии хронических заболеваний, ассоциированных с возрастом.

Проверяется гипотеза о связи переносимости нагрузок и прогноза при ХСН с шириной распределения эритроцитов по размеру и изменениями в параметрах агрегации и деформируемости эритроцитов, а также осуществляются попытки установить механизмы и причины такой взаимосвязи. Было показано, что анизотоз, определяемый по увеличению ширины распределения эритроцитов, усугубляет нарушения микроциркуляции, снижая функциональные возможности пациентов с ХСН, поскольку эта характеристика является косвенным маркером способности крови к эффективному связыванию и доставке кислорода. При ХСН происходит усиленная агрегация эритроцитов, что напрямую сказывается на повышении вязкости крови и, как следствие, ухудшении ее циркуляции в организме.

Это открывает новые возможности для разработки и мониторинга таргетных вмешательств, направленных на повышение толерантности к нагрузкам пациентов с ХСН путем лекарственной коррекции микрореологических параметров крови и ширины распределения эритроцитов по размерам.

В рамках выполняемого проекта планируется провести комплексные исследования для 30 пациентов с ХСН мужского и женского пола в возрасте 40 лет и старше и 10 добровольцев, не имеющих сердечно-сосудистых заболеваний. Для всех участников исследования в МНОИ МГУ проводятся нагрузочные тесты для определения их функционального статуса, а также комплексный общий и биохимический анализ крови стандартными лабораторными методами и новыми лазерно-оптическими методами, проводимыми специалистами физического факультета и факультета фундаментальной физико-химической инженерии.

Планируется получить новые важные для клинической практики данные о связи ширины распределения эритроцитов, изменении микрореологии крови, системы гемостаза и функционального состояния эндотелия микрососудистого русла у пациентов с различной переносимостью физических нагрузок при ХСН, а также выявить связь изменения параметров эри-



С.н.с. А.Е. Луговцов.

троцитов и тромбоцитов и их агрегатов для разных возрастов.

«В рамках этого научного проекта мы изучаем, как агрегация эритроцитов и тромбоцитов изменяется с возрастом для здоровых людей, а также для пациентов с широко распространенными сердечно-сосудистыми возраст-ассоциированными заболеваниями. Важность данного исследования обусловлена потребностью в разработке новых подходов к диагностике и терапии пациентов пожилого возраста с ССЗ. Особенностью данного исследования является применение современных лазерно-оптических технологий и методов искусственного интеллекта для обработки получаемых изображений образцов крови. Методы исследования включают измерения микрореологических параметров крови на уровне отдельных клеток и образцов цельной крови. Исследование направлено на изучение роли клеток крови как индикатора сердечно-сосудистого здоровья», — поделился Андрей Луговцов, старший научный сотрудник лаборатории биомедицинской фотоники физического факультета МГУ.



Доцент А. В. Приезжев, руководитель лаборатории биомедицинской фотоники и соруководитель проекта.

Работа показала, что параметры агрегации клеток крови статистически значимо изменяются у пациентов с ХСН по сравнению с контрольной группой доноров. Повышение агрегации эритроцитов приводит к увеличению вязкости крови и ухудшению ее течения в сосудах. Это явление сильнее выражено у больных.

«Новые данные помогут улучшить понимание связи изменений агрегационных свойств клеток крови с ХСН и будут способствовать разработке новых методов диагностики и терапии хронических заболеваний, ассоциированных с возрастом», — рассказал Александр Приезжев, руководитель лаборатории биомедицинской фотоники физического факультета МГУ.

Миронов Н.А., Приезжев А.В., Свешникова А.Н., Луговцов А.Е., Каранадзе Н.А., Дячук Л.И., Беграмбекова Ю.Л., Захарчук С.А., Орлова Я.А. "Связь изменений микрореологии крови, системы гемостаза и функционального статуса пациентов с хронической сердечной недостаточностью: обоснование и протокол исследования". Кардиологический вестник. 19, 1, 79–83 (2024).

Предложен новый механизм описания магнитоэлектрического эффекта

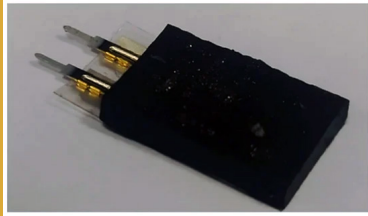


Рис. 1. Образец PEP-MAE.

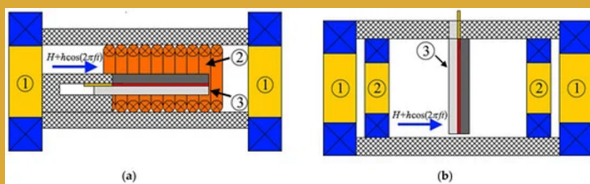


Рис. 2. (а) Схематическое изображение измерительной установки в геометрии 2. (б) 1 — полюса электромагнита, 2 — катушки возбуждения, 3 — образец.

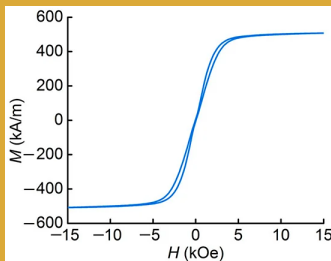


Рис. 3. Петля гистерезиса для образца MAE.

Магнитоэлектрический эффект — это эффект возникновения электрического сигнала в материале при приложении магнитного поля. Такой эффект наблюдается в особых материалах — мультиферроиках. В них можно увидеть одновременно магнитное и электрическое упорядочение.

В работе была исследована двухслойная структура, состоящая из пьезополимера поливинилиденфторида (ПВДФ) и магнитного эластомера (электрически нейтрального полимера с добавлением микрочастиц железа).

«Чаще всего слоистые мультиферроики основаны на сегнетоэлектрических материалах, например, пьезокерамике, и магнитоэлектрических сплавах. В них создаются магнитоэлектрические преобразования, но механизм такого преобразования может быть разным. Мы углубились в сторону низкочастотных механизмов. Наш материал — магнитный эластомер — в однородных

Ученые с кафедры магнетизма физического факультета МГУ совместно с коллегами из РТУ МИРЭА исследовали магнитоэлектрический эффект в слоистых структурах на основе полимеров. Полученные результаты могут найти применение в области разработки низкочастотных антенн, автономных источников энергии, а также в области биомедицины.

магнитных полях может деформироваться. При этом величина этой деформации на несколько порядков выше, чем деформация магнитоэлектрического сплава за счет того, что в основе материала магнитного эластомера лежит полимер с модулем упругости порядка 1 МПа и меньше», — прокомментировала работу доцент кафедры магнетизма физического факультета МГУ Людмила Макарова.

Физики изучили две геометрии приложения однородных магнитных полей: продольную и поперечную. Эффект, полученный при приложении переменного и постоянного магнитных полей вдоль плоскости образца, сравним по величине с достигнутыми ранее эффектами в других мультиферроиках. Получено рекордно высокое значение перестройки резонансной частоты во внешнем магнитном поле, достигающее 360%. В данном случае механизм возникновения магнитоэлектрического эффекта аналогичен механизму в твердотельных мультиферроиках: за счет растяжения слоя магнитного эластомера и неразрывной связи между ним и пьезополимерным слоем образец изгибается и возникают соответствующие электрические напряжения.

Когда поле направлено перпендикулярно слоистой структуре, эффект возрастает на два порядка. Подобный результат впервые получен для данного типа мультиферроиков, а для такой геометрии приложения магнитных полей величина эффекта превышает известные на данный момент результаты. Уникальным результатом является предложенный новый механизм для описания магнитоэлектрического преобразования в этой геометрии: механическая нестабильность магнитного эластомера в поперечном однородном магнитном поле.

Наличие полимеров в составе мультиферроиков расширяет области применения таких материалов. Полимеры делают материал гибким, а некоторые полимеры на основе силикона являются биосовместимыми. Важным является и то, что рабочая резонансная частота такого материала составляет около 20 Гц (для твердотельных мультиферроиков это величина порядка 1000 Гц).

В работе также предложены новые теоретические модели, которые позволяют описать наблюдаемые эффекты.

L.Y. Fetisov, D.V. Savelev, L.A. Makarova, N.S. Perov, Y.J. Qi, P. Zhou, Y.K. Fetisov. "Dynamics of resonant magnetoelectric effect in a magnetoactive elastomer based cantilever: Magnetic field induced orientation transition and giant frequency tuning". *J. of Magnetism and Magnetic Materials*, **605** (2024), 172330.

D.V. Savelev, D.A. Burdin, L.Y. Fetisov, Y.K. Fetisov, N.S. Perov, L.A. Makarova. "Low-Frequency Resonant Magnetoelectric Effect in a Piezopolymer-Magnetoactive Elastomer Layered Structure at Different Magnetization Geometries". *Polymers*. 2024, **16**(7), 928.

Улучшен метод неинвазивной хирургии Мозга

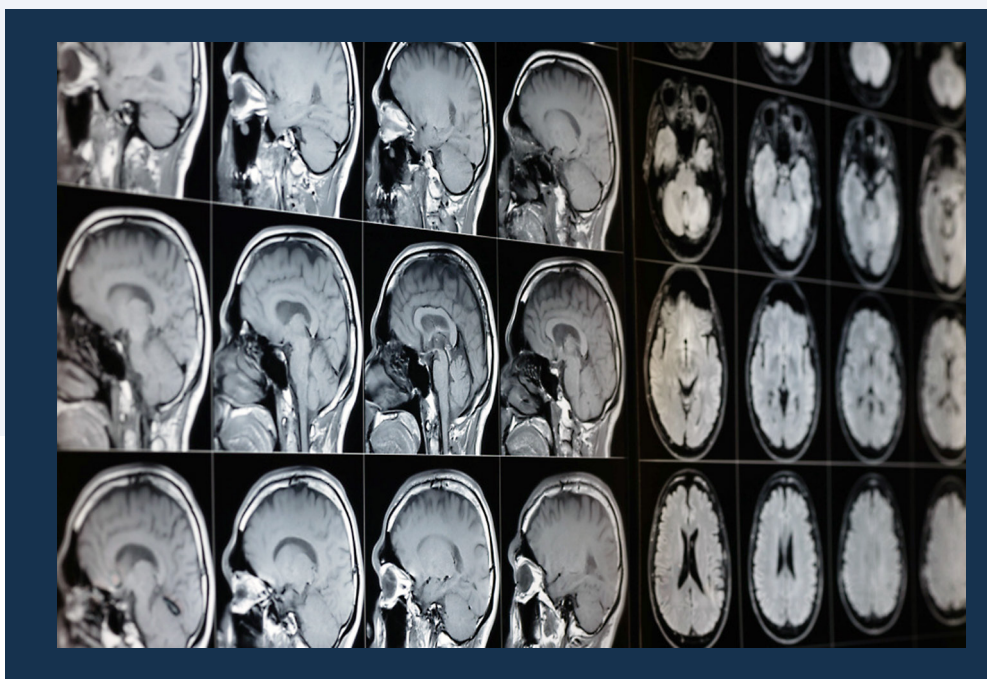


Ученые физического факультета МГУ совместно с рентгенологами Университетской клиники Медицинского научно-образовательного института МГУ имени М.В. Ломоносова (МНОИ МГУ) исследовали возможности усовершенствования метода неинвазивной ультразвуковой терапии мозга. Этот метод, лишь недавно внедренный в клиническую практику, основан на контролируемом облучении малых участков мозга человека фокусированными ультразвуковыми волнами. На сегодняшний день операции с помощью фокусированного ультразвука довольно продолжительны и требуют длительной подготовки. На основе предварительно проведенной объемной

компьютерной томографии (КТ) головы человека строится ее детальная трехмерная акустическая модель и проводится планирование облучения, учитывая прохождение ультразвука через неоднородные кости черепа и определяя фазы на каждом из элементов многоэлементной ультразвуковой решетки для коррекции вносимых черепом искажений (аббераций) волнового поля.

Учеными из МГУ было проведено исследование возможности (в недалеком будущем) упрощения, удешевления и повышения точности проведения нейрохирургических операций с применением фокусированного ультразвука. Обычно при таких операциях лечение фокусированным ультразвуком проводится под контролем магнитно-резонансной термометрии (МРТ). КТ- и МРТ-изображения головы пациента совмещаются, и облучение проводится с использованием предварительно рассчитанных фаз. Полученные данные позволяют надеяться, что можно будет планировать и выполнять такие процедуры лечения с использованием только данных МРТ. Исследование показало, что, хотя на сегодняшний день данные КТ предоставляют более точную информацию на этапе планирования, данные МРТ уже позволяют провести начальный отбор пациентов, для которых возможно проведение лечения и которые являются перспективными для более точной фазировки ультразвуковых элементов в процессе облучения. В дальнейшем планируется использовать нейросети для синтеза аналога КТ по изображению МРТ. Работы по проекту проводились в рамках Научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

Подобные исследования ставят своей целью создание основы для развития и реализации нового направления в



медицине — ультразвуковой нейрохирургии. Идея метода неинвазивной ультразвуковой нейрохирургии заключается в фокусировке интенсивного ультразвукового пучка с частотами порядка сотен килогерц через череп в заданные участки мозга. Это приводит к локальному нагреву тканей мозга и их последующему разрушению. Такая процедура является привлекательной альтернативой хирургическому вмешательству, так как не требует вскрытия черепа и позволяет воздействовать на труднодоступные центральные участки мозга (на область таламуса). На практике указанный метод дистанционного и локального воздействия на структуры мозга уже применяется для лечения, например, таких бо-

лезней, как эссенциальный тремор, тремор, вызванный болезнью Паркинсона и мышечная дистония, и реализуется во многих странах мира, в том числе и в России.

Главное препятствие для ультразвука на пути к участку воздействия – кости черепа, которые сильно отличаются по своим акустическим свойствам от окружающих их мягких тканей. В частности, плотность костной ткани и скорость звука в ней значительно выше, чем в воде и тканях мозга. При прохождении через череп ультразвуковой пучок частично отражается, а также испытывает заметное поглощение и сильные искажения (абберации). Из-за соответствующих потерь энергии интенсивность волны в целевой области облучения может быть недостаточной для разрушения биоткани. Если компенсировать потери повышением мощности излучателя, то может быть перегрет череп пациента. Из-за аббераций, вызванных неоднородными по толщине и внутренней структуре костями черепа, фокус размывается, возникают горячие точки в нежелательных местах, т.е. могут быть повреждены области, которые не были предназначены для облучения. Внедрение метода ультразвуковой нейрохирургии в медицинскую практику оказалось возможным лишь относительно недавно, после того как удалось компенсировать абберации волнового фронта пучка.

Сейчас реализация процедуры компенсации аббераций проводится по полученным до проведения операции данным компьютерной томографии.

«Каждый воксель изображения компьютерной томографии имеет свое значение в единицах Хаунсфилда, – объясняет ведущий научный сотрудник отдела лучевой диагностики Медицинского научно-образовательного института МГУ, доцент кафедры лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины МГУ Елена Мершина. – Шкала Хаунсфилда показывает, как та или иная ткань ослабляет рентгеновское излучение при прохождении через нее. Для воды такое значение в единицах Хаунсфилда равно нулю. Существует линейная корреляция между значениями по шкале Хаунсфилда и плотностью биоткани, поэтому данные КТ, в отличие, например, от данных магнитно-резонансной томографии, позволяют получить значения плотности ткани в каждом вокселе изображения».

Зная плотность, можно рассчитать скорость звука и таким образом восстановить акустические параметры тканей. Информация о скорости звука помогает рассчитать задержки фаз на элементах излучателя, чтобы сформировать необходимый волновой фронт перед поверхностью головы пациента. Данный этап операции можно назвать подготовительным, расчет фаз проводится перед облучением для каждой целевой точки в мозге и использует данные КТ. Само облучение проводится под контролем МРТ-термометрии и включает в себя несколько этапов. Первый этап – совмещение КТ- и МРТ-изображений и прицеливание. Облучение проводится на низкой мощности, когда нагрева недостаточно для разрушения тканей, но он виден на МРТ. Если на первом этапе целевая точка и область нагрева совпали, то далее мощность немного повышают и вызывают обратимые нарушения работы клеток мозга. После чего пациента осматривает невролог. Если снизились тремор, зажатость мышц и т.д., то данная точка подвергается облучению

на высокой мощности. Возникает необратимое разрушение ткани, т.е. некроз, и у пациента наблюдается снижение симптомов болезни. Овидно, что процедура требует тщательной подготовки, высокой точности позиционирования, а также большого количества данных как КТ, так и МРТ. При этом отдельной задачей является совмещение полученного предварительно изображения КТ и измеряемого в реальном времени изображения МРТ.

Недостатком использования КТ для планирования операции является его потенциальный вред (используется рентгеновское облучение), а также невозможность дополнительной коррекции фаз уже при проведении облучения. В связи с этим одной из задач ультразвуковой хирургии мозга являются упрощение и облегчение проведения операции и исследование вопроса о возможности использования только данных МРТ. Команда ученых из МГУ провела серию численных экспериментов для ответа на этот вопрос. На основе анонимизированного комплекта данных КТ и МРТ одного и того же пациента были построены акустические модели его головы. Комплект был взят из архивных данных Отдела лучевой диагностики Медицинского научно-образовательного института МГУ. Пациенту были проведены оба исследования по назначению лечащего врача. Из данных сканирований были восстановлены пространственные границы тканей. Восстановление границ одинаково хорошо осуществляется как по данным КТ, так и по данным МРТ. Моделирование распространения ультразвукового пучка в таких акустических моделях показало, что для наиболее точной компенсации аббераций (подбора фаз на элементах излучателя для формирования сходящегося фронта в мозге) важна информация о внутренней структуре костей черепа.

«Возможности указанных двух подходов, КТ и МРТ, различны в отношении задания структурных деталей среды, – отмечает участница проекта, аспирант физического факультета МГУ Дарья Чупова. – В каждом вокселе модели, построенной на основе данных КТ, могут быть рассчитаны плотность и скорость звука. Акустические параметры в модели, построенной на основе МРТ, являются, напротив, пространственно-однородными для каждого типа тканей и априори неизвестными, для их задания приходится использовать усредненные значения данных, полученных из КТ».

Казалось бы, эти соображения не позволяют отказаться от КТ. Однако результаты работы показали, что данные МРТ можно использовать для отбора пациентов, предварительного планирования операции и предсказания результата. «Модель, построенная на основе КТ, является более полной, – рассуждает аспирант Лаборатории медицинского и промышленного ультразвука МГУ Олег Солонцов. – Однако сейчас активно развиваются технологии искусственного интеллекта и уже ведутся работы в направлении обучения нейросети синтезировать изображение КТ по данным МРТ. Мы тоже планируем двигаться в этом направлении для создания более точных, безопасных и эффективных протоколов ультразвуковой хирургии мозга».

*Информация взята с портала «Научная Россия»
(<https://scientificrussia.ru/>)*

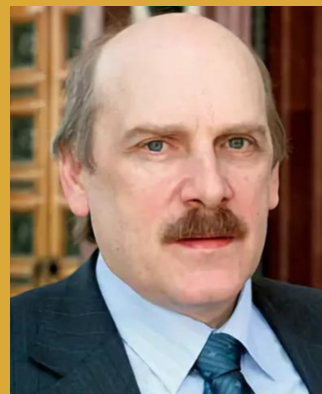
Механизм образования вирусных частиц с измененной структурой



Научные группы МГУ, руководимые профессором Николаем Никитиным на биологическом факультете и профессором Игорем Яминским на физическом факультете, провели изучение процесса структурной трансформации вирусов растений со спиральной структурой, происходящей в процессе термического воздействия на вирионы.

«Образующиеся в результате термического воздействия на вирионы структурно модифицированные частицы вирусов растений в последние годы становятся все более привлекательной белковой платформой для применений в современных областях биотехнологии и биомедицины. Их основным преимуществом является то, что они являются эффективными иммуностимуляторами, а также средством доставки различных веществ в клетки. Очень важно, что созданные структурно модифицированные частицы вирусов растений абсолютно безвредны как для человека, так и животных», — отмечает профессор кафедры вирусологии биологического факультета МГУ Николай Никитин. Исследователи с биологического и физического факультетов МГУ изучили с помощью наглядных и высокоинформативных методов сканирующей зондовой микроскопии (бионаноскопии) процесс структурной перестройки вирионов. Работы выполнены на примере вируса табачной мозаики. Эти методы позволили визуализировать этапы формирования частиц, определить их свойства, а также приблизиться к оценке их возможного взаимодействия с клетками млекопитающих. Исследование структурно модифицированных частиц вирусов растений методами бионаноскопии предоставило дополнительные фундаментальные знания о строении и стабильности вирусов. Помимо детальных трехмерных изображений высокого разрешения определены количественные статистические характеристики размеров и параметров формы структурно модифицированных частиц вирусов. Созданы экспериментальные протоколы наблюдения в сканирующем зондовом микроскопе частиц на различных подложках. Полученные данные будут использованы учеными для создания новых биотехнологических платформ на основе структурно модифицированных вирусов растений, в том числе

Московские ученые изучили механизм образования вирусных частиц с измененной структурой. Эти частицы способны формироваться путем термического воздействия на вирионы вирусов растений, образуя белковые наноструктуры сферической формы и заданного размера. Результаты работы позволят ученым использовать подобные структурно модифицированные вирусные частицы в качестве новых биотехнологических платформ для разработки новых вакцин, доставки лекарственных препаратов и получения биомаркеров. Работа выполнена в рамках проекта «3D визуализация вирионов, структурно модифицированных и вирусоподобных частиц вирусов растений методами бионаноскопии» Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Молекулярные технологии живых систем и синтетическая биология».

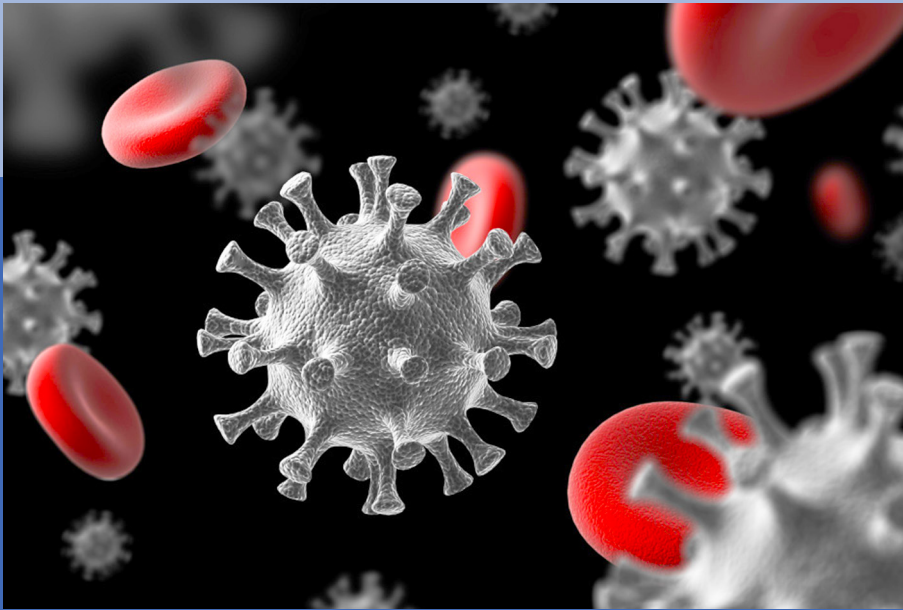


Профессор кафедры полимеров и кристаллов И.В. Яминский.

для презентации антигенов, доставки лекарственных препаратов и получения биомаркеров. Ученые из МГУ уже разработали и исследовали ряд вакцинных препаратов на основе таких модифицированных частиц вирусов растений, включая вакцинные кандидаты против вируса краснухи, ротавирусной инфекции, сибирской язвы и коронавируса, вызвавшего COVID-19.

А. И. Ахметова, Н. А. Никитин, М. В. Архипенко, О. В. Карпова, И. В. Яминский. "Визуализация вируса табачной мозаики методами атомно-силовой и электронной микроскопии". Наноиндустрия, **Выпуск 5/2024**.

Коронавирус нарушает работу клеток крови



Коллектив ученых и врачей физического факультета, факультета фундаментальной медицины, факультета физико-химической инженерии МГУ с коллегами опубликовал работу, подводящую итог исследований нарушений клеток крови — прежде всего, эритроцитов и тромбоцитов, — при коронавирусной болезни с помощью биофизических методов. Сейчас накоплено достаточно данных, чтобы уверенно утверждать, что эти клетки существенно повреждаются в ходе болезни, что вносит существенный вклад в тяжесть заболевания и смертность.

Разработанные биофизические подходы показывают возможность использования состояния клеток крови как биомаркеров для прогнозирования рисков осложнений и оценки эффективности коррекции. Работа велась в рамках НОШ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

Проблемы крови — нарушения переноса кислорода и высокие риски тромбозов — находятся в центре патофизиологии КОВИД-19, отвечая за львиную долю осложнений при этом заболевании. Однако что именно при этом происходит с клетками крови, было неясно. Авторы работы показали, что у эритроцитов тяжелых пациентов с COVID-19 нарушается фильтруемость, то есть способность проходить через тонкие капилляры, что является негативным прогнозом. В настоящее время нет достаточных прямых доказательств, что вирусы способны сами взаимодействовать с эритроцитами. Скорее всего, воздействие на эритроциты идет либо через их предшественников, либо через воспалительные процессы в организме.

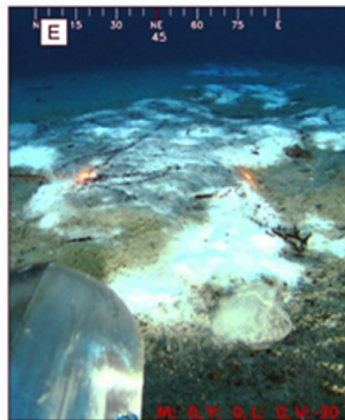
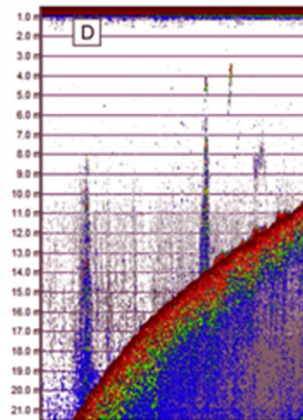
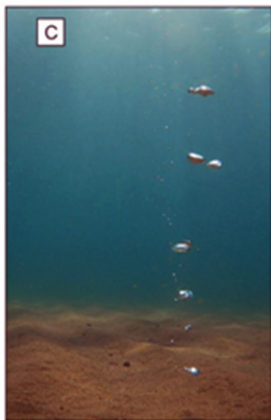
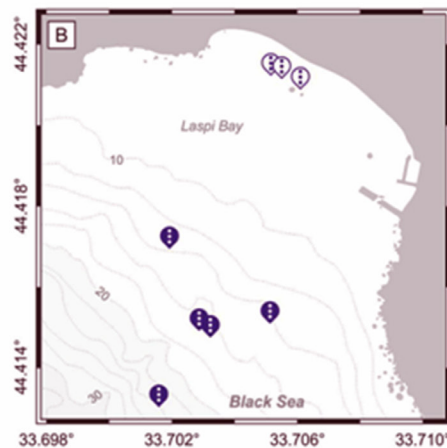
Наоборот, тромбоциты пациентов могут напрямую взаимодействовать с вирусом и выступают его носителями. Пока нет уверенности, насколько это помогает или мешает распространению вируса. Но в ходе этого процесса происходит активация тромбоцитов, что может повышать риски тромбозов, микрососудистых нарушений, — и одновременно нарушать нормальную работу тромбоцитов по остановке кровотечений (что особенно заметно у пациентов на экстракорпоральной мембранной оксигенации). При этом процесс работает как петля положительной обратной связи: тромбоциты, эндотелий, свертывание крови и нейтрофилы активируют друг друга. Авторы показали, что достаточно успешная терапия гепарином ведет к восстановлению нормального состояния тромбоцитов.

«В этой области до сих пор таятся интригующие загадки, — отмечает один из авторов работы, профессор кафедры медицинской физики физического факультета МГУ Михаил Пантелеев. — Сейчас в центре внимания находится вопрос эволюции вируса. Есть указания на то, что способность вируса взаимодействовать с тромбоцитами тесно связана с ключевыми мутациями в его самой знаменитой составляющей — спайк-белке. Риски сосудистых и гематологических осложнений при COVID-19, вызванном разными штампами, коррелируют с этой способностью. Взаимодействие вирусов с клетками крови высветило большой пласт загадок во взаимодействии тромбоцитов, эндотелия и иммунитета, и решение этих проблем может способствовать нашему лучшему пониманию того, что происходит при широком круге заболеваний и состояний за пределами COVID-19».

M. A. Panteleev, A. N. Sveshnikova, S. S. Shakhidzhanov, A. V. Zamaraev, F. I. Ataulakhanov, A. G. Rumyantsev. "The Ways of the Virus: Interactions of Platelets and Red Blood Cells with SARS-CoV-2, and Their Potential Pathophysiological Significance in COVID-19". *International Journal of Molecular Sciences*. 24(24):17291.

Экспедиционное исследование пузырьковых метановых газовыделений в бухте Ласпи (Черное море, Крым)

Ученые кафедры физики моря и вод суши физкака МГУ и кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ совместно с коллегами из Севастополя провели сезонный цикл экспедиционных исследований пузырьковых метановых газовыделений в бухте Ласпи (Черное море, Крым). Исследование направлено на количественную оценку объемов выделяющегося газа, которая была выполнена на основе анализа записей акустических сигналов, производимых пузырьками при их выходе из дна.



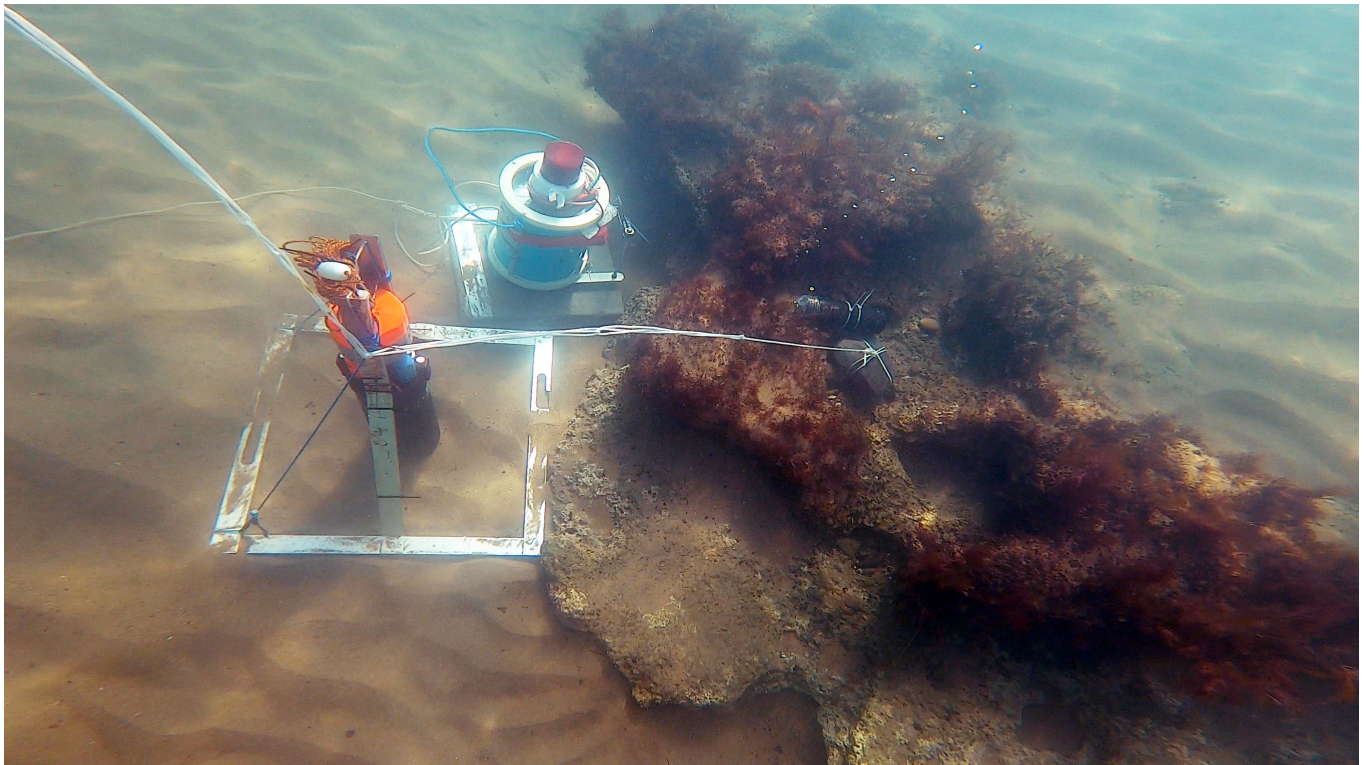
Район исследования (A); группы прибрежных (открытые маркеры) и более глубоких точек выхода газа (заполненные маркеры) (B); подводное изображение одиночных струй поднимающихся газовых пузырьков на прибрежном участке (C); эхограмма выходов в бухте Ласпи, июль 2017 г. (эхолот SeaCharter 480 DF; Малахова и др., 2020 и Артемов и др., 2018) (D); бактериальные биопленки на морском дне, снятые видеокамерой высокого разрешения, установленной на аппарате ROV RovBuilder RB 300 (E).

Естественные выходы углеводородов из морского дна (сипы) являются важными источниками метана и других парниковых газов. Точные количественные оценки выделяющегося объема газа, а также выявление факторов, оказывающих влияние на вариации потока важны для понимания воздействия данного явления на окружающую среду как на локальном, так и на глобальном уровне.

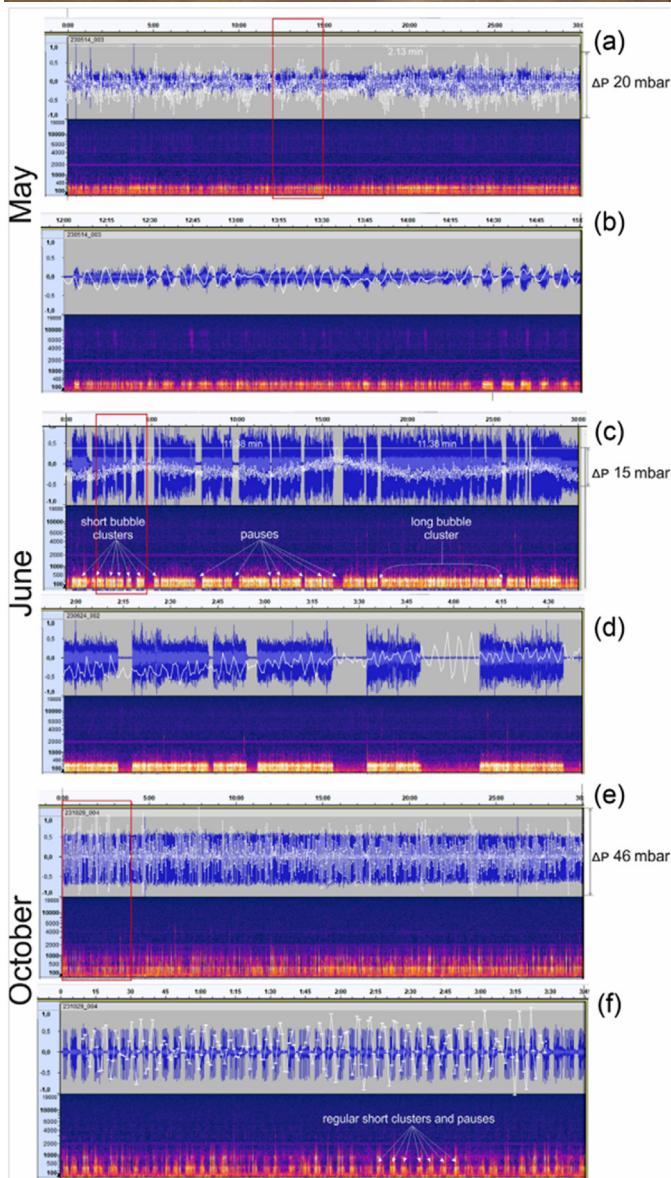
Используя акустические записи, сделанные в различное время года в точке выхода метановых пузырьков, авторы работы смогли получить представление о характере газовой выделений, исследовать суточную и сезонную вариатив-

ность пузырькового потока, собрать временную статистику моментов выхода пузырьков и продолжительности пауз, сопоставить данные с измеренными гидрологическими параметрами, в том числе с колебаниями давления. Также получены оценки объема газа, выделяющегося с исследуемой площадки.

В планах авторов применить использованный метод в других обнаруженных районах углеводородных высачиваний как в прибрежной, так и более глубоководной зоне.



Подводная фотография измерительного комплекса, установленного рядом с выходом пузырькового газа.



T. V. Malakhova, A. A. Budnikov, I. N. Ivanova, A. I. Khurchak, A. P. Khurchak, and E. A. Krasnova. "Passive acoustic monitoring for seabed bubble flows: Case of shallow methane seeps at Laspi Bay (Black Sea)." *The Journal of the Acoustical Society of America*, 156, no. 6: p.4202-4216 (2024).

30- и 3-минутные акустические записи гидрофона, показывающие эпизоды выхода газа и паузы между ними, сопоставленные с изменениями гидростатического давления, измеренного высокоскоростным регистратором RBR-duet (белые символы и линии). Красные прямоугольники на 30-минутных сегментах обозначают соответствующие 3-минутные сегменты. справа указан диапазон давления.

Моделирование эндоцитоза чувствительных наногелей

Ученые кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ исследовали режимы взаимодействия стимул-чувствительных наногелей с липидной мембраной методом компьютерного моделирования. Моделируемые наногели могут быть использованы для адресной доставки лекарств и не вызывать токсическую реакцию организма.



Особенное свойство стимул-чувствительных наногелей заключается в изменении их размеров в зависимости от внешних воздействий, таких как температура или pH среды. Основным фокусом исследования было изучение взаимодействия таких мягких частиц с липидной мембраной, являющейся основой клеточных стенок. Ученые предположили, что при изменении внешних условий параметры взаимодействия наногеля с липидным бислоем остаются неизменными, а изменяется лишь степень набухания наногеля. Последний параметр непосредственно влиял на модуль упругости сетчатых частиц: чем меньше степень набухания, тем менее деформируемым являлся наногель. Также варьировалась и плотность сшивки полимерной сетки, которая определялась долей сшивающего агента в ее составе. Таким образом, значение модуля упругости изменялось от нескольких десятков до нескольких сотен кПа. Кроме того, варьировался молекулярный вес наногеля и сила адгезии, то есть степень сродства между звеньями, формирующими наногель, и гидрофильными «головами» липидного бислоя.

В результате моделирования было установлено, что из исходного набухшего состояния можно получить различные равновесные формы наногеля на мембране в зависимости от силы адгезии и плотности сшивки. А именно наногель мог адсорбироваться на мембрану как твердая наночастица (режим коллоидной адгезии) или, напротив, подобно полимерным цепям, претерпевать сильные деформации и уплотняться. При этом коллапс наногеля (уменьшение степени набухания с одновременным увеличением степени гидрофобности частицы) в ряде случаев приводил к полному поглощению мембраной (эндоцитозу).

«Важным результатом работы стало выявление того, что по мере ухудшения качества растворителя тренд поглощения наногелями меняется в зависимости от плотности их сшивки. Например, в случае среднесшитого наногеля ско-

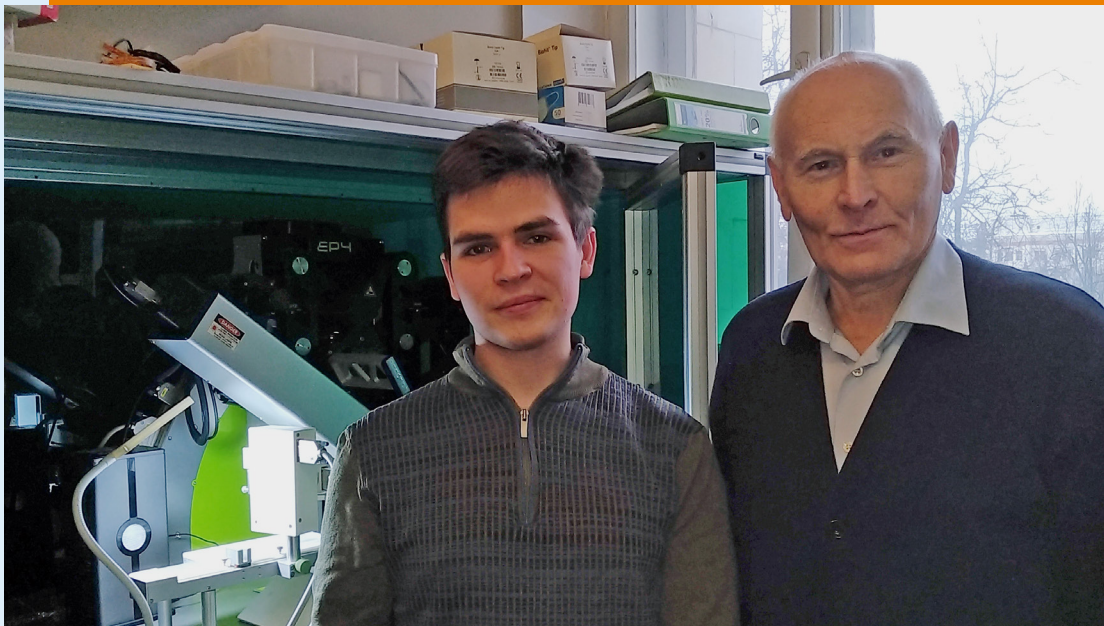
рость поглощения может увеличиваться, в то время как у более плотного геля она, наоборот, будет уменьшаться. Это наблюдение отличается от случая твердых наночастиц (оксида железа или золота), где скорость поглощения всегда возрастает с увеличением их степени гидрофобности. В то же время обнаруженное изменение тренда хорошо коррелирует с ранее полученными данными по поглощению стимул-чувствительных гелей реальными клетками *in vitro*», — рассказал старший научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов Рустам Гумеров.

Таким образом, исследование не только подтвердило экспериментальные результаты, но и выявило несколько режимов поведения наногелей на мембране в процессе их коллапса.

Использованный метод мезоскопического компьютерного моделирования с явным растворителем позволил исследовать, насколько много жидкости остается внутри клетки в различных режимах взаимодействия, что критично для оценки возможной нагрузки наногеля молекулами лекарств, доставляемых во внутриклеточное пространство. При этом время моделирования одной системы наногель-мембрана доходило до 3 мс, что на молекулярном масштабе является значительным, а размер частиц был близок к реальному (несколько десятков нанометров), что потребовало значительное количество вычислительных ресурсов. Это оказалось возможным благодаря использованию оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М. В. Ломоносова.

A. S. Sorokina, R. A. Gumerov, H. Noguchi, I. I. Potemkin. "Computer Simulations of Responsive Nanogels at Lipid Membrane". *Macromolecular Rapid Communications*. 45, Issue 21, 2024.

Биофизика коллоидных систем: перенос коллоидных наночастиц магнетита через биоподобную липидную мембрану



Аспирант кафедры биофизики И. В. Григорян, доктор физ.-мат. наук, профессор Г. Б. Хомутов.

Структурная организация биологических систем на микронном и субмикронном уровнях (нано-уровне) характеризуется высокой степенью компартментализации, обеспечиваемой липидными мембранами, высокой дисперсностью молекулярных и надмолекулярных компонентов живых систем, находящихся в жидкой дисперсионной фазе (в биологических водных средах). Живые системы по своей «физико-химической» сути — это определенный и, в значительной степени, уникальный класс гетерогенных дисперсных коллоидных систем, включая наносистемы. Это обстоятельство является принципиально важным моментом для понимания структурно-функциональных взаимосвязей в живых системах и особенностей их свойств и физико-химических механизмов протекающих в них процессов. Впервые со всей определенностью это заявил один из крупнейших российских и советских ученых 20 века академик В. И. Вернадский: «Жизнь — это особая коллоидная система, это особое царство природных вод...».

Бислойные липидные мембраны, толщина которых составляет 5–7 нм, являются основой структурно-функциональной организации живых систем на клеточном и субклеточном уровне. Процессы проникновения и переноса компонентов водной фазы различной природы через липидные мембраны относятся к важнейшим процессам

жизнедеятельности клетки. Эти процессы охватывают основные клеточные функции, включая физиологический обмен веществом с внешней средой, проникновение в клетку и выход из нее биопатогенов (например, вирусов и токсинов), процессы трансмембранного транспорта молекул и ионов, лежащие в основе биоэнергетики, регуляции клеточных процессов, а также генерации трансмембранных электрических потенциалов и токов, обуславливающих процессы высшей и низшей нервной деятельности.

Относительно новым направлением в этой области является исследование эффектов проникновения абиогенных нано- и микрочастиц через клеточные мембраны и их влияния на живые системы. Важность этого направления обусловлена необходимостью понимания путей проникновения в клетку окружающих нас дисперсных коллоидных частиц различных загрязнений, разнообразие и количество которых постоянно увеличивается, с целью анализа и прогнозирования влияния коллоидных факторов внешней среды на живые системы. Особое беспокойство в настоящее время вызывают новые антропогенные коллоидные продукты и отходы, например, частицы микро- и нано-пластика, с которыми живые системы ранее никогда еще не сталкивались. Кроме того, эффективное проникновение через клеточные мембраны синтетических коллоидных частиц, содержащих

средства диагностики и/или биологически активные и лекарственные препараты, является важным аспектом перспективных методов локальной диагностики и адресной управляемой доставки генов и лекарств в целевые клетки и органы организма.

С использованием ряда независимых экспериментальных физических методов мы впервые обнаружили эффект прохождения синтетических коллоидных гидрофильных суперпарамагнитных наночастиц магнетита Fe_3O_4 в водном растворе через нативную биоподобную бислойную липидную азолектиновую мембрану под действием внешнего магнитного поля и исследовали, как этот процесс изменяет электрические свойства липидной мембраны.

Магнитные коллоидные частицы представляют собой весьма перспективное направление для создания управляемых коллоидных магнитных систем адресной доставки генов и лекарственных препаратов. Неоднородные внешние магнитные поля могут управлять перемещением и локализацией таких магнитных коллоидных носителей в организме. Наночастицы магнетита представляют при этом особый интерес, поскольку они биогенны (синтезируются и присутствуют в различных живых системах) и в разумных количествах нетоксичны и разрешены для клинического применения. Более шестидесяти лет назад основателем кафедры биофизики физического факультета МГУ Л. А. Блюменфельдом с сотрудниками впервые в мире были получены экспериментальные данные, указывающие на присутствие ферромагнитных или суперпарамагнитных наночастиц оксидов железа в культурах одноклеточных организмов и в препаратах ДНК (так называемые широкие линии сигнала ЭПР). К настоящему времени биогенные магнитные структуры на основе оксида железа (в основном квази-линейные цепочечные ансамбли магнитных однодоменных наночастиц) уже найдены в самых разных живых организмах от бактерий и растений до насекомых, рыб, птиц и животных, включая человека. Такие структуры могут играть важную физиологическую роль (обеспечивают ориентацию соответствующих магниточувствительных организмов в магнитном поле Земли) и образуются в результате процессов биоминерализации или могут являться продуктом и, соответственно, биомаркером определенных патологий (например, у человека присутствие магнитных оксидов железа четко коррелирует с нейродегенеративными и другими серьезными заболеваниями, связанными с нарушениями метаболизма железа).

В нашей работе экспериментально исследовано взаимодействие плоских бислойных липидных мембран из азолектина с коллоидными катионными наночастицами магнетита (средний диаметр 4 нм) в неоднородном стационарном магнитном поле, которое обеспечивало притяжение наночастиц магнетита к мембране. За мембраной располагалась мишень, на которую могли попасть только наночастицы, прошедшие сквозь мембрану. Взаимодействие наночастиц магнетита с липидным бислоем приводит к изменениям электрических характеристик мембраны: поляризации и дальнейшей деполяризации мембраны, появлению нулевого тока, уменьшению эффективной емкости и увеличению проводимости мембраны.

Методами просвечивающей сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии был проанализирован «улов» на мишени и оказалось, что гидрофильные коллоидные наночастицы магнетита могут проникать через нативную бислойную липидную мембрану без нарушения ее целостности в виде комплексов с липидными молекулами мембраны размером в десятки нанометров, имеющих квази-сферическую форму и образующих агрегаты (рис. 1). Анализ элементного состава обнаруженных комплексов указывает на присутствие в них атомов железа, при этом пространственная локализация железа хорошо совпадает с локализацией таких комплексов на электронномикроскопических изображениях (рис. 1).

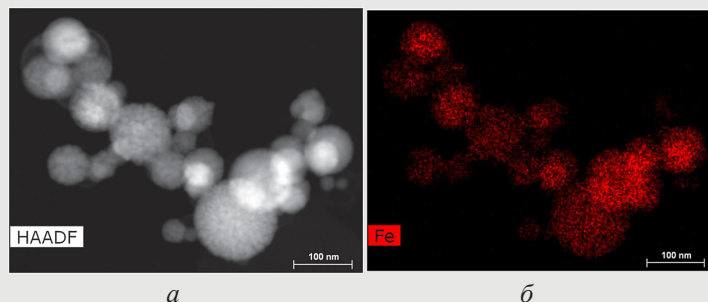


Рис. 1. (а) Характерное изображение органико-неорганических комплексов, обнаруженных на поверхности мишени. (б) Локализация железа (Fe) в обнаруженных органико-неорганических комплексах. Изображения получены методом сканирующей просвечивающей электронной микроскопии в режиме широкоугольного кольцевого темного поля (HAADF) в комбинации с методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (РЭСС).

В биологических системах проникновение гидрофильных коллоидных частиц внешней среды внутрь клетки происходит посредством сложного энергозависимого и специфичного процесса эндоцитоза, в ходе которого локализованная на мембране частица инкапсулируется в специально формируемую клеткой липидную везикулу (эндосому), которая поступает затем в цитоплазму клетки. При этом также известен процесс трансцитоза, при котором определенные коллоидные частицы (например, некоторые катионные белки), могут адсорбироваться и проникать сквозь липидную мембрану клетки «напрямую» без запуска процесса эндоцитоза. Наши результаты демонстрируют явление прямого проникновения полярных коллоидных неорганических частиц водной фазы через плоскую биоподобную модельную липидную мембрану, в которой процессы эндоцитоза невозможны в принципе, без нарушения ее целостности. Полученные результаты указывают на возможность существования неспецифических универсальных механизмов проникновения коллоидных частиц водной фазы через липидные мембраны в клетки и клеточные органеллы. Эти механизмы включают ряд взаимосвязанных физических и химических взаимодействий, происходящих в нанометровых областях внутри и вне липидной мембраны, которые представляют интерес для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований. К таким взаимодействиям и процессам могут относиться локализация коллоидных частиц на поверхности липидной мембраны под действием внешних электрических и магнитных полей или в результате процессов адсорбции. Коллективные взаимодействия

между наночастицами, а также их взаимодействия с внешними электрическими и магнитными полями приводят к образованию агрегатов наночастиц. Взаимодействие наночастиц с полярными группами липидных молекул мембраны приводит к образованию органико-неорганических комплексов, в которых полярная поверхность наночастиц покрыта слоем липидных молекул, обеспечивающим эффективную интеграцию наночастиц в липидный матрикс. Проникновение таких комплексов наночастиц и их агрегатов через мембрану без нарушения целостности мембраны может быть обусловлено термодинамическими силами, а также локальными внутримембранными и примембранными электрическими и магнитными полями.

Полученные результаты полезны для выяснения механизмов и, соответственно, прогнозирования проникновения в живые клетки различных коллоидных компонентов внешней среды, что позволит разрабатывать эффективные стратегии управления этими процессами. Также эти результаты могут способствовать разработке фундаментальной базы перспективных биомедицинских технологий управляемой

«универсальной» прямой доставки лекарств, генов и диагностических средств в любые целевые клетки и органы организма, что открывает возможности для разработки настоящего эффективных методов тераностики и адресной лекарственной терапии.

1. Anosov A. A., Smirnova E. Yu., Sukhova V. I., Borisova E. D., Morgunov R. B., Taranov I. V., Grigoryan I. V., Cherepenin V. A. and Khomutov G. B. «Effect of colloidal magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles on the electrical characteristics of the azolectin bilayer in a static inhomogeneous magnetic field», *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1866, Issue 7, 184352, 2024.

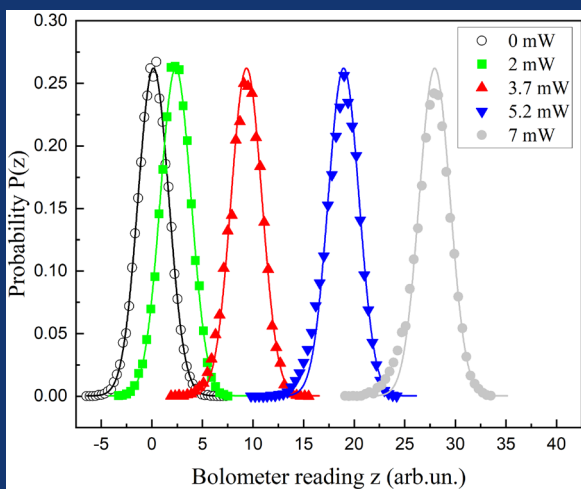
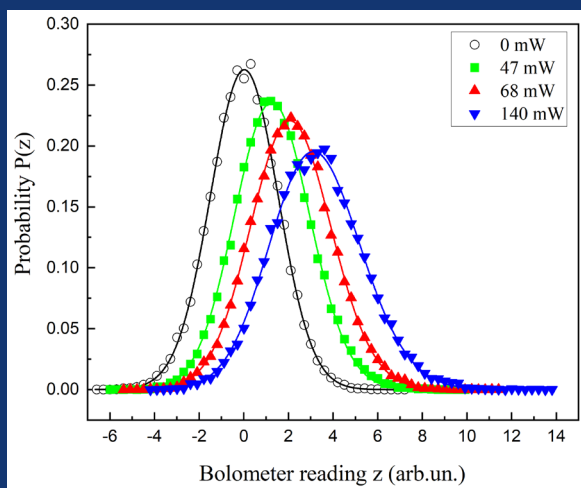
2. Anosov A. A., Borisova E. D., Smirnova E. Yu., Cheburenkova A. S., Cherepenin V. A., Taranov I. V., Grigoryan I. V., Yaroslavov A. A., Spiridonov V. V. and Khomutov G. B. «Penetration of hydrophilic colloidal magnetite nanoparticles through a lipid membrane in an inhomogeneous magnetic field», *Physics of Fluids*, 36, 112035, 2024.

Исследована способность сверхпроводникового болометра регистрировать отдельные терагерцовые фотоны

Сотрудники лаборатории «Квантовой оптико-терагерцовой фотоники» исследовали особенности и режимы работы сверхпроводникового болометра на горячих электронах при регистрации слабых коротких импульсов фотонов терагерцового излучения. Ученым удалось продемонстрировать кардинальные различия в статистических распределениях показаний сверхпроводникового детектора при детектировании наносекундных и пикосекундных импульсов.

Терагерцовое (ТГц) излучение с частотами в диапазоне 0.1–30 ТГц имеет широкую область применения в самых разных научных и технологических областях от спектроскопии и визуализации биомедицинских объектов до задач поддержания безопасности и высокоскоростных коммуникаций. Особенно перспективным представляется развитие квантовых технологий в терагерцовой области. Основной сдерживающий фактор — это недостаток детекторов, способных регистрировать сверхслабые потоки, а также регистрировать отдельные фотоны ТГц диапазона. Исследователи научной группы под руководством профессора Г.Х. Китаевой используют перспективные сверхпроводниковые болометры на горячих электронах («hot electron bolometer», НЕВ). Эти детекторы самые быстродействующие,

имеют достаточно низкие значения шумов и при этом работают при температурах не ниже нескольких градусов Кельвина. Однако такие НЕВ-детекторы, хоть и высокочувствительные, и коммерчески доступные (их производит в российской компании Scontel), не являются однофотонными и применяются для регистрации непрерывного или импульсного ТГц излучения только в режиме регистрации общего фототока. В лаборатории квантовой оптико-терагерцовой фотоники исследовали статистические распределения токовых показаний детектора, представляющие собой непрерывную гистограмму, анализ которой позволил выделить дискретность в регистрируемом излучении. Был разработан метод аппроксимации экспериментальных гистограмм, целью которого являлось определение сред-



них чисел элементарных фото-отсчетов, регистрируемых детекторами при поглощении одного или малого числа единичных фотонов, а также параметры статистических распределений выходных токовых показаний терагерцового аналогового детектора, соответствующих регистрации единичных фото-импульсов.

Исследования стали возможными благодаря разработке уникального источника терагерцовых фотонов. В качестве источника слабых потоков ТГц излучения выступает нелинейно-оптический кристалл ниобата лития, в котором происходит процесс параметрического рассеяния света, индуцированного импульсным лазерным излучением. На языке фотонов процесс можно описать как распад фотонов лазерной накачки на пары фотонов, частоты которых занимают широкий спектральный диапазон — от радиочастот до частоты падающего света. Отличительной особенностью именно этой научной группы является опыт использования данного явления в сильно частотно-невырожденном режиме, когда один из фотонов пары имеет частоту, близкую к накачке, а частота второго отличается на 2 порядка и попадает в ТГц диапазон. Таким образом, длительность потока ТГц фотонов соответствует длительности импульса накачки, а число этих фотонов за импульс равно числу генерируемых одновременно оптических фотонов.

Итак, в рамках проведенных исследований статистических распределений показаний ТГц болометра было показа-

но, что отклик детектора формируется по-разному в зависимости от длительности сверхкоротких интервалов времени освещения. При наносекундном облучении распределения (Рис.а) могут быть представлены в виде сумм дискретных вкладов с пуассоновской статистикой числа и гауссовым распределением величины каждого вклада в полный ток детектора. В пикосекундном режиме (Рис.б) дискретная структура отклика исчезает, средняя величина показания остается пропорциональной числу падающих фотонов, но статистический разброс определяется только дисперсией темновых показаний.

В отличие от распределений, полученных при облучении пикосекундными импульсами, гистограммы, полученные при наносекундном освещении, демонстрируют асимметрию и расширяются по мере увеличения интенсивности падающего излучения. Это указывает на то, что в таком случае отклик болометра состоит из нескольких элементарных фото-импульсов. Использование слабых ТГц-потоков, генерируемых при спонтанном параметрическом рассеянии, позволило обнаружить флуктуации в отклике болометра в случае наносекундной импульсной накачки, которые возникают из-за дискретного характера переключения сопротивления сверхпроводящего элемента. В то время как при пикосекундном освещении сигнал с детектора представлен только одним откликом такого типа, поскольку для формирования других областей образования одиночного элементарного фото-импульса недостаточно времени. Действительно, время отклика 50 пс, присущее чувствительному элементу НЕВ, было больше времени пикосекундного ТГц импульса. Моделирование наносекундных гистограмм в виде сумм дискретных распределений гауссовой свертки с пуассоновской статистикой их количества показывает, что с увеличением мощности падающего ТГц излучения растет не только среднее количество вкладов, но и среднее значение амплитуды единичного фото-импульса.

С учетом деталей исследования, опубликованных в журнале Applied Physics Letters, в будущем станет возможным создание приемников ТГц излучения, которые найдут свое применение в квантово-информационных устройствах - системах квантовой связи, криптографии и вычислений при считывании одиночных квантовых сигналов, в качестве высокочувствительных детекторов инфракрасной и терагерцовой астрономии, в приборах физической химии и астрономии. Одним из важнейших результатов может стать новый научно-технологический задел в области оптической метрологии в части абсолютных измерений чувствительности терагерцовых и инфракрасных детекторов по принципам квантовой фотометрии. В рамках данного задела можно создать технологии калибровки детекторов в тех спектральных и динамических диапазонах электромагнитного излучения, в которых отсутствуют отечественные эталоны энергетических характеристик.

Novikova T. I., Kuznetsov K. A., Korolev I. V., Pentin I. V., Prudkovskii P. A., Kitaeva G. Kh. "Statistical features of the response of a superconducting hot-electron bolometer to extremely weak terahertz pulses of picosecond and nanosecond duration". Applied Physics Letters, **125**, №: 22874 (2024).

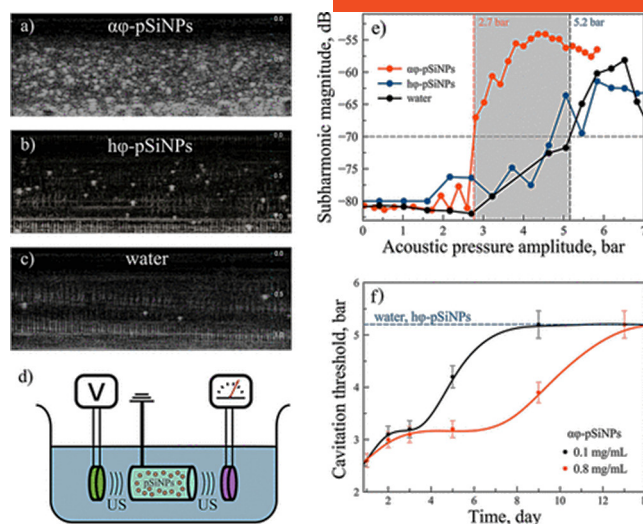
Амфифильные фотолюминесцентные наночастицы пористого кремния: потенциал для ультразвуковой терапии рака

Учёные кафедры медицинской физики физического факультета под руководством зав. лаб. в.и.с. Л.А. Осминкиной, совместно с коллегами из медицинского факультета МГУ и международными партнёрами, разработали амфифильные фотолюминесцентные наночастицы пористого кремния (α ф-pSiNPs) и впервые продемонстрировали их способность повышать эффективность ультразвуковой терапии рака. Эти наночастицы, благодаря уникальным физическим свойствам, могут применяться одновременно для диагностики и лечения, что делает их перспективным инструментом тераностикс.

Ключевая идея исследования заключается в использовании амфифильных наночастиц с гидрофобными порами и гидрофильной оболочкой. Такая структура делает наночастицы эффективными соносенсибилизаторами, значительно снижая порог кавитации при воздействии ультразвука низкой интенсивности. Кавитация представляет собой физическое явление, при котором в жидкости под воздействием ультразвуковых волн формируются микропузырьки. Их коллапс сопровождается локальными высокоэнергетическими процессами, такими как механическое растяжение, микропотоки и ударные волны, способные разрушать клеточные органеллы и мембраны, приводя к гибели клеток. Уникальной особенностью α ф-pSiNPs является их способность инициировать кавитацию при сниженных уровнях ультразвуковой мощности, что позволяет минимизировать риск повреждения здоровых тканей.

Преимущества разработанной технологии заключаются в уникальных оптических свойствах нанокристаллов кремния, обусловленных квантово-размерным эффектом. В процессе синтеза α ф-pSiNPs пористый кремний подвергается частичному окислению, что приводит к формированию нанокристаллов размером 2–5 нанометров. На этом масштабе увеличение ширины запрещённой зоны значительно усиливает фотолюминесценцию наночастиц, позволяя эффективно отслеживать их локализацию внутри клеток. Эти характеристики делают α ф-pSiNPs перспективным инструментом для высокоточной диагностики и мониторинга в биомедицине.

Эксперименты продемонстрировали, что α ф-pSiNPs эффективно проникают в клетки, локализуясь преимущественно в цитоплазме. Под воздействием ультразвука наночастицы выступают в роли кавитационных центров, вызывая разрушение опухолевых клеток. При этом ультразвук без использования наночастиц не оказывает токсического эффекта, что подчеркивает безопасность и высокую селективность предлагаемого подхода.



Ещё одно важное преимущество α ф-pSiNPs — их высокая биосовместимость. Тесты на клеточных культурах продемонстрировали отсутствие токсичности при концентрациях до 1 мг/мл без ультразвуковой активации. Это делает разработанные наночастицы безопасными для использования в медицинских исследованиях и потенциально в клинической практике.

Таким образом, разработанные амфифильные фотолюминесцентные наночастицы пористого кремния, выступающие в роли соносенсибилизаторов, представляют собой значительный шаг вперёд в области наномедицины. Эта инновационная технология обладает потенциалом для применения в терапии труд-

Цурикова У. А., Осминкина Л. А.



нооперабельных и глубокорасположенных опухолей, а также может стать основой для разработки новых высокоточных методов диагностики и лечения онкологических заболеваний.

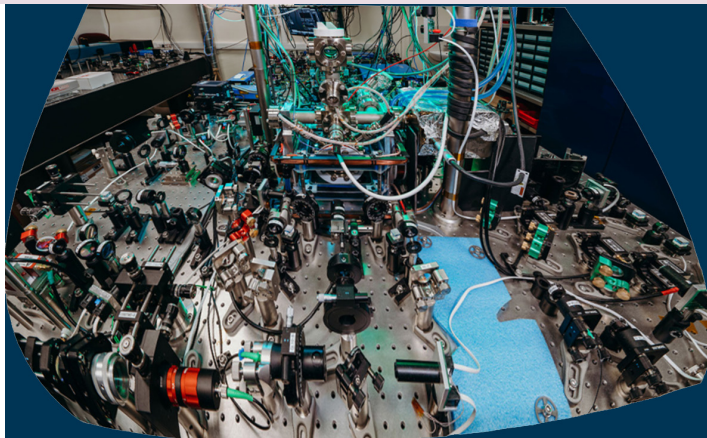
Результаты исследования нашли отражение в диссертационной работе Цуриковой У. А., выполненной под научным руководством Л. А. Осминкиной. Успешная защита диссертации состоялась 19 декабря по специальности 1.3.21 «Медицинская физика» на диссертаци-

онном совете МГУ.011.9. Исследование было выполнено при поддержке грантов НОШ МГУ (23-SCH06-19) и РФФИ (№ 24-15-00137 и 23-74-30006).

M. B. Gongalsky, U. A. Tsurikova, A. A. Kudryavtsev, N. V. Per-vushin, A. P. Sviridov, T. Kumeria, V. D. Egoshina, P. A. Tyurin-Kuzmin, I. A. Naydov, K. A. Gonchar, G. S. Kopeina, V. G. Andreev, B. Zhivotovsky, L. A. Osminkina. «Amphiphilic Photoluminescent Porous Silicon Nanoparticles as Effective Agents for Ultrasound-Amplified Cancer Therapy». Biological and Med

В МГУ представлен первый в России прототип 50-кубитного квантового компьютера

Учеными Московского университета и Российского квантового центра в рамках дорожной карты «Квантовые вычисления», которую координирует госкорпорация «Росатом», создан первый в России прототип 50-кубитного квантового вычислителя на одиночных нейтральных атомах рубидия. Прототип был успешно протестирован 19 декабря 2024 года в рамках контрольного эксперимента.



«Наш прототип — это оптический стол, большую часть которого занимает лазерная система, которая используется для охлаждения и управления состояниями атомов и для создания массива оптических пинцетов, система со сверхвысоким вакуумом и оптическим доступом. В этой вакуумной системе мы создаём магнитооптическую ловушку, в которую захватываем атомы из паров рубидия и охлаждаем лазером. А потом из холодного облака газа захватываем одиночные атомы в сфокусированные оптические микроловушки. В настоящий момент в Центре квантовых технологий МГУ мы можем создавать квантовые регистры из 50 атомов, расположенных в упорядоченном массиве, реализовывать операции над одиночными кубитами с точностью более 0.998 и запутывающие двухкубитные операции с точностью более 0.9. Нейтральные атомы в оптических пинцетах — хорошая система с точки зрения перспектив масштабирования, нам более-менее понятно, как дойти от систем из десятков кубитов к сотням и даже тысячам кубитов», — рассказал руководитель сектора квантовых вычислений Центра квантовых технологий физического факультета МГУ Станислав Страупе.

В 2020 г. Правительством РФ была утверждена дорожная карта развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления». Одной из ее целей было создание до конца 2024 г. квантового вычислителя мощностью не менее 50 кубитов. При этом в России есть несколько научных групп, которые развивают свои прототипы на разных технологических платформах: нейтральных атомах, ионах, сверхпроводниках и фотонах. Прототип квантового компьютера Центра квантовых технологий (ЦКТ) физического факультета МГУ основан на одиночных нейтральных атомах рубидия, которые захватываются оптическими пинцетами (сфокусированными лазерными лучами). Кубит кодируется во внутренних степенях свободы этого одиночного атома.

Работоспособность этой системы, а также возможность подключаться к ней удалённо с помощью облачной платформы была продемонстрирована в рамках контрольного эксперимента 19 декабря 2024 года, который зафиксировал успешное выполнение заявленных в дорожной карте показателей. Работы были выполнены в рамках договора между физическим факультетом МГУ и Российским квантовым центром (РКЦ). На приемке работ присутствовали предста-

вители Госкорпорации «Росатом», «Росатом – Квантовые технологии» (ООО «СП «Квант»), РКЦ, Физического института им. П. Н. Лебедева РАН и ряда других организаций.

«Результаты, полученные в рамках дорожной карты, стали возможными благодаря многолетним исследованиям, которые велись в Центре квантовых технологий МГУ имени М. В. Ломоносова. За последние 10 лет здесь сформировался коллектив высокопрофессиональных специалистов — в основном, из числа студентов, аспирантов и выпускников физического факультета Московского университета», — добавил научный руководитель Центра квантовых технологий МГУ, профессор физического факультета МГУ Сергей Кулик.

Это достижение является прекрасным заделом для развития этой системы до уровня 300 и более кубитов, реализации коррекции ошибок и логических кубитов, которые запланированы на следующих этапах работ уже в рамках нового национального проекта и новой дорожной карты. В ближайших планах ученых Центра квантовых технологий

физического факультета МГУ — работа по увеличению точности операций и запуску полезных алгоритмов.

«Результат, полученный Центром квантовых технологий Московского университета, — это важный шаг к достижению технологического суверенитета нашей страны. Фокус завершающейся в этом году дорожной карты по квантовым вычислениям — это собственно разработка квантовых вычислителей. На новом этапе для нас важно стартовать практическое применение квантовых инноваций. Атомная отрасль уже запустила программу пилотных внедрений квантовых вычислений. Мы рассчитываем на синергию в этой области усилий Росатома и научных коллективов страны, включая ЦКТ МГУ имени М. В. Ломоносова», — отметила директор по цифровизации госкорпорации «Росатом» Екатерина Солнцева.

<https://msu.ru/news/novosti-nauki/v-mgu-predstavlen-pervyy-v-rossii-prototip-50-kubitnogo-kvantovogo-kompyutera.html>

Энергетические параметры новых сверхпроводников

Сотрудники кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова впервые исследовали сверхпроводящие (СП) свойства высокотемпературных железосодержащих пниктидов нового семейства 1144 — $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ — и напрямую определили его фундаментальные энергетические параметры. Статья опубликована в журнале «Письма в ЖЭТФ» и отмечена как «Выбор редакции». Работа проводилась при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант No 075-15-2021-1353).

Сверхпроводники $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ на основе железа недавно открытого и поэтому малоисследованного семейства 1144 обладают умеренными критическими температурами перехода в СП-состояние до $T_c \approx 35$ К и, по оценкам, чрезвычайно высокими критическими магнитными полями $H_{c2}(0) \sim 100$ Тл, что является весьма перспективным для различных прикладных задач, в том числе для ядерных и синхротронных технологий. Вместе с тем, в отличие от родственных пниктидных семейств, соединения $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ немагнитны и сверхпроводят в стехиометрическом составе, что представляет значительный фундаментальный интерес с точки зрения теоретического описания механизмов высокотемпературной сверхпроводимости.

С помощью уникального метода, активно развиваемого на кафедре, — спектроскопии эффекта некогерентных многократных андреевских отражений в планарных механически регулируемых контактах на микротрещине — показана многокомпонентная (многощелевая) сверхпроводимость в соединении $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$: ниже T_c появляются и сосуществуют в каждой точке пространства как минимум два вида куперовских пар (два СП-конденсата), которые слабо взаимодействуют и разделены в пространстве импульсов. «Сильный» СП-конденсат с большей амплитудой

СП-параметра порядка, предположительно, обладает анизотропией свойств в импульсном пространстве, т.е. энергия связи куперовских пар для него зависит от угла. Для «слабого» СП-конденсата подобная анизотропия СП-параметра порядка нами не наблюдалась.

«Мы напрямую определили амплитуды СП-параметра порядка, а также их характеристические отношения. Также мы показали, что СП-щелевая структура и величины вышеуказанных отношений близки к таковым для родственных изоструктурных семейств $\text{Ba}(\text{Fe},\text{Ni})_2\text{As}_2$ и $(\text{Ba},\text{K})\text{Fe}_2\text{As}_2$ (семейство 122) и $\text{EuCsFe}_4\text{As}_4$ (семейство 1144, с магнитным переходом ниже T_c), исследованных группой ранее, что говорит об универсальности механизма сверхпроводимости железосодержащих пниктидов семейств 122 и 1144», — прокомментировал Светослав Кузьмичев, старший научный сотрудник кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ.

Т. Е. Кузьмичева, С. А. Кузьмичев, А. С. Медведев. "Многощелевая сверхпроводимость немагнитного стехиометрического пниктида $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ ". «Письма в ЖЭТФ», 119 (2024) 10, 757.

Астрономы МГУ измерили яркость фона неба

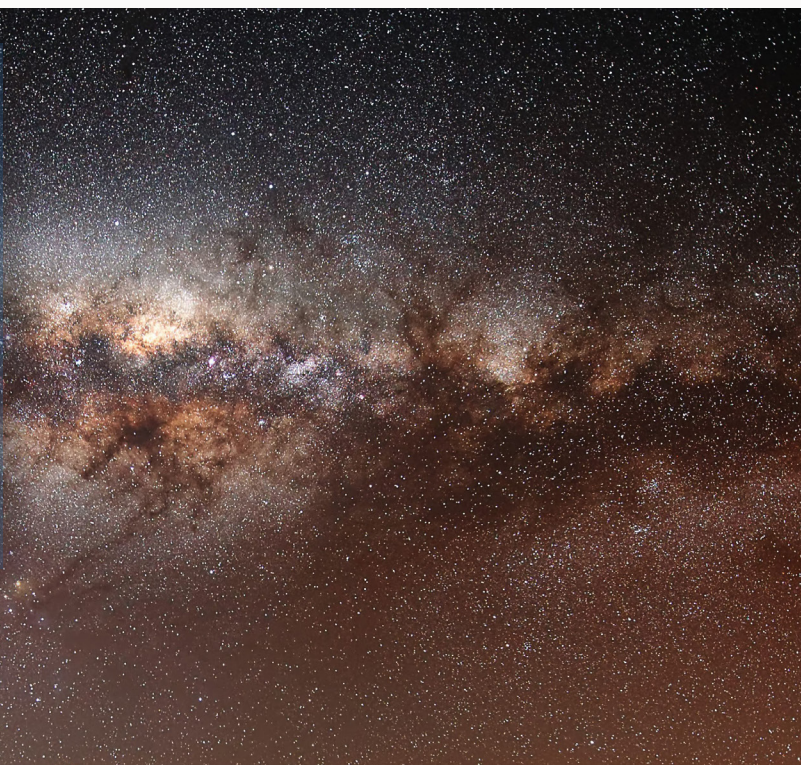
Используя более 100 тысяч снимков, полученных на 2,5-м телескопе КГО с уникальной инфракрасной камерой ASTRONIRCAM, астрономы МГУ совместно с коллегами из ФКИ МГУ измерили яркость фона неба и показали, что её низкий уровень позволяет отнести обсерваторию к лучшим обсерваториям мира.



Яркость фона ночного неба — один из основных параметров, ограничивающих возможности наблюдений предельно слабых объектов. Чем выше яркость, тем сложнее на этом фоне разглядеть исследуемый объект. В инфракрасном диапазоне величина фона определяется не только излучением атмосферы и далёкими слабыми астрономическими объектами, но и собственным излучением телескопа, что затрудняет её исследование. Фон может сильно меняться со временем и зависит от состояния атмосферы, времени года, температуры телескопа и угловой высоты объекта над горизонтом.

Результаты исследований показали, что средняя яркость фона неба над Кавказской горной обсерваторией МГУ в инфракрасном диапазоне не изменилась за последние несколько лет, и по этому показателю наша обсерватория не уступает таким известным мировым центрам, как обсерватории на Ла Пальма, Мауна Кеа, Китт Пике и других. Таким образом, в работе было показано, что в инфракрасном диапазоне длин волн отсутствует негативное влияние антропогенного фактора даже в таком бурно развивающемся регионе страны, как Кавказские Минеральные Воды, где расположена обсерватория.

«Специально поставленные измерения яркости фона неба в инфракрасном диапазоне длин волн, это масштабные и длительные исследования, отнимающие много дорогостоящего времени крупного телескопа, — рассказывает один из авторов работы, доцент кафедры экспериментальной астрономии физического факультета МГУ Андрей Татарников. — Поэтому мы использовали накопленный за несколько лет наблюдений с камерой ASTRONIRCAM огромный архив изображений отдельных участков неба, полученных при самых разных условиях. Астрономические объекты имеют небольшие угловые размеры, занимая на полученных снимках лишь малую долю общей площади кадра, и свободные от них участки можно использовать для измерения величины фона».



«Актуальные проблемы электродинамики – 2024»

международная конференция

к 100-летию со дня рождения Алексея Георгиевича Свешникова

19 – 20 ноября на физическом факультете Московского государственного университета имени Михаила Васильевича Ломоносова прошла конференция по электродинамике. Первая такая конференция прошла в прошлом году. В этом году дата ее проведения 19 ноября была выбрана не случайно. Это день рождения профессора Алексея Георгиевича Свешникова, крупного специалиста в области математического моделирования задач электродинамики. Поэтому полное название конференции «Актуальные проблемы электродинамики – 2024» международная конференция к столетию со дня рождения Алексея Георгиевича Свешникова.



На этом научная часть первого дня конференции была завершена, и ее участники прошли на кафедру математики, где был организовано чаепитие.

В первый день перед открытием конференции были возложены цветы к могиле Алексея Георгиевича на Хованском кладбище. В 13 часов в Северной физической аудитории состоялось открытие конференции. Конференцию открыл председатель



организационного комитета декан физического факультета профессор Владимир Викторович Белокуров. Затем с кратким словом о А.Г.Свешникове выступил председатель программного комитета конференции профессор Александр Николаевич Боголюбов, выступление которого сопровождалось показом слайд фильма об Алексее Георгиевиче Свешникове. Затем начались пленарные доклады. Всего было заслушано шесть докладов.

Во второй день 20 ноября работа конференции началась в 15.30. Этот день был посвящен секционным докладам, которые были распределены по трем секциям: секция «Математическое моделирование» (11 докладов), секция «Теоретическая и экспериментальная электродинамика» (9 докладов), секция «Численные методы» (9 докладов)

По окончании научной части участники прошли на кафедру математики на уже традиционное чаепитие.

К конференции был выпущен сборник тезисов докладов. Можно сказать, что конференция прошла успешно. Многие участники конференции высказывали желание сделать эту конференцию постоянной научной конференцией кафедры математики.

Указом Президента Российской Федерации №1121 от 28.12.2024 вручены медали Ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени за заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов, научно-педагогической деятельности и многолетнюю добросовестную работу следующим сотрудникам физического факультета:



ВЯТЧАНИНУ
Сергею Петровичу

ГОРДИЕНКО
Вячеславу Михайловичу



ПОСТНОВУ
Константину Александровичу

Указом Президента РФ №1121 от 28.12.2024 за заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов, научно-педагогической деятельности и многолетнюю добросовестную работу присуждено Почетное звание "Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации"

БЕЛОКУРОВУ
Владимиру
Викторовичу



ПОЗДРАВЛЯЕМ!

Указом Президента РФ № 40 от 24.01.2025 за большие заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов, научно-педагогической деятельности и многолетнюю добросовестную работу награждены орденом "Дружбы"



МАКАРОВ
Владимир Анатольевич



ЧЕРНЯЕВ
Александр Петрович

Указом Президента РФ №40 от 24.01.2025 за большие заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов, научно-педагогической деятельности и многолетнюю добросовестную работу награжден медалью ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени



ЧЕРНЫШ
Владимир Савельевич

Указом Президента РФ №40 от 24.01.2025 за заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов, научно-педагогической деятельности и многолетнюю добросовестную работу присуждено почетное звание "Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации"



ЧИРКИНУ
Анатолию Степановичу



ЗАСОВУ
Анатолию Владимировичу

Решением Ученого совета МГУ от 23.12.2024 присуждена Премия имени М.В. Ломоносова за научные работы II степени за цикл работ «Лазерная филаментация для высокоэффективной генерации и передачи энергии» следующим сотрудникам физического факультета:



ШКУРИНОВУ
Александру Павловичу



КОСАРЕВОЙ
Ольге Григорьевне



САВЕЛЬЕВУ-ТРОФИМОВУ
Андрею Борисовичу

Этим же решением по итогам 2024 года удостоены званий:
Заслуженный профессор Московского университета (2024)



МИТРОФАНОВ
Валерий Павлович



АНДРЕЕВ
Анатолий Васильевич

Заслуженный преподаватель Московского университета (2024)

ПРИЕЗЖЕВ
Александр Васильевич



КИРОВ
Сергей Александрович

Заслуженный научный сотрудник Московского университета (2024)



КРАЛЬКИНА
Елена Александровна

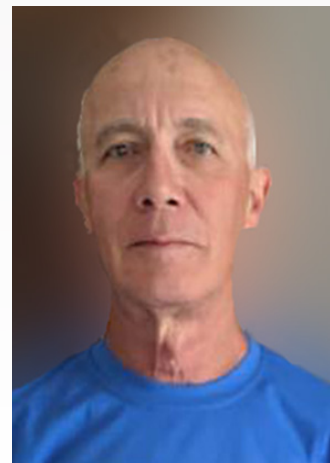


СНЕГИРЕВ
Вячеслав Владимирович

Заслуженный работник Московского университета (2024)



СУХОВА
Наталья Ивановна



СОРНИКОВ
Яков Александрович

Стипендии Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова молодым сотрудникам, аспирантам и студентам, добившимся значительных результатов в педагогической и научно-исследовательской деятельности на 2025 год:

АФОНИНА Марина Дмитриевна, студентка 6 курса;
БЕССМЕРТНЫЙ Данила Романович, студент 5 курса;
БОГАЦКАЯ Анна Викторовна, доцент;
ВАВАЕВ Евгений Сергеевич, инженер 1 категории;
ВРУБЛЕВСКАЯ Надежда Рональдовна, студентка 2 курса магистратуры;
ГЕНЕРАЛОВ Евгений Александрович, старший научный сотрудник;
ГРИГОРЬЕВ Кирилл Сергеевич, ассистент;
ГРИГОРЯН Илья Валентинович, студент 2 курса магистратуры;
ГРИЦЕВИЧ Даниил Константинович, аспирант;
ГУЛЯЕВА Василиса Владимировна, студентка 2 курса магистратуры;
ДОЦЕНКО Андрей Александрович, аспирант;
ИЛЬЯСОВ Александр Игоревич, аспирант;
КВАШЕННИКОВА Анастасия Валерьевна, физик 1-й категории;
КОБЯЛКО Кирилл Владимирович, ассистент;
КОЛЮШЕНКОВ Максим Андреевич, студент 2 курса магистратуры;
КОМЛЕВ Алексей Степанович, аспирант;
ЛЕДЕНЁВ Егор Иванович, студент 1 курса;
ЛИНОВСКИЙ Георгий Павлович, студент 5 курса;
МАКАРЬИН Родион Алексеевич, аспирант;
МАМЯН Карен Арменович, студент 2 курса магистр.
МЕЖЕТОВА Ирина Тимуровна, студентка 2 курса магистратуры;

МИХАЙЛОВ Евгений Александрович, доцент;
НАЗАРЕНКО Алена Андреевна, аспирантка;
НЕРОВНАЯ Анастасия Андреевна, студентка 2 курса магистратуры;
НЕСТЕРОВ Вячеслав Юрьевич, аспирант;
НОВИКОВ Владимир Борисович, научный сотрудник;
ОБЫДЕННОВ Николай Николаевич, студент 5 курса;
ПОНОМАРЧУК Екатерина Максимовна, ведущий инженер;
РУСОВА Анна Александровна, ассистент;
СЕМЕНИХИН Тимофей Александрович, аспирант;
СТАМЕР Катерина Станиславовна, аспирантка;
СУЛЕЙМАНОВА Дина Зуфаровна, аспирантка;
ТАРАСЕНКОВ Александр Николаевич, студент 5 курса;
ТИМОФЕЕВ Дмитрий Алексеевич, студент 1 курса;
ТИМЧЕНКО Иван Сергеевич, студент 5 курса;
ТРУХАЧЕВА Мария Павловна, студентка 5 курса;
ФАТИХОВА Амина Владимировна, студентка 5 курса;
ФЛДЖЯН Сурен, аспирант;
ФРОЛОВ Александр Юрьевич, научный сотрудник;
ФУРСОВА Надежда Юрьевна, аспирантка;
ЦИНЯЙКИН Илья Иванович, младший научный сотрудник;
ЧЕРНЯК Анна Максимовна, аспирантка;
ШИПКОВА Елизавета Дмитриевна, аспирантка;
ЮШКОВ Вячеслав Владиславович, аспирант.

*Старший преподаватель кафедры физики ускорителей и радиационной медицины
Ульяна Александровна Близнюк.*

26 июня 2024 года в диссертационном совете МГУ.014.6

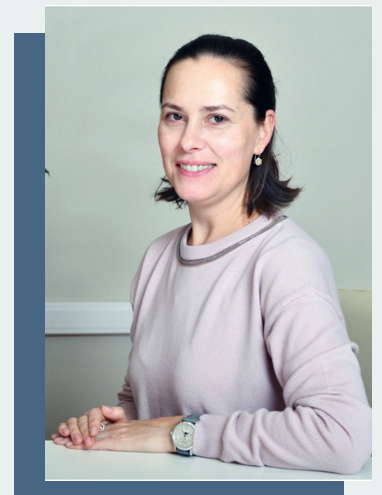
*защитила диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук*

БЛИЗНЮК Ульяна Александровна

по специальности 1.5.1. — «Радиобиология»

на тему:

**«НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ МЕТОДОВ
РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»**



Согласно стратегии научно-технического развития Российской Федерации от 28 февраля 2024 года, обеспечение продовольственной безопасности, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе являются одними из приоритетных направлений научно-технического развития нашей страны. Радиационная обработка зарекомендовала себя как эффективный способ обеспечения микробиологической безопасности биологических объектов, таких как пищевая продукция, объекты трансплантологии, путем подавления ионизирующим излучением широкого спектра микроорганизмов и вредителей, фитопатогенов, вирусов. Радиационная обработка пищевых продуктов решает широкий спектр задач, а именно ингибирование прорастания корнеплодов и замедление созревания фруктов и овощей, обеспечение полной микробиологической безопасности космического питания, лечебного питания для пациентов с ослабленным иммунитетом, а также обеспечение безопасности и сохранности продуктов питания в случае их транспортировки на дальние расстояния.

Диссертационная работа направлена на разработку новых подходов к оптимизации радиационной обработки широкого спектра биообъектов. Исследования, выполненные в рамках диссертационной работы, направлены на:

- повышение однородности радиационной обработки биообъектов и материалов;
- определение оптимальных диапазонов доз различных биообъектов, при которых осуществляется подавление патогенов при сохранении физико-химических характеристик биообъектов;
- расчет физических параметров радиационной обработки биообъектов, обеспечивающих облучение в найденном оптимальном диапазоне доз;
- поиск биохимических маркеров радиационной обработки пищевой продукции и разработка методов идентификации облученной пищевой продукции.

Облучение биологических объектов характеризуется неравномерностью распределения дозы по объему облучаемых объектов, что обусловлено характером распределения дозы, физической природой взаимодействия ионизирующих частиц с веществом, неоднородной плотностью биологических объектов, сложной геометрией биообъекта. Поскольку эффективность радиационной обработки биообъектов зависит от равномерности облучения, в работе исследовано влияние физических параметров излучения (тип излучения и его энергетический спектр) и биообъекта (состав, размеры, геометрия, плотность) на однородность распределения поглощенной дозы по объему обрабатываемых биообъектов. В диссертации на основе компьютерного моделирования с помощью программного кода GEANT 4 получены зависимости, позволяющие рассчитать оптимальные параметры излучения, обеспечивающие облучение объектов в заданном диапазоне доз с учетом требуемой однородности обработки биообъектов. В работе предложен физический метод повышения однородности распределения поглощенной дозы по глубине обрабатываемых ускоренными электронами биообъектов, заключающийся в дополнительном размещении комбинации алюминиевых модификаторов. Предложенный метод позволяет подобрать

оптимальную комбинацию алюминиевых модификаторов, обеспечивающую максимальную равномерность дозы для любого спектра пучка электронов.

В работе предлагается рассматривать биообъект как совокупность целевых (микроорганизмы, вирусы, фитопатогены и др.) и нецелевых (белки, жиры, углеводы, ферменты и др.) биомишеней. В работе предложен комплексный подход к оценке эффективности радиационной обработки биологических объектов, определяемой равномерностью распределения поглощенной дозы по глубине объекта и дозой, необходимой для повреждения биологических мишеней на заданном уровне; долей однородных биомишеней, которые получили заданное количество повреждений; неоднородностью радиочувствительности биологических мишеней.

Для решения задачи определения оптимального диапазона доз радиационной обработки биологических объектов предложена математическая функция оптимизации, максимум которой соответствует оптимальной дозе, при которой подавление целевых микроорганизмов максимально, а повреждение нецелевых окружающих молекул минимально. В экспериментальных условиях установлены критерии выбора оптимальных диапазонов доз для различных источников радиационного воздействия и их энергетических спектров при радиационной обработке различных биообъектов (говядина, индейка, курица, семга, форель, клубни картофеля, семена зерновых и мастичных культур). Результаты могут быть положены в основу разработки практических рекомендаций для дальнейшего промышленного использования радиационной обработки охлажденной мясной и рыбной продукции и сельскохозяйственных культур.

В связи со случаями незадекларированной радиационной обработки пищевой продукции во всем мире актуальным направлением исследований является поиск маркеров радиационной обработки пищевой продукции. Маркеры — это различные биохимические соединения, которые реагируют на радиационное воздействие изменением концентрации. С использованием газовой хромато-масс-спектрометрии, высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии и спектрофотометрии были установлены группа летучих органических соединений альдегидов, белок миоглобин, а также некоторые выбранные пептиды из аминокислотной последовательности белка альбумина, которые могут служить надежными количественными маркерами радиационной обработки для идентификации дозы обработки продуктов питания животного происхождения. Другой способ идентификации облученной пищевой продукции — использование метода отпечатков с использованием специальных карбоцианиновых красителей — флуорофоров. Метод сравнивает скорости протекания индикаторных реакций и интенсивность флуоресценции в экстрактах облученных и необлученных образцов продуктов. Например, метод отпечатков позволил со 100%-ной вероятностью различить клубни картофеля и образцы говядины, облученные в различных дозах, по изменению скорости протекания индикаторных реакций в экстрактах облученных и необлученных образцов пищевой продукции.

В работе предложен двухэтапный алгоритм планирования радиационной обработки биологических объектов: первый этап заключается в установлении оптимального диапазона доз обработки с учетом индивидуальных микробиологических и физико-химических характеристик биообъекта; второй этап — расчет оптимальных параметров излучения, обеспечивающих облучение в требуемом

оптимальном диапазоне доз. Разработанный алгоритм планирования радиационной обработки биологических объектов, учитывающий контроль содержания летучих органических соединений альдегидов, белка миоглобина на определенном уровне, может быть положен в основу обеспечения безопасности продуктов питания после радиационной обработки.

*Доцент кафедры общей физики и волновых процессов
Андрей Борисович Федотов.*

25 декабря 2024 года

*в диссертационном совете МГУ.013.4
состоялась защита диссертации
на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук*

ФЕДОТОВА Андрея Борисовича

по специальности 1.3.19 — Лазерная физика

на тему:

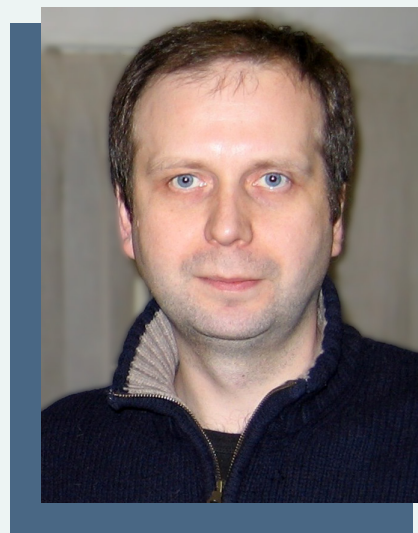
«СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СВЕТОВОДАХ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ»

На заседании диссертационного совета МГУ.013.4 25 декабря 2024 г. состоялась защита диссертационной работы доцента Федотова Андрея Борисовича на соискание ученой степени доктора физико-математических наук на тему «Спектрально-временные преобразования лазерных импульсов в микроструктурированных световодах для нелинейно-оптической спектроскопии». Диссертация выполнена на кафедре общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований представлено решение ряда актуальных научных задач, имеющих значение для развития нелинейной оптики, физики предельно коротких лазерных импульсов, нелинейно-оптической спектроскопии и квантовой оптики. В работе проведены исследования особенностей нелинейно-оптического преобразования в различных типах микроструктурированных (фотонно-кристаллических) световодов при оптической накачке фемтосекундными лазерными импульсами с широким спектром энергетических и спектрально-временных параметров. Получаемые в ре-

зультате направленного спектрально-временного преобразования перестраиваемые в микроструктурированных световодах с твердотельной сердцевиной импульсы обладают длительностью, спектрально-фазовыми и энергетическими характеристиками, делающими их пригодными для эффективного применения в задачах нелинейно-оптической спектроскопии на основе когерентного антистоксова рассеяния (КАРС), что было продемонстрировано при исследовании объектов различной природы (алмазные и кремниевые структуры, живые ткани и др.). В то же время использование полых фотонно-кристаллических волокон обеспечивает возможность транспортировки мощных лазерных импульсов или новые режимы временного сжатия импульсов до длительностей порядка одного и менее цикла поля, что представляет интерес для сверхбыстрой оптоэлектроники. В работе также были получены важные результаты по использованию микроструктурированных световодов в качестве яркого источника коррелированных фотонных пар с управляемыми корреляционными свойствами.

По теме диссертационной работы опубликовано 96 статей в рецензируемых научных изданиях и 1 патент.



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.

29.02.2024

- 1. ИВАНОВ Александр Сергеевич** «Развитие методов вычисления функциональных интегралов в моделях квантовой теории поля». 1.3.3 - Теоретическая физика. Кандидатская диссертация.
- 2. НУГУМАНОВ Айдар Гайсович** «Топологически устойчивые спиновые структуры в наноразмерных мультиферроиках». 1.3.3 - Теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

17.10.2024

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

МГУ.011.9

Председатель – Панченко Владислав Яковлевич, д.ф.-м.н., проф., акад. РАН
Зам. председателя – Твердислов Всеволод Александрович, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Шкуринов Александр Павлович, д.ф.-м.н., член-корр. РАН
Уч. секретарь – Осминкина Любовь Андреевна, к.ф.-м.н.

19.12.2024

- 5. ЦУРИКОВА Ульяна Александровна** «Оптический отклик кремниевых наночастиц-соносенсибилизаторов в контроле процессов их взаимодействия с живыми клетками». 1.3.21 — Медицинская физика. Кандидатская диссертация.
- 6. АНИСИМОВ Михаил Николаевич** «Механизмы динамики микротрубочек и её регуляции низкомолекулярными ингибиторами». 1.5.2 – Биофизика. Кандидатская 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.
Уваров Александр Викторович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Малышкина Инна Александровна, к.ф.-м.н., доц.

04.04.2024

- 7. КЛЕЩ Виктор Иванович** «Эмиссия электронов из углеродных наноструктур». 1.3.8 - Физика конденсированного состояния. Докторская диссертация.

16.05.2024

8. КРАВЧЕНКО Виталий Сергеевич «Градиентные и блочные АВ сополимеры в селективном растворителе. Особенности структуры мицелл и адсорбции цепей на твердые поверхности». 1.4.7 - Высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

9. МАЦНЕВ Михаил Евгеньевич «Обработка и анализ мессбауэровских спектров со сложной сверхтонкой магнитной и электрической структурой». 1.3.8 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

20.06.2024

10. АНТИПОВА Кристина Георгиевна «Полимерные и композиционные гидрогелевые материалы для биомедицины с регулируемыми механическими характеристиками». 1.4.7 - Высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

19.09.2024

11. 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

12. КОСТРОВ Сергей Александрович «Создание низко модульных 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.*
Стремоухов Сергей Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – *Коновко Андрей Андреевич, к.ф.-м.н., доц.*

27.06.2024

13. СТРУЧАЛИН Глеб Игоревич «Адаптивные методы в квантовой томографии». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

14. ЧЕБОТАРЕВ Артем Станиславович «Мультимодальная нелинейно-оптическая микроскопия на основе использования ратиометрических флуоресцентных белковых сенсоров». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

02.10.2024

15. ЛЬВОВ Кирилл Вячеславович «Динамика носителей заряда и генерация когерентного излучения фемтосекундными лазерными полями в газовых и конденсированных средах». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

16. 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

17. НОВИКОВ Илья Алексеевич «Нестационарная магнитооптическая и терагерцовая спектроскопия одномерных плазменных кристаллов». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

27.11.2024

18. РЫЖИКОВ Платон Сергеевич «Энергия, импульс и угловой момент электромагнитного поля в средах с нелокальным нелинейным оптическим откликом». 1.3.19 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

25.12.2024

19. ФЕДОТОВ Андрей Борисович «Спектрально-временные преобразования лазерных импульсов в микроструктурированных световодах для нелинейно-оптической спектроскопии». 1.3.19 - Лазерная физика. Докторская 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.
Кашикарв Павел Константинович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Шапаева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н., доц.

21.03.2024

20. КОЛЧИН Александр Валерьевич «Структурные, оптические и электрофизические свойства фазопеременных пленок Ge₂Sb₂Te₅, облученных фемтосекундными лазерными импульсами». 1.3.11 - Физика полупроводников. Кандидатская диссертация.

16.05.2024

21. БУХТЕЕВ Кирилл Юрьевич «Квазидвумерные антиферромагнетики на базе Mn₂⁺ (S=5/2)». 1.3.10 - Физика низких температур. Кандидатская диссертация.

22. ВАВИЛОВА Евгения Леонидовна «Взаимодействие низкоразмерности, магнитной фрустрации и дефектов в квантовых спиновых магнетиках, исследованное методом ядерного магнитного резонанса». 1.3.12. Физика магнитных явлений. Докторская диссертация.

20.06.2024

23. 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.

24. КОМЛЕВ Алексей Степанович «Исследование магнитооптических и магнитных свойств наноразмерных структур на основе аморфных сплавов и металлов, распределенных в диэлектрических и полупроводниковых матрицах». 1.3.12 - Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

07.11.2024

25. САИТОВ Шамиль Рашитович «Неравновесные электронные процессы в органических полупроводниковых композиционных материалах». 1.3.11 – Физика полупроводников. Кандидатская диссертация.

19.12.2024

26. РАГАНЯН Григорий Вартапович «Низкоразмерный магнетизм в треугольных решетках в теллуратах и антимонатах переходных металлов». 1.3.10 - Физика низких температур. Кандидатская диссертация.

27. ГАРШИН Владимир Валентинович «Исследование магнитооптических и магнитных свойств наноразмерных структур на основе аморфных сплавов и металлов, распределенных в диэлектрических и полупроводниковых матрицах». 1.3.12 - Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

28. МУРЗИН Дмитрий Валерьевич «Резонансный экваториальный эффект Керра в магнитоплазменных кристаллах на основе пермаллоя». 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.

23.05.2024

29. АГАФОНОВ Александр Александрович «Линейные и нелинейные эффекты при распространении упругих волн в твердотельных клиньях». 1.3.7 – Акустика. Кандидатская диссертация.

30. КИСЕЛЕВ Максим Дмитриевич «Моделирование нелинейных и сверхбыстрых ионизационных процессов в атомах в мягком рентгеновском и экстремальном ультрафиолетовом диапазоне». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

20.06.2024

31. СОКОЛОВСКАЯ Ольга Игоревна «Влияние упругого рассеяния света на эффективность поглощения и комбинационного рассеяния света в средах с неоднородностями субмикронного размера». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

32. БАЛЫБИН Степан Николаевич «Динамика взаимодействия и перепутывание атомных систем с квантовыми электромагнитными полями». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

10.10.2024

33. ГЛАЗУНОВ Павел Сергеевич «Распространение электромагнитных волн в плоскостных средах с неоднородными металлическими плёнками». 1.3.4 – Радиофизика. Кандидатская диссертация.

34. ПОПОВА Мария Михайловна «Когерентный контроль при ионизации атомов электромагнитными полями кратных частот». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

17.10.2024

35. 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.

17.12.2024

36. КУЛИКОВА Дарья Павловна «Газохромные эффекты в наноструктурах на основе оксидов переходных металлов и металлического катализатора в водородосодержащей атмосфере». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

37. ЗАХАРОВ Роман Викторович «Управление свойствами и корреляциями фотонов неклассического сжатого света». 1.3.6 – Оптика. Кандидатская диссертация.

23.12.2024

38. КВАШЕННИКОВА Анастасия Валерьевна «Численное моделирование генерации волны разностной частоты в трёхмерных ультразвуковых пучках в условиях сильного проявления нелинейности среды». 1.3.7 – Акустика. Кандидатская диссертация.

МГУ.013.7 (МГУ.01.12)

Председатель – Федянин Андрей Анатольевич, д.ф.-м.н., проф., проф. РАН

Зам. председателя – Вятчанин Сергей Петрович, д.ф.-м.н., проф.

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.

05.12.2024

39. ЛОГУНОВ Александр Александрович «Пульсирующий поперечно-продольный разряд в высокоскоростных потоках воздуха». 1.3.9 - Физика плазмы. Кандидатская диссертация.

40. ПАВЛОВ Владислав Игоревич «Тепловые и термодинамические эффекты в высокочастотных оптических микрорезонаторах». 1.3.2 - Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатская диссертация.

26.12.2024

41. КОРЕНЕВ Павел Сергеевич «Динамические модели для магнитного управления формой и положением плазмы в токамаках Глобус-М2 и ИГНИТОР». 1.3.9 - Физика плазмы. Кандидатская диссертация.

МГУ.016.3 (МГУ.01.15)

Председатель – Носов Михаил Александрович, д.ф.-м.н., проф., проф. РАН

Зам. председателя – Михайлов Валентин Олегович, д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН

Смирнов Владимир Борисович, д.ф.-м.н., доц.

Уч. секретарь – Колесов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

18.04.2024

42. ВОРОТНИКОВ Дмитрий Игоревич «Процессы переноса, обусловленные инерционно-гравитационными внутренними волнами». 1.6.17 – Океанология. Кандидатская диссертация.

43. ЕГОРОВА Виктория Михайловна «Вихревая динамика над неосимметричной топографией дна во вращающейся стратифицированной жидкости (в приложении к Кипрскому вихрю)». 1.6.17 – Океанология. Кандидатская диссертация.

12.12.2024

44. ШИМЕЛЕВИЧ Михаил Ильич «Решение обратных задач геоэлектрики с применением нейронных сетей и оценкой неоднозначности». 1.6.9 – Геофизика. Докторская диссертация.



Дмитрий Дмитриевич ИВАНЕНКО

120 лет со дня рождения (29.07.1904 – 30.01.1994)

ПАРАДОКСАЛЬНЫЙ УЧЕНЫЙ

Его ученики называли его суперзвездой советской физики [1]. Он дружил со многими великими физиками, чему доказательство — автографы нобелиатов на стенах его кабинета. Но, имея открытия нобелевского масштаба, он никогда не избирался в Академию наук, хотя не многие из академиков удостоились упоминания в школьных учебниках, а вот имя Дмитрия Дмитриевича Иваненко там присутствует. Удивительно, но создатель модели атомного ядра также не участвовал в создании советского ядерного оружия.



Родился будущий физик 16 (29) июля 1904 г. в Полтаве. Его отец Дмитрий Алексеевич (1859–1943) был издателем местной газеты, мать Лидия Николаевна Слатина (1882–1927) — учительницей. В 1920 г., окончив полтавскую мужскую гимназию, юноша стал преподавать физику и математику в трудовой школе Полтавы, одновременно учился в Полтавском педагогическом институте и работал в Полтавской астрономической обсерватории. Иваненко получил в гимназии прекрасное образование, поскольку во время Первой мировой войны в Полтаву был частично эвакуирован Варшавский университет и его профессора преподавали в гимназии. В 1922 поступил в Харьковский университет, после первого курса был переведён в Петроградский университет (ниже на фото выпускники ЛГУ 1927 г. Ландау и Иваненко). Именно Петроград тогда был центром советской физики.

(1905–1988) — Альди, Виктор Амбарцумян (1908–1996) — Амбарчик, Евгения Канегиссер (1908–1986) и др. Члены компании придерживались девиза «Не быть знаменитым некрасиво!», устраивали студенческие конкурсы остроумия и проверки эрудиции и выпускали в 1926–1928 гг. ежегодный сатирический журнал «Physikalische Dummheiten» (Физические глупости).

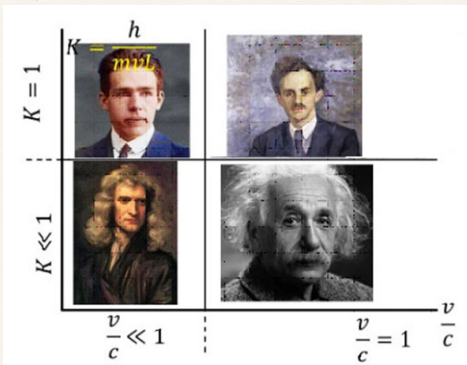
Еще студентом Иваненко написал несколько серьезных работ: в 1926 г. совместно с Гамовым вывел 5-мерное уравнение Шредингера [2], в 1927–1928 гг. в терминах антисимметричных тензоров вместе с Ландау записал уравнение Клейна – Гордона и статистику Ферми – Дирака (геометрия Иваненко – Ландау – Кэлера), в которой было предложено эквивалентное (в плоском пространстве) описание фермионов.

Со своими друзьями-студентами Дмитрий Иваненко организовал «джаз-банду» — кружок увлеченных наукой молодых людей, костяк которого составили «три мушкетера»: Георгий Гамов (1904–1968) — Джонни, Лев Ландау (1908–1968) — Дау и сам Иваненко — Димус. Позже присоединились Матвей Бронштейн (1906–1938) — Аббат Куаньяр, Андрей Ансельм

В 1928 г. у Иваненко вместе с Гамовым и Ландау в «Журнале Русского физико-химического общества» [3] вышла в свет совместная статья «Мировые постоянные и предельный переход». Молодые люди провели в ней классификацию физических теорий на основе фундаментальных констант (скорости света, гравитационной постоянной и постоянной Планка (так называемая cGh-система), в дальней-



шем эта статья, которую сами авторы считали несерьезной, вызвала интерес исследователей смелостью идеи построить единую теорию, то есть определить связи между существующими теориями или найти простые основания для сложной теории. В 2002 г. ее перепечатал журнал «Ядерная физика» (том 65 № 7 с. 1403–1405), с предисловием академика Льва Окуня. Ниже на рисунке приведена условная двумерная схема этой классификации.



Если на трех ортогональных осях отложить u/c , \hbar и G , то вершина $(0,0,0)$ отвечает ньютоновой механике, $(c,0,0)$ — релятивистской (СТО); $(0,\hbar,0)$ — нерелятивистской квантовой механике, $(c,\hbar,0)$ — квантовой теории поля; $(c,0,G)$ — общей теории относительности.

В начале 1929 г. для геометрической интерпретации уравнения Дирака Д. Д. Иваненко разрабатывает так называемую линейную геометрию, в основе которой лежит линейная метрика, т.е. интервал, а не квадрат интервала. Совместно с В. А. Фоком они записали уравнение Дирака в искривленном тяготением пространстве: «Квантовая линейная геометрия и параллельный перенос» (коэффициенты Фока – Иваненко). Нобелевский лауреат Абдус Салам назвал эту работу первой, с современной математической точки зрения, калибровочной моделью [1, с. 69].

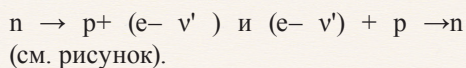
Сам Дмитрий Иваненко мог стать нобелевским лауреатом четырежды:

1. За протон-нейтронную модель ядра (статья послана в *Nature* (129, 3265, p. 798) 21 апреля 1932 г., уже через два месяца после открытия нейтрона). Предложено, что ядро состоит только из протонов и нейтронов, причем нейтрон является элементарной частицей со спином $1/2$, что устраняло так назы-

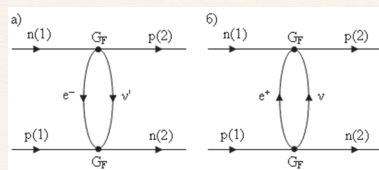
ваемую спиновую «азотную катастрофу». Спустя несколько недель (10 июня) В. Гейзенберг в *Nature* также опубликовал статью о протон-нейтронной модели ядра, причем ссылался на работу Д. Д. Иваненко. В конце года Гейзенберг стал нобелиатом, но за другие работы.

2. В том же 1932 г. вместе с Е. Н. Гапоном предложена оболочечная модель ядра, развитая потом Марией Гепперт-Майер и Гансом Йенсенем, получившими Нобелевку в 1963 г.

3. За модель обменных ядерных сил. В 1934 г. Д. Д. Иваненко и И. Е. Таммом была предложена модель ядерных сил путем обмена частицами, парой электрон – антинейтрино, по схеме:



За аналогичную работу, сделанную в 1935 г., Хидеки Юкава получил Нобелевскую премию 1949 г.



4. А также за предсказание в 1944 г. синхротронного излучения ультрарелятивистских электронов (совместно с И. Я. Померанчуком, за что был награжден Сталинской премией второй степени в 1950 г.). Нобелевскую премию за синхротронное излучение никто не получал.

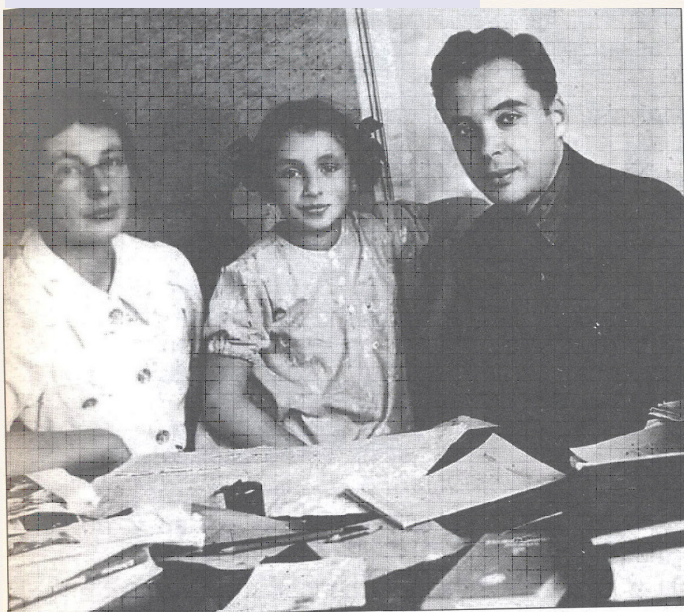
Иваненко владел основными европейскими языками (английским, немецким, французским, итальянским, испанским, польским). На международных конференциях выступал на нескольких языках. Под его редакцией вышли 27 сборников статей и книг ведущих зарубежных учёных. Переписывался со многими нобелевскими лауреатами, семь из них (П. Дирак, Х. Юкава, Н. Бор, С. Тинг, М. Гелл-Манн, И. Пригожин и Г. т'Хуфт) на стенах его кабинета 4–59 на физфаке МГУ оставили свои изречения мелом.

1932 г. был удачным для ядерной физики (Annus mirabilis — год чудес). В тот год вдвое увеличилось число

элементарных частиц (были открыты нейтрон и позитрон), в Кембридже и Харькове расщепили ядро лития, супруги Кюри открыли искусственную радиоактивность, во многих странах началось усиленное изучение ядра. 24–30 сентября 1933 г. в Ленинграде состоялась 1-я Всесоюзная ядерная конференция, собравшая 170 ученых-ядерщиков со всего мира. Хотя в СССР еще больше года будет карточная система (последствия коллективизации), иностранных ученых принимали с размахом. «Интурист» выделил 4 автомобиля «Линкольн» и места в лучших ленинградских гостиницах. В «Астории» жили В. Вайскопф и Ф. Разетти, в «Европейской» — Ф. Жолио, Ф. Перрен, П. Дирак. С докладом «Модель ядра» на конференции выступил Д. Д. Иваненко. [6, с. 51–84]. Но на 2-й ядерной конференции (1937 г., в Москве) и 3-й (1938 г., опять в Ленинграде) ему присутствовать уже не удастся.

После убийства Кирова в декабре 1934 г. в Ленинграде начались репрессии. 27 февраля 1935 г. Иваненко был арестован, ему вменялось участие в контрреволюционной группе, возглавлявшейся «невозвращенцем Гамовым», и 4 марта он был осужден на три года с полной конфискацией имущества и этапирован в Карлаг. Была выслана в Оренбург и его 25-летняя жена Ксения, внучка художника-передвижника А. И. Корзухина (1835–1894), что в дальнейшем привело супругов к разводу. Их 3-летняя дочь Марьяна осталась в Ленинграде у родственников. По воспоминаниям Дмитрия Дмитриевича, ежедневно из вагонов этапа выносили трупы убитых уголовниками заключенных [1, с. 106]. 30 декабря того же года лагерь был заменен ссылкой в Томск до конца срока (сказалось ходатайство Вавилова, Френкеля, Иоффе). Реабилитирован Иваненко был только в 1989 г.

Томск с 1888 года был университетским городом. Там ссыльный познакомился с молодым кандидатом наук А. А. Соколовым (у самого Иваненко ученой степени тогда еще не было), в доме которого на Никитинской улице он и жил до 1939 г. Из 300 научных работ Иваненко сорок одна сделана совместно с Соколовым (например, работа 1938 г. — теория ливней космических лучей). Вынужденный дважды в сутки



Иваненко Д.Д. в кругу семьи, с женой Ксенией Федоровной и дочерью Марьяной

отмечаться в милиции, он работал старшим научным сотрудником Сибирского ФТИ, также вел семинар по технике перевода для аспирантов и соискателей, редактировал «Труды СФТИ». В 1937/38 учебном году по совместительству работал в Томском педагогическом институте. По окончании ссылки в 1940 г. переехал в Киев, к родственникам. 25 июня 1940 года в Москве в ФИАНе состоялась защита докторской диссертации Иваненко «Основы теории ядерных сил».

К началу войны учёный работал зав. кафедрой физики Киевского университета. Уже 19 сентября Киев был захвачен немцами. Месяцем ранее Иваненко эвакуировался с семьей в Свердловск, откуда в 1943 г. переехал в Москву, куда возвратился из эвакуации МГУ. На физфаке МГУ он и устроился профессором на полставки, здесь положил начало знаменитому теоретическому семинару Иваненко, проводимому до середины 80-х по понедельникам. Но с января 1944 г. основным местом его работы было заведование кафедрой физики Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

В мае 1945 под именем «полковника Андреева» ученому пришлось совершить инспекцию немецкой ядерной науки. Хороший лингвист, он должен был уговаривать немецких ядерщиков переезжать в СССР и отбирал литературу для советских библиотек. В Берлине встречался с Х. Гейгером,

Ф. Хундом и другими видными немецкими учеными, ночевал в кабинете Гейзенберга в институте физики в Даалеме, южном пригороде Берлина. Самого Гейзенберга 3 мая на его даче в Урфельде арестовали американцы.

В сельхозакадемии Иваненко разворачивает биофизические исследования с применением изотопов. Работу в интересах ядерного проекта поддерживает И. В. Курчатов. Но в августе

1948 г., после сессии ВАСХНИЛ по биологии, уничтожившей советскую генетику, Тимирязевку существенно почистили, уволив даже ректора В. С. Немчинова, уволили и Иваненко. Однако в 1948 г. деканом физфака МГУ стал А. А. Соколов, принявший своего томского соседа на полную ставку профессора кафедры теоретической физики.

Отметим проходившую в начале 1949 г. подготовку к проведению «всесоюзного идеологического» совещания по физике, основной задачей которого объявлялось «полное выкорчевывание космополитизма, являющегося теоретической основой всех идеологических извращений в отечественной физике». Подготовка совещания проходила под эгидой Академии наук и Министерства образования. С 30 декабря 1948 по 16 марта 1949 г. состоялось 42 подготовительных заседания Оргкомитета совещания, на которых выступило 106 докладчиков. 19 января выступал Иваненко. (Стенограмма выступления дана в [1, с. 296–308]). По его словам, работам российских ученых и его лично уделялось меньше внимания, чем иностранным.

Вот цитата из книги д. ф.-м.н. А.С. Сониной «Группа физиков МГУ — профессора А.А. Власов, Д.Д. Иваненко, Я.П. Терлецкий, А. К. Тимирязев, В. Н. Кессених, Н.С. Акулов, А.С. Предводителей, доценты В.Ф. Ноздрев, Б.И. Спасский, М.Д. Ка-

расев, профессор МВТУ К.А. Путилов и другие выступили с яростными обвинениями в космополитизме физиков АН СССР академиков А.Ф. Иоффе, В.А. Фока, М.А. Леонтовича, П.П. Капицы, покойных Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, членов-корреспондентов АН СССР И.Е. Тамма, Я.И. Френкеля, профессоров В.Л. Гинзбурга, М.А. Маркова и других. Однако эти наветы были весьма однобоки: ученых обвиняли в основном в «замалчивании», «затираании», «охаивании», «бойкоте» работ сотрудников физфака МГУ.

Совещание планировалось провести 21 марта 1949 г. в Московском доме ученых (Кропоткинская, 16). Но оно не состоялось. По словам акад. А.П. Александрова, «физики отбились от своей лысенковщины атомной бомбой». 14 августа 1954 г. Соколова сменил В.С. Фурсов, соратник И.В. Курчатова по атомному проекту. Но Дмитрий Дмитриевич Иваненко по-прежнему работал на кафедре теоретической физики, вел семинар, готовил учеников, писал статьи. Он не преклонялся перед авторитетами, считая себя самого большим ученым. На Международной конференции, посвященной 400-летию Галилея, в 1964 г. в Италии, на философском симпозиуме в Пизе, Иваненко поругался с самим Фейнманом, не разделявшим его мнения.

Иваненко разрабатывает в 1956 г. теорию гиперядер (т.е. ядер, содержащих гипероны наряду с нуклонами) С 1961 помимо теоретического семинара (на который приезжали многие мировые знаменитости: Нильс и Оге Бор, П. Дирак, Х. Юкава, Ю. Швингер, А. Салам, И. Пригожин, С. Тинг, П. Йордан, Т. Редже, Дж. Уилер, Р. Пенроуз и др.), на кафедре теорфизики проводились гравитационные семинары (по четвергам), а также Дмитрий Дмитриевич был инициатором проведения первой Гравитационной конференции в Москве, организатором Советской гравитационной комиссии. Совместно с Д.Ф. Курдгелаидзе предсказал в 1964 г. деконфайнмент (т.е. получение свободных кварков).

Честолюбивый гений был очень известен, но обделен правительственными наградами. Единственное поощрение — орден Трудового Красного

Знамени — был вручен к 225-летию университета. Звания «Заслуженный профессор Московского университета» Дмитрий Дмитриевич Иваненко был удостоен только в 1994 г, за несколько месяцев до смерти.

1. Г. А. Сараданшвили. «Дмитрий Иваненко — суперзвезда советской физики», URSS, 2009.

2. Gamov G., Iwanenko D. Zur wellentheorie der materie // Zeitschrift für Physik. – 1926. – Bd. 39. – S. 865–868.

3. Гамов Г. А., Иваненко Д. Д., Ландау Л. Д. Мировые постоянные и предельный переход // Журнал русского физ.-хим. общества. Часть физическая. – 1928. Т. 60, с. 13–17.

4. Сонин А. С. «Физический идеализм. Драматический путь внедрения революционных идей физики начала XX века» М, Ленанд, 2017

5. Соколова В.А. «Воспоминания о великом русском физике Д.Д. Иваненко», Псков изд. «Псковское возрождение», 2010.

6. «Атомное ядро» Сб. докладов 1 Всесоюзной ядерной конференции М-Л, ГТТН, 1934.

Лукашик В. Г. (По материалам "Советский физик" № 5(172) 2024 г.)

ПРОФЕССОР Д. Д. ИВАНЕНКО И ЕГО ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ



В июле этого года исполнилось 120 лет со дня рождения и 30 лет со дня кончины выдающегося отечественного физика-теоретика профессора физического факультета МГУ Дмитрия Дмитриевича Иваненко (1904–1994), внесшего существенный вклад в развитие мировых исследований в области оснований фундаментальной теоретической физики. В нашей стране тогда трудно было назвать другого физика-теоретика, который бы столь глубоко и широко разбирался в проблематике и в состоянии мировых исследований в этой области.

Еще будучи студентом Петроградского (Ленинградского) университета, Иваненко совместно со своими однокурсниками приступили к научной деятельности в области фундаментальной физики. В 1924 г. Иваненко и Гамов организовали теоретический семинар, в работе которого участвовали как однокурсники, так и студенты младших курсов. Именно с тех пор у Иваненко возникла убежденность в важности (даже необходимости) научных семинаров.

Первые научные работы Иваненко с коллегами были посвящены принципиальным проблемам фундаментальной физики. В первых работах участников «джаз-банды» Гамова, Иваненко и Ландау обсуждалась роль

трех мировых констант в физике, а также рассматривались проблемы пятимерия. В одной из первых работ, написанной совместно с Ландау, рассматривался вывод уравнения Клейна – Гордона без привлечения пятой координаты. В статье, написанной с В.А. Амбарцумяном, была предпринята попытка построения теории дискретного пространства – времени. Важной оказалась работа, написанная Иваненко в соавторстве со своим учителем В. А. Фоком, по описанию спинов в искривленном пространстве–времени.

В самом начале 30-х годов Иваненко был сделан решающий вклад в открытие протонно-нейтронного строения атомных ядер. Это было сделано в его короткой заметке объемом менее страницы, опубликованной в зарубежном журнале. Это была первая публикация о протонно-нейтронной структуре ядер.

Ряд важных результатов был получен Д.Д. Иваненко в его дальнейшей научной деятельности в 40-х годах. Среди них следует назвать работу по квантовой трансмутации квантов гравитационного поля и элементарных

частиц, выполненную совместно с А.А. Соколовым, их совместную работу по синхротронному излучению и ряд других. Особо следует отметить две книги, написанные Д. Д. Иваненко с А. А. Соколовым: «Классическая теория поля» и «Квантовая теория поля». В дальнейшем Д. Д. Иваненко много внимания уделял попыткам построения единой нелинейной теории поля.

В 60-е годы Д.Д. Иваненко был страстным приверженцем построения единой всеобъемлющей физической картины мира. Тогда он писал: «Таким образом, мы стоим нынче перед задачей построения единой теории, учитывающей с самого начала как атомно-квантовые, так и гравитационные и космологические обстоятельства: речь идет о своего рода четвертой программе единой картины мира».

Отметим, что к первой программе Иваненко относил классическую механическую картину мира (XVII – XIX вв.), ко второй программе он относил электромагнитную релятивистскую картину мира конца XIX – начала XX в. Третьей программой Иваненко считал геометрическую единую теорию (20-е годы XX в.).

Иваненко заявлял, что «Максимально объединенная теория, или картина мира, должна стараться не только дать единую теорию элементарных частиц и их возбужденных состояний – резонансов (из которых строятся ядра, атомы, молекулы, затем планеты, обычные звезды и др.), но также включить гравитацию; затем установить наиболее тесную связь с пространством и временем».

Неоценим вклад Д.Д. Иваненко в организацию и развитие гравитационных исследований в нашей стране, В связи с этим следует отметить, что в 40–50-е гг. в нашей стране господствовало отрицательное отношение к общей теории относительности, и Д. Д. Иваненко много сделал для возрождения понимания важности ОТО. Под его началом была проведена Первая советская гравитационная конференция на физическом факультете МГУ, а затем создана секция гравитации Научно-технического совета Минвуза СССР, призванная координи-

ровать развитие исследований в нашей стране в области общей теории относительности и гравитации.

В ряде своих произведений Иваненко подробно описывал отношения со своими видными коллегами и современниками: с Дж. Гамовым, Л.Д. Ландау, Я.И. Френкелем, В.А. Фоком и многими другими. Не все происходило гладко, и далеко не сразу положительно признавались важные результаты в науке, в частности результаты самого Иваненко. Так, Иваненко писал, что «Ландау считал мою гипотезу протон-нейтронной модели ядра "филологией", т. е. пустой болтовней, хотя сам и обратил внимание на роль нейтронов в звездах». Даже в деле возрождения интереса к гравитации не все коллеги поддерживали усилия Иваненко. Он писал: «В. А. Фок возражал против якобы "преждевременного" созыва Первой советской гравитационной конференции, в конце концов, состоявшейся в 1961 г. Он отказался войти в Оргкомитет и участвовать в конференции».

С 1944 г. на физическом факультете МГУ под руководством Д.Д. Иваненко начал действовать семинар теоретической физики, который фактически продолжил работу прежнего семинара под руководством Я. И. Френкеля. Этот семинар Д. Д. Иваненко стал центром обсуждения проблем фундаментальной физики в нашей стране.

Семинар был широко известен во всем мировом физическом сообществе. Кроме известных российских ученых на семинаре Иваненко выступали известные зарубежные классики теоретической физики. В 1956 г. на семинаре Иваненко выступал П.А.М. Дирак, который после своего выступления написал на стене кафедрального кабинета: «Физический закон должен иметь математическое изящество». Затем уже стало традицией предлагать великим докладчикам на семинаре сделать на стене кафедры надписи ключевого фундаментального характера. Так, в 1959 г. на семинаре Иваненко выступал Х. Юкава, который написал на стене в аудитории 4–59 слова: «Природа проста по своей сущности». В 1961 г. Нильс Бор на-

писал метафизически важную фразу: «Противоположности не противостоят, а дополняют друг друга». А в 1971 г. на семинаре выступал Дж. Уилер, который после выступления написал под словами Н. Бора такие слова: «*Не может быть теории элементарных частиц, которая имеет дело лишь с частицами. Студент Н. Бора. 15 июля 1971. Дж. Уилер*». При этом из беседы стало ясно, что Уилер имел в виду необходимость учета принципа Маха (учета влияния всей окружающей Вселенной). Ныне эти надписи, в том числе и сделанные известными физиками после смерти Иваненко, защищены рамками со стеклом.

В этом году исполняется 50 лет со дня основания семинара Д. Д. Иваненко. После его кончины работа его еженедельного семинара продолжается под руководством автора этой статьи, долгое время при жизни Иваненко бывшего секретарем его семинара. Ныне этот семинар, работающий по четвергам в той же аудитории 4–58, называется «Основания фундаментальной физики». Под тем же названием нами проводятся ежегодные Всероссийские конференции.

Отмечу, что наш семинар, проводимый совместно с профессором Н. В. Мицкевичем (другим учеником Иваненко), был основан в 1972 г. В последние годы жизни Иваненко мы иногда проводили совместные заседания наших семинаров. Особо отмечу совместное проведение семинара, посвященное 150-летней годовщине со дня рождения Эрнста Маха. Мы с Иваненко заранее договорились провести этот семинар в дату рождения Маха, то есть 18 февраля 1988 г. в аудитории 4–58 физического факультета МГУ. На это заседание пришло много студентов и сотрудников факультета. За столами сидело по 3–4 человека. Многие стояли в проходах и у открытой двери. Первое выступление сделал сам Иваненко, сидя за столом и разложив перед собой кипы книг. Говорил он не менее полутора часов. Я старался как можно подробнее законспектировать его выступление. Этот конспект опубликован в четвертой книге моей серии «Между физикой и метафизикой». Приведу ряд выдержек из его выступления.

В начальной части выступления Дмитрий Дмитриевич упомянул о том, что Гернек, много занимавшийся изучением творчества Маха, «нашел письмо Эйнштейна, где он подписался: <Ваш ученик, Эйнштейн>. Известно, что Эйнштейн мало кого цитировал. То, что он назвал себя учеником Маха, очень характерно. Больше он никого не называл своими учителями. Эйнштейн написал некролог о Махе. Неоднократно он писал, что следует идеям Маха».

Иваненко отметил три важных фактора в деятельности Маха: как философа, как физика-экспериментатора и как физика-мыслителя. О последнем он сказал: «Третье в деятельности Маха — и это самое главное для нас, Мах сыграл важную роль в понимании гравитации. Здесь он занимает важное место в истории. Можно сказать, Мах гравитационист. Во второй половине XIX в. Мах написал книгу <Механика>, где рассмотрел историю развития механики. (...) Он рассматривал систему мира в целом. Мах решил заново продумать такие понятия, как инерция, гравитационная и инертная массы, пространство, движение, время и т.д. И настолько сильно и мужественно продумал эти понятия, произвел их глубокий анализ! При этом, невзирая на авторитет Ньютона и его механику! Это было сделано очень сильно. Нужно было бы сейчас аналогичным образом продумать основы квантовой механики. Найдется ли кто сейчас это сделать!? Дирак приближался к этому... Эта работа Маха произвела на всех большое впечатление. Его стали критиковать, обсуждать... Мах Мыслитель! Он выдвинул положение: инерция индуцируется, зависит от других масс. По этому положению было много возражений».

Далее в связи с тем, что Эйнштейн после создания ОТО фактически отрекся от идей Маха, Иваненко поставил вопрос: «Как же обстоит дело на сегодняшний день? ОТО сейчас разработанная теория. Она предсказывает новые эффекты. Как же быть с Махом? Сказать, что он ошибался? Все оказалось много сложнее. Если посмотреть современную литературу, то можно увидеть массу ссылок на Маха. Продолжаются дискуссии. Если в идеях нет смысла, то их авторы обычно забываются. Здесь же дело обстоит иначе. Факт налицо: идеи Маха об относительности движения,

ненаблюдаемости пространства являются вполне современными. Вопрос об инерции также обсуждается».

После этого Иваненко поставил второй вопрос: «Что думают о Махе в моей группе? На стороне мы можем говорить одно, а в своей группе — другое. Что же мы на самом деле думаем? Кое-что об этом я уже писал (в книге <Гравитация> и в др.). Мах не просто продвинул вопрос об инерции, его идеи сыграли свою роль. Идеи Маха нужно расширить. Не только инерция, но и другие свойства тел: квантовые, цвет, красота и т.д., — тоже должны быть связаны с космологическими свойствами. Мы выдвигаем тезис универсальной махизации в физике. Это в духе единой теории. (...) Мы думаем, что возможна универсальная космологизация или, точнее, махизация. Для построения единой теории нужно связать элементарные частицы с космологией. Мы, наша группа, являемся умеренными махианцами». На этом Дмитрий Дмитриевич закончил свое выступление.

К этой научной части добавлю, что в своем выступлении Иваненко затронул также актуальный для нашего времени вопрос социального порядка. Он упомянул, что в начале Первой мировой войны в Европе поднялась шовинистическая волна. «93 немецких ученых подписали обращение к ученым всего мира и ко всему человечеству. В обращении говорилось о реакционности русского правительства и утверждалось, что Германия ведет справедливую войну. Из известных немецких ученых обращение не подписали Эйнштейн и академик Николаи. Мах тоже не подписал обращение. Эйнштейн это очень ценил. Мах осуждал позицию социал-демократии».

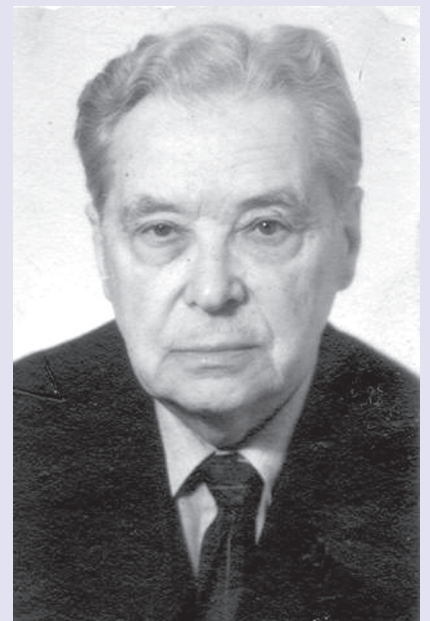
Завершить данную статью хочу упоминанием о специальном заседании Ученого совета физического факультета МГУ, посвященного 90-летию юбилею профессора Д. Д. Иваненко. Оно состоялось 20 октября 1994 г. в Центральной физической аудитории.

Непосредственно в день заседания его жена Римма Антоновна по телефону мне высказывала опасения, что Дмитрий Дмитриевич не сможет прийти: он очень разволновался, и у него стали отказывать ноги. Но он все-таки

пришел. Его провели через физический кабинет в Центральную физическую аудиторию прямо к месту в президиуме у доски. За последние месяцы он сильно сдал и ходил с палочкой. Лицо его было пергаментного цвета — лицо глубокого старца. Голос стал совсем глухим.

В первой части выступления он сказал: «Я хотел бы обратить внимание на некоторые эпизоды, которые мне посчастливилось переживать, видаться с рядом крупнейших современных ученых, начиная с де Бройля, Гейзенберга, Макса Борна, Йордана, основателей современной квантовой механики. Наш семинар и мой кабинет, в частности, посещали крупнейшие люди: Дирак, Юкава, Нильс Бор. Скажу, что мне в голову пришло подражать одному из своих учителей — Эренфесту. Все считали себя его учениками, настолько большое влияние Эренфест на всех производил. Стоило с ним один раз повидаться, и Вы становились его учеником, потому что для Эренфеста физика была жизнь, все остальное в жизни: спорт, какие-то политические события, все это были некоторые приятные или неприятные эпизоды, а самое важное в жизни — это есть физика, считал Эренфест. Не будем спорить, но некоторая доля истины в этом есть для присутствующих здесь».

Вот после того, как Швингер, Лихнерович, и целый ряд крупных людей делали доклады, мне пришло в голову, несколько преувеличивая, несколько идя дальше моего дорогого забываемого учителя Эренфеста, о котором я



пару слов скажу сейчас, просить после доклада делать подписи на стене и сохранять эти надписи, надеюсь, навсегда. Эренфест тоже предлагал своим докладчикам писать просто автографы. У него в Лейдене есть надписи де Бройля, Эйнштейна и других. Я пошел, повторяю, несколько дальше и просил кое-что написать, подчеркну, одну фразу». Далее Иваненко подробно рассказал и встречах на конференциях с великими физиками.

Особое внимание он уделил своему вкладу в понимание структуры атомных ядер. Он отметил, что после его статьи об этом «Был доклад Гейзенберга очень интересный. Гейзенберг сразу же поддержал мою протонно-нейтронную модель, при помощи которой я решил трудности с непониманием строения ядер, решил тем, что электронов в ядре просто нет — не то, что они теряют спин, а их просто нет там. Нужно сказать, что никто не верил этому. Ландау со своей остротой говорил, что это болтовня, это философия и т.д. Но оказалось, что эта болтовня действительно реальная вещь. Гейзенберг немедленно поддержал меня. Я говорю немедленно, поскольку это можно проследить по датам поступления работ в печать. Примерно через неделю появилась работа

по поводу моей публикации, очень короткой и сжатой, поскольку никто не верил».

О своем семинаре Д. Д. Иваненко сказал: «Сейчас я имею большую честь видеть многих коллег, с которыми мы здесь немедленно, по предложению Френкеля, устроили семинар, о котором так хорошо говорил Владимир Ильич (декан во вступительном слове, — Ю. В.). Но нужно сказать, что то, что было сказано о семинаре, — это вещь действительно все-таки исключительная. Семинар, который непрерывно работает 50 лет, но в разных вариантах. Семинар, на котором было предсказано синхротронное излучение с Померанчуком, с которым мы очень подружились. Кстати, я его хотел пригласить сюда в Московский университет после того, как Померанчук почувствовал, что уже хватит быть учеником Ландау, пора образовать свою школу. Но, к сожалению, этого не получилось по совокупности причин. Семинар, на котором докладывал Арцимович, докладывал Френкель, докладывали, конечно, все петербуржцы, Скобельцын и т. д.»

В заключение своего выступления Дмитрий Дмитриевич сказал: «Завершаю свое выступление последней

фразой. Я упомянул вначале слово "счастье". У меня было счастье видеть многих известных людей. Но вот вопрос, который всех интересует: счастливы ли были мои годы в Московском университете? Я вспоминаю замечательное определение счастья у Платона. Платон сказал (несколько изменяю его формулировку): "Боги создали меня человеком, (так сказать, мужчиной) и дали возможность жить в Афинах во времена Перикла". Хорошо сказал. Это релятивистское определение: где жить — в Афинах, когда жить — во времена Перикла и внутреннее свойство — быть человеком. Я поменяю: Великое счастье это то, что боги нас создали физиками, дали возможность жить во времена создания квантовой механики, дальнейших обобщений теории относительности и построения сверхновой квантовой механики, а работать в Московском университете, что является, конечно, большой честью» [6, С. 261].

*Профессор кафедры теоретической физики
Ю. С. Владимиров
ученик профессора Д. Д. Иваненко*

*(По материалам "Советский физик"
№ 5(172) 2024 г.)*

«ЭТО УЖЕ СЛИШКОМ!»

Я позволил себе озаглавить статью о моем многолетнем наставнике профессоре физического факультета МГУ Дмитрие Дмитриевиче Иваненко несколько необычно не из желания оригинальничать, а с тем, чтобы подчеркнуть уже в названии и отразить то, что это будут воспоминания и размышления о необычном человеке, с необычной судьбой сделавшего такой вклад в науку и организацию науки в прошлом столетии, который будет оцениваться еще в течении долгого времени.

Фраза, ставшая заголовком данной статьи, взята не с потолка — это высказывание из гороскопа и история её появления следующая. В период с начала восьмидесятых годов до нача-

ла девяностых прошлого века в моде были различные гороскопы, в которых исходя из даты рождения человека, ему давалась некоторая характеристика. Дмитрий Дмитриевич как православный, крещеный и до конца жизни верующий человек при попытках в его присутствии обсуждать те или иные сведения из гороскопов интеллигентно посмеивался и просил не заниматься ерундой характерным для него жестом — как бы слегка защищаясь поднятой правой рукой — останавливал людей поднимавших такие вопросы в его присутствии. Но одну шутку на эту тему он воспринял со смехом и некоторым одобрением. Произошло это следующим образом.



Традиционным в команде Дмитрия Дмитриевича было празднование Нового года с участниками его семинара в один из понедельников или четвергов последней недели уходящего года. Это называлось — празднованием «перенормированного Нового года».

Мы с моим (к сожалению уже ушедшим из жизни) другом Геней Сарданашили выпускали новогодние стенгазеты к этому событию и накануне наступления 1985 г. в такой стенгазете привели шуточные характеристики на людей (участников семинара профессора Иваненко) взятые из различных гороскопов. Характеристика на персону появившуюся на свет в год Дракона в созвездии Льва (дата рождения Иваненко — 1904 год — год Дракона, 29 июля — созвездие Льва) во всех гороскопах — китайском, японском, корейском и вьетнамском была одна и та же — «Ну это уже слишком!».

Дмитрий Дмитриевич после унес эту стенгазету себе домой.

Наверное это выражающее изумление, недоумение и восхищение утверждение гороскопа, можно считать самым уместным в оценке личности такого масштаба как Иваненко Дмитрий Дмитриевич.

Фамилию физика Иваненко я впервые встретил в третьем томе школьного учебника по физике (автор Перышкин) и, прочитав «модель ядра Иваненко – Гейзенберга», первоначально отнес его к числу «птеродактилей» сродни Фарадею, Максвеллу и прочим. Как оказалось, впоследствии, я ошибся только во времени, но не в оценке его вклада в науку, поскольку его имя упоминалось рядом с именами Бора и Резерфорда, внесшими уже широко известный вклад в изучение строения ядра и квантовую теорию.

Мне хочется избежать стандартных и протокольных фраз в своих воспоминаниях и посему я, не говоря о достижениях и открытиях Дмитрия Дмитриевича, о его организационной деятельности, о его выполнении в 1945 г. специального задания правительства нашей СССР, прослежу ретроспективу лишь нескольких из его идей и работ.

Начну с работы с Гамовым и Ландау «Мировые постоянные и предельный переход», напечатанной в 1928 г. в Журнале русского физико-химического общества. Статья посвящена анализу способов построения системы единиц в физике и обсуждению в этой связи некоторого эталона для способа выбора системы единиц. Авторы устанавливают связь между числом независимых фундаментальных констант, которые должны существовать для описания физических законов, и числом измерений, закладываемых в основу системы единиц. Здесь я впервые прочел об обсуждении системы TLM (время, расстояние, масса). В дальнейшем, просматривая научную литературу, я натолкнулся на книгу Г. Хантли «Анализ размерностей» (изд. «Мир», Москва 1970 г.), основной целью которой провозглашалось обучение технике применения анализа размерностей для решения практических задач. В предисловии к книге я обнаружил утверждение о том, что анализ размерностей позволяет получить решение физических задач, если разность между числом основных переменных (в действительности мировых постоянных!) и числом основных измеряемых единиц равна единице. Цитируются в предисловии работы в основном 1938 г.

Мне хотелось бы привлечь внимание к тому факту, что авторство утверждения о связи измеряемых величин и числа фундаментальных констант (скорость света, постоянная Планка и др.) смело можно отнести к достижениям в вышеприведенной статье трех авторов.

В работах советского авиаконструктора Р. О. ди Бартини (им впервые в начале 50-х гг. прошлого столетия был спроектирован, построен и прошел заводские испытания самолет вертикального взлета), написанных как им самим, так и в соавторстве с П.Г. Кузнецовым, была установлена связь геометрий и физических законов, на основе так называемой [LT] — таблицы (см. например статью Р. О. ди Бартини, П. Г. Кузнецов «О множественности геометрий и множественности физик» в сборнике «Проблемы и особенности современной научной методологии», из-во «Ураль-

ского научного центра АН СССР», 1979, с. 55–64), которая берет начало в статье Гамова, Иваненко и Ландау.

Эта идея — идея тесной связи физики, имеющей дело с наблюдаемыми величинами, фундаментальных констант и системы измерений, как мы видим — была идеей пролонгированного действия и значения. По сегодняшний день я встречаю в литературе статьи и книги, направленные на обсуждение этих идей и алгоритмов изучения тех или иных явлений, в том числе в теории подобию.

Я хочу, прежде всего, обратить внимание на целый ряд публикаций академика Окуня Л.Б. (УФН т. 34 (1991), с. 318; M. J. Duff, L. B. Okun and G. Vtntziano, «Triologue onthee number of fundamental constants», JHEP n. 03, (2002), 023 и др.), в которых он ссылается на работу Гамова – Иваненко – Ландау, продолжает её и активно пропагандирует как некоторый метод анализа не только сложившихся взглядов на современную структуру теорий фундаментальных взаимодействий, но и делает выводы о направлениях развития физики единой теории фундаментальных физических взаимодействий.

Другой областью исследований, которая, смело можно сказать, стартовала с работы Д. Д. Иваненко и Л. Д. Ландау 1928 г., была работа «Zur Theorie des magnetischen Electrons. I.», напечатанная в журнале Zeitschrift fur Physik, Bd. 48, s. 340–348, 1928, посвященная описанию динамики электрона (вообще-то динамике частиц полуцелого спина) с помощью уравнения, написанного на языке антисимметричных тензорных полей. Эта работа вышла практически одновременно со знаменитой работой П. А. М. Дирака (работа Дирака на месяц раньше), в которой впервые было написано спинорное уравнение. По воспоминаниям самого профессора Иваненко их совместная с Ландау работа была только первой частью задуманного цикла исследований, в которой было предсказан магнитный момент, равный половине, но работа Дирака, в которой предсказывался полный спектр атома водорода, отодвинула актуальность такого исследования на дальний план,

работа не была продолжена. Я смело могу утверждать, что и сам Дмитрий Дмитриевич надолго забыл о ней.

История развития этого направления напоминает динамику качелей. Дело в том, что в шестидесятых годах немецкий математик Е. Кэлер смог записать спинорное уравнение Дирака в терминах внешних дифференциальных форм («Innerer und aussere Differential kalkül» Abh. Deutsch. Acad. Wiss. Berlin (Math.-Phys., 4, 1960). На тот момент эта работа имела чисто академический и методологический интерес. Е. Кэлер естественно не знал о работе Иваненко и Ландау и посему ее не упомянул. Эта работа также была благополучно забыта на долгие годы.

Интерес к описанию фермионов с помощью антисимметричных тензорных полей проснулся в середине восьмидесятых годов прошлого столетия в связи развитием квантовой теории поля на решетке. Дело в том, что спиноры плохо описываются в формализме вычислений на решетке и приводят к неоднозначным результатам. В то же время на решетке хорошо воспроизводятся антисимметричные тензорные поля, которые аналогичны внешним дифференциальным формам. И в это время заново были переосмыслены и работы Иваненко с Ландау и работа Кэлера. Польский математик А. Траутман в работе (A. Trautman and P. Budinich “An introduction to the spinorial chess board”, preprint 6/88F. M., 1988) проанализировал представления группы специальных линейных преобразований и нашел, что такое представление может быть построено как в терминах спиноров, подчиняющихся уравнению Дирака, так и в терминах внешних дифференциальных форм, то есть фактически на языке антисимметричных тензорных полей, подчиняющихся уравнениям, предложенным ранее в статье Иваненко и Ландау.

По предложению А. Траутмана это уравнение стали называть уравнением Иваненко – Ландау – Кэлера – Дирака. Развитие такого подхода продолжает оставаться актуальным по сей день о чем свидетельствуют появляющиеся статьи и книги (см. Benn I. M. and Tucker R. M. Pure spinors and real Clifford algebras).

Посему для меня было удивительным при ознакомлении с двухтомным собранием научных трудов Л.Д. Ландау под редакцией Е.М. Лифшица и И. М. Халатникова обнаружить обе вышеприведенные работы в числе помещенных в собрание трудов и узнать из биографического эссе, написанного Е. М. Лифшицем, что именно эти работы Лев Давидович считал неправильными (см. Л. Д. Ландау «Собрание трудов», из-во «Наука», Москва, 1969, т. 2, с. 427).

Пропустив несколько лет и важных работ и идей, которые упоминаются достаточно часто разными авторами, например, таких как работы по синхротронному излучению, я только упомяну, что в период 1928–1945 гг. Дмитрий Дмитриевич Иваненко успел стать автором идеи о строении ядра и одним из организаторов I Всесоюзной конференции по атомному ядру (24–30 сентября 1933 г.) (см. сборник «Атомное ядро» изд. ГТТИ, Ленинград 1934, под редакцией М.П. Бронштейна, В.М. Дукельского, Д.Д. Иваненко, Ю.Б.Харитона) и выполнить ответственное правительственное поручение на территории Германии.

Подробнее хочу остановиться на одной буквально революционной и до безумия смелой работе Д.Д. Иваненко и А.А. Соколова «Новые следствия квантовой теории тяготения» (ДАН СССР, т. 58, № 8 с. 1633–1636, 1947), в которой рассматривались трансмутации гравитонов в кванты материи. Хочу обратить ваше внимание — это был 1947 год — год начинающегося скептического отношения к чисто математическим предсказаниям в физике и технике, год, когда начинались гонения на «буржуазную науку» — кибернетику, и вдруг переход материи в структуру пространства – времени и наоборот с расчетом сечения рассеяния, времени жизни и пр.

Возрождение этих идей началось в конце шестидесятых годов прошлого столетия с работ по рождению частиц в сильных гравитационных полях и переросло в отдельное направление — исследование поведения квантованных свободных и взаимодействующих полей во внешнем гравитационном поле, фактически изучение квантовой те-

рии в неплоском пространстве времени. С того момента уже можно видеть работы с названием типа «трансмутация гравитации в материю», и это уже никого не смущало, хотя в очень редких работах, в основном обзорного характера, можно найти упоминание пионерской работы Иваненко и Соколова.

Стоит отдельно упомянуть и о «биофизической» составляющей творчества Иваненко. Хорошо известно, что на посту заведующего кафедрой физики в Тимирязевской академии он организовал биофизический семинар для обсуждения книги Э. Шредингера «Что такое жизнь?», но мало кто помнит (хотя мне приходилось неоднократно слышать это от самого Иваненко), что его до последних дней интересовал вопрос о возможной связи левой закрученности белков и левой спиральности нейтрино. В настоящее время, насколько я осведомлен, подобные революционные идеи киральности в живой природе обсуждаются в научной команде профессора физического факультета МГУ, заведующего кафедрой биофизики В.А. Твердислова (сам Всеволод Александрович употребляет термин «хиральность»).

В завершение этого небольшой статьи об Иваненко следует обратить особое внимание на его многочисленные идеи и статьи, в том числе и с соавторами, относящиеся к калибровочной теории гравитации.

Я склонен, пусть это даже рискованно, утверждать, что именно идеи по описанию уравнения Дирака в евклидовом пространстве, как собственные (см. ДАН СССР, № 4, с. 73–78, (1929), так и продолженные с В. А. Фоком (Zeit. fur Physic, Bd. 54, s. 798–802, 1929), основанные на идеях Иваненко о линейной метрике, фактически перенесении метода коэффициентов Ламе на случай риманова пространства, стали провозвестниками идей калибровочной теории гравитации и построения тетрадного формализма. Не случайно возобновление интереса к этому формализму в рамках теории пространства абсолютного параллелизма в последние 10–15 лет фактически повторяет методы введения коэффициентов Фока – Иваненко. Как подчеркивал лауреат нобелевской премии А. Салам — коэф-

фициенты Фока – Иваненко стали первым примером калибровочной теории гравитации, причем с заложенным в самом способе построения спонтанным нарушением симметрии.

Развитие этих идей привело в дальнейшем к возникновению целого направления — калибровочной трактовке гравитационного взаимодействия, и среди соратников и последователей Иваненко были такие известные физики как Бродский А.М., Соколик Г.А., Родичев В.И. и многие другие.

Если быть точным, многие считают что эйнштейновский вариант теории гравитации является калибровочной теорией только на основании того, что преобразование метрики зависит от координат. Это некорректно. Напомним, что и электромагнитное поле, описываемое векторным потенциалом, уже в 1918 г. было рассмотрено Г. Вейлем как калибровочное (правильнее говорить компенсирующее) и поля Янга – Миллса, введенные в теоретическую физику в 1954 г., преобразуются по закону, в котором параметры группы симметрий зависят от времени, но их суть совершенно отлична от метрики риманова пространства.

В связи с этим я упомяну один анекдотический момент, в котором мне невольно пришлось принять участие. Дело в том, что с 1961 г. редакция ЖЭТФ отказывалась печатать статьи по калибровочной теории гравитации, которая с необходимостью приводила к выходу за рамки эйнштейновской теории относительности, мотивируя это тем, что пока не проявятся физическая сущность новых величин, таких как кручение, редакция не может публиковать работы, посвященные этой тематике. Этот запрет распространялся на тематику докладов московского теоретического семинара, проходившего в ФИАНе (в конце девяностых под руководством академика Гинзбурга В. Л.).

Представьте себе мое изумление и ошеломление, когда где-то в районе 2003 г. мне позвонил академик В.Л. Гинзбург и, сославшись на рекомендации профессоров физического факультета МГУ Брагинского В. Б. и Рухадзе А. А., предложил мне сделать доклад на теоретическом семинаре в ФИАНе по теории гравитации с кручением.

В тот вторник актовый зал ФИАН был набит битком. По результатам регистрации, объявленным секретарем семинара, присутствовало около 140 человек. Академик Гинзбург предложил мне 20–30 минут на доклад, после чего этот доклад продолжался более полутора часов с вопросами и перебиваниями. Результатом стало одобрение тематики со стороны В. Л. Гинзбурга.

Вот так завершилась «холодная война» между неприемниками нового и тем, что на сегодняшний день считается магистральным направлением — калибровочным подходом к построению физики фундаментальных взаимодействий (на название "калибровочные", а не "компенсирующие" поля, всегда настаивал Д. Д. Иваненко), среди первооткрывателей которого — Г. Вейль, Ч. Янг и Г. Миллс, Иваненко Д. Д. и Фок В. А., а также огромная плеяда физиков, отдающих должное поискам решений фундаментальных проблем физики.

Не могу не упомянуть о культурной составляющей личности профессора Иваненко. На многих примерах я за время общения с ним успел убедиться, что он тонко до деталей разбирается в истории (не только науки!), литературе и живописи. Его знание семи европейских языков всем известно. Приведу только один эпизод. Мне удалось побывать в Пушкинском музее на выставке эпохального полотна И. Глазунова «Вечная Россия» (1988–89 годы, первоначальное название картины «Сто веков»), которое также видел до этого и профессор Иваненко. После чего он пригласил меня с супругой (по профессии она социолог — сотрудник Института социологии Академии наук) принять участие в обсуждении этой работы, которое проходило у него дома. Начало встречи было около 10 вечера, присутствовали еще несколько человек из художественной среды, и только в половине четвертого ночи мы смогли остановиться и закончить обсуждение. Глубина исторических экскурсов отражение их точности, последовательности согласия и несогласия Дмитрия Дмитриевича с трактовкой автора была удивительной и очень точной как в оценке, так и в формулировках.

Как историк и в значительной степени творческий фундаменталист

Иваненко Д.Д. стал инициатором и основоположником одной замечательной традиции, которая сохранилась по сегодняшний день — каждый лауреат Нобелевской премии по теоретической физике, который посещал его кабинет на физическом факультете МГУ им. Ломоносова, получал право сделать памятную надпись на стене комнаты 4–59. Первую надпись сделал П.А.М. Дирак в 1956 г. Таких надписей набралось уже около десятка. Среди них есть одна, появление которой было инициировано мною. Во время посещения физического факультета лауреатом Нобелевской премии К. Торном в 2018 я попросил его сделать надпись на стене. Эта надпись, по моему глубокому убеждению, является точнейшей характеристикой того, что было лейтмотивом всей сознательной жизни Дмитрия Дмитриевича Иваненко — «*Познание природы, является величайшим удовольствием в жизни*» (перевод оригинала К. Торна — «*To understand Nature is the greatest pleasure in life*»).



П. И. Пронин, кафедра теоретической физики

270 лет

Московскому государственному университету
им. М.В. Ломоносова



2025

ISSN 2500–2384



Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ».
© 2024 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

Пресс-секретарь физического факультета:
А.С. Трипалина press_ff@org.msu.ru

Подписано в печать 22.01.2025.
Физический факультет МГУ
имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва ГСП-1,
Ленинские горы, д. 1, стр. 2