

# СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

№7 (159) 2022

В номере:



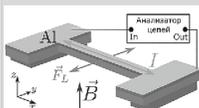
Поздравление исполняющего обязанности декана физического факультета МГУ профессора В.В. Белокурова с Новым годом

Стр. 2



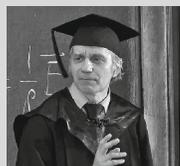
Ректор МГУ назначил и.о. декана физического факультета МГУ

Стр. 3–4



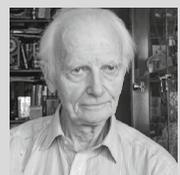
Основные направления и достижения научной группы нанoeлектроники

Стр. 7–17



Фестиваль НАУКА 0+ 2022 года

Стр. 29–31



К 90-летию профессора Федора Васильевича Шугаева

Стр. 35–37

# СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

7(159)/2022

(декабрь)



ОРГАН УЧЕНОГО СОВЕТА, ДЕКАНАТА  
И ОБЩЕСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ  
2022

**ПОЗДРАВЛЕНИЕ  
ИСПОЛНЯЮЩЕГО ОБЯЗАННОСТИ ДЕКАНА  
ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ  
ПРОФЕССОРА В.В. БЕЛОКУРОВА  
С НОВЫМ ГОДОМ**

Дорогие преподаватели, сотрудники, студенты и аспиранты физического факультета! Сердечно поздравляю вас с волшебными, чудесными праздниками – наступающим Новым годом и праздником Рождества Христова!

Подходит к концу 2022 год! Уходящий год отмечен значимыми научными достижениями, прежде всего в работе научных школ физического факультета.

Для каждого из нас, как и для всей России, этот год стал особенным, непростым. Но мы достойно преодолели испытания года уходящего, а 2023 год – год 90-летия нашего факультета – встретим новыми успехами. И во многом от нашей работы и ответственного подхода к порученному делу зависит успешная реализация важных проектов и укрепление России.

Желаю всем нам новых творческих идей, новых проектов, научных свершений и профессиональных достижений в развитии высшего образования в России, а также счастья, здоровья, оптимизма, гармонии с собой и миром.

Загадайте самое главное желание под бой курантов и сделайте все необходимое для того, чтобы оно смогло сбыться!

**С НОВЫМ ГОДОМ!**

*Исполняющий обязанности  
декана физического факультета МГУ  
профессор В.В. Белокуров*

## **РЕКТОР МГУ НАЗНАЧИЛ И.О. ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА**

Профессор Белокуров – выпускник физического факультета МГУ. С 1977 работает в Московском Университете. Активную научную и педагогическую деятельность совмещал с административной работой. С 1987 года он работал в университете в качестве заместителя проректора, проректора и советника ректора.



*и.о. декана профессор Белокуров В.В.*

Владимир Викторович Белокуров известный специалист в области математических методов квантовой теории поля. Он — автор ряда важных научных результатов, послуживших основой для развития новых направлений в этой области, опубликованных в высоко рейтинговых международных журналах и монографиях. Им разработаны специальные методы вычисления диаграмм Фейнмана; найдена асимптотика кварковых формфакторов в квантовой хромодинамике; изучены особенности применения теории возмущений для суперструн и нелинейных двумерных теорий поля; разработана новая теория возмущений со сходящимися

рядами, развит новый подход к вычислению функциональных интегралов в моделях квантовой гравитации.

Основные задачи, стоящие перед новым деканом, — сохранение и развитие творческой атмосферы на факультете, создание условий для полного раскрытия научного потенциала сотрудников, студентов и аспирантов, повышение авторитета факультета в стране.

При этом хочется отметить вклад предыдущего декана факультета профессора Николая Николаевича Сыроева, за время его руководства факультетом было реализовано много научных инициатив, запущены уникальные научно-технологические проекты и укреплено положение физического факультета как учебно-научного мирового центра.

[https://phys.msu.ru/rus/news/archive\\_news/33815/](https://phys.msu.ru/rus/news/archive_news/33815/)

## **В МГУ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ НОШ «ФОТОНИКА»**

На заседании Ученого совета МГУ под председательством ректора В.А. Садовниченко представлены результаты работы НОШ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» за 2022 год. С подробным докладом о деятельности школы выступил ее соруководитель, директор МНОЦ МГУ академик А.А. Камалов.

Школа объединяет ученых трех подразделений МГУ – физического факультета, Медицинского научно-образовательного центра (МНОЦ, Медцентр) и факультета фундаментальной медицины (ФФМ). Такой состав определяет междисциплинарную направленность школы, связанную с применением физических методов, прежде всего, технологий фотоники, в фундаментальных биомедицинских исследованиях и в решении клинически важных задач.

Для объединения этих направлений под задачи НОШ была запущена междисциплинарная магистерская образовательная программа «Биомедицинская фотоника», в рамках которой студентам физфака, углубленно изучающих методы оптической диагностики, курсы читают специалисты МНОЦ МГУ и факультета фундаментальной медицины. По этой программе обучаются 15 человек. Все студенты выполняют дипломные работы по междисциплинарной тематике, в том числе, на базе Медцентра.



Второй пример образовательной составляющей школы – магистерская программа «радиационная медицинская физика», цель которой – подготовка специалистов-радиологов для научной и клинической работы в специализированных центрах. По данному направлению запущена также программа дополнительного образования.

Еще одним стратегическим направлением развития школы являются квантовые технологии. Для подготовки кадров по данному направлению служит магистерская программа «Прикладная квантовая связь». Запущена совместная с Саратовским госуниверситетом сетевая магистратура «Квантовые технологии». Работают 5 онлайн-курсов и очный курс повышения квалификации «Квантовая обработка информации и квантовые технологии». Функционирует уникальный онлайн-практикум, позволяющий дистанционно проводить эксперименты в области квантовой физики с использованием роботизированных манипуляций.

Третьим стратегическим направлением А.А. Камалов назвал фотонные технологии. В 2021 году на физфаке создана новая кафедра «Нанофотоника», на которой запущена междисциплинарная магистерская программа «Нейроморфная и нелинейная нанофотоника». Студенты и аспиранты кафедры проводят исследования на переднем крае науки, являются соавторами работ в ведущих журналах. В области нанофотоники также ведутся междисциплинарные исследования по созданию биосенсоров и зондированию механических свойств единичных клеток.

«Объединение возможностей подразделений МГУ в рамках школы “Фотоника” – физического факультета, МНОЦ и ФФМ – позволило принципиально расширить их возможности и обеспечить главный принцип – внедрение фундаментальной и прикладной науки в практическое здравоохранение», – подчеркнул директор МНОЦ МГУ.

Примером служат работы по интраоперационной диагностике в урологии, выполняемые по договору с индустриальным партнером (НТО «ИРЭ Полус»). Мочекаменная болезнь – распространенное урологическое заболевание, которым, по оценкам, в мире страдают 12% населения. Разрабатываемая система «умный лазер» позволяет автоматически анализировать свойства объекта в поле зрения волокна эндоскопа, при этом встроенная система позволяет в миллисекунду приостановить действие лазера если интраоперационно произойдет угроза травмы здоровых мягких тканей. Это в значительной степени увеличит эффективность и безопасность оперативного вмешательства. Работы в этом направлении проводятся непосредственно в операционной Медицинского научно-образовательного центра МГУ. Клинические исследования выполнены у 50 пациентов и получены положительные результаты. Следующие шаги,

которые будут реализованы, – клинические испытания и сертификация системы.

Еще один проект, выполняемый сотрудниками НОШ, объединяет современные решения в развитии приоритетных направлений в здравоохранении, включая цифровизацию отрасли. С участием индустриального партнера осуществляется разработка и внедрение автоматизированных комплексов регистрации параметров здоровья (терминал «Здоровье»), предназначенных для проведения профилактических осмотров и диспансеризации. Сбор и обработка данных, в том числе с использованием искусственного интеллекта, обеспечит всесторонней информацией специалистов для принятия решений по дальнейшему сопровождению пациента. В дальнейшем в рамках НОШ предполагается расширение функциональных возможностей терминалов «Здоровье» путем добавления медицинских тестов и разрабатываемых приборов.

В рамках НОШ создан экспериментальный комплекс, совмещающий сканирующую ионно-проводящую микроскопию и оптические методы анализа. Среди разработчиков данной методики – выпускники физфака МГУ. Комплекс позволяет исследовать параметры живых клеток и биоматериалов, например, изменение метаболического состояния нейронов при нейродегенерации.

Также необходимо отметить выполняемую сотрудниками НОШ работу, направленную на внедрение новой аппаратной базы для высокоскоростной передачи информации машин скорой медицинской помощи. Эти разработки могут быть также использованы для передачи данных с терминалов «Здоровье».

Результаты, полученные совместно сотрудниками физфака, МНОЦ и ФФМ, объединенных в рамках деятельности НОШ «Фотоника», публикуются в ведущих журналах. Уже опубликовано 40 совместных работ.

По словам А.А. Камалова, важным моментом является привлечение в школу талантливой молодежи. Для этого был проведен конкурс среди аспирантов. Предпочтение отдавалось междисциплинарным работам. По итогам было поддержано 18 аспирантов, которые были введены в состав коллектива НОШ.

При непосредственном участии членов школы в 2022 году была утверждена новая специальность ВАК – «медицинская физика». Эта специальность напрямую соответствует характеру работ, проводимых школой, а возможность защиты по ней диссертационных работ дополнительно стимулирует развитие междисциплинарной тематики. Школой запущена серия семинаров. В частности, функционирует общий семинар школы, на котором о результатах своей работы докладывают участники коллектива школы и другие ведущие ученые МГУ. В рамках этого семинара для обес-



печения междисциплинарного взгляда на проблему врачи провели лекции для физиков по организации клинических исследований, что необходимо для испытания и внедрения новых технологий в практику.

Также работает междууниверситетский междисциплинарный семинар, проводимый на регулярной основе совместно с Сеченовским, Приволжским и Нижегородским университетами. С этими организациями у школы установилась тесная связь, которая привела к серии публикаций в ведущих журналах PNAS и Angewandte Chemie. На семинары приглашаются ученые с мировым именем, работающие в области создания новых методов в биомедицине и биофотонике. Молодые участники школы также активно участвуют в выставках и научно-популярных мероприятиях, одним из последних был масштабный Фестиваль науки.

<https://www.msu.ru/news/predstavleny-rezultaty-raboty-nosh-fotonika.html>

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНОЙ ГРУППЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Научная группа наноэлектроники (рук. Крупенин В.А.) образовалась в середине 90-х годов и входит в состав лаборатории «Криоэлектроника» кафедры физики полупроводников и криоэлектроники (заведующий Снигирев О.В.). Ее деятельность начиналась с экспериментального исследования одноэлектронных наноструктур, разработка и полный цикл изготовления которых проводились на физическом факультете. В настоящее время спектр исследований значительно расширился, но по-прежнему наше внимание сосредоточено на разработке, изготовлении и изучении активных наноструктур для различных применений в науке, технике, медицине.

### **Высококчувствительные биосенсоры на основе полупроводниковых нанопроводов**

*Руководитель направления к.ф.-м.н. Преснов Д.Е.*

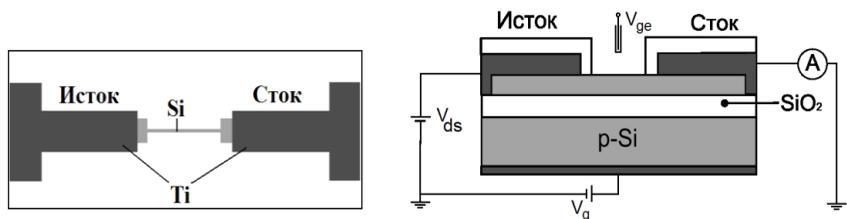
Междисциплинарные научные исследования по разработке и созданию наноразмерных биосенсоров на основе полевых транзисторов с каналом-нанопроводом уже несколько лет ведутся в лаборатории «Криоэлектроника» совместно с кафедрой химической энзимологии химического факультета МГУ. Новая оригинальная модификация структуры полевого транзистора – формирование его канала в виде нанопровода – создает уникальные возможности для обнаружения наноразмерных объектов, прибли-

жающихся к поверхности нанопровода или присоединяющихся к ней, например, сверхнизких концентраций ДНК, вирусов, белков.



*Студенты Андреева А.С. и Рымарь В.В., снс Преснов Д.Е., снс Солдатов Е.С.,  
внс Крупенин В.А., студент Колпаков М., снс Трифонов А.С.,  
аспирант Мельников А.Е., мнс Божьев И.В., студент Панкратов С.А.,  
аспирант Циняйкин И.И., мнс Дорофеев А.А., студент Михайлов П.О.*

Изготавливаемые для биосенсоров полевые транзисторы формируются в верхнем слое кристаллического кремния пластины кремния на изоляторе (КНИ) и состоят из кремниевого канала в виде тонкой ( $< 100$  нм) проволоки – нанопровода, соединенного с транспортными электродами стока и истока, и управляющих затворов, роль которых выполняет полужка пластины КНИ и погруженный в раствор AgCl электрод (рис. 1).



*Рис. 1. Схематичное изображения полевого транзистора с каналом-нанопроводом и жидкостной измерительной ячейки*

В реальных сенсорах (рис. 2) к поверхности нанопровода «пришиваются» специальные биомолекулы, которые могут селективно связываться с детектируемыми молекулами, что приводит к изменению напряженности электрического поля в точках связывания и, как результат, к изменению проводимости нанопровода.

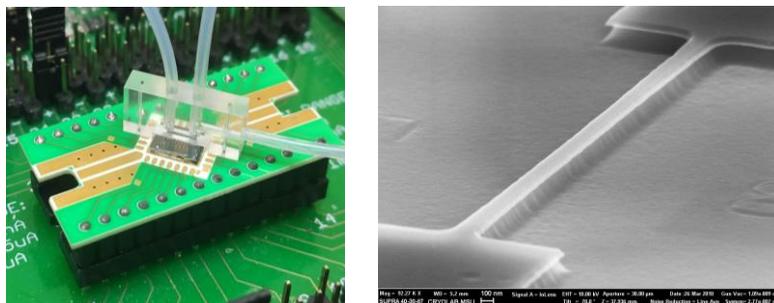


Рис. 2. Фотографии биосенсорной системы на основе полевого транзистора с каналом-нанопроводом и его чувствительного элемента – кремниевого нанопровода

Чувствительность подобных сенсоров экстремально высока и достигает уровня аттомолей (10-18 м), а в отдельных случаях позволяет добиться детектирования одиночных молекул или частиц.

В научной группе разработана оригинальная конструкция биосенсора, позволяющая существенно увеличить его чувствительность. Поверхность нанопровода сначала модифицировалась золотыми наночастицами диаметром 3-5 нм (рис. 3), а затем к поверхности наночастиц «пришивались» специальные биомолекулы.

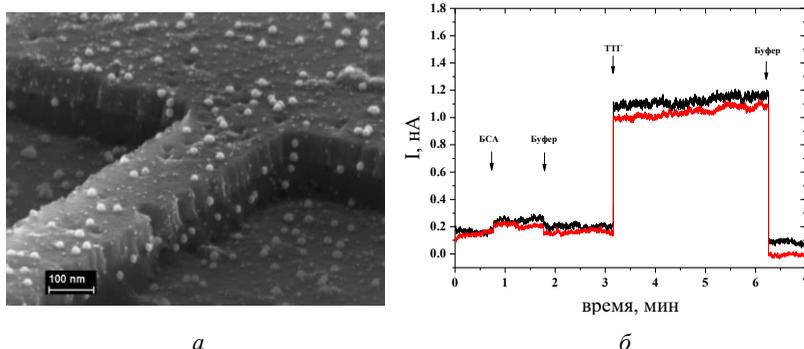


Рис. 3. а - кремниевый нанопровод, модифицированный Au наночастицами; б - отклик биосенсора на внешнее воздействие тиреотропный гормоном - ТТГ



*Аспирант Циняйкин И.И. за работой в чистой комнате*

*Denis E. Presnov, Ivan V. Bozhev, Andrew V. Miakonkikh, Sergey G. Simakin, Artem S. Trifonov, and Vladimir A. Krupenin. Local sensor based on nanowire field effect transistor from inhomogeneously doped silicon on insulator. Journal of Applied Physics, 123(5):054503, 2018.*

*Galina Presnova, Denis Presnov, Vladimir Krupenin, Vitaly Grigorenko, Artem Trifonov, Irina Andreeva, Olga Ignatenko, Alexey Egorov, and Maya Rubtsova. Biosensor based on a silicon nanowire field-effect transistor functionalized by gold nanoparticles for the highly sensitive determination of prostate specific antigen. Biosensors and Bioelectronics, 88:283–289, 2017.*

### **Разработка новых методов зондовой микроскопии**

*Руководитель направления к.ф.-м.н. Трифонов А.С.*

В ряде случаев создание и изучение наноразмерных систем требуют проведения высокочувствительного, бездеструктивного анализа профилей потенциалов поверхностей микро- и нанообъектов с нанометровым пространственным разрешением.

Для решения этой задачи было предложено также использовать полевой транзистор с каналом-нанопроводом. В новом устройстве локального полевого сенсора предполагалось расположить такой транзистор на оконечности зонда, который с помощью системы позиционирования приближался бы к исследуемому объекту.

В научной группе был разработан и запатентован оригинальный метод, позволяющий расположить наноразмерную структуру в непосредственной близости от оконечности зонда (от 0 до 50 нм). Такой структурой в нашей работе был полевой транзистор с измененной геометрией канала-нанопровода (рис. 4). Полевой зонд на его основе встраивался в измерительную систему сканирующего атомно-силового микроскопа (рис. 5а), с помощью которого была продемонстрирована картина профиля потенциала модельных образцов (рис. 5б) с нанометровым пространственным разрешением (~ 20 нм).

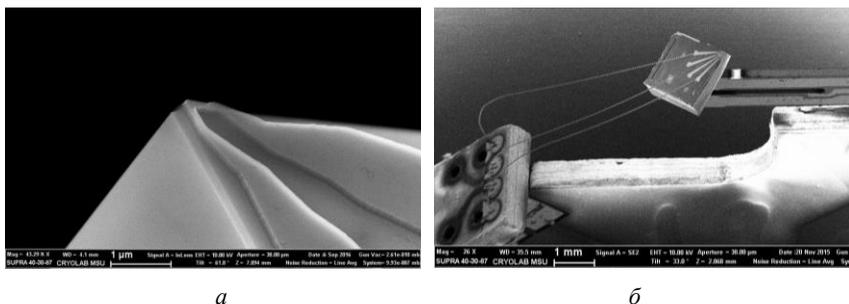


Рис. 4. а - Транзистор с каналом-нанопроводом на оконечности зонда; б - зонд, встроенный в измерительную систему сканирующего микроскопа

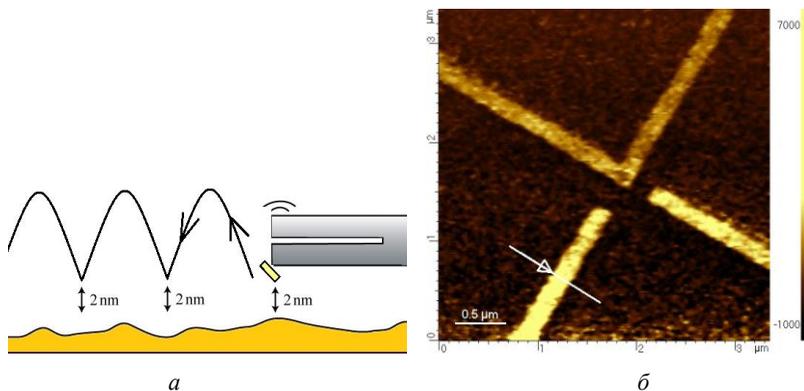


Рис. 5. а - и схема сканирования поверхности в сканирующем микроскопе; б - профиль потенциала модельного образца

*И. В. Божьев, А. С. Трифонов, Д. Е. Преснов, С. А. Дагесян, А. А. Дорофеев, И. И. Циняйкин, and В. А. Крупенин. Метод восстановления потенциального профиля поверхностей, покрытых диэлектрическим слоем. Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, 1:42–47, 2020.*

*A. S. Trifonov, D. E. Presnov, I. V. Bozhev, D. A. Evplov, V. Desmaris, and V. A. Krupenin. Non-contact scanning probe technique for electric field measurements based on nanowire field-effect transistor. Ultramicroscopy, 179:33–40, 2017.*

### **Нанозлектромеханические системы**

*Руководитель направления к.ф.-м.н. Божьев И.В., м.н.с. Дорофеев А.А.*

Нанозлектромеханические системы (НЭМС) представляют собой устройства, в которых механические колебания подвижного элемента, один или несколько характерных размеров которого составляют 100 нм и менее, преобразуются в электрический сигнал. Основными направлениями фундаментального и прикладного изучения НЭМС является исследование сенсорных свойств таких систем и применение этих свойств для детектирования различных физических величин, таких как масса, смещение, сила, с высокой чувствительностью: среди рекордов можно отметить чувствительность по массе ( $1,3 \cdot 10^{-25}$  кг Гц $^{-1/2}$ ) и силе ( $12 \cdot 10^{-21}$  Н Гц $^{-1/2}$ ).

С помощью НЭМС возможно проведение измерений ниже стандартного квантового предела. Также НЭМС применялись и в области квантовых коммуникационных технологий в качестве элементов квантовой памяти.

В состав нанозлектромеханической системы входит множество элементов, среди которых основными являются следующие:

- подводящие электроды системы;
- наномеханический резонатор – элемент, на котором происходит первичное преобразование информации о воздействии в электрический сигнал;
- считывающее устройство, измеряющее отклик НЭМС на внешнее воздействие.

По своему виду наномеханический резонатор представляет собой подвешенный электропроводящий нанопровод (рис. 6), механические колебания которого возбуждаются магнитодвижущим методом: нанопровод раскачивается в магнитном поле при пропускании через него переменного тока.

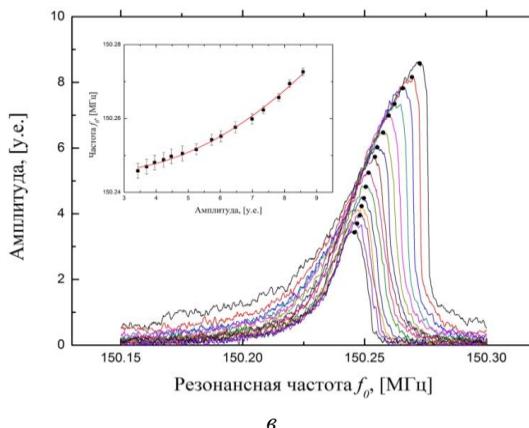
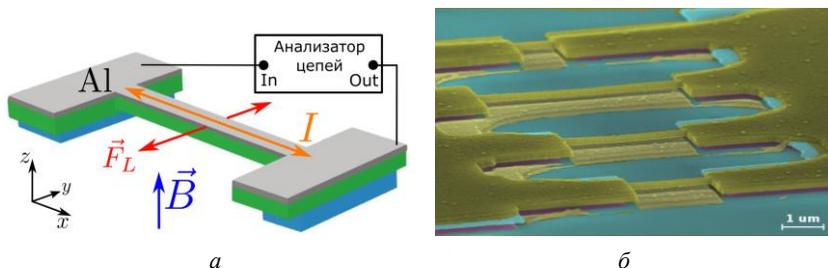


Рис. 6. а - схематический вид нанопровода, закрепленного с двух сторон; б - изготовленные НЭМС различной длины; в - резонансный отклик НЭМС

По величине сдвига резонансной частоты нанопровода в дальнейшем и определяется значение исследуемого параметра системы: будь то масса частиц или сила, действующая на нанопровод.

Недавно сотрудниками лаборатории «Криоэлектроника», совместно с коллегами из Ланкастерского университета, было проведено пионерское исследование, вызвавшее широкий резонанс в научной среде, по детектированию единичных квантовых вихрей в сверхтекучем гелии-4 с помощью сенсора на основе НЭМС, (рис. 7).

Это исследование позволило выявить важные особенности процесса взаимодействия квантового вихря с нанопроводом: свободное состояние, момент захвата вихря нанопроводом, их взаимодействие и освобождение вихря.

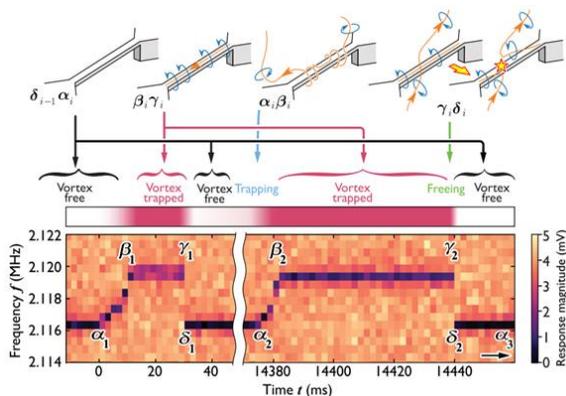


Рис. 7. Отклик наномеханического резонатора при взаимодействии квантового вихря в гелии-4 с нанопроводом при  $T = 10$  мК

A. Guthrie, S. Kafanov, M. T. Noble, Yu A. Pashkin, G. R. Pickett, V. Tsepelin, A. A. Dorofeev, V. A. Krupenin, and D. E. Presnov. Nanoscale real-time detection of quantum vortices at millikelvin temperatures. *Nature communications*, 12(1):2645, 2021.

Д. Е. Преснов, С. Г. Кафанов, А. А. Дорофеев, И. В. Божьев, А. С. Трифонов, Ю. А. Пашкин, and В. А. Крупенин. Механический резонанс в кремниевом нанопроводе с высокой добротностью. *Письма в ЖЭТФ*, 108(7):522–528, 2018.

### Одноатомные одноэлектронные устройства

Руководители направления д.ф.-м.н. Крупенин, к.ф.-м.н. Шорохов В.В.

В связи появившимися технологическими возможностями около 10 лет назад начались разработки и исследования одноатомных наноструктур, в которых в качестве активных структурных элементов использовались единичные примесные атомы в твердотельной матрице. Примесные атомы отделены от электродов и друг от друга туннельными барьерами малой прозрачности ( $R \gg R_{\text{кв.}} \sim 26$  кОм), а транспортный ток в таких структурах имеет одноэлектронную природу, т.е. электроны перемещаются через примесные атомы строго один за другим. Простейшей реализацией одноатомной структуры является одноатомный транзистор, в котором примесный атом расположен между транспортными электродами, а ток через него регулируется электростатическим затвором (рис.8). На сегодняшний день большинство одноатомных структур имеют низкую рабочую температуру ( $\sim 4$  К) из-за использования стандартных легирующих примесей (P, As, B) и твердотельных матриц (Si), в которых эффек-

тивный размер зарядового центра, образованного примесным атомом, достаточно велик (5-7 нм). В основном именно его размеры определяют характерную зарядовую энергию одноатомных структур и, соответственно, его рабочую температуру. Для повышения рабочей температуры необходимо использовать глубокозалегающие примесные атомы с величинами энергий  $E > 200$  меВ. Эта работа уже начата в лаборатории и на основе примесных атомов калия в кремнии продемонстрирована одноатомная структура с комнатной рабочей температурой (рис. 9).

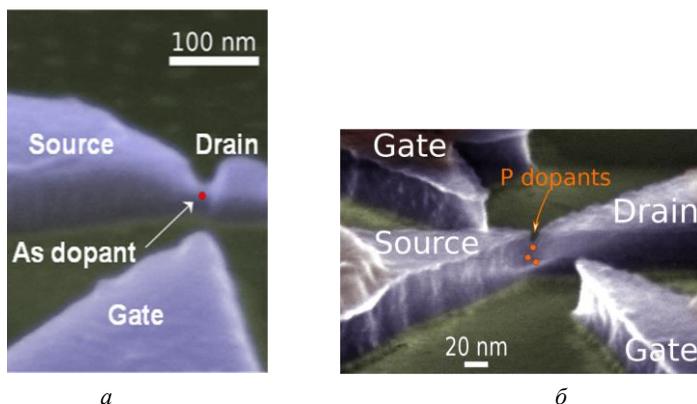


Рисунок 8. Одноатомные транзисторы, изготовленные в лаборатории «Криоэлектроника»: а - на основе атомов мышьяка; б - на основе атомов фосфора.  $T = 4$  К



Измерения изготовленных образцов (внс Крупенин В.А. и снс Дагесян С.А.)

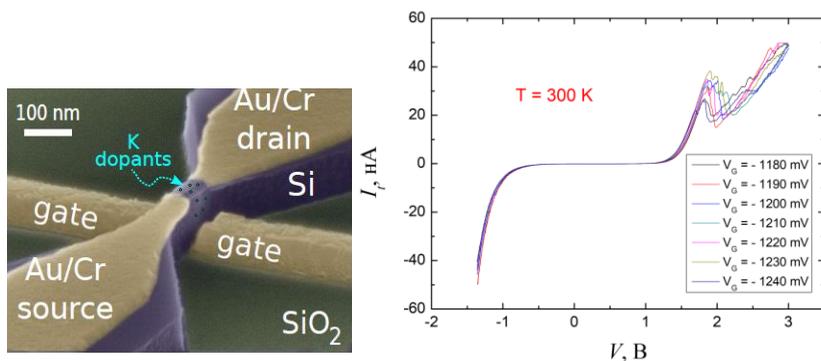


Рисунок 9. Одноатомная структура с комнатной рабочей температурой на основе атомов калия и ее вольтамперная характеристика

Важной частью работы являются теоретическое исследование и моделирование характеристик одноатомных структур, которые ведутся под руководством к.ф.-м.н. Шорохова В.В. Разработанные методы позволяют моделировать поведение и рассчитывать транспортные характеристики достаточно сложных одноэлектронных устройств (рис. 10).

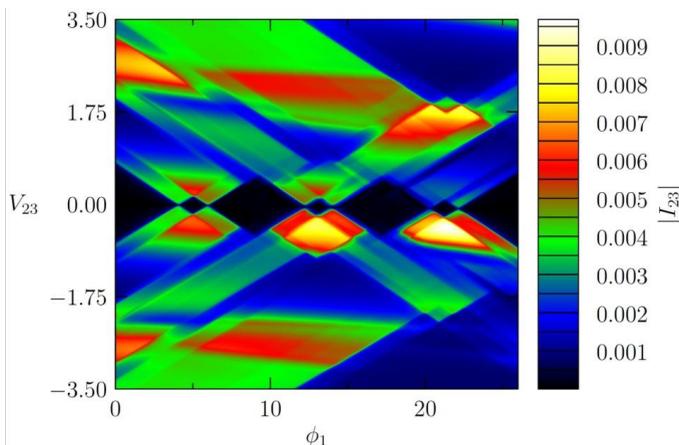


Рисунок 10. Диаграмма стабильности модели одноэлектронного транзистора на основе двух примесных атомов

Перспективы будущего применения одноатомных структур крайне широки. Это область квантовых вычислений, где на их основе формируются кубиты и считывающие устройства, это область квантовых senso-

ров, где возможно создание на их основе уникальных диагностических и сенсорных устройств для медицины и различных областей науки и техники. Это также возможность создавать наноразмерные одноэлектронные резервуарные сети, в которых помимо классического машинного обучения могут быть реализованы алгоритмы квантового машинного обучения. Развитие одноэлектронных резервуарных сетей в перспективе позволяет перейти к новому типу классических и квантовых сенсоров со встроенной предобработкой поступающих сигналов. Также на основе одноэлектронных резервуарных сетей в перспективе могут быть реализованы зарядовые классические и квантовые клеточные автоматы для реализации вычислительных устройств на новых физических принципах.

*S. A. Dagesyan, V. V. Shorokhov, D. E. Presnov, E. S. Soldatov, A. S. Trifonov, and V. A. Krupenin. Sequential reduction of the silicon single-electron transistor structure to atomic scale. Nanotechnology, 28:225304, 2017.*

*V. V. Shorokhov, D. E. Presnov, S. V. Amitonov, Yu A. Pashkin, and V. A. Krupenin. Single-electron tunneling through an individual arsenic dopant in silicon. Nanoscale, 9:613–620, 2017.*

*Крупенин В.А., Преснов Д.Е., Трифонов А.С., Шорохов В.В.*

## НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ 2022 ГОДА

В 2022 году лауреатами Нобелевской премии по физике стали А.Аспе (A.Aspect), Дж.Клаузер (J.Clauser) и А.Цайлингер (A.Zeilinger). «За эксперименты с запутанными состояниями фотонов, которые доказали нарушение неравенств Белла и дали начало квантовой информатике».

Есть впечатление, что награждение нынешних нобелевских лауреатов чуть запоздало. Роль их работы в общем-то стала понятна вовсе не в этом году. Помимо практических приложений, которые из неё выросли (квантовая криптография, квантовые компьютеры, и т. п.), она имела очень большое значение с точки зрения фундаментальной науки. В квантовой теории существовало очень большое количество мысленных экспериментов, которые либо вовсе не были реализованы, либо были реализованы с недостаточной точностью. А эти мысленные эксперименты чрезвычайно важны для понимания основных положений квантовой теории. И пока не было прямых экспериментальных доказательств, остава-

лось поле для сомнений. Ну а теперь основная часть этих экспериментов воплощена в железе и с хорошей (а иногда и с замечательной) точностью подтвердила стандартную («ортодоксальную») квантовую теорию.

Большинство этих мысленных экспериментов было построено с использованием **запутанных состояний** и уточняло понятие **индетерминизма** в квантовой теории.

Вообще-то в **запутанных состояниях** ничего такого особенного нет. Это всего-навсего состояния составной квантовомеханической системы, которые ведут себя совсем не так, как состояния составной классической системы. В классической составной системе — скажем, системе двух материальных точек — фиксация состояния всей системы  $(x_1, p_1, x_2, p_2)$  эквивалентна фиксации состояний каждой из подсистем: у первой подсистемы состояние  $(x_1, p_1)$ , у второй —  $(x_2, p_2)$ . Это работает в обе стороны, т. е. состояние составной классической системы и «разбирается на кусочки», и «собирается из кусочков». В квантовой системе тоже *иногда* так бывает:  $\psi(x_1, x_2) = \psi_1(x_1) \psi_2(x_2)$ . Это «факторизуемое» состояние, состояние, которое *не является* запутанным. Но и запутанные состояния — совсем не экзотика. Возьмём, скажем, атом водорода, находящийся в основном состоянии. У этого нижнего уровня энергии есть сверхтонкая структура — это те самые два уровня, при переходе между которыми излучаются радиоволны со знаменитой длиной волны 21 сантиметр. Они получаются из-за взаимодействия спина электрона со спином ядра (протона). При этом пониже по энергии лежит синглет

$$|\varphi\rangle = (|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle) / 2^{1/2},$$

и это запутанное состояние. А повыше по энергии лежит триплет:

$$|\chi\rangle = (|\uparrow\uparrow\rangle + |\downarrow\downarrow\rangle) / 2^{1/2}, \quad |\xi\rangle = |\uparrow\uparrow\rangle, \quad |\zeta\rangle = |\downarrow\downarrow\rangle.$$

Состояние  $|\chi\rangle$  — запутанное, а состояния  $|\xi\rangle$  и  $|\zeta\rangle$  — факторизуемые. Так вот, «разобрать» запутанное состояние на кусочки у нас получится: например, в состоянии  $|\varphi\rangle$  состояние каждого из спинов смешанное, поэтому описывается оно не волновой функцией, а матрицей плотности:

$$\rho_1 = \rho_2 = (1/2) I_2$$

(здесь  $I_2$  — единичная матрица  $2 \times 2$ ). А вот «собрать» обратно не получится, потому что в состоянии  $|\chi\rangle$  состояние каждого из спинов совершенно такое же, как и в состоянии  $|\varphi\rangle$ :  $\rho_1 = \rho_2 = (1/2) I_2$ . Так что информация о состоянии составной системы в запутанном состоянии — это больше информации, чем просто сумма информации о каждой из подсистем. Скажем, в состоянии  $|\chi\rangle$  есть корреляция между проекциями двух спинов на ось «z» — они всегда имеют противоположный знак. И это очень странная корреляция: обе величины не имеют определённого зна-



чения, т. е. «неизвестно что» коррелировано с «неизвестно чем». В состоянии  $|\varphi\rangle$  корреляции другие, ещё более впечатляющие: проекции двух спинов на произвольную ось имеют противоположный знак. Это совсем удивительно, ведь получается, что у двух спинов коррелированы как  $s_x$ , так и  $s_z$ , т. е. *несовместимые* величины. Именно поэтому состояние  $|\varphi\rangle$  — любимое состояние при конструировании мысленных экспериментов.

Например,  $|\varphi\rangle$  используется в знаменитом (и довольно плохо понятом) «парадоксе» ЭПР (Эйнштейн, Подольский, Розен). Поэтому состояние  $|\varphi\rangle$  теперь так и называют — «ЭПР-состояние». На примере этого состояния Эйнштейн успешно доказал, что в квантовой механике нет **локального реализма**. И его действительно нет — ни в квантовой механике, ни в природе. **Локальность**, т. е. невозможность мгновенного действия на расстоянии (в полном согласии со специальной теорией относительности) **есть**, а вот локального реализма **нет**. Корреляции между кусочками составной системы *иногда* сохраняются, даже когда они разлетаются очень далеко в разные стороны. Стараниями нобелевских лауреатов 2022 года кусочки могут разлететься на сотни километров с сохранением корреляций. Но эти корреляции невозможно описать, ограничиваясь только величинами, относящимися к каждой из подсистем по отдельности, т. е. *описание* составной системы не является локальным. *По мнению Эйнштейна* так быть не должно. Он полагал, что природа *должна* удовлетворять принципу локального реализма: все особенности поведения изолированного объекта (включая корреляции с другим объектом) должны быть описаны величинами, относящимися только к этому объекту. На самом деле природа об этом принципе не знает, и *не удовлетворяет* ему.

С современной точки зрения рассуждения Эйнштейна совершенно правильны, только вывод другой. Если частицы находятся далеко друг от друга, и при этом есть корреляция у величин  $s_z$ , то единственный допустимый с точки зрения локального реализма механизм корреляции — это *неизвестное* нам, но *существующее* значение  $s_z$  для каждой из частиц. Но тогда будет абсолютно исключена корреляция для величин  $s_x$  (ведь  $s_x$  несовместимо с  $s_z$ ). Вот мы и пришли к противоречию (корреляции у  $s_x$  на самом деле есть). Отсюда следует, что локального реализма в природе **нет**.

А что такое **индетерминизм**? Вот очень простой пример. Допустим, есть частица со спином  $1/2$ . Допустим, мы приготовили состояние этой частицы, в котором спин «направлен» вдоль оси «х». На самом деле это означает, что проекция спина на ось «х» равна  $+1/2$ . Слово «направлен» взято в кавычки неспроста. Ничто так не сбивает с толку, как классиче-

ские аналогии. Хочется думать о спине, как о маленькой такой стрелочке, которая куда-то направлена, а эта наглядная картинка во многом неверна и противоречит настоящему поведению спина. Так вот, если проекция спина на ось « $x$ » равна  $+1/2$ , то это максимальная фиксация состояния, которую допускает квантовая механика. Это чистое состояние, оно описывается волновой функцией. И тем не менее, если мы мы теперь станем измерять проекцию спина на ось « $z$ », то в половине случаев результат получится  $+1/2$ , а в другой половине случаев получится  $-1/2$ . Ещё раз скажем, что начальное состояние фиксировано настолько, насколько это вообще возможно. А вот результаты измерения разные. (Большой привет философам, которые очень любят объяснять физикам, что такое воспроизводимость и повторяемость.) Это и есть индетерминизм. Всё, что мы можем предсказать — это вероятности отдельных результатов измерения (в нашем примере обе вероятности равны одной второй).

Спорить с тем, что мы не можем предсказать результат отдельного измерения никто не решается, за исключением тех, кто придерживается уж совсем маргинальных точек зрения. Если кто-то думает, что индетерминизма нет, пусть он укажет, чем та частица, у которой результат измерения оказался  $+1/2$ , отличается от частицы, у которой получилось  $-1/2$ . Ну или (что то же самое) предскажет результат измерения для вот этой отдельной частицы. Пока ни у кого не получилось. И, как станет очевидно чуть позже, и не получится. Потому что **не может** получиться.

Но дело в том, что современная ортодоксальная квантовая теория понимает индетерминизм гораздо шире, чем просто невозможность предсказать результат отдельного измерения. Она утверждает, что фразу «в состоянии с  $s_x = +1/2$  величина  $s_z$  не имеет определённого значения» надо понимать **буквально**. Этого значения просто **нет**. Оно **появляется** в результате измерения. (О «существовании» *неизвестного нам* значения у величины, *не имеющей* определённого значения, мы уже говорили, когда обсуждали локальный реализм.)

Всё это до такой степени противоречит нормальному классическому представлению об измерении, что смириться с этим почти невозможно. Ведь что получается в результате классического измерения, скажем, скорости классической материальной точки? У материальной точки **была** скорость, мы провели измерение, и мы эту скорость **узнали**. В квантовой теории всё совсем не так. **Неверно** думать, что мы *не знаем* значения величины  $s_z$ , а на самом-то деле это значение *есть*. И неверно, что именно это значение *потом оказывается* результатом измерения. При измерении в квантовой теории мы не узнаём то, что *было*, а возникает то, *чего не было*. Вот именно это и есть **индетерминизм**, как его понимает современная квантовая теория.

Если с таким положением дел смириться, то квантовая теория оказывается последовательной, непротиворечивой и логически стройной наукой, лишённой каких-либо парадоксов. Хотя, конечно, и очень неприглядной. А вот если не принять эту точку зрения, то начинаются «парадоксы».

Так вот, если бы не нобелевские лауреаты 2022 года, то прямых сто процентных аргументов в пользу ортодоксальной квантовой механики у нас бы до сих пор не было. Критики квантовой теории, которые не готовы до конца принять «явно неприемлемую» точку зрения, относятся к квантовой теории приблизительно таким же образом, как католическая церковь в своё время относилась к гелиоцентрической системе. Ну если (*чисто математически!*) вам так удобнее вычислять, то и вычисляйте. Но если кто-то скажет, что Земля действительно вертится вокруг Солнца, а не наоборот — сожжём.

Критики признавали, что именно квантовая теория позволила объяснить и предсказать очень многое. Но всё равно она какая-то неправильная и неполная, нет у неё фундаментальной основы. Отчасти это связано с манерой изложения в архаичных учебниках — они использовали исторический подход (постулаты Бора и т. п.), а потом сразу перепрыгивали к прагматической части, позволяющей что-то посчитать. Отчётливо понимая того, что же такое на самом деле индетерминизм, они не давали. Это порождало всякие иллюзии насчёт того, что неопределённости в значениях величин возникают в результате неконтролируемых воздействий среды (что-то вроде броуновского движения), воздействия поля мягких фотонов, или воздействия прибора.

Но со второй половины 50-х годов прошлого века появились теоретические работы (Белл, Коэн и Шпекер, Вигнер, Уилер, и т. д.), в которых были предложены мысленные эксперименты, которые напрямую доказывали индетерминизм в самом ортодоксальном понимании этого слова. Довольно часто к этим мысленным экспериментам приклеивали слово «парадокс». Если считать, что индетерминизм — это всего-навсего наше незнание и невозможность предсказать, то мы действительно получим парадокс (в смысле противоречие). А для стандартной современной квантовой теории эти парадоксы — это просто прямое доказательство индетерминизма в самом категорическом его варианте.

Покуда все эти мысленные эксперименты оставались мысленными, у сторонников детерминизма оставалось поле для манёвра — а вдруг в настоящем эксперименте выйдет что-то другое? (На самом деле эти эксперименты пытались реализовать и раньше, но в этих попытках не хватало точности.) Сейчас практически все эти мысленные эксперименты реализованы, причём точность вполне достаточна, чтобы никаких сомнений

больше не оставалось. Сторонники детерминизма были вынуждены отступить на заранее подготовленные позиции — на позиции «контекстуального локального реализма». Эта точка зрения не противоречит стандартной квантовой теории, она представляет собой просто довольно противоестественную детерминистскую надстройку над ней. Утверждается, что у данной физической величины есть неизвестное нам определённое значение. Только оно зависит от того прибора («контекста»), который мы собираемся использовать. Если прибор один — то значение, скажем,  $+1/2$ . Если прибор другой — то значение (той же самой величины у той же самой частицы!), скажем,  $-1/2$ . Так что это детерминизм какой-то «второй свежести». Предсказаний, выходящих за рамки стандартной квантовой теории, этот подход сделать не позволяет. Поэтому единственная польза от него — примирить упорных сторонников детерминизма с современной квантовой теорией.

Для наглядности приведём пример самого простого и элегантного из «парадоксов», для изложения которого почти не требуется никаких выкладок. Это GHZ-парадокс (D.Greenberger, M.Horne, A.Zeilinger). Кстати, «Z» здесь — это нобелевский лауреат 2022 года А.Цайлингер. Пусть мы приготовили состояние трёх спинов:

$$|\psi\rangle = (|\uparrow\uparrow\uparrow\rangle + |\downarrow\downarrow\downarrow\rangle) / 2^{1/2}$$

Это состояние так и называется «GHZ-состояние». (Ясное дело, приготовить такое состояние гораздо сложнее, чем «ЭПР-состояние»  $|\phi\rangle = (|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle) / 2^{1/2}$ ). Допустим, мы взялись измерять шесть величин:  $s_x^{(1)}$ ,  $s_x^{(2)}$ ,  $s_x^{(3)}$ ,  $s_y^{(1)}$ ,  $s_y^{(2)}$ ,  $s_y^{(3)}$ . В каждом отдельном («комбинированном») измерении для данных трёх частиц мы можем измерить для первой частицы либо  $s_x$ , либо  $s_y$ , то же самое для второй, и то же самое для третьей. Каждая из шести величин в состоянии  $|\psi\rangle$  определённого значения не имеет: с вероятностью одна вторая измерение даст  $+1/2$ , и с той же вероятностью одна вторая получится  $-1/2$ . Но вот те три результата, которые мы можем получить при данном «комбинированном» измерении для данных трех частиц очень жёстко коррелированы.

Только не надо путать **корреляции** с **воздействием**. Все три измерения совершенно независимы. Просто их результаты в состоянии  $|\psi\rangle$  коррелированы. Если два наблюдателя находятся в вершинах равносностороннего треугольника, а в третьей вершине стоит прибор, испускающий то красный, то зеленый свет, то оба наблюдателя увидят свет одного и того же цвета. Это не значит, что они действовали друг на друга, или, скажем, передали друг другу информацию. Хотя каждый из них, разумеется, может предсказать результаты измерения своего коллеги.

Допустим, мы проводим комбинированное измерение, при котором для каждой из частиц измеряется  $s_x$ . Легко проверить, что



$$s_x^{(1)} s_x^{(2)} s_x^{(3)} |\psi\rangle = +1/8 |\psi\rangle,$$

а это значит, что произведение этих трёх величин (каждая из которых не имеет определённого значения!) всё-таки имеет определённое значение — в точности  $+1/8$ . Так что из восьми теоретически возможных комбинаций может реализоваться только четыре: для  $(s_x^{(1)}, s_x^{(2)}, s_x^{(3)})$  может получиться только  $(+1/2, +1/2, +1/2)$  или  $(-1/2, -1/2, +1/2)$  или  $(-1/2, +1/2, -1/2)$  или  $(+1/2, -1/2, -1/2)$ . Эксперимент на поляризациях фотонов (а с точки зрения квантовой теории поляризация фотона — это система, совершенно эквивалентная спине  $1/2$ ) блестяще подтверждает теорию. Действительно всегда получается  $+1/8$ , причём ошибки экспериментов всё уменьшаются и уменьшаются.

Нам интересны ещё три комбинированных измерения: во-первых,  $s_x^{(1)} s_y^{(2)} s_y^{(3)}$ ; во-вторых,  $s_y^{(1)} s_x^{(2)} s_y^{(3)}$ ; в-третьих,  $s_y^{(1)} s_y^{(2)} s_x^{(3)}$ . Во всех трёх случаях корреляции устроены так, что произведения равны  $-1/8$ . И это тоже подтверждено экспериментом.

В результате мы получили *прямое экспериментальное доказательство* индетерминизма в самом ортодоксальном варианте. Допустим **неверную** вещь. Допустим, что у данной тройки частиц определённые значения всех шести величин **существуют** (локальный реализм!). Обозначим их  $r_x^{(1)}, r_x^{(2)}, r_x^{(3)}, r_y^{(1)}, r_y^{(2)}, r_y^{(3)}$ . (Каждое из шести чисел равно или  $+1/2$ , или  $-1/2$ .) Мы не претендуем на то, что мы их можем узнать, мы лишь утверждаем, что если мы измерим, например,  $s_y^{(2)}$ , то получится именно  $r_y^{(2)}$ . Но корреляции-то никто не отменял. Так что должно выполняться:

$$r_x^{(1)} r_x^{(2)} r_x^{(3)} = 1/8, \quad r_x^{(1)} r_y^{(2)} r_y^{(3)} = -1/8, \quad r_y^{(1)} r_x^{(2)} r_y^{(3)} = -1/8, \\ r_y^{(1)} r_y^{(2)} r_x^{(3)} = -1/8.$$

Ну а теперь перемножим все четыре равенства:

$$1/2^{12} = (r_x^{(1)})^2 (r_x^{(2)})^2 (r_x^{(3)})^2 (r_y^{(1)})^2 (r_y^{(2)})^2 (r_y^{(3)})^2 = -1/2^{12}$$

Вот мы и пришли к противоречию («парадоксу»). Так что ортодоксальный детерминизм торжествует.

Стоит упомянуть и еще один «парадокс» — парадокс CHSH (J.Clauser, M.Horne, A.Shimony, R.Holt). Здесь «С» — это нобелевский лауреат 2022 года Дж.Клаузер. Этот парадокс доказывает, что не только не существует определённых значений у несовместимых наблюдаемых (в наших примерах — у величин  $s_x$  и  $s_y$ ), но даже и совместного распределения вероятностей для них не построишь — гипотеза о существовании вероятности  $P(s_x^{(1)}, s_x^{(2)}, s_y^{(1)}, s_y^{(2)})$  ведет к противоречию («парадоксу»).

Так что благодаря нобелевским лауреатам 2022 года мы твёрдо знаем, что природа устроена так, что мы не только не можем предсказать ре-

зультат измерения величины, у которой нет определённого значения, но и никогда не сможем: гипотеза о том, что внутри системы что-то такое спрятано, что приводит к данному результату конкретного измерения, ведёт к противоречию.

*Профессор Силаев П.К.*

## РЕЛЯЦИОННАЯ ПАРАДИГМА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Под фундаментальной физикой следует понимать тот раздел теоретической физики, в котором изучаются, анализируются и обобщаются сложившиеся ныне представления об основаниях физического мироздания. Этот раздел современной физики в настоящее время активно развивается на кафедре теоретической физики. В частности, проблемы этого раздела обсуждаются на еженедельном семинаре «Основания фундаментальной физики», фактически являющимся продолжением известных семинаров профессора Д.Д. Иваненко. Это делается также на страницах издаваемого под нашим руководством журнала «Метафизика», имеющего ВАКовский статус, а также на проводимой нами уже в течении пяти лет всероссийской конференции «Основания фундаментальной физики и математики». В связи с этим считаю нужным поделиться со студентами и сотрудниками физического факультета рядом важных соображений.

В настоящее время в мировом физическом сообществе принято развивать фундаментальную физику на фоне так или иначе заданного классического пространства-времени (плоского, искривленного, многомерного и т. д.). Таковыми являются исследования на основе идей калибровочного описания полей, идей суперсимметрии, суперструн и так далее. В этих работах в течение ряда десятилетий борются с расходимостями и множеством сопутствующих проблем.

Однако имеется принципиально иной путь развития фундаментальной физики, о котором писал ряд видных мыслителей прошлого. Так, А. Эйнштейн в 30-х годах XX века писал: «Необходимо отметить, конечно, что введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире. Утверждают, что успех метода Гейзенберга может быть приведен к чисто алгебраическому методу описания природы, то есть исключению из физики непрерывных функций. Но тогда нужно будет в принципе отказаться от пространственно-временного



континуума. Можно думать, что человеческая изобретательность в конце концов найдет методы, которые позволят следовать этому пути. Но в настоящее время такая программа смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве».

Аналогичные высказывания можно найти в работах отечественного физика Л.И. Мандельштама, писавшего: «...нужно признать, что всякая атомистическая теория, оперирующая в качестве молекул или атомов объектами, которым приписываются свойства и поведение макротел, не может быть удовлетворительной».

О необходимости построения самостоятельной системы понятий и закономерностей, присущих физике микромира, из которой бы следовали понятия общепринятой геометрии и классической физики, писал ряд авторов: Д. Ван Данциг, П. Дэвис, Е. Циммерман, Р. Пенроуз и другие авторитетные физики. Так, в работе Дж.Ф.Чью с примечательным названием «Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике» отмечалось: «Физика двадцатого столетия уже подверглась двум захватывающим дух революциям – в виде теории относительности и квантовой механики. Сейчас мы стоим на пороге третьей».

Анализ идей и накопленных к началу XXI века результатов в теоретической физике показывает, что к настоящему времени в России уже найдены «методы», позволяющие «в принципе отказаться от пространственно-временного континуума» и тем самым начать «дышать в безвоздушном пространстве».

Для конкретного построения искомой самостоятельной системы понятий и закономерностей, присущей физике микромира, следовало найти необходимый для этого математический аппарат. Основы такого аппарата были заложены в трудах выпускника физического факультета МГУ Ю.И. Кулакова, учившегося в аспирантуре под руководством академика И.Е. Тамма. Кулаковым в рамках так называемой теории физических структур был развит аппарат теории систем отношений на одном и на двух множествах элементов, который был одобрен в свое время Таммом. Суть его состояла в том, что в мире существуют материальные объекты, между которыми имеются отношения в виде расстояний, интервалов или промежутков времени, а сами эти отношения не произвольны а удовлетворяют особым, найденным в его группе алгебраическим законам, связывающим между собой отношения между фиксированными числами элементов.

Были предложены две разновидности теории систем отношений: на одном множестве элементов и на двух множествах элементов. Теория систем на одном множестве элементов позволяет переформулировать в ре-

ляционном духе общепринятые геометрии с симметриями: Евклида, Лобачевского, Римана, Минковского и ряд других. Теории систем отношений на двух множествах элементов, обобщенные в нашей группе на случай комплексных отношений, оказались необходимыми для реляционной переформулировки явлений физики микромира, а в частности – для описания S-матричной формулировки квантовой механики, обоснования спинорного характера элементарных частиц, построения теории атома и много другого без использования понятий классического пространства-времени и общепринятых дифференциальных уравнений на его фоне.

Было показано, что от теории систем отношений на двух множествах элементов имеется естественный переход к теории систем отношений на одном множестве элементов. Это достигается своеобразной «склежкой» элементов двух множеств в новые элементы одного множества, что фактически означает построение общепринятых геометрий из понятий бинарной геометрии (точнее, алгебры), присущей физике микромира. Фактически это является путем решения проблемы, обозначенной в приведенном выше высказывании А. Эйнштейна.

В более широком плане математический аппарат теории систем отношений оказался необходимым для развития третьей – реляционной парадигмы физики, идеологические основы которой были заложены в трудах Г. Лейбница и Э. Маха. В связи с этим уместно напомнить еще одно высказывание А. Эйнштейна: «Мах в девятнадцатом столетии был единственным, кто серьезно думал об исключении понятия пространства, которое он пытался заменить представлениями о всей сумме расстояний между всеми материальными точками».

С точки зрения реляционного подхода более первичными являются не расстояния между телами, входящие в определения сил взаимодействий, а сами взаимодействия. В связи с этим также уместно напомнить высказывание Ли Смолина уже в XXI веке: «В картине мира Лейбница все сущее находится не в пространстве, а погружено в сеть взаимодействий. Эти связи определяют пространство (а не наоборот). (...) Я называю революцию в физике XX века реляционной».

В настоящее время на кафедре теоретической физики читается спецкурс «Бинарная геометрофизика», в котором излагаются идеи реляционного подхода (парадигмы) и следствия, вытекающие из их использования. Изложение этих идей показывает, что они оказались весьма непривычными для большинства физиков. Таковыми являются все три неразрывно связанные друг с другом составляющие (принципы или концепции) реляционного подхода.



Первой составляющей является отказ от представлений об априорно заданном классическом пространстве-времени. Его следует понимать как абстракцию от совокупности отношений (расстояний и интервалов) между материальными объектами (или событиями с их участием). Это именно то, о чем писали Лейбниц и Мах.

Второй, также непривычной для большинства современников составляющей, является описание физических взаимодействий на основе концепции дальнего действия, альтернативной ныне общепринятой концепции ближнего действия. При реляционном подходе к природе пространства-времени теряет силу понятие поля, поскольку его невозможно определить в точках пустого пространства-времени, которого в этом подходе нет. Полям не почему распространяться. Общепринятые представления о распространении, например, электромагнитного излучения теряют силу. Об этой составляющей реляционного подхода выразительно писал Р. Фейнман: «Ведь поля нет совсем или, если вы непременно хотите пользоваться понятием поля, оно теперь всегда полностью определяется взаимодействием частиц, его создающих. Вы качнули эту частицу, а она в свою очередь качнула ту; но раз уж вы хотите говорить о каком-то поле, если оно вообще существует, должно полностью определяться теми материальными частицами, которые его порождают, а потому у него нет никаких независимых степеней свободы». Именно концепция дальнего действия послужила основой для построения теорий прямого межчастичного электромагнитного и гравитационного взаимодействий, а также фейнмановской специфической формулировки квантовой механики.

Третьей составляющей является принципа Маха. В современной физике, преподаваемой в школе и в университетах, принцип Маха, как правило, даже не упоминается. Ныне общепринято описывать свойства физических объектов, таких как, например, массы элементарных частиц, локальными обстоятельствами: бозонами Хиггса, флуктуациями вакуума и т. д., тогда как в реляционном подходе используется принципиально иной способ – предлагается это делать посредством учета глобальных свойств окружающего мира. Об этом писали Г. Вейль, А. Эддингтон, Г.В. Рязанов (выпускник физфака МГУ) и другие физики.

Анализ показал, что все три названные составляющие реляционного подхода неразрывно связаны друг с другом. Труды ряда авторов, например, Я.И. Френкеля и Р. Фейнмана, развивавших отдельно принципы концепции дальнего действия, оказались недостаточно обоснованными из-за игнорирования первой составляющей – реляционного понимания природы пространства-времени. А если ее учесть, то концепция дальнего действия оказывается неизбежной.

Принятие концепции дальнего действия в последовательном реляционном подходе порождает необходимость учета принципа Маха, а он, в свою очередь, оказывается ответственным не только за массы или инерцию, как это полагали А. Эйнштейн, Г. Вейль или А. Эддингтон, но и за происхождение понятий классического пространства-времени. Таким образом, круг из трех составляющих реляционного подхода замыкается. Ни одна из трех составляющих не жизнеспособна без двух остальных.

Уже полученные результаты в рамках реляционной парадигмы изложены в серии из трех книг автора этой статьи под общим названием «Реляционная картина мира», изданных в 2021 и 2022 годах в издательстве УРСС, возглавляемом выпускником физического факультета МГУ Марин Рикой Доминго.

В частности, в этих книгах показывается, что в XX веке было несколько попыток возродить идеи реляционной парадигмы. Таковыми были 1) создание специальной теории относительности, 2) развитие теории прямого межчастичного электромагнитного, а затем гравитационного взаимодействия, 3) попытка Р. Фейнмана создать на основе идей дальнего действия новую формулировку квантовой теории, 4) развитие S-матричной формулировки квантовой теории. Были и другие, менее заметные всплески интереса к идеям реляционной парадигмы.

В заключение считаю нужным напомнить высказывание Э. Маха: «История науки показывает, что новое, правильное познание, покоящееся на верных основах, может то больше, то меньше затемняться, может выступать в односторонней, неполной форме, для одной группы исследователей даже совершенно исчезнуть и снова возродиться. Однократного

нахождения и провозглашения каково-нибудь познания бывает недостаточно. Часто проходят года и даже столетия, пока общее мышление разовьется настолько, чтобы оно могло стать общим достоянием и укрепиться».



*Профессор кафедры  
теоретической физики  
Ю.С. Владимиров*

## ФЕСТИВАЛЬ НАУКА 0+ 2022 ГОДА

С 7 по 9 октября в Москве прошёл 17-й фестиваль НАУКА 0+. Торжественная церемония открытия состоялась в актовом зале Фундаментальной библиотеки МГУ. По традиции Фестиваль открывает лекция ректора Московского университета, академика Виктора Антоновича Садовниченко. Каждый год выбирается новая тема Фестиваля НАУКИ. В 2022-м году тема Фестиваля – «Создавая будущее». Отражает тему фестиваля этого года – «Создавая будущее» – строящаяся в МГУ научно-технологическая долина.



Московский университет, безусловно, является одним из ключевых мест, где силами известных научных школ, признанными учеными и молодыми исследователями создается будущее. В Университете развивается соответствующий специальный проект – «Университетская долина», официально называемый «Инновационный научно-технологический центр МГУ «Воробьевы горы». Долина МГУ включает в себя 9 кластеров, общей площадью около 500 тыс. кв. метров, представляющих приоритетные научные направления, такие как «Биомед», «Нанотех», «Инжиниринг», «Инфотех» и др. Об этом и многом другом рассказал в своей

лекции Виктор Антонович. Прослушать лекцию-открытие и записи других интересных мероприятий можно по ссылке:



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

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

Мероприятия Фестиваля НАУКИ на физическом факультете МГУ проходили в субботу 8 октября. В Центральной Физической Аудитории имени Р.В.Хохлова состоялся Лекторий, были представлены следующие лекции: «Есть ли жизнь на Венере?», Сурдин Владимир Георгиевич, доцент кафедры экспериментальной астрономии; «Многофункциональные наноматериалы», Константинова Елизавета Александровна, профессор кафедры общей физики и молекулярной электроники; «Китайская грамота для физиков», Пятаков Александр Павлович, профессор кафедры физики колебаний; «Фейерверк физических демонстраций», Рыжиков Сергей Борисович, доцент кафедры общей физики.



*«Фейерверк физических демонстраций», доцент кафедры общей физики  
Рыжиков С. Б.*

В перерыве между лекциями в холле напротив ЦФА студенты физического факультета провели научное шоу с наглядными опытами «Арт-физика».



*м.н.с. Илья Иваненко на дистанционной экскурсии*

А после окончания лекционной программы можно было пойти на экскурсию по лабораториям кафедры магнетизма, подключиться к экскурсии в лаборатории электронной микроскопии кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества, которая проводилась онлайн. Или пойти на концерт «Физика музыки», в Музее физического факультета. Также в дни проведения Фестиваля студенты представляли физический факультет в Шуваловском корпусе МГУ со следующими научными демонстрациями: Наглядная демонстрация технологии MPT, Магнитный Монорельс, Квантовый Симулятор, Интерферометр LIGO в миниатюре, и проводили научное шоу у входа в Шуваловский корпус МГУ. Видеозаписи мероприятий, проходивших на физическом факультете доступны в официальной группе физического факультета Вконтакте по ссылке:

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



Всего на мероприятия Фестиваля НАУКИ на физическом факультете зарегистрировались 628 участников. Благодарю всех студентов, аспирантов и сотрудников физического факультета, которые участвовали в подготовке и проведении этого масштабного события, а также представителей группы «Открытый физфак».

*Вед. инж. научного отдела Александр Паршинцев*

## О ГРЯДУЩИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АТТЕСТАЦИИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ

(По опубликованным материалам: см., например, [minobrnauki.gov.ru>press-center/ne...](http://minobrnauki.gov.ru>press-center/ne...))

За последние два года, на основе обновленных нормативно-правовых документов, регламентирующих деятельность системы государственной научной аттестации, в деятельности Высшей аттестационной комиссии и диссертационных советов уже введен ряд значительных изменений:

- снижена необходимая (минимальная) численность членов диссертационного совета с 19 до 11 человек;
- разрешено включение в составы диссертационных советов, в том числе докторских, активно работающих ученых кандидатов наук и лиц, имеющих приравненные к ним степени PhD (до 25% от состава);
- разрешены защиты докторских диссертаций «по совокупности научных работ» — «по докладу», без написания текста диссертации.

По мнению Министра науки и высшего образования РФ В. Фалькова (далее — Министр) эти меры существенно расширяют возможности организаций в создании диссертационных советов, а значит, расширяют и возможности соискателей ученых степеней. Он напомнил, что благодаря внедрению этих мер за три года — с 2019 по 2021 — число защит диссертаций в России увеличилось на 24%.

Но это только начало. 6 октября 2022 года заседание Комитета советников Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России Министр отметил, что сегодняшняя ситуация требует еще более активных мер в сфере подготовки научных кадров высшей квалификации и предложил следующие изменения в системе государственной научной аттестации, обсуждение общественной экспертизы которых будут вынесены на Пленум ВАК в конце декабря 2022 года.

Первое новшество касается распространения на всю систему аттестации научных кадров возможности масштабировать «разовые диссертационные советы», численностью от пяти до девяти человек, для проведения разовой защиты.

Министр полагает, что «Это мировой опыт проведения защиты. Он позволяет привлечь в состав таких советов ученых из числа специалистов именно по профилю конкретной защищаемой диссертации».



ВАКу совместно с Минобрнауки России предстоит разработать соответствующую нормативную базу создания и организации работы таких «разовых диссоветов».

Также Министр предложил рассмотреть возможность защит диссертаций аспирантов (то есть кандидатских) «по докладу», а именно по совокупности опубликованных работ, без написания текста диссертации. На первом этапе это предлагается сделать только для проведения защит аспирантами в диссертационных советах до окончания срока аспирантуры или в течение года после окончания аспирантуры.

По словам Министра, реализацию этой инициативы целесообразно начать с диссертаций в области технических, физико-математических и других естественных наук — именно в этих областях требуются значительные экспериментальные исследования, занимающие много времени в аспирантуре. Пленум ВАК затем может определить, на какие научные специальности это можно распространить.

Третья инициатива направлена на повышение качества, объективности и оперативности в экспертизе поступающих в ВАК диссертаций. Глава Минобрнауки России отметил, что необходимо шире использовать возможности дистанционных технологий в этой работе. Предлагается сформировать широкий набор экспертов по каждой из 360 научных специальностей Номенклатуры научных специальностей.

По мнению Министра, такой набор может включать членов экспертных советов ВАК (их около двух тысяч), экспертов РАН, РНФ и других. Поступающие в ВАК диссертации нужно направлять в электронном формате трем экспертам из этого пула экспертов, на рассмотрение дается 10 дней. В этом новшестве ВАК совместно с Минобрнауки России предстоит отработать технологические вопросы, обеспечивающие оперативность и объективность в этой работе: необходимо разработать принципы и принятие необходимых нормативных решений.

«Мы рассчитываем на заинтересованное участие научного сообщества в обсуждении этих новаций с тем, чтобы, расширяя возможности организаций и соискателей ученых степеней, мы не упустили бы самое главное — обеспечение качества диссертационных исследований», — подчеркнул Министр.

Озвученные инициативы Министра прокомментировал Председатель Высшей аттестационной комиссии В. Филиппов, который считает, что предложенные механизмы должны распространяться на абсолютное большинство вузов, в том числе и на региональные, где, например, не всегда хватает докторов наук для создания постоянных диссертационных советов. Далее он отметил: «Валерий Николаевич знает и чувствует

эту систему. Одно из предложений касается защиты диссертаций аспирантами в срок. Это проблема, решение которой предложил Министр: давайте не будем требовать от них текста диссертации, если он уже выполнил работу и опубликовал статьи, давайте используем этот опыт разовых защит, который уже наработан, на все вузы страны. Министерство стремится к открытости и гласности. Именно поэтому третье предложение касается повышения объективности экспертизы диссертаций. Министр сказал, часто докторскую диссертацию, которую человек готовил 10–15 лет, эксперт должен за 20–30 минут прочитать. Все озвученные сегодня предложения существенно новые, дискуссия была острой (имеется в виду заседание Комитета советников Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России). Многие привыкли жить по старинке, не хотят ничего менять. Именно поэтому такая встреча была важна, чтобы услышать всех. И сейчас мы будем готовить проекты документов, чтобы любые риски исключить».

Действительно, предложения новые, можно сказать, революционные, и только время позволит оценить их созидательную составляющую. Поэтому неслучайно Министр подчеркнул, что надеется на заинтересованное участие научного сообщества в обсуждении этих преобразований.

Считаю, что профессорско-преподавательскому составу физического факультета следует принять самое активное участие в обсуждении инициатив Министра науки и высшего образования РФ, направленных на значимую реконструкцию системы государственной аттестации научных и научно-педагогических кадров.

*Заслуженный работник высшей школы,  
профессор В.С. Сенашенко*

## К 90-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА ФЕДОРА ВАСИЛЬЕВИЧА ШУГАЕВА



Шугаев родился в Москве 19.10.1932 г. Его родители окончили физмат МГУ и работали в Теплотехническом институте им. Дзержинского. Шугаев после окончания школы с золотой медалью был принят на физфак МГУ и окончил его в 1955 г. Далее он учился в аспирантуре, а затем стал сотрудником кафедры молекулярной физики, которой тогда заведовал член-корр. АН СССР профессор А.С. Предводителев. Шугаев участвовал в хоздоговорных работах, которые кафедра вела с Главным артиллерийским управлением, а также с конструкторским бюро С.П. Королёва и с Московским институтом теплотехники (директор – главный конструктор академик АН СССР А.Д. Надирадзе).

В 1965 г. Шугаев защитил кандидатскую диссертацию на тему «Взаимодействие сверхзвукового потока с затупленным телом». В семидесятых годах прошлого века он усовершенствовал метод, предложенный Адамаром для разложения в ряд параметров газа за фронтом искривлённой ударной волны, распространяющейся по неоднородному течению. Благодаря этому оказалось возможным найти распределение плотности и давления при отражении ударной волны от тел различной формы и при распространении волны в неоднородном потоке. Это исследование, а также соответствующие данные, полученные в экспериментах на ударной трубе с высоким временным разрешением, составили предмет докторской диссертации, защищённой в Московском физико-техническом институте в 1985 г. В проведении экспериментов участвовали аспиранты

Ю.Г. Лисин, Ю.Ф. Маковский, О.А. Серов, И.А. Знаменская, М.В. Пискарева, асс. Н.Н. Сысоев.

В восьмидесятых годах прошлого века под руководством Шугаева были выполнены работы по изучению структуры ударной волны в низкотемпературной плазме при поперечном высокочастотном разряде. В работе принимал участие аспирант С.А. Быстров. Одним из результатов работ явилось обнаружение предвестника перед фронтом волны. В начале 2000-х годов аспирант А.П. Калинин под руководством Шугаева исследовал устойчивость быстрых магнитогазодинамических волн. В десятых годах этого века Шугаев совместно с аспирантами Д.Ю. Черкасовым, О.А. Солёной,

Т.А. Петровой теоретически исследовал затухание сеточной турбулентности на основе системы уравнений Навье – Стокса для вязкого теплопроводного газа. Предварительно была разработана оригинальная процедура для численного решения данной системы. Была найдена скорость затухания в зависимости от частоты спектра возмущений. Несколько позже Штеменко Л.С. и Шугаев Ф.В. экспериментально обнаружили новый эффект – появление избыточного давления за ударной волной, распространяющейся по турбулентному газу. Позднее эффект был подтверждён японскими исследователями. В отличие от японских учёных, Штеменко и Шугаев сумели найти причины, благодаря которым эффект возникает.

В 2018 г. Шугаев и его аспирантка О.А. Николаева получили точное решение уравнений Максвелла, описывающее распространение непараксиального гауссова пучка в однородной атмосфере и поправки к нему за счёт неоднородностей в атмосфере. Этот результат явился темой приглашённого доклада на конференции SPIE Remote Sensing (2020 г.).

Шугаев – учёный, известный не только в России, но и за рубежом. Он опубликовал свыше 160 научных работ. Среди них монографии:

Ф.В. Шугаев. Взаимодействие ударных волн с возмущениями. Изд. Московского университета, 1983, 98 стр.

F.V. Shugaev, L.S. Shtemenko. Propagation and reflection of shock waves. World Scientific, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, 1998, 244pp.

Шугаев в течение ряда лет читает спецкурсы «Математические методы в механике сплошных сред», «Гидродинамика сверхтекучей жидкости». В 2019 г. он выпустил пособие «Теория нелинейных волн» (123стр.). Под его руководством защитили кандидатскую диссертацию 13 человек. Из них трое стали докторами наук.

Шугаев перевёл с французского монографию Адамара «Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболическо-

го типа», которая была издана под редакцией академика АН СССР О.М. Белоцерковского (М., «Наука», 1978).

Шугаев – член Диссертационного Совета Д 002.110.03 ОИВТ РАН, член SPIE (международная организация по оптике и фотонике).

**Пожелаем Федору Васильевичу крепкого здоровья и дальнейших успехов в научной и педагогической деятельности.**

*Б.И. Садовников, А.В. Уваров, Л.С. Штеменко*

## ПОЗДРАВЛЯЕМ СЕРГЕЯ ПЕТРОВИЧА ВЯТЧАНИНА!

31 октября 2022 года исполнилось 70 лет заведующему кафедрой физики колебаний профессору Сергею Петровичу Вятчанину.

С.П. Вятчанин работает на физическом факультете МГУ с 1979 г. после окончания аспирантуры физического факультета. В 1981 г. он защитил кандидатскую диссертацию, а в 1999 г. – докторскую. С 2001 г. он профессор физического факультета, а с 2012 г. – заведующий кафедрой физики колебаний.

С.П. Вятчанин широко известен своими теоретическими работами в областях физики квантовых и прецизионных измерений, квантовой и классической радиофизики. Им был выполнен большой цикл работ в рамках Международного проекта создания лазерных интерферометрических детекторов гравитационного излучения (LIGO), увенчавшегося в



2015 г. первой прямой регистрацией гравитационных волн от слившихся двойных черных дыр. Чувствительными элементами интерферометрических детекторов являются подвешенные пробные массы весом около 40 кг, на которые нанесены многослойные диэлектрические зеркальные покрытия. В 1999 г. в LIGO возникла идея заменить пробные массы из плавленого кварца на пробные массы из сапфира. Представлялось, что монокристаллический сапфир является более качественным материалом с точки зрения малых оптических и акустических потерь. С.П. Вятчанин с коллегами детально проанализировали все физические процессы, приводящие к флуктуациям положения поверхности пробной массы. Ими был предложен и впервые реализован новый метод расчета тепловых флуктуационных колебаний поверхности пробной массы, который показал, что при комнатных температурах шум смещения поверхности кварцевой пробной массы меньше, чем сапфировой, так что замену пришлось отменить. Этим вопросам посвящена *статья V.B. Braginsky, M.L. Gorodetsky, S.P. Vyatchanin, «Thermodynamical fluctuations and photo-thermals hot noise in gravitational wave antennae»*, опубликованная в журнале *Physics Letters A 264 (1999) 1*. Она собрала 373 цитирования.

В 2001 г. С.П. Вятчанин с коллегами предсказали и рассчитали эффект параметрической колебательной неустойчивости, который будет возникать в лазерных интерферометрических детекторах гравитационных волн при большой мощности оптической накачки в плечах интерферометра. Статья *V.B. Braginsky, S.E. Strigin, S.P. Vyatchanin, «Parametric oscillatory instability in Fabry–Perot interferometer»*, опубликованная в журнале *Physics Letters A 287(2001) 331*, имеет 433 цитирования. Только в 2015 году эффект параметрической колебательной неустойчивости был экспериментально обнаружен в гравитационно-волновом детекторе LIGO, полностью подтвердив все теоретические расчеты.

С.П. Вятчаниным предложена и развита теория квантовых вариационных измерений, позволяющая преодолеть стандартный квантовый предел чувствительности при координатных измерениях. Ее результаты легли в основу работы: *H. J. Kimble, Yuri Levin, Andrey B. Matsko, Kip S. Thorne, and Sergey P. Vyatchanin, «Conversion of conventional gravitational-wave interferometers into quantum nondemolition interferometers by modifying their input and/or output optics»*, опубликованной в *Physical Review D, vol. 65 (2001) 022002*. Статья уже получила 730 цитирований и продолжает их набирать.

Это лишь немногие примеры из более 300 работ, опубликованных С.П. Вятчаниным с коллегами и учениками и получивших признание

среди отечественных и зарубежных ученых. Они также свидетельствуют о большой практической значимости его теоретических работ. Эти работы поддерживаются как российскими (РФФИ, РФФИ, Минобрнауки РФ), так и международными грантами и проектами. В настоящее время он вместе с аспирантами и студентами продолжает активную деятельность по разработке новых методов квантовых измерений. Так, впервые проанализирована возможность одновременного использования дисперсионной и диссипативной связи в оптомеханических системах. Сформулирован рецепт преодоления стандартного квантового предела для этого случая (2020 г.). Впервые сформулирован оригинальный принцип дихроического квантового вариационного измерения малой силы, действующей на механический осциллятор. Предложенный метод измерения позволяет полностью исключить обратное флуктуационное влияние в широкой полосе частот (2021 г.).

Активную научную работу С.П. Вятчанин сочетает с многосторонней педагогической деятельностью. Он читает общефакультетский курс «Радиофизика» для студентов 3 курса физического факультета, а также в филиале МГУ в г. Баку, ведет кафедральные специальные курсы «Современные проблемы физики», «Квантовые коммуникации и вычисления», «Введение в квантовые измерения», является членом двух диссертационных советов. Им опубликовано семь монографий и учебных пособий.

С.П. Вятчанин является лауреатом пяти премий, в числе которых Премия имени М.В. Ломоносова за научные работы (2016 г.); Специальная Премия за прорывные исследования в области фундаментальной физики (Special Breakthrough Prize in Fundamental Physics, США, 2016 г.); Премия Грубера в области космологии (Gruber Cosmology Prize, США, 2016 г.); Премия Королевского астрономического общества (Royal Astronomical Society Group Achievement Award, Великобритания, 2017 г.); Премия принцессы Астурийской в области технологических и научных исследований (Princess of Asturias Award for Technical and Scientific Research, Испания, 2017 г.)

**От всей души поздравляем Сергея Петровича с юбилеем. Желаем ему крепкого здоровья, творческой энергии и новых научных достижений.**

*Коллектив кафедры физики колебаний*

## К СТОЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ СССР

*Договор об образовании СССР был подписан 29 декабря 1922 года, а 30 декабря 1922 года I Всесоюзный съезд Советов одобрил его.*

Сто лет назад, в 1922 г., в мировой истории вспыхнула ярчайшая звезда – образовался Союз Советских Социалистических республик. Эта вспышка кардинально изменила структуру всего мира. Изменила навсегда.

Нисколько не умаляя вклад других цивилизаций в общемировое развитие, следует отметить, что СССР был принципиально другой, особой, отличной от предшествующих цивилизацией, и, не побоюсь сказать, был той цивилизацией, которой, несмотря на гибель, принадлежит будущее.

Только СССР был способен обеспечить каждому гражданину не только право на труд и необходимые жизненные условия, СССР обеспечивал каждому гражданину право стать создателем, Творцом. Здесь это слово необходимо писать именно так – Творцом. Превращение раба\*, труженика в Творца открывает перед человечеством невиданные перспективы, позволяет решить любые глобальные проблемы.

Как и почему СССР смог просуществовать очень и очень долго?

Только потому, что его граждане были творцами, для них не было ни преград, ни невозможного, и у них – у граждан СССР – было будущее!

Вглядываясь в историю жизни на Земле, выясняется справедливость закона: каждый новый вид биосферы обречен на вымирание.

Только один вид выпадает из этого ряда обреченных жизнью на смерть – это человек. Но не просто человек, чтобы обрести будущее, человек должен стать творцом. Именно эти условия, условия превращения человека в Человека-Творца обеспечивал Союз Советских Социалистических республик.

Не стоит грустить, лучше гордиться нашими предками, сумевшими заглянуть в будущее всего человечества.

Не стоит грустить - будущее будет: путь уже открыт!

\*Здесь раб понимается в духе Сенеки.

*Показеев К.В.*

## ЗОЛОТОЙ ЮБИЛЕЙ ВЫПУСКА 1972 ГОДА

Сокурсницы и сокурсники, все, кому не удалось присутствовать на нашей юбилейной встрече, друзья, поздравляем вас с золотым юбилеем – 50-летием выпуска курса 1972 года.

Наш курс – сингулярность среди других курсов физфака, поскольку он собрал наиболее подготовленных, т.е. нас, среди абитуриентов сдвоенного выпуска 10-х и 11-х классов в 1966 г. В первые дни июля (начало экзаменов – 4 июля) к физфаку МГУ прибыло амбициозное поколение выпускников из всех уголков Союза ССР, которые, принимая факт удвоенного числа абитуриентов-конкурентов, преодолели робость и сомнения, но прибыли к вступительным экзаменам на конкурсный отбор. Наши родители победили фашизм, были соавторами творцов первых спутников и лазеров, полёта Юрия Гагарина и выхода Алексея Леонова в открытый космос, ядерного щита, первой атомной электростанции и первого атомного ледокола.

Квантовая электроника, Нобелевская премия А.М. Прохорова, Н.Г. Басова и Ч.Х. Таунса и лазеры открывали новые горизонты непознанного. На физфаке уже была создана новая кафедра волновых процессов Рема Хохлова для изучения нелинейно-оптических процессов при взаимодействии лазерного излучения с веществом. Эти достижения, спрессованные в исторически короткий отрезок, были известны по всей стране, и поэтому физика манила нас новыми открытиями.

Личный круг однокурсников, с кем мы общаемся, включает представительную географию регионов страны, откуда они приехали и поступили на физфак МГУ: Москва, Ленинград, Ташкент, Рига, Киев, Йошкар-Ола, Сумы, Черновцы, Крым, Тернополь, Новороссийск, Баку, Фрунзе, Печора, Башкирия, село Пономарёвка Оренбургской области, с. Алейниково Белгородской област, Гудермес (Чечня) и т.д.). Было подано свыше 4500 заявлений. Из них около 80% (~3600) выпускников с золотыми и серебряными медалями на 550 мест. Первый экзамен, математика письменно, существенно проредил это число, оставив около ~1200 претендентов. Высокий уровень сложности задач позволил достаточно эффективно и объективно провести отбор, выявив наиболее подготовленных абитуриентов.

Из преодолевших этот барьер медалистов, насколько нам сегодня известно, только 10 (может быть, немного больше) абитуриентов получили пятерки за письменную и устную математику и были освобождены от других экзаменов. Так, одному из таких медалистов (Коле Томилину), успешно решившему все задачи письменного экзамена, но не

нашедшему себя в списке допущенных на второй экзамен, пришлось добиваться справедливости в апелляционной комиссии, куда удалось попасть к полуночи, отстояв на улице 10-часовую очередь. К удивлению членов комиссии, выяснилось, что работа оценена на 5, но произошла ошибка и по непонятной причине попала не в тот список. Из комиссии Коля вышел после часу ночи, когда метро и транспорт уже не работали. Пришлось топать домой пешком. После такого испытания было делом чести и принципа получить вторую 5 за устный экзамен, что и было блестяще сделано.

Действительно, мы отмечаем «золотой юбилей», насыщенный вот этими медалями. Судите сами, Виталий Высоцкий помнит, что в их группе № 120 из 25 студентов только у трёх(!) не было медали. В группе В. Петникова и А. Старобинского (№ 12) все были с медалями школы! При этом 13 девушек! Есть фантастический документ: зачётка Семёна Фельда с оценкой *excellent*, которую ему поставил будущий лауреат Нобелевской премии Nicolaas Bloembergen весной 1971 г. за экзамен по курсу Леонида Келдыша «Нелинейная оптика» на 5-м курсе. Рем Викторович Хохлов пригласил его в аудиторию, где мы сдавали этот курс, и он проэкзаменовал Семёна с разрешения Леонида Келдыша. Эти примеры показывают высокий уровень школьного образования не только в центре, но и на удалении до окраин страны. Существенно заметить, что медали не были «липовыми» и отражали реальные знания всех школьников, не отмеченных медалями.

3 сентября 1966 г. на первой лекции по матанализу на нашем, 1-м потоке профессор математики Владимир Маркович Волосов поздравил нас с поступлением и несколько охладил нашу гордыню словами: «Много было званых (~4500), но мало призванных (550, из них около 130 были девушки!). Только трое или четверо из вас оставят заметный след в науке». Это прозвучало как наказ и напутствие одновременно: дерзайте! Заметим, что вторая половина курса могла не знать об этом напутствии, поскольку курс (20 групп) был поделён на два потока по 10 групп с параллельным расписанием занятий и дисциплин до распределения на кафедры на третьем курсе. Благодаря общежитию, агитбригаде (Пулинец Серёжа и др.) и ССО мы эффективно перезнакомились и преодолели это разделение. Пророчество профессора Волосова В.М. сбылось! В канун 50-летия наш курс даже перевыполнил его наказ (см. ниже).

Закончив обучение и получив дипломы-сертификаты нашей компетенции в разных областях физики, мы уже могли считать себя обручёнными с наукой в год выпуска, 1972 г. Мы вышли в мир науки и



начали «карабкаться по её каменистым тропам неизведанного к вершинам истины». Мы начали накручивать обороты вокруг светила, вплоть до сегодняшнего, 50-го. Отметим высокое качество знаний и компетенций нашего курса: ~10% выпускников получили красные дипломы отличников (у них более 75% «отлично» в зачётах за 6 лет упорного труда студента!)

«Курсу славно подфартило, намотать вокруг светила 50 годков-витков!!!! А итог-то? Он каков?»

1. *академики РАН:*

Саша Глико, академик-секретарь отделения наук о Земле РАН, экс-директор ИФЗ РАН;

Женя Гордеев, академик РАН, экс-директор института вулканологии ДВО РАН;

Алёша Старобинский, академик РАН, а также иностранный член Национальной академии США и Андрей Линде – академик Национальной академии наук США –оба разрабатывают инфляционную теорию эволюции Вселенной, за которую они номинировались на Нобелевскую премию!

Сергей Молоденский – чл.-корр. РАН, геофизик, занимается теорией приливов и нутации Земли.

В 2019 г., наш Стас Колесников избран чл.-корр. РАН!

*Курс перевыполнил наказ Волосова В.М.: мы держаем, несмотря на возраст!*

2. *«доценты с кандидатами»* работают в МГУ и других вузах страны – более половины курса защитили кандидатские диссертации и около половины из них – докторские.

3. *Награды и премии* не обошли наш курс стороной:

Значимые награды наших академиков можно найти по интернету, среди которых медаль Дирака только у Андрея Линде и Алексея Старобинского. Следующая по рангу – Нобелевская премия, претендентами на которую они оба уже рассматривались. Ждём нового пополнения в клуб Нобелевских лауреатов.

Ряд наших сокурсников также отмечены разными наградами, некоторые из которых представлены ниже (это не все, конечно, а только пример):

Алексеева-Мохова Марина – Правительственная награда: медаль Ордена за «Заслуги перед Отчеством» 2 степени, 1999 г.

Болодьян Ваню (полковник) – Орден «Знак Почёта» за успехи в физике горения и взрыва;

Сильницкий Саша – Государственная премия РСФСР 1989 года;

Высоцкий Виталий – премия Правительства РФ в области науки и техники; премия им. П.Н. Яблочкова РАН; премия IEEECS за долговременное и плодотворное служение прикладной сверхпроводимости; медаль Росатома и другие отраслевые – электротехнические;

Куприянов Миша (ранее) и недавно Белоусова Ольга и Кульбачинский Владимир – Ломоносовская премия МГУ.

4. Не забудем также, что более половины нашего курса параллельно получило высшее военное образование с выпуском кадровых офицеров – лейтенантов войск ПВО страны, ~160 из которых были призваны на действительную службу на 2 года; Некоторые продолжили службу Советской Армии и других организациях до звания старших офицеров:

генерал – Ламакин Юрий;

полковники – Болодьян Иван, Глухов Толя, Данилов Саша, Чуйко Игорь, Козарь Виталий, Шакиров Виктор и, возможно, другие тоже.

5. В г. Саров трое наших сокурсников – Булкин Юрий Николаевич, Калиновский Владимир Валентинович и Якутов Борис Петрович – обновляют и поддерживают оборонный щит страны в рабочем состоянии на должном уровне.

Из истории факультета известно, что на каждом курсе встречаются студенты с особыми способностями. Наш курс не остался в стороне и по этим талантам тоже, вот некоторые примеры.

Известно, что Зоя Игнатьева (Истратова) в зрелом возрасте (50+) освоила парашютное дело и прыгала с парашютом, а также поступила в аспирантуру, успешно защитила диссертацию.

Наша Лейла Янгузарова закончила кафедру математики, работала в Институте водных проблем РАН, а защитила кандидатскую диссертацию по теоретической астрофизике. Сейчас она российский представитель [classicalarchives.com](http://classicalarchives.com), самого большого сайта классической музыки в Интернете. При этом на её курсы риторики запись на годы вперёд.

Володя Филатов, получив на физфаке материалистическое мировоззрение и его закрепив кандидатской диссертацией, стал доктором философских наук, профессором философии и заведующим кафедры философии в РГГУ.

Константин Показеев уже двадцать пять лет выпускает факультетскую газету «Советский физик». Под его редакторством газета вышла на совершенно другой уровень: сохранив традиционную форму настенной газеты, без которой трудно представить холл Центральной физической аудитории, стала выпускаться в журнальном, электронном вариантах, на основе газетных статей выпущено два десятка сборников, рассказывающих о людях физического факультета.

Наш сокурсник, Магомед Эпендиев, поступил на физфак с двумя пятёрками по математике. Получил диплом на кафедре теорфизики, отслужил в армии, поступил в аспирантуру физфака к Ольховскому И.И., защитил диссертацию, преподавал и написал два учебника по физике. На сорокалетие курса предложил встречаться чаще, каждый год, у него на даче, в Подмосковье. За прошедшую декаду эти встречи вошли в традицию, что стало очередной сингулярностью нашего курса.

В уже упомянутой группе № 120 был студент Андрей Остапчук, которому при поступлении было 15 лет (!!!). Затем он (ожидаемо) стал кандидатом физ.-мат. наук, но затем, совсем неожиданно, протоиереем храма Пантелеймона в Кёльне (ФРГ). (Неисповедимы пути Господни!)



*Слева направо: Таня Шестакова, Мила Горбунова, Таня Роганова, Оля Белоусова, Наташа Сазанович, Ира Дроздовская, Ира Сорокина, Лена Помелова, Марина Алексеева-Мохова*

Благодаря В. Кульбачинскому сохранилось фото с экзамена в первую сессию в январе 1967 г. Из архивной фотографии нашего Во-

лоди видно, что фотокорреспондент газеты «Правда» был направлен в аудиторию, где 120 группа сдавала первый экзамен по матанализу П.С. Моденову. Отметим, что недавно, в 2021 г., многолетний труд педагога, профессора Кульбачинского В. и доцента Белоусовой (Васильевой) отмечен Ломоносовской премией МГУ, как упоминалось выше.



## ГЫНИ

кубометра воды, строителям предстоит возвести искусственную земляную насыпь длиной почти с четырехэтажный дом. Сегодня гидромеханизаторы открыли счет четвертому миллиону кубо-

## РУКОПОЖАТИЕ ГОРОДОВ

О том, как будут развиваться международные контакты в год 50-летия Советской власти, говорилось вчера в Москве на собрании Ассоциации по связям советских и зарубежных городов. В Москву прибыли посланцы более 70 городов-побратимов

со 115 странами. Немалая роль в этих связях отводится контактам между городами. 86 городов СССР установили дружественные связи со 191 городом капиталистических и развивающихся стран. Москва, например, связана с 35 городами. Ленинград

**Зимняя сессия в разгаре.** Немало волнений несет она студентам. Иногда бывает, что и подготовился студент хорошо, и билет знает, а задумается надолго, прежде чем ответить. На снимке: студент первого курса физического факультета МГУ В. Кульбачинский сдает экзамен по высшей математике доценту П. С. Моденову.  
Фото В. Воронина.

Доцент Моденов П.С. тогда был известен по его пособию по элементарной математике для поступающих в вузы. Интересно, что он чаще других наших учителей вспоминается в анкетах наших сокурсников из-за личных встреч с ним с целью повысить оценку за экзамен по матанализу в 1967 г. (см. историю курса, которые редактирует и талантливо сводит в отдельные тома наша Таня Бойко (Назарова), [tanazarova@mail.ru](mailto:tanazarova@mail.ru) и <https://cloud.mail.ru/public/3EdM/GxqcGziny>). Так Сева Зарубанов был приглашён Моденовым к нему домой и успешно исправил 3 на 4, но неожиданно быстро и своеобразно! А вот Магомеду Эпендиеву исправить 4 на 5 не удалось. В сентябре 1966 г. на 2-м или 3-м семинаре Моденова по матанализу Першин, стоя у доски, быстро упрощал длинный многочлен, но «споткнулся» на скобках (бином Ньютона), чем Моденов П.С. был искренне огорчен.

Студенческие строительные отряды. Курсу снова «повезло»: нам представился шанс поехать на целину в 10-летний юбилей освоения целины студентами, начало которому положили студенты физфака

МГУ. Пионеры целинных ССО (В.Д. Письменный, С.Ф. Литвиненко, В.П. Кандидов и др.) были уже нашими наставниками на факультете. В первое студенческое лето 1967 г. большинство нашей группы № 16 поехало на целину в Казахстан в составе отряда «ЦО-2». Командир отряда – Ктиторов Володя, который годом ранее набирался опыта в отряде «ЦО-1». И здесь наш курс отличился тем, что наш Дима Белов отснял почти полнометражный фильм на 8-миллиметровую плёнку. Смонтировал его в фильм с комментариями. Много лет спустя, в 90-е, по инициативе Ани Корниловой мы оцифровали этот фильм и озвучили его. Подобных фильмов о ССО мы никогда более не встречали. Фильм доступен по ссылке [www.krasnoetv.ru/node/7065](http://www.krasnoetv.ru/node/7065) (разве это не сингулярность?). Более того, в 2016 г. к 50-летию нашего «ЦО-2» к нам в МГУ, после посещения мест ССО в Казахстане, приехали чехи, Вацлав, Маришка и Зденек, пражские студенты, которые выбрали летнюю практику в СССР, в нашем отряде. В 2017 г. мы с Сергеем Семёновым были в Праге на юбилейной (50 лет) встрече бойцов ССО «ЦО-2» по их приглашению.

На курсе есть ещё и реликвия ССО! В конце июля 1968 г. в ССО «Смоленск-68» (командир Валера Чернышев) нам сообщили, что может приехать декан физфака В.С. Фурсов с визитом. Ждите. Ожидая визит, мы написали письмо потомкам с надеждой подписать его у декана, если визит состоится. Действительно, на исходе дня 19.07.1968 г. в расположение моей бригады, которая строила зерносклад, вкатилось несколько автомобилей с деканом и с сопровождавшими его визитёрами. Быстро пообщались, все подписали письмо потомкам (см. фото письма с подписью Фурсова В.С. зелёными чернилами) и уехали, поскольку спешили вернуться в Москву. Письмо замуровали наверху фронта в закрытой бутылке (см. фото бригады). При перестройке фронта (в начале 2000-х) потомки обнаружили и сохранили это письмо, а затем передали нам во время нашей поездки по местам трудовой славы в 2006 году. Мы передали письмо в музей физфака МГУ как реликвию нашего курса с сингулярностями.

Вот такой наш курс выпуска 1972 года!

А встреча курса по случаю «Золотого юбилея 50-летия» состоялась 16 апреля 2022 г. в столовой № 10 МГУ.



## Дорогой сокурсник, коллега, а где-то и друг!

Движение "Трудовой физфак",  
Союз выпускников 1972 года и Оргкомитет приглашают тебя  
принять участие во Всесоюзном научном форуме  
"Правильный курс"

Если не ТЫ, то КТО укажет верное направление творческого развития?

Пленарное заседание состоится 16 апреля 2022 г.

Время заседания 12-00 – 22-00

Место встречи: без вариантов – МГУ, физфак (по времени, 10 столовая).

Тематика форума:

Решение актуальных проблем пространства-времени

Укрепление единства теории и эксперимента, базиса и надстройки, бытия и сознания.

Программа форума:

I. Сьезд гостей, регистрация, подготовка устных и стендовых докладов – 12<sup>00</sup> - 12<sup>59</sup>

II. Научно – художественная часть

а) Вступление – 13<sup>00</sup>

б) Выступления –

художественная самодеятельность – 13<sup>15</sup> - 13<sup>45</sup>

научная самодеятельность – 13<sup>46</sup> - 14<sup>15</sup>

личная самодеятельность – 14<sup>15</sup> - 14<sup>30</sup>

III. Культурная часть – 14<sup>30</sup> – до ухода

а) банкет

б) круглые столы, фото с академиками, танцы, физическая эстрада



Общее впечатление о встрече: повеяло теплом из быстро промелькнувшей студенческой жизни.

Многие увиделись после долгого перерыва. Леша Иванов-Шиц и Сережа Першин замечательно провели собрание. Вообще, организация встречи была на уровне, много энтузиазма, энергии, жизненного опыта потребовалось от нашего оргкомитета. Справились на отлично! Соня Березина – молодец, преодолела трудности: прилетела на встречу из Словении через всю Европу в Хельсинки, затем в Москву. Bravo!

Не забыли помянуть минутой молчания безвременно ушедших наших сокурсников.

После «торжественной части» все разбились на корпоративные группы, как обычно. Существует ведь два способа научного рассуждения: от частного к общему и от общего к частному. Так и у нас получается.

Пение стоя гимна физфака «Дубинушка» опять всех объединило. Кто пел громко, кто вполголоса, кто шевелил губами, но это было искренне, и было заметно, что бывших физиков не бывает. Алкоголь в особом почете не был. Увы, мы эволюционируем, но изможденных наукой, изъеденных глубокими морщинами лиц не было. А суперактивная часть выпускников воплотила пылкие юношеские воспоминания прошлого века в танцах.

**Вот годы пролетели, только представьте – полвека!**

**Но студенческая искорка, зажженная в нашей юности alma mater, не погасла!**

*Першин Сергей, г.н.с. ИОФ РАН  
Зарубанов Сева, пенсионер*

## СВЕТЛАНА КОВАЛЕВА

27 июня 1938 – 10 июля 2022

### ФИЗФАКОВЦЫ

Содружество выпускников физфака постигла тяжелая утрата. Ушла из жизни Светлана Ковалева. Большинству читателей она знакома как главный режиссер оперы «Архимед».

Света Ковалева – при звуке этого имени сразу возникает образ прекрасной женщины, образ удивительного созвездия талантов, которыми она наделена. Талантливый физик, прекрасный педагог, хореограф, танцовщица, журналист, режиссер, поэт, писатель, путешественница, обаятельная спортсменка – этот ряд можно продолжить... И еще один очень важный талант – умение дружить. Света была центром притяжения нашего коллектива, делилась своей



неиссякаемой творческой энергией и человеческой теплотой, подвигала на новые проекты, всегда была готова помочь, ободрить, поддержать.

Света родилась в Кандалакше, в приграничном районе. Она всегда очень гордилась своим отцом, офицером-пограничником Константином Варфоломеевичем Ковалевым, прошедшим всю войну. Войну он начал лейтенантом, а завершил в звании полковника.

Окончив физфак, защитив диссертацию, занимаясь наукой, Света всегда отличалась очень широким кругом интересов. Как много она успела сделать! И как многое еще могла бы совершить. Света была полна планов. Совсем недавно, в апреле 2022 года, в Московской математической школе №179 Светлана проводила презентацию своей новой книги «Человек с крыльями» о выдающемся Учителе и математике Николае

Николаевиче Константинове, организаторе математического образования в СССР, создателе (одном из первых) математических классов в Москве. Название этой книги в полной мере относится и к Свете.

На очереди было знакомство читателей с еще одной новой книгой Светы Ковалевой «Наука и флот. Проблемный центр ВМФ» о Военно-морском флоте. В ней Светлана рассказывает о Научно-исследовательском институте ВМФ, где она работала над очень важной и интересной проблемой, связанной с оборонной тематикой.

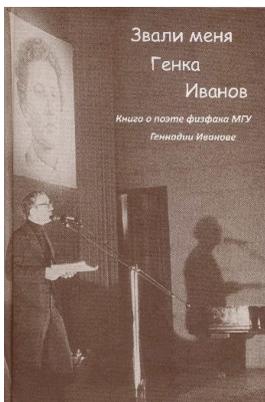
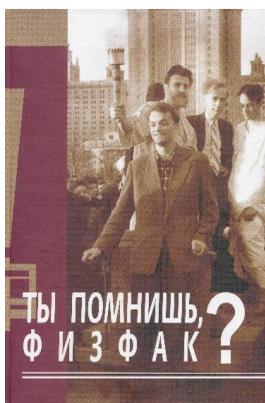
Светлана проводила творческие встречи с интереснейшими, подготовленными ею программами в Доме композиторов, Центральном доме работников искусств, в Центральном доме литераторов, в Доме культуры Курчатовского Института, в театре «Экспромт».

Являясь сотрудником Курчатовского Института, Светлана занималась чрезвычайно актуальными исследованиями по истории Советского атомного проекта. Когда она приехала на комбинат «Маяк», то директор комбината академик В.И. Фетисов сказал, что перед Светой будут открыты все двери, потому что ее статья – лучшее, что было сказано о подвиге советских атомщиков. Речь идет о статье в «Независимой газете» «Плутоний в девичьих руках», где повествуется о героической эпопее добычи оружейного плутония из продуктов деления, образующихся в ядерном реакторе. В те первые послевоенные годы в решении этой проблемы участвовали, в основном, выпускницы Воронежского университета, только что его окончившие. Заголовок статьи стал крылатым выражением. Его можно услышать в Музее ядерного оружия в Сарове при рассказе о начале работы над бомбой. Также большую научную и художественную ценность представляют книги Светланы о выдающихся физиках – Георгии Гамове, Александре Веченове, Льве Термене.

Замечателен вклад Светы в летопись литературного и художественного творчества на физическом факультете. Таковы ее книги «Ты помнишь, физфак?», «Звали меня Генка Иванов», «Архимеду – 60 лет».

Новым явлением в современной русской прозе выступают книги Светланы «Когда отказывают все приборы», где также опубликованы ее прекрасные стихи, «Мои друзья», «Наши в России и за рубежом».

Светлана была ведущей актрисой в знаменитой агитбригаде физфака МГУ, с которой объехала весь Советский Союз, выступала в соцстранах. Приняв эстафету у Юрия Владимировича Гапонова, Светлана более двадцати лет была главным режиссером Большого физического театра оперы и балета и возглавляла все последующие постановки оперы «Архимед». Света участвовала в опере с премьеры на первом празднике «День рождения Архимеда» и как танцовщица, и как балетмейстер.



Эта опера (либретто Валерия Канера и Валерия Миляева, музыка – народная) выдержала более 300 представлений. Под руководством Светы состоялся триумфальный спектакль 2000 года в ДК МГУ, посвященный сорокалетию первой постановки. Вызывает волнение следующий факт. Кассету с записью привезли в город физиков-ядерщиков Снежинск на Урале. Обстановка там была драматичная, «лихие девяностые» продолжались. И как рассказали сами жители Снежинска, просмотр оперы им очень помог, они вновь поверили в свои силы, в то, что смогут преодолеть все трудности.

В 2006 году состоялись легендарные гастроли оперы в городе Керчь на Боспорском фестивале театрального искусства. Благодаря Свете, ее вдохновенной деятельности как главного режиссера и лидера коллектива выступления «Архимеда» было очень успешным, опера – кстати, единственный самодеятельный коллектив из Москвы – стала лауреатом, завоевав специальный приз Фонда «Боспор».

*Фестиваль «Боспорские Агоны», 2006 г. Керчь. Владимир Корнев (Ихтиандр в фильме «Человек-амфибия») вручает Светлане Ковалевой Золотую Нику*



Таким же блестящим было выступление на 80-летию физфака, где среди аплодирующих зрителей были декан факультета профессор Н.Н. Сысоев и ректор нашего Университета академик В.А. Садовничий.

Большую созидательную работу проводила Светлана в своем родном Зеленограде, где она выступала с яркими лекциями, участвовала в литобъединениях. Трудно поверить, что такая полная творческих свершений жизнь прекрасного, светлого, доброго, талантливого человека не будет продолжаться. Света Ковалева всегда будет жить в нашей памяти, в нашей дружбе, для которой она сделала так много.

*Участники оперной студии «Архимед»,  
друзья, коллеги, поклонники*

## ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ АНАТОЛЬЕВИЧА РУБАКОВА



9 октября 2022 года ушёл из жизни выдающийся физик-теоретик, крупнейший специалист в области физики элементарных частиц, квантовой теории поля и космологии, заведующий кафедрой физики частиц и космологии физического факультета МГУ, главный научный сотрудник Института ядерных исследований Российской академии наук, руководитель Секции ядерной физики Отделения физических наук РАН, академик Валерий Анатольевич Рубаков. Его научные работы во многом определили развитие этих областей, открыли несколько новых направлений развития теоретических исследований и инициировали широкомасштабную эксперимен-

тальную проверку теоретических предсказаний на стыке физики частиц и космологии.

В.А. Рубаков родился в Москве, в 1972 году окончил физико-математическую школу №57. В том же году поступил на физический факультет МГУ, затем, в 1978 г., в аспирантуру Института ядерных исследований АН СССР (сейчас ИЯИ РАН). Работая здесь, он защитил кандидатскую и докторскую диссертации, прошёл путь от младшего до главно-

го научного сотрудника и несколько лет в сложные перестроечные годы (1987-1994) проработал в должности заместителя директора по науке.

Им был внесен неопределимый вклад в исследования непертурбативных процессов с нарушением барионного и лептонных чисел в калибровочных теориях. В 1981 году он показал, что магнитные монополи, предсказываемые в моделях Великого объединения калибровочных взаимодействий, приводят к распаду протона и нарушению барионного числа. Эта работа принесла ему мировую славу и мотивировала поиски таких объектов и процессов в космических лучах и подземных лабораториях. Работа Рубакова совместно с В.А.Кузьминым и М.Е.Шапошниковым 1984 года открыла путь к построению моделей электрослабого бариогенезиса и лептогенезиса.

Параллельно с развитием новых идей в области физики элементарных частиц, В.А.Рубаков занимался задачами в теории гравитации, и эта работа была не менее продуктивной. Невозможно не удивляться его работоспособности, он постоянно являлся генератором новых идей.

С самого момента возникновения моделей ранней инфляционной стадии развития Вселенной, его заинтересовал вопрос о физических процессах той эпохи. В 1982 г. совместно с коллегами он нашёл, что рождаемые на инфляционной стадии гравитационные волны приводят к появлению специфической анизотропии температуры реликтового излучения. Этот эффект является основным для экспериментального ограничения темпа расширения и плотности энергии Вселенной инфляционной эпохи. В 1983 году совместно с М.Е.Шапошниковым им была предложена концепция многомерного “мира на бране”, где наш трёхмерный мир – это топологический дефект, трёхмерная доменная стенка, на которой за счёт взаимодействия с образующим стенку полем локализованы наши частицы. В рамках такого подхода решалась фундаментальная проблема космологической постоянной.

В 1984 г. он начал работать над изучением процессов рождения частиц в туннельных квантовых переходах в расширяющейся Вселенной. Перспективы создать новую Вселенную “в лаборатории” вдохновляли Рубакова на протяжении всей научной карьеры. В начале 90-х годов он исследовал влияние инстантонных переходов на рассеяние частиц, изучал возможность увеличения сечения множественного рождения частиц и вызванной этим потери унитарности при высоких энергиях. Совместно с коллегами ему удалось показать, что, хотя множественное рождение не усиливается, непертурбативные процессы могут иметь наблюдаемые в физических процессах следствия. Возможность будущей экспериментальной проверки новых физических идей всегда привлекала Валерия Анатольевича.

Начиная с 2000-х годов В.А. Рубаков активно развивал модели с модифицированной гравитацией. Им были предложены альтернативные инфляционному механизмы генерации неоднородностей материи в расширяющейся Вселенной. В последние годы В.А. Рубаков с молодыми коллегами работал над циклическими моделями эволюции Вселенной и моделями с отскоком.

Научные заслуги Валерия Анатольевича Рубакова были отмечены многочисленными международными и российскими премиями и наградами, среди которых Золотая медаль с премией для молодых учёных Академии наук СССР (1984), Премия Солвейских физических кафедр (2009), Премия им. Ю. Весса (2010), Премия им. М.В.Ломоносова МГУ (2012), Гамбургская премия по теоретической физике (2020). В возрасте 35 лет в 1990 г. он был избран самым молодым на тот момент членом-корреспондентом РАН, в 1997г. стал академиком.

Нельзя не отметить учебники, написанные В.А. Рубаковым по теории поля и калибровочным полям, а также его двухтомную монографию по космологии в соавторстве с Д.С. Горбуновым и по теории групп и симметрий совместно с А. П. Исаевым. Эти издания используют не только студенты, но и специалисты, работающие в столь быстро развивающихся областях теоретической физики.

Заметное время он уделял и организации научной деятельности. В.А. Рубаков участвовал в работе РФФИ, научных советах фондов “Династия” и “Базис”, входил в редколлегии нескольких российских и зарубежных журналов, много лет возглавлял журнал “Успехи Физических Наук” и Секцию ядерной физики ОФН РАН, а также работал в составе Наблюдательных научных советов CERN (Женева) и ICTP (Триест).

Валерий Анатольевич любил работать с молодёжью, блестяще читал лекции, в том числе научно-популярные. Несколько десятков его учеников работают в ведущих мировых научных центрах и продолжают дело своего учителя.

Валерий Анатольевич обладал, казалось, неиссякаемым источником энергии. Он любил физику во всех её проявлениях, с большим энтузиазмом начинал разбираться в самых разных научных вопросах, с которыми к нему обращались коллеги. Общение с ним всегда было полезным и создавало позитивный настрой на дальнейшую работу.

Таким энергичным, поразительно талантливым, ярким учёным, при этом очень отзывчивым и великодушным человеком навсегда останется он в наших сердцах.

*Друзья и коллеги Валерия Анатольевича Рубакова*

(Более подробно с научными результатами В. А. Рубакова можно познакомиться в журнале «Письма в астрономический журнал», том 48, № 11, 2022 ).



## СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ ИСПОЛНЯЮЩЕГО ОБЯЗАННОСТИ ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ПРОФЕССОРА В.В. БЕЛОКУРОВА С НОВЫМ ГОДОМ	2
РЕКТОР МГУ НАЗНАЧИЛ И.О. ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА	3
В МГУ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ НОШ «ФОТОНИКА»	4
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНОЙ ГРУППЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ	7
НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ 2022 ГОДА	17
РЕЛЯЦИОННАЯ ПАРАДИГМА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ	24
ФЕСТИВАЛЬ НАУКА 0+ 2022 ГОДА	29
О ГРЯДУЩИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АТТЕСТАЦИИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ	32
К 90-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА ФЕДОРА ВАСИЛЬЕВИЧА ШУГАЕВА	35
ПОЗДРАВЛЯЕМ СЕРГЕЯ ПЕТРОВИЧА ВЯТЧАНИНА!	37
К СТОЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ СССР	40
ЗОЛОТОЙ ЮБИЛЕЙ ВЫПУСКА 1972 ГОДА	41
СВЕТЛАНА КОВАЛЕВА	49
ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ АНАТОЛЬЕВИЧА РУБАКОВА	52
СОДЕРЖАНИЕ	55

Главный редактор К.В. Показеев

sea@phys.msu.ru

<http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/>

Выпуск готовили: Е.В. Крылова, Н.В. Губина, В. Л. Ковалевский,  
К.В. Показеев, Е.К. Савина, О.В. Салецкая.

Фото из архива газеты «Советский физик» и С.А. Савкина.  
29.12 .2022

Заказ\_\_\_\_\_. Тираж 60 экз.

Отпечатано в Отделе оперативной печати  
физического факультета МГУ