

# СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

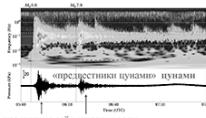
№7 (166) 2023

В номере:



Поздравление декана физического факультета профессора В.В. Белокурова с юбилеем физического факультета

Стр. 2



Основные научные результаты физического факультета

Стр. 3-37



Фестиваль НАУКА 0+ 2023 года на физическом факультете

Стр. 36-40



А сегодня на улицах яблони расцвели

Стр. 40-47



Владимир Ильич Трухин

Стр. 62-66



О юбилее ССО

Стр. 68

# СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

7(166)/2023  
(ноябрь-декабрь)



ОРГАН УЧЕНОГО СОВЕТА, ДЕКАНАТА  
И ОБЩЕСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ  
2023



**ПОЗДРАВЛЕНИЕ ДЕКАНА  
ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА  
ПРОФЕССОРА В.В. БЕЛОКУРОВА  
С ЮБИЛЕЕМ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА**

*Дорогие физфаковцы!*

Нашему факультету – 90 лет!

За эти годы выпускниками физического факультета стали многие тысячи юношей и девушек Советского союза, России и других стран, нашими учеными были получены выдающиеся научные результаты, которые составили гордость российской науки.

Мы свято чтим славные традиции, заложенные нашими великими предшественниками, главные из которых – постоянный поиск нового в науке, образовании, а также сохранение и развитие особого творческого климата на факультете.

Вместе мы сделаем все для того, чтобы физический факультет МГУ всегда оставался флагманом науки и образования.

*С юбилеем всех нас, дорогие друзья!*





## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

#### Квантовая теория поля

Построена явно калибровочно-инвариантная решеточная формулировка Стандартной модели, в которой отсутствует вырождение спектра фермионов. Исследованы температурные фазовые переходы конфайнмент-деконфайнмент в КХД, при этом была вычислена критическая температура фазового перехода в КХД с динамическими фермионами на решетке, а также обнаружено и изучено явление разрыва кварк-антикварковой струны при докритических температурах.

Развиты методы вычисления квантовых поправок, определяющих ультрафиолетовое поведение в суперсимметричных теориях поля.

Исследованы радиационные эффекты в низкоразмерных эффективных теориях фермионных полей с компактификацией. Квантовые теории поля низших размерностей использованы при изучении моделей в физике конденсированного состояния таких веществ, как графен и графитовые нанотрубки. Предложена эффективная модель нанотрубки, основанная на лагранжиане, полученном на основе модели графена с жесткой связью.

Построена количественная модель, объясняющая происхождение иерархической структуры масс и смешиваний всех – заряженных и нейтральных – фермионов Стандартной модели элементарных частиц с помощью одного механизма с небольшим числом параметров.

Предложен механизм генерации первичных скалярных возмущений во Вселенной, отличный от инфляционного. Характерной его чертой является появление специфических свойств возмущений плотности: статистической анизотропии, указания на наличие которой имеются в наблюдательных данных; негауссности специального вида, наклона спектра и др.

#### Теория гравитации и космология

Предложено объяснение происхождения спиральных рукавов галактик в неэйнштейновских теориях гравитации, обусловленное появлением короткодействующих сил за счет дополнительных степеней свободы гравитационного взаимодействия. Проанализированы ограничения, накладываемые галактическими параметрами (масса, светимость и т.д.) на неизвестные параметры неэйнштейновских теорий гравитации. Показана перенормируемость калибровочной аффинно-метрической теории грави-



тации в случае рассмотрения связности и метрики как независимых динамических переменных.

Развита теория гравитации струн Дирака и Мизнера, которые являются «тяжелыми» и дают отдельный вклад в термодинамику черных дыр.

В теории гравитационных волн и дополнительных измерений было показано, что присутствие нечетного числа дополнительных пространственных измерений в принципе может быть обнаружено методами гравитационно-волновой астрономии будущего благодаря эффектам, связанным с нарушением принципа Гюйгенса в нечетномерных пространствах событий.

Впервые сформулированы и доказаны теоремы, запрещающие устойчивые несингулярные решения в теории гравитации с дополнительным скалярным полем (теория Хорндески) для решений в виде кротовой норы и для несингулярных космологических решений. Впервые построены полностью устойчивые несингулярные космологические решения в расширенной теории Хорндески, обладающие хорошими асимптотиками и не имеющие сверхсветовых скоростей возмущений, и устойчивые при больших энергиях возмущений решения в виде кротовой норы в расширенной теории Хорндески.

Разработан метод вычисления функциональных интегралов в теориях, в которых функция Лагранжа выражается через производную Шварца. Предложен новый подход к построению непротиворечивой квантовой теории гравитации, в которой к действию Гильберта – Эйнштейна добавлены слагаемые, содержащие квадрат тензора кривизны пространства – времени. Показано, что в такой теории существует новая динамическая переменная, которая связана с конформным множителем метрического тензора. В результате вычислений фейнмановских интегралов по траекториям получено выражение для масштабного фактора ранней Вселенной.

Исследовано вакуумное взаимодействие топологических космических струн на малых расстояниях. Изучены теоретико-полевые эффекты в гравитационном поле многомерных черных дыр, глобальных монополей и космических струн. Исследованы эффекты поляризации вакуума в моделях контактных взаимодействий (в поле потенциала нулевого радиуса).

Предложен новый механизм генерации барионной асимметрии Вселенной, в котором лептонное число нарушается в осцилляциях стерильных нейтрино, а затем передается обычным нейтрино через юкавские взаимодействия. Барионная асимметрия, то есть преобладание материи над антиматерией во Вселенной, появляется благодаря непертурбативным эффектам.

### Системы многих взаимодействующих частиц

Предложена новая концепция рассмотрения систем многих взаимодействующих частиц в обобщенном фазовом пространстве, включающем



в себя полный (бесконечный) набор кинематических величин всех порядков. Построена дисперсионная цепочка уравнений Власова и ее расширение – дисперсионная цепочка уравнений квантовой механики. В рамках единого описания в обобщенном фазовом пространстве, исходя из единственного первого принципа – закона сохранения вероятностей, получены обобщения фундаментальных уравнений из классической и квантовой физики, учитывающие высшие кинематические величины.

### Теория фликкер-шума

Построена последовательная квантовая теория фликкер-шума в проводящих средах. Дано обобщение соотношения Винера–Хинчина на процессы с неограниченной автокорреляционной функцией, дано качественное объяснение и количественное описание наблюдаемых свойств фликкер-шума в высокотемпературных сверхпроводниках, полупроводниках и графене.

### Методы математического моделирования

Разработаны алгоритмы построения асимптотик движущихся слоев в новых классах задач реакция-диффузия-адвекция. Доказаны теоремы существования и асимптотического приближения движущихся слоев в случае разрывных источников по пространственным переменным и при некоторых значениях искомой функции (так называемые модульные источники и коэффициенты адвекции).

Сформулирован новый подход, объединяющий вычислительные эксперименты с асимптотическим анализом, позволяющий получить достаточно точное описание процессов в двумерной и трехмерной эластографии.

Разработаны методы для решения задач восстановления распределения магнитной восприимчивости подземных тел по данным измерений магнитного поля на поверхности Земли.

Разработан и реализован программный комплекс, с помощью которого получены эффективные параметры волноведущих систем на основе метаматериалов, в частности, фотонных кристаллов. Комплекс позволяет рассчитывать усредненные эффективные параметры произвольных периодических диэлектрических и металлических метаматериалов с учетом как пространственной дисперсии, которой обладают большинство метаматериалов, так и частотной дисперсии.

Ведётся разработка программного комплекса, позволяющего моделировать явления дифракции на сложных телах в векторном трёхмерном случае. На данный момент имеется возможность строить численные решения задач дифракции на идеально проводящих телах и тонких экранах.



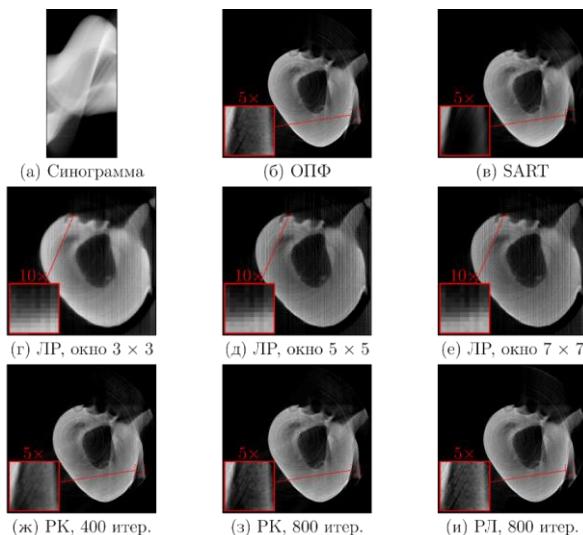
На основе математического моделирования объяснено явление изотермического пересыщения растворов в пористых средах.

Разработан программный пакет CompNPF, предназначенный для вычисления матричных элементов распада элементарных частиц или их рассеяния при высоких энергиях в рамках Стандартной модели.

Создан программный комплекс для моделирования и оптимизации динамики пучка многих взаимодействующих частиц для проектирования ускорительных комплексов, таких как циклотрон. Практическое применение разработанного программного комплекса было реализовано на ряде установок в различных странах Европы и Азии.

Предложены новые методы решения проблемы восстановления изображений по данным компьютерной томографии, основанные на теории измерительно-вычислительных систем и на сужении класса восстанавливаемых изображений за счет информации, не приводящей к возникновению артефактов.

Построена теория и проведено моделирование гравитирующих Бозеконденсаторов, в том числе в экзотических астрофизических объектах.



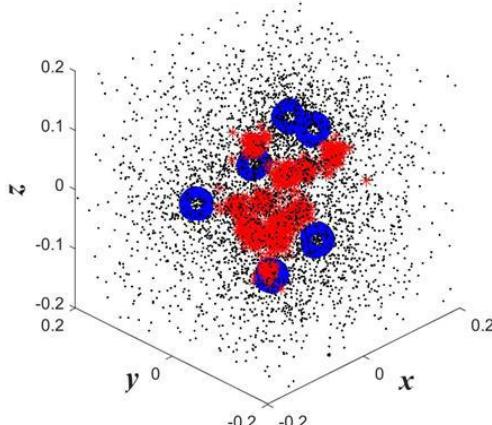
Синограмма зуба (846 датчиков, 400 углов проецирования) и его изображения, восстановленные известными методами (обратное проецирование с фильтрацией прямоугольным фильтром), локальным методом редукции при изменении размера окна обработки и вариантом редукции измерения с использованием итеративных методов Качмажа и Ландвебера



Разработан эффективный численный метод получения решений уравнения Шредингера методом статистических испытаний, допускающий распараллеливание. Вычислительная процедура не лимитирована проблемой размерности волновой функции, характерной для традиционной постановки задачи численного решения уравнения Шредингера.

Разработан математический метод анализа фазовой траектории динамики молекулярных кластеров воды, позволяющий выделить колективные моды движения частиц в кластере, упорядоченные по их вкладу в кинетическую энергию кластера. На его основе предложен энтропийный критерий фазовых переходов в исследуемых кластерах, он может быть использован при изучении фазовых переходов слабосвязанных атомных и молекулярных систем.

*Пример расчета облаков рассеяния квантовых частиц гексамера воды*



Разработан новый метод решения задачи определения скорости тяжелого иона в рамках формализма субъективного моделирования, позволяющий получать несмещенные оценки масс и скоростей тяжелых ионов. Метод прошел апробацию в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (Дубна) на реальных ядерно-физических данных.

### Теория обработки больших данных

Разработана алгебраическая формализация распределенной обработки больших данных, в рамках которой было определено понятие информационного пространства для заданной процедуры обработки данных и доказано существование наименьшего информационного пространства, обеспечивающего самую компактную форму накопления информации и позволяющего наиболее эффективно распараллелить обработку. Показано, что в терминах информационного пространства естественным образом выражаются понятия сложения информации и качества информации.



### Физико-математические методы управления

Получены необходимые условия экстремума задачи оптимального быстродействия в системе несинхронных осцилляторов с ограничением на управление. Доказана сильная достижимость и глобальная управляемость системы. Найдены достаточные условия непрерывности критерия по параметру задачи и найдены алгебраические уравнения для определения моментов переключений.

Рассмотрена модель системы, состоящей из атакующего объекта, носителя и автономных источников широкополосных помех. Имитационное моделирование позволило сравнить разные способы управления носителем и источниками широкополосных помех при заданном способе управлении атакующим.

Проведено исследование электрогидравлического эффекта для формирования периодических импульсных гидроакустических сигналов для зондирования геосреды. Исследована возможность использования мехатронных систем для организации эффективного противодействия скородинированному действию торпед противника.

Предложена стратегия ситуационно-целевого управления сложными динамическими многорежимными процессами, а также разработаны методы управления мехатронными подвижными объектами на основе методов «гибких» полиномиальных и кинематических траекторий, методов виртуальных силовых полей, а также методов вычислительного интеллекта применительно к задачам одиночного и группового управления мобильными роботами и беспилотными летательными аппаратами. Предложен новый алгоритм адаптивного светофорного регулирования, осуществляющий скоординированное централизованное управление на участке дорожно-транспортной сети методом предиктивного управления.

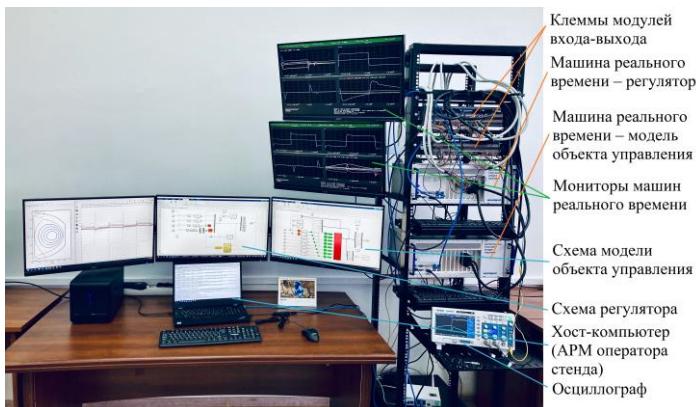
Проведено исследование динамики сред, обладающих внутренней структурой, которая является средой, образованной жесткими микроэлементами. Получена полная система дифференциальных уравнений для общих сред с внутренней структурой, основанная на законах сохранения импульсов (аналог уравнений Навье – Стокса), массы, энергии и термодинамических уравнений сплошной среды.

Рассмотрена система дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка гиперболического типа, описывающая процесс фильтрации суспензии в пористой среде. Найдены необходимые и достаточные условия приведения этой системы к системе с постоянными коэффициентами. Для уравнения одномерной фильтрации в неоднородной пористой среде построена конечномерная динамика второго порядка и соответствующее ей точное решение для любого коэффициента фильтрации.



Разработаны и промоделированы в реальном времени новые методы и системы идентификации и управления положением, током и формой плазмы для сферического и D-образного токамаков.

**Цифровой стенд реального времени на компьютерах Speedgoat Performance (Швейцария)**



4

## ОПТИКА И ФИЗИКА КОЛЕБАНИЙ

### Оптика метаматериалов, наноплазмоника и магнитоплазмоника

Исследованы свойства нового класса квантово-коррелированных состояний излучения - оптико-терагерцовых бифотонных полей, рождающихся при сильно-невырожденном параметрическом рассеянии. Разработаны квантовые методы фотометрии излучения и спектроскопии сред в терагерцовом диапазоне частот. Созданы терагерцовые фотопроводящие антенны и эффективные преобразователи частоты на основе топологических изолаторов. Обнаружено гигантское усиление нелинейных оптических и магнитооптических эффектов вnano- и магнитоплазмонных структурах. На основе новых нелинейно-оптических методик была реализована диагностика структурных, магнитных и резонансных свойств метаматериалов и фотонных кристаллов, разработаны новые метаматериалы, обеспечивающие сверхбыстрое управление светом и магнитооптическим откликом.

На основе генерации магнитоиндукционной второй гармоники развиты нелинейно-оптические методы визуализации тороидного момента намагниченности, нетривиальных магнитных состояний, анизотропии магнитных свойств и низкодобротных плазмонных резонансов в субвольновыхnanoструктурах. Продемонстрирована высокая чувствительность нелинейно-оптического отклика для исследования неоднородной намагниченности метаматериалов. Экспериментально показано, что метод ге-



нерации магнитоиндукционной второй гармоники позволяет исследовать слабые плазмонные резонансы в магнитных структурах, наблюдение которых другими методами затруднено.

Предложен дизайн и исследована серия гетероструктур, представляющих собой тонкие пленки кобальта на поверхности опала и сочетающихся в себе магнитные, фотонокристаллические и плазмонные свойства. Показано, что существуют частотно-угловые области, в которых наблюдаются одновременно и аномальное пропускание, и усиление поперечно-гого магнитооптического эффекта (примерно на порядок, по сравнению с однородной пленкой кобальта той же эффективной толщины), обусловленные возбуждением поверхностных плазмон-поляритонов. Показано, что наличие поверх кобальта тонкой пленки серебра увеличивает резонансный магнитооптический отклик в два раза.

Впервые проведена спектроскопия интенсивности и фазы второй гармоники в метаповерхности, представляющей собой массив трехслойных нанодисков Au/MgF<sub>2</sub>/Au, расположенных в узлах квадратной решетки. Обнаружено усиление интенсивности квадратичного нелинейно-оптического сигнала примерно на порядок и изменение фазы ВГ на 360° в области возбуждения магнитодипольного резонанса. Предложена интерпретация наблюдаемых эффектов в терминах магнитодипольных компонент тензора квадратичной восприимчивости.

Впервые экспериментально исследованы особенности оптического и нелинейнооптического отклика квазидвумерной хиральной метаповерхности. Структуры представляли собой массивы винтообразных отверстий в серебряной мемbrane субволновой толщины, обладающие, как целое, вращательной симметрией 3-го, 4-го, 5-го и 6-го порядка. Показано, что исследуемые резонансные структуры сочетают в себе аномальное пропускание, и высокую оптическую активность, резонансная величина циркулярного дихроизма достигает десятков процентов. Обнаружено, что знак и величина циркулярного дихроизма как в линейном отклике, так и в нелинейно-оптическом, определяется вращательной симметрией массива.

Проведено детальное исследование оптических и магнитооптических эффектов в гиперболических метаматериалах (ГММ) на основе массивов металлических наностержней в диэлектрической матрице. Наблюдалось гигантское двулучепреломление в ГММ, обусловленное анизотропией оптических свойств и недостижимое в естественных средах – разница показателей преломления обыкновенного и необыкновенного луча в оптическом диапазоне достигает нескольких единиц. Такой эффект перспективен для создания на базе ГММ миниатюрных преобразователей поляризации электромагнитного излучения. Показано, что с по-



мощью композитных магнитных ГММ такие устройства можно сделать магнитоуправляемыми.

*Старший научный сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов Иванов К.А. проводит эксперимент с сверхсильными лазерными полями*

Показана возможность создания эффективных компактных источников перестраиваемых сверхкоротких импульсов, умножителей частоты и оптических переключателей на основе фотонно-кристаллических волокон. Развита методика генерации импульсов с длительностью менее одного периода колебаний электрического поля в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах.

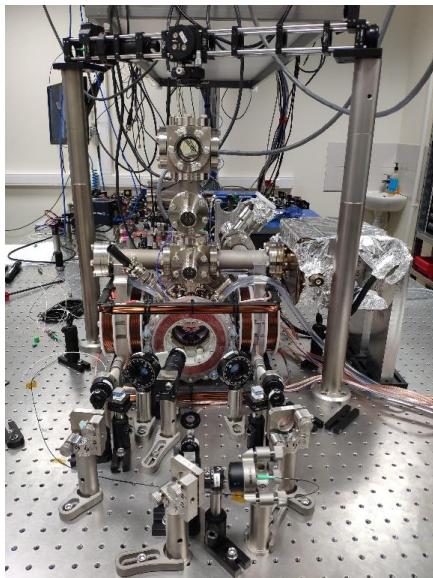


## Квантовые технологии

Созданы прототипы квантовых компьютеров на основе одиночных атомов в оптических ловушках и фотонов в оптических интегральных схемах.

Совместно с ОАО ИнфоТeКС разработана и построена Университетская квантовая сеть (20 узлов, 50 км).

В рамках работ по квантовым вычислениям сформирован протокол формирования перепутанных состояний между спинами электронов в системе связанных квантовых точек и циркулярно поляризованными фотонами. Формирование перепутанных состояний происходит благодаря сильному спин-орбитальному взаимодействию в квантовых



*Прототип квантового компьютера*



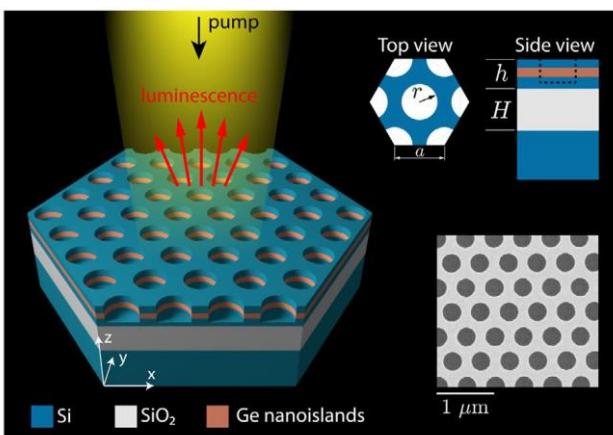
точках. Проанализированы эффекты, влияющие на величину степени перепутанности и исследованы особенности временной эволюции степени перепутанности, обусловленные наличием взаимодействия между квантовыми точками и неидеальностью полости. Полученные результаты могут быть применены для нужд современных квантовых технологий.

### Лазерные системы и волоконно-оптические линии связи

Создан лазерный ультразвуковой дефектоскоп, позволяющий осуществлять неразрушающую диагностику структуры и свойств металлов и композитов, применяемых в критически важных отраслях промышленности. Его работа основана на лазерном возбуждении подповерхностной ультразвуковой волны и ее последующей регистрации пьезоэлектрическим приемником. Дефектоскоп способен обнаружить мельчайшие внутренние дефекты с точностью до сотых долей миллиметра.

Теоретически разработан компактный поляритонный лазер на основе хирального полупроводникового брэгговского микрорезонатора с электрической (диодной) накачкой. Знак циркулярной поляризации контролируется типом хирального фотонно-кристаллического слоя на верхнем зеркале микрорезонатора и изменяется на противоположный в зеркально симметричной структуре.

Развита модель нелинейного интерференционного шума в волоконно-оптических линиях связи, установлен характер накопления и разработана методика ослабления нелинейного шума в длинных линиях связи. Результатом проведенных исследований стало достижение рекордной дальности (6000 км) без-регенерационной передачи информации в наземных линиях связи при суммарной скорости 8 Тбит/с.



Модель компактного поляритонного лазера на основе хирального полупроводникового брэгговского микрорезонатора



*Аспиранты и студенты физического факультета на научной стажировке в лаборатории НТЦ Т8 отлаживают экспериментальный макет высокоскоростной системы волоконно-оптической связи*

### **Взаимодействие лазерного излучения с веществом**

Исследованы кластеры и наноагрегаты, образующиеся при газодинамическом расширении среды в вакуум, а также особенности генерации обладающих высокой энергией электронов и ионов и жесткого рентгеновского излучения. Продемонстрирована возможность лазерной очистки мишеней для эффективного ускорения тяжелых многозарядных ионов. Впервые наблюдалось формирование потока быстрых отрицательных ионов при воздействии на твердотельные мишени интенсивного фемтосекундного лазерного излучения и гамма распада изомерного состояния Ta-181 с энергией 6.2 кэВ, а также конверсионного распада состояния Fe-57 с энергией 14.4 кэВ, при их возбуждении в лазерной плазме.

Создана нелинейная поляризационная сингулярная оптика сред, демонстрирующих нелокальный нелинейно оптический отклик вещества на внешнее световое поле. Исследовано изменение поляризации пучков и импульсов, взаимодействующих в нелинейных средах, изучена возможность появления сингулярностей поляризации распространяющегося излучения в задачах параксиальной оптики и при взаимодействии эллиптически поляризованного света сnanoобъектами.

Предсказан квадратичный рост эффективности генерации выделенных групп гармоник в средах, представляющих собой набор газовых струй, взаимодействующих с двухчастотными лазерными полями, обра-



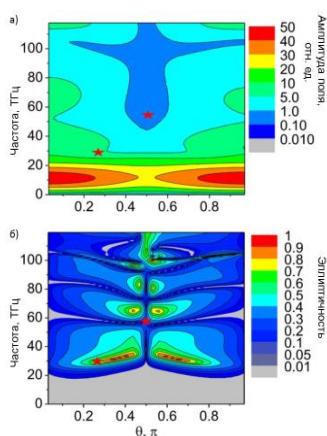
зованными первой и второй гармониками лазерного источника, при возрастании его длины волны. Показано, что при уменьшении ширины газовых струй, положение пика усиленных гармоник смещается в коротковолновую область спектра, амплитуда пика возрастает. Исследована генерация гармоник высокого порядка в газовых средах, находящихся вблизи периодической решетки, взаимодействующей с лазерным полем в условиях возбуждения плазмонного резонанса. Показано, что усиление лазерного поля над поверхностью решетки приводит к существенному увеличению эффективности генерации гармоник и расширению спектра генерируемого излучения.

Изучены механизмы генерации произвольно поляризованного когерентного излучения терагерцового, ультрафиолетового и мягкого рентгеновского диапазонов длин волн атомарными системами, взаимодействующими с интенсивными многокомпонентными произвольно поляризованными лазерными полями, а также развиты методы управления характеристиками (эффективностью, состоянием поляризации, частного-угловым спектром) такого излучения.

Теоретически исследовано и экспериментально зарегистрировано образование световых пуль с высокой плотностью мощности в фемтосекундном лазерном импульсе в условиях аномальной дисперсии групповой скорости. Минимальная длительность световой пули составляет около двух периодов осцилляций светового поля. Исследованы закономерности формирования световых пуль с высокой плотностью энергии при экстремальной пространственно-временной компрессии фемтосекундного излучения среднего инфракрасного диапазона в прозрачных диэлектриках. Недавно показано, что постфиламент на протяженной трассе яв-

ляется источником инфракрасного суперконтинуума и может инициировать высоковольтный разряд. Впервые выполнено самосогласованное моделирование терагерцовой генерации при филаментации во внешнем постоянном поле и предсказано формирование кольцевых распределений высокочастотного терагерцового излучения, зарегистрированных недавно в эксперименте.

*Генерация эллиптически поляризованного терагерцового излучения в двухчастотных лазерных полях, взаимодействующих с атомом аргона*





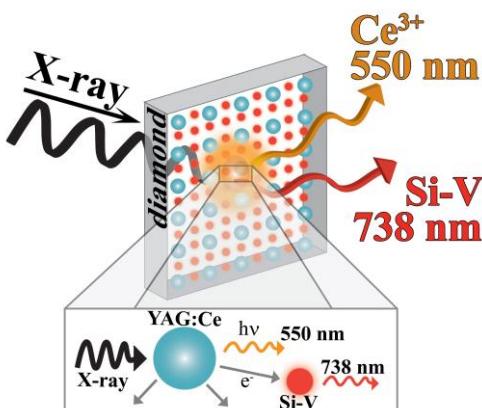
## Синхротронное излучение

Построена теория синхротронного излучения с учетом аномального магнитного момента излучающей частицы и возможного нарушения СРТ- и лоренц-инвариантности.

Разработана аналитическая модель эволюции мощности гармоник спонтанного и вынужденного излучения ондуляторов в лазерах на свободных электронах (ЛСЭ), получившая подтверждение экспериментальными данными в спектральном диапазоне от видимого до рентгеновского.

По исследованиям различных классов соединений методами люминесцентной спектроскопии с использованием синхротронного излучения получены следующие результаты: предложены модели, объясняющие механизмы формирования квантового выхода и кинетики люминесценции твердых растворов; разработаны композитные материалы на основе CVD алмаза со встроенными наночастицами для регистрации высокоинтенсивных рентгеновских потоков; оценены перспективы создания пико-секундных сцинтилляторов на основе гибридных органо-неорганических перовскитов; продемонстрированы возможности метода люминесцентного Z-скана для оценки вкладов областей треков с различной плотностью электронных возбуждений, создаваемых высокоэнергетическими частицами или фотонами, в выход и кинетику сцинтилляционного отклика.

Схематическое изображение процессов формирования изображения в композитном экране на основе CVD алмаза со встроенными наночастицами



## Акустика

Обнаружена тепловая самофокусировка ультразвука в идеальной среде без поглощения, которой нет в нелинейной оптике и других разделах физики нелинейных волн, установлена предельная интенсивность (эффект насыщения) при фокусировке акустических импульсов, явления в разрывных волнах, в частности, поведение ударных волн разрежения. Проведено обобщение точного решения Ландау-Слезкина уравнений гидродинамики, допускающее переход к идеальной жидкости и снимаю-



щее дефект нулевого потока массы затепленной струи. Развита теория физики сильно нелинейных волн.

Важные результаты получены в области прикладной гидроакустики, акустики органных инструментов и концертных залов, физической акустики твердых тел, нелинейной акустодиагностики, теории дифракции, аэроакустики и других направлений современной акустики.

Предсказаны и исследованы новые эффекты в акустооптике: многократное брэгговское рассеяние света, квазиколлинеарное акустооптическое взаимодействие, аномальное отражение акустических волн, анизотропная дифракция света в средах с искусственной анизотропией. Предложены и реализованы новые методы обработки оптических сигналов: акустооптическая пространственная фильтрация изображений, визуализация оптического волнового фронта, управление характеристиками акустооптической дифракции с помощью внешнего воздействия.

### **Радиофизика**

Создана универсальная широкополосная система связи для применений с беспилотными летательными аппаратами в условиях городской и полевой связи. Разработаны радиорелейные линии миллиметрового диапазона длин волн, не имеющие международных аналогов по скорости и дальности передачи информации (20 Гбит/с на расстоянии 25 км).

На основе развитой теории многослойных интерференционных структур, обладающих уникальными волновыми свойствами, создан не имеющий аналогов двухволновый ИК- радиометр, позволяющий дистанционно измерять температуру сильно нагретых объектов в сильно загазованной и влажной среде, в том числе и быстро истекающих (выше скорости звука) газовых потоков, а также высокочувствительные и широкополосные кроссмодуляционные приемники ИК-излучений в ближнем и среднем ИК-диапазоне, которые внедрены в различные отрасли отечественной промышленности.

Создан и испытан многолучевой клистрон с выходной мощностью 6 МВт и КПД 62%, что на 15-20% выше КПД лучших зарубежных аналогов. Разработана технология беспроводной передачи энергии для подзарядки кардиостимуляторов и имплантов, вживленных в живые организмы.

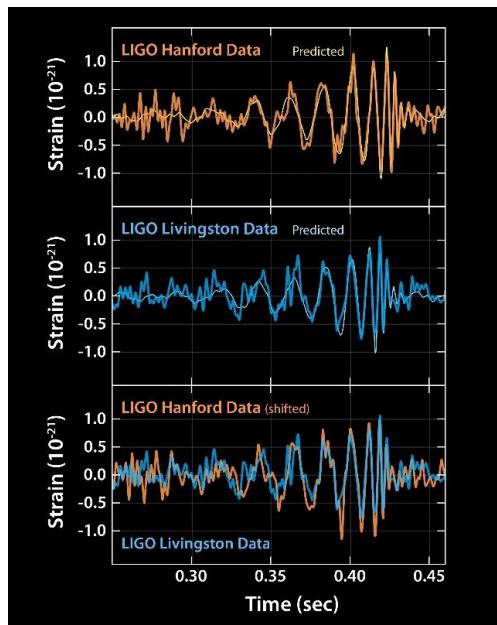
Теоретически исследовано вынужденное излучение электронных пучков в пространственно-ограниченной плазме, работа плазменных СВЧ-генераторов, черенковские плазменные источники электромагнитного излучения субтерагерцового диапазона. Реализованы СВЧ усилители и генераторы с плазменной замедляющей системой, обеспечивающие значительную перестройку частоты излучения (до двух раз) при субгигаваттном уровне мощности.



Созданы механические колебательные системы с рекордной добротностью для гравитационно-волновых детекторов, компактные микрорезонаторы для телекоммуникационных и навигационных технологий, решены фундаментальные и технологические проблемы, препятствующие увеличению чувствительности этих приборов.

Получены оценки силы эффекта самокомпенсации ошибок в толщинах слоев многорезонаторных узкополосных оптических фильтров при их производстве с использованием контроля толщин напыляемых слоев по методу поворотной точки.

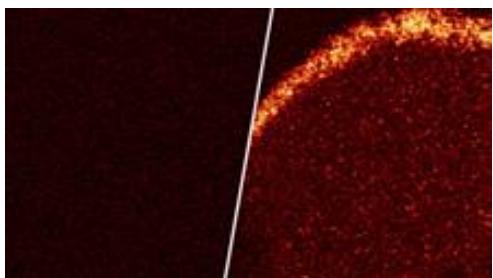
*Сигналы гравитационных волн от слияния черных дыр, принятые детекторами LIGO*



## БИОФИЗИКА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

### Биомедицинские технологии

Показана возможность использования кремниевых наночастиц, сформированных методом пикосекундной лазерной аблации в качестве биомаркеров в приложениях оптической когерентной томографии. При облучении мощными лазерными импульсами вместо используемых обычно кристаллических пластин кремния использовались плёнки пористого кремния, полученные методом электрохимического травления. Это позволило в несколько раз увеличить массовый выход наночастиц. Разработанный метод позволяет получать кремниевые наночастицы необходимого размера, которые не оказывают вредного воздействия на живые ткани и хорошо выводятся из организма. Использование данных частиц в качестве биомаркеров позволит увидеть скрытые в непрозрачной среде организма структурные неоднородности, например, опухоли.



Слева прозрачный агаровый гель без биомаркеров. Справа — с внедренными кремниевыми наночастицами

системы на основе полевых транзисторов с каналом-нанопроводом, в которую интегрированы терморегулирующие устройства. Предлагаемая система позволяет поддерживать необходимые температурные режимы в биоаналитических исследованиях.

Изучено влияние наноалмазов на структуру и функцию белков плазмы и оксигенацию и микрореологические свойства эритроцитов.

Одним из ярких достижений является изобретение эластографа, прибора для измерения сдвигового модуля упругости — наиболее чувствительного параметра патологически измененных мягких тканей. Прибор запатентован и в настоящее время производится десятками зарубежных фирм.

Развиты методы исследования глубоколежащих тканей головного мозга с использованием волоконно-оптических сенсоров и нейроинтерфейсов, позволившие проводить измерения функциональной активности и патологий свободно движущихся животных в режиме *in vivo*.

Выполнены фундаментальные работы по синтезу и исследованию свойств одномерных и квазиодномерных углеродных структур, разработана теоретическая модель структуры карбина, создана технология получения углеродных покрытий, обладающих высокими биосовместимыми и антибактериальными свойствами, в том числе созданы биосовместимые покрытия для сосудистой хирургии.

Исследованы механизмы токсического воздействия ионов тяжёлых металлов на белки и ферменты. Проанализировано взаимодействие различных белков с наночастицами, используемыми для различных медицинских приложений.

Разработаны неинвазивные методы измерения искажений изображения глазом человека, создан медицинский прибор-динамический аберрометр.

Синтезированы наночастицы оксида железа, стабилизированные олеиновой кислотой/олеатом натрия, которые могут использоваться при лечении опухолей с помощью магнитной гипертермии. Подтверждена эффективность магнитной гипертермии для лечения трансплантированной карциномы.

Разработан метод изготовления нанобиосенсорной



Создан терагерцовый рефлектометр-офтальмоскоп, предназначенный для неинвазивного контроля состояния внешних отделов глаза человека. Прибор позволяет определять *in-vivo* в динамике гидратацию роговичної ткани глаза человека и контролировать толщину слезной пленки.

Созданы биосовместимые нанокомпозитные коллоидные липидные везикулы, в мембранных которых встроены наночастицы магнетита и золота, содержащие капсулированный противоопухолевый препарат доксорубицин. Показано, что выход доксорубицина из таких везикул эффективно инициируется ультракороткими импульсами внешнего электрического поля.

Сотрудники кафедры квантовой электроники проводят оптическую диагностику в ходе операционного процесса



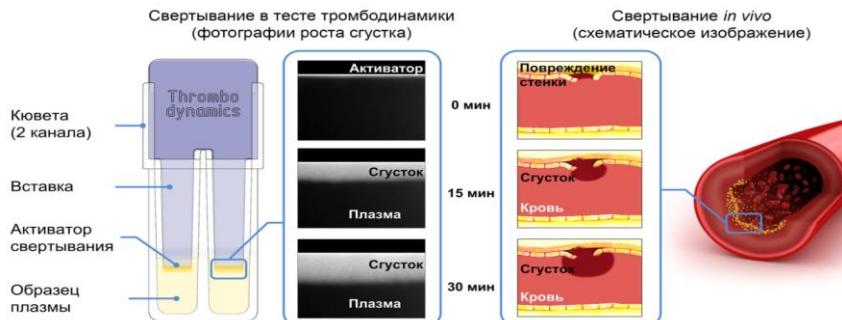
Рефлектометр-офтальмоскоп, предназначенный для неинвазивного контроля состояния внешних отделов глаза человека

## Тромбодинамика

Разработан метод тромбодинамики – исследование динамики роста тромба в режиме «онлайн», - разработанный сотрудниками физического факультета в содружестве с ведущими российскими клиническими центрами, показал высокую чувствительность и специфичность, позволяя



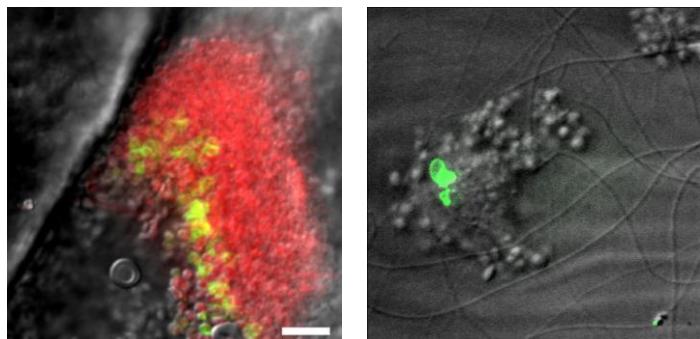
детектировать как гипер-, так и гипокоагуляцию у пациентов с COVID-19 и успешно контролировать терапию.



*Свертывание крови в тесте тромбодинамики*

Разработана концепция иерархических математических и компьютерных моделей неравновесных процессов структурообразования в ходе гемостатического ответа. Было показано, что растущий тромб может быть рассмотрен как нелинейная динамическая система. Гидродинамические силы способны останавливать его рост и препятствовать окклюзии сосуда, если размер тромба меньше порогового значения. Помимо этого, показано, что гидродинамические силы способствуют «переключению» тромбоцитов в активное состояние путем механического растяжения белков клеточной адгезии.

Показано, что механическое сжатие тромба приводит к вытеснению умирающих тромбоцитов на его поверхность, что может влиять механическую стабильность сгустка.



*Перераспределение клеток в тромбах*



## **Биокинетика наночастиц**

Разработаны новые уникальные методики исследования и математического моделирования биокинетики наночастиц серебра, золота, селена, диоксида титана и углеродных нанотрубок в живых организмах. Установлено, что наночастицы серебра способны избирательно накапливаться в головном мозге, тестикулах и легких, а также оказывать негативное влияние на когнитивные функции. При этом, серебро в ионной форме не проявляет выраженной нейротоксичности.

## **Молекулярные биологические машины**

Разработано представление о сопряженном нарушении симметрии и смене формы энергии при движении молекулярной машины по рабочему циклу в ходе совершения «полезной работы».

Предложен и обоснован новый механизм сборки тубулиновых микротрубочек (функционирующая на пространственных масштабах от нанометров до десятков микрометров и на временных масштабах от микросекунд до часов), а также новый механизм переключения микротрубочек от сборки к разборке. Теоретически описан процесс генерации силы микротрубочкой для транспорта хромосом во время деления клеток.

С помощью вычислительных и экспериментальных подходов найдены новые перспективные соединения, нарушающие взаимодействия микротрубочек и белков, обеспечивающих прикрепление микротрубочек к хромосомам. На основе этих соединений разрабатываются средства противоопухолевой химиотерапии нового принципа действия, обладающие существенно сниженной токсичностью.

## **Поляризационная микроскопия в клеточных технологиях**

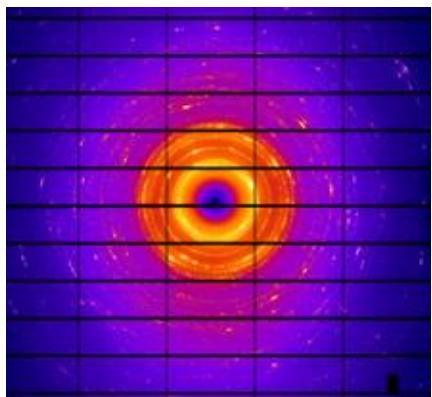
Разработан метод оценки внешних морфологических параметров клеток и их внутренней структуры с помощью поляризационной микроскопии. Показано, что при таком исследовании клетки могут сохраняться живыми.

## **Криобиология**

Развиты методические подходы к эффективному криохранению биологического материала.

Предложены новые режимы заморозки и новые составы криопротекторных сред.

Изучены физико-химические характеристики криопротекторных сред.



Методом рентгеноструктурного анализа исследовано влияние отдельных компонент среды для криоконсервации на формирование кристаллов.

Создана математическая модель, описывающая механизм проникновения глицерина в клетки в качестве криопротектора.

X-Ray: криопротекторная среда

## ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ И КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

### Наноэлектроника

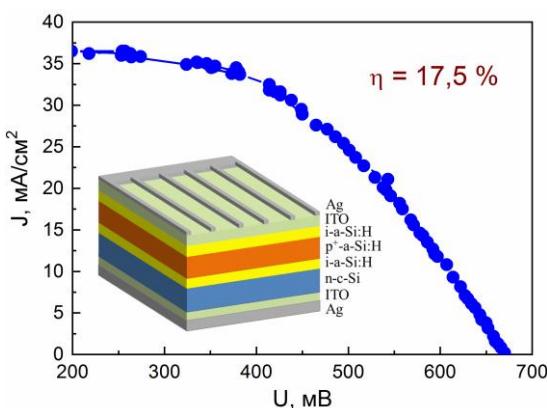


Схема солнечного элемента и его вольт-амперная характеристика

Созданы прототипы солнечных элементов на основе гетероперехода аморфный гидрогенизированный кремний – монокристаллический кремний, характеризующиеся высокой эффективностью преобразования солнечного излучения. Продемонстрирована возможность получения эффективной электролюминесценции на таких структурах.

Разработана методика детектирования водорода с помощью нанокомпозита  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  при комнатной температуре. Созданы прототипы сенсоров, в которых вместо нагрева используется освещение чувствительного элемента зелёным светом. Это позволяет существенным образом снизить энергопотребление и обеспечивает воз-

дорода с помощью нанокомпозита  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  при комнатной температуре. Созданы прототипы сенсоров, в которых вместо нагрева используется освещение чувствительного элемента зелёным светом. Это позволяет существенным образом снизить энергопотребление и обеспечивает воз-



можность использования сенсора для детектирования малых концентраций различных горючих и взрывоопасных веществ в атмосфере.

Продемонстрирована возможность оптической записи информации на поверхности халькогенидных стеклообразных полупроводников, таких как GeSbTe

(GST), с помощью фемтосекундных лазерных импульсов. Использование предлагаемой технологии записи открывает возможность увеличения в несколько раз плотности кодирова-

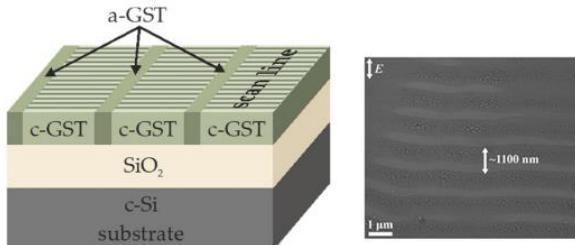


Схема распределения аморфной и кристаллической фазы в облученных образцах GST и СЭМ изображения их поверхности

ния информации на единицу площади. Подбор режимов облучения позволяет не только записывать, но и перезаписывать информацию за счет обратимых лазерно-индуцированных переходов из кристаллической фазы в аморфную.

### Синтез и диагностика твердых тел и наноструктур

Создана технологическая база для выращивания монокристаллов и синтеза керамических образцов высокотемпературных сверхпроводников, низкоразмерных магнетиков и топологических изоляторов. Получен ряд фундаментальных результатов по этим направлениям, включая обнаружение и исследование спиновой жидкости в уникальных неорганических соединениях с решеткой квадратного кагоме.

Разработаны методы получения динатронного покрытия с углеродными нанотрубками, подавляющего эффект изменения тока в электровакуумных приборах. Разработанные композитные материалы на основе полимерных матриц с включением углеродных нанотрубок, в том числе ориентированных углеродных нанотрубок, могут быть использованы в качестве функциональных и конструкционных материалов для наноспутников.

Разработан новый оригинальный метод определения положения энергетических уровней спиновых центров (дефектов) в запрещенной зоне полупроводниковых наноматериалов с помощью электронного параметрического резонанса.



Разработана теория и созданы экспериментальные устройства для реализации 3D сканирующей электронной микроскопии рельефа поверхности микроструктур и томографии многослойных наноструктур, создана теория кинетики радиационной зарядки диэлектриков.

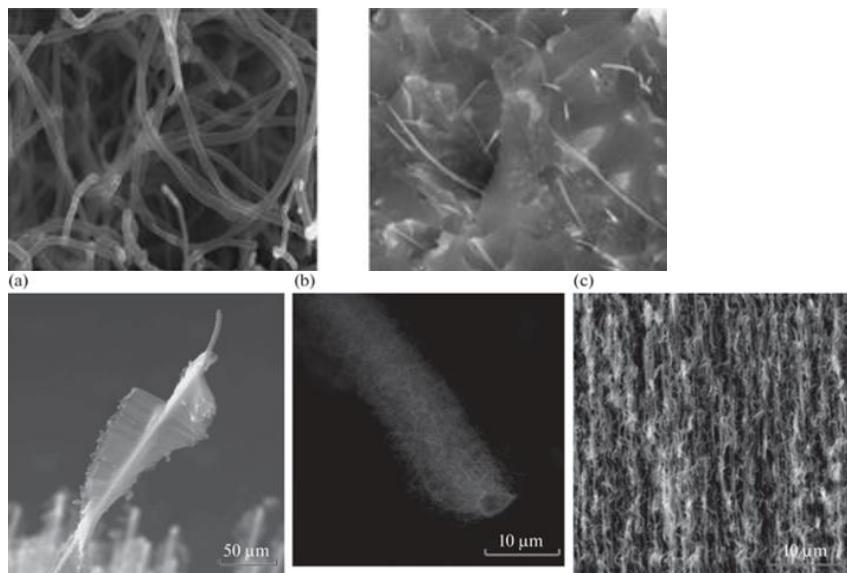
Разработана методика определения энергетического спектра полупроводниковых гетероструктур. Обнаружен эффект зависимости направления фототока от длины волны возбуждения (фотореверсивный эффект), перспективный для диагностики качества гетероструктур в процессе роста.

Разработан, изготовлен, апробирован и внедрен в серийное производство комплекс из 19 типов аппаратуры для рентгеноструктурных исследований.

Разработана методика дифференциальной конверсионной мессбауэровской спектроскопии.

Разработан и экспериментально реализован рентгendifракционный метод контроля управляемых атомных смещений.

Предложен метод создания перспективных материалов для твердотельного магнитного охлаждения.



Динатронные покрытия (вверху) и проводящие композитные (внизу) материалы под микроскопом



## Физика магнитных явлений

Выявлены различия в процессах магнитного фазового перехода, индуцируемого нагревом от внешнего магнитного поля в тонкой пленке сплава железо-родий (FeRh). Результаты работы помогут сформулировать теорию магнитных фазовых переходов, а также лягут в основу твердотельных охлаждающих систем.

В композитной двухслойной структуре на основе пьезополимерного слоя и слоя магнитного эластомера с железными микрочастицами исследован магнитоэлектрический эффект в градиентном переменном магнитном поле. Получено резонансное усиление эффекта, зависящее от состава магнитоэластомерного слоя, в частности, от концентрации частиц, толщины слоя и его модуля упругости, а также обнаружена зависимость от амплитуды переменного поля и величины внешнего однородного магнитного поля смещения. Определены условия линейного усиления эффекта, а также обнаружено уменьшение резонансной частоты при увеличении поля смещения.

Показана возможность получения редкоземельных составов с 3d- и 4p-металлами, а также их гидридов, с высокими значениями магнитокалорического эффекта и магнитострикции в заданной области температур. Экспериментально продемонстрировано, что намагниченность структурно изотропных ферромагнитных пленок приводит к возникновению анизотропии интенсивности второй гармоники.

Создан новый класс магнитоактивных эластомеров (МАЭ) на основе молекулярных щеток, которые воспроизводят вязкоупругий отклик живых тканей и демонстрируют гигантский магнитореологический эффект.

Созданы гибридные МАЭ, демонстрирующие гигантское изменение диэлектрической проницаемости и проводимости при намагничивании.

Разработаны теоретические подходы для описания магнитного отклика МАЭ.

Разработан магнитный фиксатор сечатки шлаза на основе МАЭ.

Обнаружено влияние размерных эффектов и совершенства структуры на намагниченность наночастиц.

Усовершенствована технология создания элементов магнитной памяти.

## ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

### Физика ядра

Получены ориентационные характеристики возбужденных состояний легких ядер и даны предсказания относительно стабильности протон-избыточных гиперядер.



Теоретически предсказано существования тетранейтрона – резонанса в системе четырех нейтронов, получившее надежное экспериментальное подтверждение.

Создан жидкий сцинтилляционный детектор нейтрино, предназначенный для мониторинга работы ядерного реактора по регистрации реакторных антинейтрино.

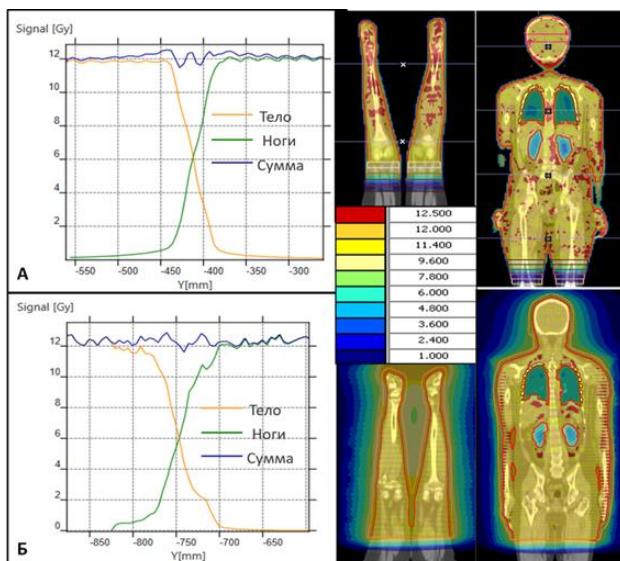
Предложен метод расчета энергий связи тяжелых и сверхтяжелых ядер.

### Радиационная физика

Разработаны алгоритмы и методы, позволяющие оптимизировать равномерность и однородность радиационной обработки продуктов питания и объектов биомедицинского назначения.

Получены ориентационные характеристики возбужденных состояний легких ядер и даны предсказания относительно стабильности протон-избыточных гиперядер.

Теоретически предсказано существования тетранейтрона – резонанса в системе четырех нейтронов, получившее надежное экспериментальное подтверждение.



Выработаны рекомендации для различных видов лучевой терапии.

Профиль поглощенной дозы в области наложения радиационных полей и распределение дозы в коронарной плоскости пациента для медицинских линейных ускорителей:  
 а) TomoTherapy и  
 б) Elekta

### Элементарные частицы и физика высоких энергий

В рамках работы международных коллабораций внесен определяющий вклад в получение таких важнейших результатов, как открытие оди-

ночного электротяжёлого рождения топ-кварка в протон-антипротонных столкновениях на коллайдере Тэватрон и открытие бозона Хиггса с массой 125 ГэВ на Большом адронном коллайдере, измерение характеристик рождения топ-кварка в pp- и PbPb-столкновениях, а также редких распадов B-мезонов на пару мюонов.

Ведутся активные работы по созданию сверхпроводящего коллайдера протонов и тяжёлых ионов в рамках реализации Мегасайенс-проекта NICAna базе Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ). В рамках эксперимента BM@N по исследованию барионной материи создан трековый детектор и проведен первый сеанс по набору статистики.

В рамках работы международных коллабораций в эксперименте на детекторе CLAS12 определено сечение электророждения пар заряженных пионов на протонах в области масс нуклонных резонансов до 2.0 ГэВ.



Строящийся в Дубне сверхпроводящий коллайдер протонов и тяжёлых ионов NICA. Сотрудники физического факультета и НИИЯФ МГУ являются ключевыми участниками экспериментов BM@N, MPD, SPD

Проанализированы результаты экспериментов на электрон-позитронных коллайдерах Belle, BaBar и BES III, в которых были открыты тетракварки Y (экзотические мезоны), образующие семейство из



четырех частиц, каждая из которых состоит из двух кварков и двух антикварков. На основе дикварковой модели предсказано существование новых тетракварковых состояний с предсказанием их масс и квантовых чисел.

### **Физика плазмы**

Разработан ряд автоматизированных систем и сенсоров для диагностики низкотемпературной плазмы, в том числе, плазмы, используемой в современных высокочастотных плазмохимических реакторах травления и осаждения.

Создан диагностический комплекс измерения полноты сгорания, степени ионизации и температуры пламени, возникающего в условиях плазменно-стимулированного горения газообразного и жидкого углеводородного топлива в дозвуковых и сверхзвуковых воздушных потоках в свободном пространстве и внутри гладких аэродинамических каналов различной конфигурации.

Исследовано влияние плазмы наносекундных разрядов на процессы сверхзвукового обтекания, на ударные волны, вихревые структуры, зоны отрыва потока, на теплообмен с обтекаемой поверхностью во внутренних и внешних аэродинамических течениях.

## **АСТРОНОМИЯ И ФИЗИКА КОСМОСА**

### **Галактическая астрономия и космическая физика**

Предложен оригинальный метод определения радиусов, величины межзвездного поглощения и светимости пульсирующих переменных звезд – цефеид, опирающийся на данные многоцветной фотометрии, лучевые скорости и мультифазные измерения эффективных температур. Определены точные значения поглощения и светимости более 45 цефеид и выведена новая зависимость “период–светимость”, лежащая в основе современной универсальной шкалы расстояний во Вселенной.

По данным эксперимента TAIGA восстановлен энергетический спектр гамма-квантов от Крабовидной туманности, достаточно хорошо совпадающий с мировыми данными в области 5-100 ТэВ.

В эксперименте НУКЛОН определен спектр космических лучей (КЛ) по энергии и зарядам частиц до энергий  $3 \cdot 10^{12} - 8 \cdot 10^{14}$  эВ, определен химический состав КЛ в диапазоне энергий  $10^{12} - 10^{15}$  эВ и спектр никеля в составе КЛ при энергиях выше  $2 \cdot 10^{12}$  эВ/частица, а также найден ряд важных особенностей в составе КЛ, которые в настоящее время нуждаются в общепринятой астрофизической интерпретации.



Приборы, созданные для радиационных измерений в космосе, устанавливались на борту орбитальных пилотируемых станций САЛЮТ, МИР в течение всего времени их существования, а также на космических объектах специального назначения. С 2001 года созданная дозиметрическая аппаратура обеспечивает радиационную безопасность космонавтов на борту МКС, в этом году начата разработка системы радиационного контроля для новой Российской орбитальной станции. Создан спектрометр космических излучений СКИФ-ВЭ, который в настоящее время входит в состав целевой аппаратуры на борту космических аппаратов серии «Арктика-М», «Метеор-М», «Электро-Л».

Создана научная аппаратура для малых космических аппаратов типа кубсат (детектор космической радиации и гамма-транзисторов, прибор для измерения потоков галактических космических лучей, солнечных энергичных частиц и частиц внутреннего радиационного пояса и др.). Эти приборы устанавливаются на кубсатах, запускаемых в рамках проекта «Созвездие-270» по созданию мультиспутниковой группировки и сети наземных приемных станций. Создание такой группировки с однотипным научным оборудованием позволит проводить непрерывный мониторинг условий в околоземном космическом пространстве. 27 июня 2023 года попутным запуском с космодрома Восточный на орбиту выведены семь наноспутников проекта «Созвездие-270». В рамках проекта создан Центр управления, в котором в настоящее время сотрудники и студенты факультета осуществляют управление космическими аппаратами и станциями приема, а также получают информацию непосредственно с бортов спутников.





В рамках изучения влияния факторов космического пространства на материалы и оборудование космических аппаратов разработана физико-математическая модель Coulomb, рекомендованная международной организацией по стандартизации ISO к использованию для расчетов электризации космических аппаратов.

Для восстановления гравитационного поля Земли по спутниковым данным, его вариаций в пространстве и во времени разработано программное обеспечение для моделирования и обработки реальных данных: измерений межспутникового расстояния между двумя космическими аппаратами и компонент тензора гравитационного потенциала Земли.

Разработаны новые методы в небесной механике для решения актуальных задач по эволюции орбит небесных тел, в частности, на основе прецессирующих колец Гаусса. Раскрыта загадка существования острых локальных минимумов на кривых вращения у плоских галактик. Рассчитана вековая прецессия кольца вокруг планеты Хаумеа.

Разработан механизм эволюции для спутников и астероидов, состоящих из каменного ядра и ледяной оболочки. Это позволило объяснить загадку существования мощного горного хребта на спутнике Сатурна Япете.

Разработаны модели движения и эфемериды естественных спутников планет. Создана и поддерживается уникальная мировая база данных всех наблюдений всех спутников больших и малых планет, имеющая фундаментальное и прикладное значение для изучения кинематики и физики планет и их спутников.

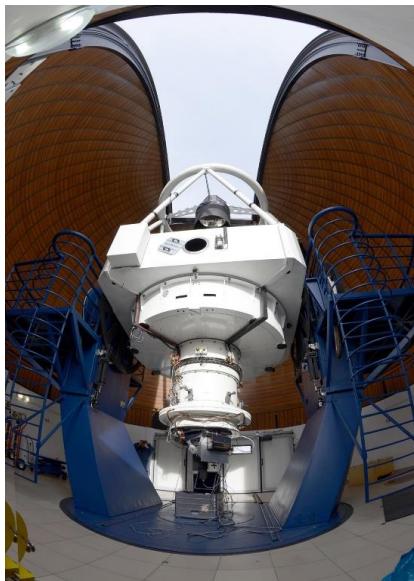


Сайт Службы естественных спутников планет



## Введение в строй телескопов и разработка приборов для астрономического учебно-научного комплекса «Кавказская горная обсерватория МГУ»

Закончена модификация и наладка 2.5-м телескопа Кавказской горной обсерватории (КГО) МГУ. Разработаны и созданы следующие оригинальные приборы для наблюдений на 2.5-м телескопе КГО: для фотометрии объектов до 18-20 звездной величины и для спектральных наблюдений низкого разрешения объектов ярче 15 звездной величины, а также для наблюдений и классификации оптических транзиентов. (нестационарных галактических и внегалактических объектов). Исследован ряд массивных и маломассивных рентгеновских двойных систем с черными дырами. Изучены свойства фотосфер звезд и особенности звездообразования в некоторых карликовых спутниках нашей Галактики.



2.5-м телескоп Кавказской горной обсерватории МГУ



Штатный спектрограф ТДС для 2.5-м телескопа МГУ

## Мониторинг транзиентных космических явлений глобальной сетью роботов-телескопов МАСТЕР

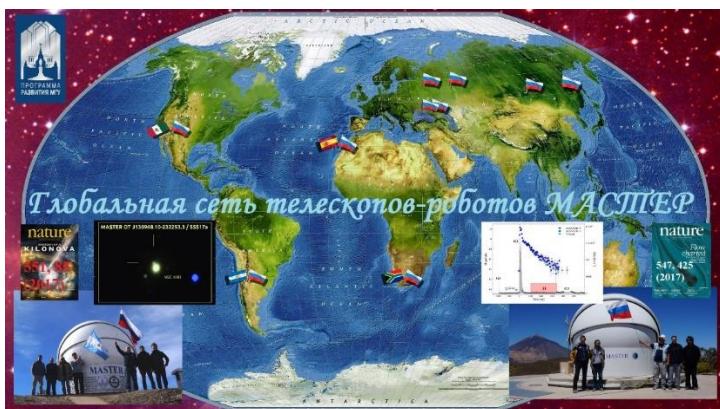
Впервые определена постоянная Хаббла по измерению гравитационно-волнового импульса и детектирован всплеск-сирота (orphan GRB) на стадии роста.



Обнаружен оптический источник GRB 161017A. Выполнены синхронные наблюдения быстрых радиовсплесков в рамках самого масштабного (155093 изображений с общим временем экспозиции 31.3 дня) оптического мониторинга одного из ближайших радио-всплесков FRB 180916.J0158+65.

Исследованы многочисленные оптические транзиенты, в том числе уникальная яркая Красная Новая, затменный поляр, блазары и квазары, сверхновые, самая долгопериодическая затменная система и другие объекты, включая потенциально опасные астероиды и кометы.

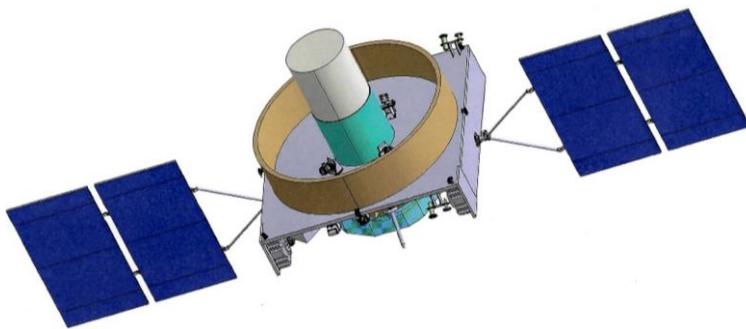
Разработан и построен прибор МАСТЕР-ШОК для космической обсерватории МГУ “Ломоносов”, с помощью которого обнаружены и определены параметры околоземных объектов.



Глобальная сеть роботов-телескопов МАСТЕР

### Новый космический телескоп МГУ-270

Ведется разработка нового космического телескопа МГУ-270, который будет оснащен телескопом диаметром 550 мм с 4-х канальным фотометрическим блоком на диапазон электромагнитных волн от ближнего УФ до ближнего ИК, а также приборами для мониторинга космической погоды. Основными научными задачами разрабатываемого телескопа будут: 1) прецизионная фотометрия нескольких сотен экзопланет и их родительских звезд; 2) поиск черных дыр промежуточных масс в центрах карликовых галактик, которые пока крайне мало исследованы, неизвестны законы их образования и эволюции; 3) Исследование транзиентных событий во Вселенной, сопровождающихся вспышками излучения в оптическом диапазоне электромагнитного спектра.

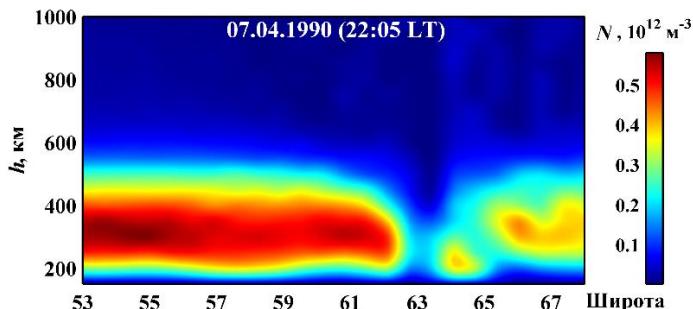


Проект космического телескопа "МГУ-270" для наблюдений экзопланет, черных дыр промежуточных масс и транзитных космических явлений

## ГЕОФИЗИКА

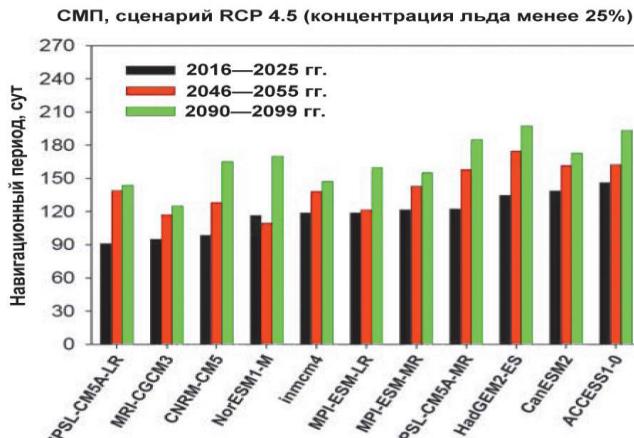
### Физика атмосферы

Разработаны основы теории различных методов радиотомографии ионосферы, позволившие впервые в мире детально исследовать особенности глобальной структуры ионосферы и ее локальных неоднородностей.



Первое радиотомографическое сечение электронной плотности в ионосфере между Москвой и Мурманском 7 апреля 1990г. в 22:05LT

Созданы перспективные методы дистанционного мониторинга природных и техногенных катастроф (в том числе - по прогнозированию опасных для авиации стихийных турбулентных явлений, сильного ветра и ветровых сдвигов) на основе использования их атмосферных предвестников в диапазонах инфразвуковых и внутренних гравитационных волн.



Продолжительность навигационного периода на Северном морском пути (СМП) по расчетам с ансамблем климатических моделей для разных периодов 21 века при сценарии антропогенных воздействий RCP 4.5: 2016–2025 гг., 2046–2055 гг., 2090–2099 гг.

Создан комплекс моделей для управления стратегическим развитием транспортной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики в условиях изменения климата. Сделаны прогнозистические оценки продолжительности навигационного периода на Северном морском пути по расчетам с ансамблем климатических моделей для разных периодов 21 века.

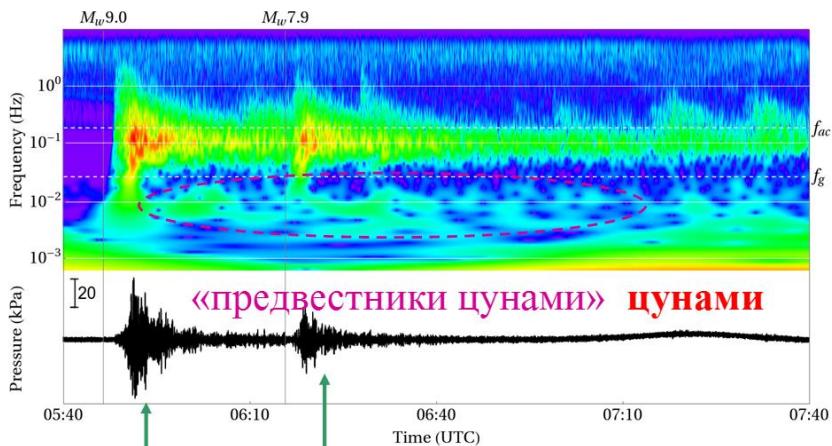
### Физика моря и вод суши

Установлено, что в последние 100 лет произошел сильный нагрев верхнего 1-км слоя Северной Атлантики (на 0.6 °C), который способствовал потеплению климата в Европе и Европейской части России. Показано, что колоссальное количество тепла, накопленное океаном, определяет инерцию климатического потепления. Выявлен океанический механизм формирования холодных и теплых фаз колебаний климата Северной Атлантики, которые оказывают определяющее влияние на климат Европы и Европейской части России.

По данным глубоководных обсерваторий обнаружен эффект генерации гравитационных волн в океане («предвестников цунами») пакетом длиннопериодных поверхностных сейсмических волн. Разработан и апробирован метод *in situ* проверки точности калибровки сенсоров глубоко-



водных обсерваторий. Создана полностью автоматическая система оценки цунамиопасности землетрясения «Tsunami Observer».



## проявления сейсмических волн

«Предвестники цунами» - волны, сформированные в океане пакетом длиннопериодных поверхностных сейсмических волн

Выполнены комплексные полевые исследования мелководных метановых пузырьковых газовыделений (сипов) у побережья Крыма. Разработана методика измерения газового потока пассивным гидроакустическим методом. Проанализировано влияние пузырьковой и флюидной разгрузки морского дна на газовый состав воды, в том числе на содержание растворенного кислорода.

Получены условия потери устойчивости ламинарного движения на границе равномерного и тормозящегося потоков, где возникает максимальный перепад скорости из-за периодического торможения жидкости на втором участке. Разработана гипотеза о формировании гряд на берегах северной части Каспийского моря (бугров Бэра) за счет трехмерных нелинейных волн, возникших при внезапном понижении уровня моря. Методом лабораторного моделирования исследовано возникновение передового фронтального вала воды, прошедшего по руслу р. Адагум через г. Крымск 07.07.2012 при наводнении во время ливневых дождей, приведшего к катастрофическим разрушениям и жертвам.

С использованием оригинальных численной и лабораторной моделей исследована термогидродинамика весеннего и осеннего термобара в различных гидрометеорологических условиях.



### Физика земли

Выявлены закономерности переходных режимов сейсмического процесса, вызванных природными и техногенными воздействиями на земную кору. Разработаны новые, физически обоснованные методы мониторинга сейсмической опасности, обусловленной заполнением и эксплуатацией крупных водохранилищ.

Развиты методики применения спутниковых методов геодинамического мониторинга опасных природных и техногенных процессов.

Разработана и реализована концепция моделирования переходных режимов сейсмического процесса в лабораторных исследованиях.

Установлено, что в районе разлома Романш (центральная Атлантика) в течение последних 0.78 млн. лет имеет место процесс растяжения океанской коры поперек простирации самого разлома; в интервале 0-3.5 млн лет назад характер формирования океанической коры различных сегментов срединно-Атлантического хребта существенно не менялся; выявлены два периода активного формирования Красноморского рифта в голоцене.

Установлены факторы, приводящие к потере палеоинформативности базальтов и повышению надежности определения по ним древнего геомагнитного поля. Выявлена аномально высокая величина магнитного поля в районе Красного моря в интервале 0-10 тыс лет назад. Подтверждено значительное изменение интенсивности магнитного поля Земли в пределах одной полярности и уменьшение его на границе последней смены полярности.

Предложен экспресс-метод оценки продуктивности алмазов по магнитным характеристикам кимберлитов.

Разработаны прототипы специализированного программного обеспечения, позволяющего численно воспроизводить фазовое поведение многокомпонентных смесей природных углеводородов, а также моделировать течение флюидов через неоднородные пористые породы-коллекторы.

«Новости науки» Специальный выпуск. 2023 г.

### ФЕСТИВАЛЬ НАУКА 0+ 2023 ГОДА НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ

С 6 по 8 октября в Москве прошёл 18-й фестиваль НАУКА 0+. Торжественная церемония открытия состоялась в актовом зале Фундаментальной библиотеки МГУ. По традиции Фестиваль открывает лекция ректора Московского университета, академика Виктора Антоновича Садовничего. Каждый год выбирается новая тема Фестиваля НАУКИ.



В связи с тем, что в настоящее время проводится международное десятилетие наук об океане, девиз Фестиваля 2023 года – «Океан науки».

Лекцию, открывающую Фестиваль, Виктор Антонович Садовничий озаглавил «Океан знаний». 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 7 октября. В Центральной физической аудитории имени Р.В. Хохлова состоялся Лекторий. С приветственным словом к студентам и гостям Фестиваля обратился декан физического факультета, профессор Владимир Викторович Белокуров. Затем были представлены следующие лекции: «Нанотехнологии в медицине: от высокочувствительных сенсоров до умных лекарств», Осминкина Любовь Андреевна,



кафедра медицинской физики, лаборатория физических методов биосенсорики и нанотераностики; «Германиевые нанонити для повышения эффективности металл-ионных аккумуляторов», Павликов Александр Владимирович, кафедра общей физики и молекулярной электроники; «Фейерверк физических демонстраций», Рыжиков Сергей Борисович, кафедра общей физики.

В перерыве между лекциями в холле напротив ЦФА студенты физического факультета провели научное шоу с наглядными опытами «Арт-физика». А после окончания лекционной программы состоялся концерт

«Физика музыки» в Музее физического факультета.

Организатор концерта – руководитель клуба классической музыки, студент физического факультета Алексей Карамышев. Научную сторону концерта представлял профессор кафедры



физики колебаний Александр Павлович Пятаков. В рамках концерта выступили лауреаты международных конкурсов: Борисов Максим Витальевич, ассистент-стажер РАМ имени Гнесиных (флейта); Ваганова Ольга Игоревна, доцент, декан оркестрового факультета РАМ имени Гнесиных (альт); Волкова Наталья Геннадьевна, доцент РАМ имени Гнесиных (виолончель); Елизавета Ермакова, биологический факультет 3 курс (саксофон); Клеманс Азра, физический факультет 2 курс магистратуры (фортепиано); Кучка-





рова Мадина Акрамжановна, преподаватель муз. училища имени Гнесиных (скрипка); Месяц Артемий, физический факультет, 2 курс (фортепиано).



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

Также в Шуваловском корпусе МГУ работал стенд физического факультета со следующими научными демонстрациями: Наглядная демонстрация технологии МРТ, Квантовый Симулятор, Интерферометр LIGO в миниатюре. Дополнительно студенты физического факультета проводили научное шоу у входа в Шуваловский корпус МГУ. Видеозаписи мероприятий, проходивших на физическом факультете доступны в официальной группе физического факультета VK по ссылке:

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





Хотелось бы отметить, что прошедшие мероприятия стали возможны благодаря усилиям многих студентов и сотрудников физического факультета. Благодарю «Открытый физфак» и Михаила Буданова за общую организацию стенда в Шуваловском корпусе; профком студентов физического факультета и Серафиму Самченко за помощь в организации мероприятий на физическом факультете; Медиацентр и Никиту Владимировича Павликова за подготовку медиа материалов и освещение мероприятий в пабликах; команду «Teach-in»за съемку лекций и концерта; доцента кафедры квантовой теории и физики высоких энергий Полину Александровну Вшивцеву за онлайн-трансляцию лектория; директора музея физического факультета, заведующего кафедрой физики твердого тела Алексея Павловича Орешко, а также Ирину Валентиновну Букату и Алексея Валентиновича Селиверстова за помощь в организации концерта; отдел и Ольгу Владимировну Салецкую за оперативную печать медиа материалов; ведущего инженера научного отдела Наталью Николаевну Перову за общую координацию всех мероприятий; и всех остальных, кто участвовал в подготовке и проведении этого масштабного события.

*Вед. инж. научного отдела Александр Паршинцев*

## А СЕГОДНЯ НА УЛИЦАХ ЯБЛОНИ РАСЦВЕЛИ К 90-летию физического факультета

*Сегодня по просьбе редакции легендарный Дмитрий Гальцов вспоминает, рассказывает о настоящем, делится планами на будущее.*

«Сегодня деревья в белой пыли – в белой-белой. Облака застrevали, как на мели, все затихло и разомлело». Эти стихи я, первокурсник, услышал в переполненной ЦФА, где Валерий Канер, тихим и слегка дрожащим от волнения голосом, читал свою поэму на комсомольском собрании вместо отчетного доклада бюро ВЛКСМ. Зал был переполнен, и стояла абсолютная тишина, какая бывает в моменты откровений. Когда полетел Гагарин –вновь переполненная аудитория и Канер читает стихи «Одни плывут в кильватере, другие в авангарде». Я пришел на физфак в 1959 г., и эти стихи в учебной аудитории ошеломили меня не меньше, чем величественность здания МГУ, огромность ЦФА и заданий по математике, возможность заниматься музыкой и математикой одновременно. Конечно, я тут же записался в фортепианный класс, который с довоенных лет вела в МГУ Ундина Михайловна Дубова-Сергеева, ученица Нейгауза, и уже в 1964 г. выступал в Малом зале консерватории и даже готовился



ко 2-му конкурсу Чайковского. Еще поразила немыслимая для вчерашнего школьника атмосфера юмора и острословия. Помню лекции Ландау в той же переполненной ЦФА, ответы на записи: «Лев Давидович, извините, мы угнали Вашу машину» – «Неправда, я сегодня приехал на машине академии» (хохот). Потом эпохальный День Физика 1960 года, когда настоящий Дау вместе с ряжеными Архимедом и Ломоносовым объезжали толпу на электрокаре. Плакат с призывом участвовать в дне Физика: «Веселиться – не сеять или пахать, не умеешь работать – умей отдохнуть» (кажется, сочинил Валерий Миляев) – провисевший всего полдня, пока не снял партком. Последовавшее феерическое представление «Архимеда» в ДК МГУ. Толпа снесла трехметровую дубовую дверь в зал (после чего и поставили железные решетки), я сидел в зале на втором этаже и отчетливо видел эту сцену. В последующие годы я стал одним из аккомпаниаторов оперы и наблюдал действие в основном из-за кулис.



1962 г. Фортепианный класс Дубовой-Сергеевой

Осенью 1961 г. Ольга Зубкова, также ученица Дубовой-Сергеевой, пригласила меня в агитбригаду, которая была зачата летом в Липецком стройотряде, где я работал электромонтажником (в фортепианном классе занималась также участница агитбригады Ирина Егорова). В агитбригаде было целое созвездие поэтов: Канер, Миляев, Крылов, Иванов, да и многие другие писали стихи. Поэтические дуэли, в простоте никто



слова не скажет. Только Ольга с ее железным характером и умением осадить любого могла справиться с этой компанией – осмелевший Валерий Миляев однажды придумал частушки «Я пойду газировочки напьюсь, я теперь Зубкову не боюсь». Осенью был выезд в Липецк с концертом. Вспоминаю незабываемое ощущение единения и душевного подъема от поездок в наполненном угарным газом автобусе, когда под аккомпанемент нескольких гитар оглушительный хор начинал: «Свечерело, солнце село...», «Сиреневый туман», «За что ж вы Ванькуто Морозова» и прочие полуподпольные шедевры. А потом тихо и деликатно пели «Желтого цыпленка» Сергея Крылова, отчего щемило сердце. Темпераментно играл на гитаре и пел Толя Черепашук. Замечательно пели Валя Козлов и Оля Бадалян. Зажигательные танцы в исполнении Светы Ковалевой и Славы Тонеева, а также Саши Гусева, сделавшего через много лет блестящую театральную карьеру. Стихи Сергея Крылова «Да здравствуют подснежники, фанатики и мятежники, в своем предначертанном рвении родившиеся до времени». Мне приходилось играть сонату Прокофьева на расстроенном пианино в сельских клубах, и ведь слушали! Конечно, стержнем был хор, которому профессионально аккомпанировал на аккордеоне Сергей Смирнов. Потом появился Сергей Никитин, создавший знаменитый квартет. А когда на сцене звучал необыкновенной красоты голос Виктора Дубинчука, начались овации, его хотели слушать бесконечно. Позже пришла Любовь Богданова – и затмила всех. Одно время в агитбригаде даже был кукольный театр, где Сева Твердислов играл порослят. Агитбригада работала не только на зрителя, но и на себя. Когда Витя Чирков показывал пантомиму «Хирург», достоверно вынимая кишки из пациента и наматывая их на руку – от смеха катался не только зал, но и сами артисты, смотревшие на это из-за кулис. Иногда завершал выступление нехитрый номер «безмоторный самолет» с разбрызгиванием набранной в рот воды – уже разогретая аудитория приходила в полный восторг.

Для всех участников агитбригада была праздником души, учеба часто уходила на второй план. У агитбригадцев было ощущение важности их миссии – нести культуру в уголки, отдаленные и не очень, куда артисты, а тем более ученые, не заглядывали. Несмотря на царивший дух раскрепощенности и свободы, в агитбригаде не было тогда никаких признаков диссидентства. Это уже позже Валерий Сойфер, кандидат сельскохозяйственных наук и студент физфака, ставивший в 1961 г. ура-патриотический спектакль «Целинная поэма» на стихи Канера, будет лишен гражданства за диссидентскую деятельность, уедет в США и в 90-е годы станет правой рукой Сороса и куратором его образова-



тельной программы. Но что уж тут говорить, если предательство пошло с самого верха.

Знаковой фигурой в агитбригаде был Геннадий Иванов, автор знаменитого гимна «Всю Сибирь прошел в лаптях обутый» Кто он - "Генка Иванов"? (msu.ru). У меня с ним была астральная связь: мы в детстве учились в одной школе и жили в соседних квартирах в доме на Ленинском проспекте, Гена был на год старше. Я также учился в музыкальной школе и усердно разучивал фуги Баха. Тогда не было металлических дверей, и звуки разносились по всему подъезду. Гена потом напишет: «На небе заиграли Баха, печально-мудрый звон плывет. И небо шапкой Мономаха главы себе достойной ждет». Светлана Ковалева утверждала, что это было навеяно детскими воспоминаниями. Гену действительно часто посещали музыкальные ассоциации: «Я ждал, когда зазвучат эти скрипки, а в ожиданье рождались строчки». А небо для Гены было естественным персонажем его во многом пантеистического мироощущения. Не случайно он переиграл всех богов в «Архимеде», кроме Венеры, и сам чем-то напоминал греческого философа. Ему я обязан решением поступать на физфак, его восторги по поводу университетской жизни (летом 1959-го, когда я выбирал между физикой и музыкой, он уже стал известной личностью на физфаке) разрешили мои сомнения.

С Валерием Миляевым меня связал «Ласкающийся еж», который появился также в агитбригаде. Валера сказал мне, что на эти стихи никто не может написать музыку, что меня раззадорило, и я через час предложил свой вариант. Валерий Сакун, уже известный тогда джазовый музыкант, также учившийся на физфаке, послушал и сказал, что музыка хорошая, и предложил Валере написать для нее другие стихи. Но это оказалось излишним – песня «пошла», в особенности после того, как она прозвучала в исполнении квартета Никитина, и была удостоена премии на Московском фестивале. Много лет спустя Валера назовет свою книгу стихов «Ласкающийся еж». Уже в двухтысячные я однажды спел «Ежа» в театре «Экспромт» и обнаружил, что все считают, что это музыка Миляева. На стихи Валеры я написал еще несколько песен, в частности «Когда я снова буду молодым». После его кончины Людмила Иванова издала книгу о Валере с таким названием.

Мне были очень созвучны стихи Сергея Крылова, особенно про осень, стихи грустные и светлые. Я придумал музыку на «Пахнет дымом и грустно очень», но наши две грусти сошлись в довольно тоскливой мелодии. Потом Сергей Никитин нашел в стихах Крылова «лучик света» и написал на них целый ряд очень ярких песен – «Белые тихие выюги», «Маленький трубач», «Бродячая» (более десятка), и это было так убедительно, что я больше не пытался (хотя недавно обновил старые попытки



в новой редакции). В 1965 г. Сергей Крылов и Александр Гусев (сделавший впоследствии большую театральную карьеру) организовали «Феникс», вторую версию агитбригады, прославившую физфак за рубежом. За несколько лет до своей кончины в 2021 Сергей Крылов выпустил две книги – сборник песен «Нарисовал я лучик света» (2018), куда вошло более ста пятидесяти его песен и песен на его стихи, и сборник стихов, статей и заметок «Аквариум из акварели» (2019). Увы, мы всегда лучше узнаем человека, когда его уже нет. Дед Сергея родился крепостным, но получил образование, стал учителем математики, а на пике карьеры – смотрителем уездных учебных заведений, что давало право на дворянство. Сергей после окончания физфака работал в ФИАНе, защитил кандидатскую, получил дозу облучения на ускорителе, лежал на Каширке – и победил болезнь, как он сам считал, благодаря поэзии – читал стихи соседям по палате. Потом оставил физику, работал в «Высшей школе», занимался журналистикой, стал членом Союза журналистов Москвы. Активно участвовал в бардовском движении как автор, исполнитель и организатор фестивалей. Это был чистый и цельный человек, для которого слово «отечество» имело значение. Поэтому и стихи «Маленький трубач» и «Осторожно, не топчите подорожники», написанные, когда ему было немногим больше двадцати. А когда было за шестьдесят – «Куда плывешь, Россия, мне за тебя тревожно...», «Пришли другие времена, а мы не очень-то другие». Он во всем был настоящий, в его стихах никогда не было ерничества, но было чувство единения с природой, вспомните «Зимний вечер» или такие строчки: «Вот постою. Вот помолчу немного. И вновь уйду за журавлями вслед. Куда б ни шел, всегда я у порога – пришелец на родной земле». Удивительны его деликатность, доброта и оптимизм. Вот ссылка на замечательный авторский концерт Сергея Крылова, один из последних Сергей Крылов, Александр Костромин.22.02.2018 ЦАП - YouTube. Много песен на его стихи написал также Сергей Смирнов – участник агитбригады и квартета Никитина, сейчас известный бард.

Недавно в теледискуссии об идеологическом бренде для современной России прозвучало: «Россия – страна для счастья». Мне не показалось это высокопарным или фальшивым: ведь было же тогда ощущение счастья у многих, соприкоснувшихся с «физическими искусством». Наверное, для этого нужно, чтобы звезды сошлись, и не только небесные, но и земные. «Мир так круговоротно создан – и вниз уходят без следа за горизонт людские звезды, не возвращаясь никогда», – напишет Канер в 1997 г. А за год до этого: «Стоит Россия в переходе под яркой лозунга строкой – стоит при всем честном народе, стоит с протянутой рукой». (И вот снова Россия в переходе – хотя уже и не с протянутой рукой.)



Агитбригада показала замечательную живучесть, пережив и эпоху застоя, и лихие 90-е. В 2008 г. благодаря усилиям Владимира Радченко, большого энтузиаста самодеятельности на физфаке, в Культурном центре МГУ прошел «Всемирный день агитбригады всех времен и народов», собравший коллективы разных лет Торжество физической культуры // целый день счастья (msu.ru). На фото праздника можно видеть около полутора сотен совершенно счастливых лиц, для многих из которых это оказалось последней совместной фотографией.

А изгнанный в 1970 г. с физфака «Архимед» обрел новую жизнь в Курчатовском институте под мудрым руководством Юрия Гапонова, приложившего немало сил для популяризации «физического искусства» Архимед | Физфак 1970 г (fizfak1970.ru). Членами курчатовской студии были Валерий Миляев, Юрий Рыбаков, Виктор Дубинчук, Геннадий Иванов, Светлана Ковалева, Анатолий Прохоров, создатель «Смешариков», поэт Сергей Семенов, бессменная с 2002 г. Венера – Ирина Сокольская, Дмитрий Афонин и много других талантливых людей. История курчатовской студии подробно описана в статьях Юрия Гапонова VIVOS VOCO: Ю.В. Гапонов, "ОТРЫВКИ ИЗ НЕНАПИСАННОГО" (astronet.ru) и книгах Светланы Ковалевой, последняя из них «Архимеду-60 лет», вышла в 2020 г.

Фортепианный класс МГУ У.М. Дубовой-Сергеевой также оставался центром притяжения физиков вплоть до ее кончины в 1986 г., и остается таковым до сих пор Фортепианный класс имени У.М. Дубовой-Сергеевой (msu.ru). Его участниками были Александр Гетлинг, Вадим Бронгулев, Игорь Бобошин и многие другие. Во времена СССР класс принимал участие в многочисленных фестивалях и конкурсах в разных городах страны, в зарубежных поездках. Существует и поныне сообщество «фортеклассников» тех времен, не оставляющих музыкальную деятельность. Вадим Бронгулев (скончавшийся в 2016 г.) создал коллектив «Musica Amatorum», участники которого реанимируют и исполняют на разных площадках Москвы редко играемые фортепианные произведения. Я продолжал выступать с ними как пианист вплоть до ковидной эпохи Фортепианный коллектив MUSICA AMATORUM (vk.com).

Еще одной реинкарнацией агитбригады и «Архимеда» стал театр ДУЭТ в Центральном доме ученых (ЦДУ) РАН. В 1985 г. Наталья Селезнева, художественный руководитель ЦДУ, сама сочинявшая стихи, стала пытаться оживить в ЦДУ капустник. Валентин Руденко, автор и один из исполнителей танца жертвоприношения в «Архимеде» и активный участник секции туризма ЦДУ, предложил пригласить Канера и Миляева. Я тогда был членом симфонического оркестра ЦДУ, и мы вместе с Валентином писали им рекомендации. В итоге получился ДУЭТ (Дом Уче-



ных – Эстрадный Театр, аббревиатуру придумал, конечно, Канер, история подробно описана им в книге «Шизики Футят»). Валентин вскоре стал одним из ведущих артистов ДУЭТа и режиссером спектаклей, а я вошел в бригаду музыкантов. Мы с Канером написали песню «Пусть играет не в терцию скрипка», которая до сих пор исполняется в начале и конце всех спектаклей (театр продолжает жить – очередной, тридцать первый спектакль был показан в этом году). А первый спектакль был поставлен Канером и очень напоминал физфаковские оперы. Появились солисты с оперными голосами – великолепный баритон Петр Лягин, громогласный бас (бывший летчик) Владимир Гребняк, богатое меццо Любовь Гордина. Незаменимой в течение многих летбыла Ольга Сухаревская, автор текстов, аккомпаниатор и режиссер. Активной участницей была Марина Сучкова, артистка и координатор ДУЭТа. Своей устойчивостью ДУЭТ во многом обязан Ирине Зубовой, которую пригласил Канер, замечательной артистке, певице и видеолетописцу. Помимо поэтического таланта, у Канера был необыкновенный талант общения, круг его друзей (а лучше сказать, братства), сложившийся в стройотрядах, был широк и далеко не все были участниками самодеятельности. Он привел в ДУЭТ целый взвод рабочих сцены и оформителей (их называли «детями подземелья») – докторов наук, известных ученых: Григория Похила, Валерия Шарапова, Валерия Чечина, Владимира Недорезова. По инициативе последнего в 2015 г. была написана коллективная книга «Вернуть былое» объемом 600 страниц большого формата, в которой участвовало 35 авторов. В нее вошли также ранее не публиковавшиеся стихи Канера. Это последняя на настоящий момент книга о Канере, ушедшем в 1999 г. Сам Владимир ушел из жизни в 2021 г. А Наталья Селезнева была другом всего коллектива и после ухода из ЦДУ, она скончалась несколько недель назад из-за трагической случайности.

Валерий Канер остался в памяти многих как автор песен («Сто стихов», «Недопетый звук») и как непревзойденный мастер капустников, юбилейных речей и прочего юмора. Но в моем восприятии он прежде всего лирический поэт, далеко выходящий за рамки самодеятельности. Об этом убедительно говорит книга «Листья лета», появившаяся на свет через год после кончины Валеры благодаря усилиям Наталии Тиме (также выпустившей несколько дисков с голосом Валеры) и его друзей. Канеру хотелось выносить на сцену и серьезную поэзию, что было так востребовано в 60-е годы на физфаке. У него был замысел соединения музыки и стихов в театрализованном действии, к чему он хотел привлечь и меня. Это, отчасти, было реализовано позднее в выступлениях нашего коллектива в ЦДУ, выступавшего под девизом «Поэзия в музыке и музыка поэзии». Я стал писать музыку на стихи классиков русской и совет-



ской поэзии, сочинил много песен на стихи Канера и Иванова и поэтов ЦДУ (Марины Князевой, Натальи Селезневой). Постоянными участниками нашего коллектива были заслуженный работник культуры России Петр Лягин, бывшие солистки Камерного хора МГУ Ольга Добровольская и Елена Петраш, также принимали участие Ирина Зубова и заслуженная артистка России Татьяна Вишневская. С 2003 года мы дали около двух десятков концертов в ЦДУ и на других площадках Москвы. Исполнялись в них и мои песни на стихи Канера, Иванова и Миляева. Сейчас ищу новых исполнителей для продолжения этой деятельности, очень хотелось бы устроить вечер «физической» поэзии и музыки на физфаке.

Закончить хочу строчками Канера «А все кончается, кончается, кончается...». Все ли? Пропойте про себя как заклинание: «И мы когда-нибудь, куда-нибудь вернемся...»

*Профессор Д.В. Гальцов*

## ПАРТИЙНЫЕ СТРАНИЦЫ ЖИЗНИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

### К 90-летию физического факультета

Согласно историческому сценарию нашей страны судьба родившегося в 1933 году физического факультета Московского университета была тесно связана с его партийной организацией.

Автору этих строк довелось в течение шести лет в семидесятых годах прошлого века работать освобожденным заместителем секретаря парткома физического факультета по организационной работе. Безусловно, довольно сложно, особенно в рамках ограниченной по объему публикации, осветить в достаточной степени такую большую и непростую тему, как работа партийной организации физического факультета за весь период ее существования.

В России в результате победившей социалистической революции 1917 года пришедшая к власти Коммунистическая партия в процессе своей эволюции превратилась в политическую организацию, не вполне соответствующую классическому определению политической партии. По сути, партия превратилась в мощную государственную структуру, управляющую всеми, без исключения, сторонами жизни общества. Дополнительную жесткость данной политической конструкции придавал неукоснительно выполнявшийся принцип демократического централизма. Наш университет также находился под пристальным вниманием партийного руководства страны, о чем свидетельствует, в частности, Постановление



ЦК КПСС 1969 г. «О работе партийного комитета МГУ». Поэтому определяющее значение в деятельности Московского университета и физического факультета имела работа парткомов МГУ и факультета, что видно хотя бы из приводящихся ниже примеров рассмотрения вопросов в парторганизации.

За давностью лет и вследствие естественной смены поколений, существенных данных о начальном этапе деятельности парторганизации физического факультета за период 1933–1945 гг., кроме отдельных фактов, не имеется. Известно, что в 1940 году секретарём партбюро факультета была Васильева М.Я., мать будущего ректора МГУ Р.В. Хохлова. В 1941 году главной задачей парторганизации была работа по формированию народного ополчения, проводившаяся под руководством секретаря партбюро Глазунова Т.К. и его заместителя Зубова В.Г. Вопросам методологии проведения научных исследований и преподавания физики в свете марксистско-ленинской философии было посвящено выступление секретаря партбюро Дьякова Г.П. на общем партийном собрании физического факультета в 1944 году.

Партийная организация физического факультета была крупнейшей в университете, максимальная численность её, включая парторганизации НИИЯФ и ГАИП, достигала 750 человек. При этом её отличала не только численность, но и высокая политическая активность. В составе партийной организации было немало ярких, интересных личностей. Так, например, в процессе работы в парткоме я познакомился с членом партбюро отделения физики твердого тела – Ронами Гусейном Нурзалиевичем, который, будучи членом КПСС, одновременно был членом ЦК Курдской объединенной рабочей партии.

Особо следует сказать о неповторимом лице парткома факультета, сформировавшемся в первые послевоенные годы. На факультет пришло поколение фронтовиков, прошедших тяжелейшие испытания и познавших истинные ценности в жизни. Большинство из них отличали высокое чувство гражданского долга, принципиальность и тяга к знаниям. Наиболее активное ядро из среды фронтовиков и составляло партком и его руководство. Нередко в трудные послевоенные годы они оперативно неформально собирались в парткоме, обсуждали различные острые ситуации и сообща вырабатывали позицию парткома и программу действий. Со временем стиль работы руководящего партийного органа факультета изменялся, приобретая более академичные формы.

В послевоенные годы руководителями факультетской парторганизации работали: Б.И. Спасский, А.А. Семенов, И.П. Базаров, А.Ф. Тулинов, Г.И. Горяга, А.Г. Свешников, А.А. Кузовников, И.М. Тернов, Л.В. Левшин, И.И. Ольховский, Б.С. Ишханов, В.А. Грибов.



Ключевым моментом в деятельности партийной организации являлось взаимодействие с администрацией факультета. Не всегда в Московском университете это взаимодействие имело оптимальный характер. На ряде факультетов, в силу личных качеств административных и партийных руководителей, могла доминировать та или иная сторона. Например, был период жестких взаимоотношений беспартийного ректора МГУ академика И.Г. Петровского и секретаря парткома МГУ экономиста В.Н. Ягодкина. Тогда для нормализации обстановки потребовалось вмешательство ЦК КПСС.

В.Н. Ягодкин был выдающимся секретарем Парткома МГУ, так, он досконально изучил имеющиеся документы всех съездов ВКП(б) – КПСС, был назначен 3-м секретарем МГК КПСС (по идеологической работе). Бывший его заместителем профессор физфака Л.В. Левшин после перехода В.Н. Ягодкина в МГК КПСС стал секретарем Парткома МГУ, через некоторое время оставивший этот пост из-за серьезной болезни сердца.

Секретарь парткома физического факультета И.И. Ольховский, фронтовик, награжденный медалью «За отвагу», был отобран для работы в аппарате ЦК КПСС, однако скоропостижно скончался от сердечного приступа. Так, не щадя себя, трудились лучшие люди факультета.

Почти половину времени существования физического факультета его деканом был питомец факультета, профессор В.С. Фурсов (1954 – 1989 гг.), переведенный на физический факультет на основании решения Политбюро ЦК КПСС из известной организации, возглавлявшейся И.В. Курчатовым. Обладавший незаурядным талантом организатора, большим опытом руководящей, в том числе и партийной работы, в курчатовской организации, а также сильной волей, В.С. Фурсов мог де-факто осуществлять единоличие на факультете. Вместе с тем, как говорилось выше, в нашей организации сформировался серьёзный, самостоятельный руководящий партийный орган – вначале партбюро, преобразованное затем в партком. В процессе взаимодействия двух руководящих начал, административного и партийного, между ними сложились нормальные, деловые отношения. При этом наличие стратегического единства политических взглядов не устранило возможности возникновения противоречий, порой острых, по тактическим моментам в конкретных ситуациях.

Несмотря на возникавшие трудности, декан и партком всегда приходили к общему решению, обнародовали его как единую позицию факультета, поскольку высшим приоритетом для обеих сторон являлась польза дела. Сотрудничество декана и парткома было весьма тесным, как по существу, так и с точки зрения формальной: декан был неизменным членом парткома, а представитель парторганизации – участником сове-



щательного административного органа, постоянно действующего деканского совещания. И декан, и партком всемерно содействовали повышению авторитета друг друга.

Существенно большие возможности для прямого влияния на администрацию получили партийные органы после XXIV съезда КПСС (1971 г.), предоставившего парторганизациям право контроля за деятельностью администрации.

Характеризуя содержание деятельности парткома факультета, помимо чисто политico-идеологической и внутрипартийной организационной работы, следует процитировать директивные установки относительно основных направлений в учебно-научной деятельности:

«мобилизация парторганизации на дальнейшее совершенствование учебного процесса и оснащение его новейшими техническими средствами обучения; повышение уровня и эффективности научных исследований и на этой основе улучшение качества подготовки молодых специалистов; дальнейшее развитие фундаментальных исследований, а также наиболее важных и перспективных направлений, непосредственно связанных с научно - техническим прогрессом; обеспечение условий для скорейшего использования в народном хозяйстве достижений ученых университета; широкое проведение поисковых работ; разработка новых эффективных методов исследования; расширение фронта крупных комплексных методов исследования; выдвижение молодых способных ученых на руководящую научно-педагогическую работу; дальнейшее укрепление органического единства процесса обучения и воспитания».

Для наглядности упомянем ряд вопросов, рассматривавшихся на заседаниях парткома физического факультета:

- постановление парткома МГУ «О работе партийной организации МГУ по мобилизации коллектива ученых и сотрудников на решение проблем научно-технического прогресса»;
- материалы партактива МГУ «Об интернациональном воспитании коллектива Московского университета»;
- «О мерах по повышению успеваемости студентов на факультете»;
- «О работе по привлечению сельской и рабочей молодёжи к поступлению в МГУ и её обучению на физическом факультете»;
- постановление парткома МГУ «О едином плане политической и учебно-воспитательной работы с иностранными учащимися в университете»;
- «О ходе выполнения постановления парткома МГУ "О порядке рассмотрения писем, жалоб и приеме граждан в МГУ"».

На текущих заседаниях парткома рассматривались вопросы, связанные со всеми аспектами жизни и деятельности факультета.



Одной из главных функций партийной организации факультета была работа с кадрами, имевшая целый ряд аспектов: подбор, расстановка, детальное обучение кадров, подготовка должным образом ориентированного кадрового резерва, подготовка высококвалифицированных специалистов-физиков и преподавателей для высшей школы. Непрерывный приток способной молодёжи на факультет из всех социальных групп и регионов огромной страны делал это направление перспективным и эффективным.

Все кадровые перемещения контролировались парткомом, существовала официальная номенклатура должностей, подлежащих обязательному утверждению парткомом, и это неукоснительно исполнялось.

Практически все представители администрации факультета и подавляющее число заведующих кафедрами имели опыт работы в парторганизации. Декан факультета В.С. Фурсов докладывал на бюро парткома МГУ вопрос «О подборе и о работе с руководящими кадрами на физическом факультете» (1969 г.). Ставший ректором МГУ академик Р.В. Хохлов активно участвовал в партийной жизни факультета и университета, был заместителем секретаря парткома МГУ по учебно-научной работе, а на XXV съезде КПСС был избран членом Центральной ревизионной комиссии. Физик – ректор МГУ академик А.А. Логунов в 1986 году вошел в состав ЦК КПСС.

Отметим, что нынешний ректор МГУ, академик В.А. Садовничий, был секретарем как комсомольской, так и партийной организаций механико-математического факультета, членом парткома МГУ.

Декан факультета профессор В.И. Трухин, работавший ранее по совместительству проректором МГУ по учебной работе, также имеет значительный опыт партийной работы в партбюро ОГФ – в качестве члена и заместителя секретаря парткома факультета по учебно-научной работе. В.И. Трухин был рекомендован на должность заместителя декана В.С.Фурсова по научной работе.

Ведущие сотрудники факультета постоянно и активно работали в парткоме МГУ. Так, например, в 1967–1971 гг. были членами бюро парткома МГУ: Л.В. Лёвшин (первый заместитель секретаря парткома МГУ, а затем – и.о. секретаря парткома МГУ), А.Г. Свешников, И.М. Тернов (заместитель секретаря парткома МГУ по учебно-научной работе), членами парткома МГУ работали тогда – В.С. Фурсов, Л.Г. Корниенко (учебно-научный отдел) и А.Ф. Тулинов (интернациональный отдел).

Естественно, что МГУ большое значение придавалось работе с комсомольской организацией, являвшейся к тому же важнейшим кадровым резервом партии. В частности, на заседании парткома и в парторганизации факультета широко обсуждалось и было принято к исполнению ре-



шение бюро парткома МГУ «О работе по обеспечению авангардной роли комсомольского актива». В университете к работе с учащейся молодёжью привлекались и крупные учёные. Так, например, идеологическим отделом парткома МГУ проведено расширенное совещание с представителями всех факультетов по вопросу: «О роли кафедр общенациональных и специальных дисциплин в политическом воспитании студентов», где с докладом выступил заведующий кафедрой аналитической химии, Герой Социалистического труда, академик Н.П. Алимарин.

Партком уделял большое внимание работе по вовлечению студенческой молодёжи в активную трудовую деятельность, имеющую существенную общественную значимость. Незабываемой страницей нашей истории останется патриотический порыв студентов- физиков, одними из первых, устремившихся осваивать целинные земли в Казахстане, создавших первые студенческие строительные отряды. Сотрудник факультета Анатолий Перевознов был командиром всесоюзного ССО, в ранге заместителя первого секретаря ЦК ВЛКСМ. Благородной задаче сохранения исторического и культурного наследия нашей страны посвящена многолетняя деятельность факультетского Соловецкого реставрационного студенческого отряда.

Заметным явлением в культурной жизни Московского университета, да и всей Москвы, стали «физические» оперы «Дубинушка» и «Серый камень», а также яркий студенческий праздник физического факультета «Архимед».

Как правило, общественная деятельность всех молодых коммунистов была связана с работой в комсомольских организациях. В гуще студенческой общественной жизни проявлялись представители молодёжи, обладающие организаторскими способностями и умением работать с людьми. Они рассматривались как кандидаты для вступления в партию с перспективой их активной работы в парторганизации факультета. Следует подчеркнуть, что регулярное омоложение руководящих партийных органов, по крайней мере на местах, было одним из важнейших организационных принципов партийной кадровой политики того времени.

Многие секретари и члены комитета ВЛКСМ факультета стали известными учеными, заведующими кафедрами, видными общественными деятелями и заслуженными профессорами Московского университета. Достаточно назвать хотя бы некоторых из них, хорошо известных на факультете: Бутузов В.Ф. – зав. кафедрой, зам. декана, лауреат Ломоносовской премии; Илюшин А.С. – зав. кафедрой, зам. декана по научной работе; Ишханов Б.С. – зав. кафедрой, зам. декана по УМО, секретарь парткома факультета, член парткома МГУ; Кандидов В.П. – заслуженный



профессор МГУ, лауреат Государственной и Ломоносовской премий; Коробов А.И. – профессор, зам. декана по НИЧ; Короленко П.В. – профессор, зам. секретаря парткома факультета, зам. декана по учебной работе, председатель ЦГНК МГУ, зам. секретаря парткома МГУ; Кузьменков Л.С. – профессор, зам. декана по научной работе и УМО; Кукушкин А.К. – заслуженный профессор МГУ; Логгинов А.С. – зав. кафедрой, зам. декана; Твердислов В.А. – зав. кафедрой, зам. декана по учебной работе, зам. секретаря комитета ВЛКСМ МГУ; Хохлов А.Р. – академик РАН, зав. кафедрой, лауреат Государственной и Ломоносовской премий; Южаков В.И. – секретарь комитета ВЛКСМ МГУ, председатель объединенного профкома МГУ, член парткома МГУ.

К большому сожалению, некоторые наши яркие люди уходили из жизни совсем молодыми. Добрым словом хочется помянуть секретаря комитета ВЛКСМ факультета, настоящего комсомольского вожака с армейской закалкой, Юрия Каширского, молодого коммуниста, наделённого большими способностями и высокими человеческими качествами – Никиту Свешникова.

Хотелось бы заметить, что имеющее место в Российской Федерации забвение хрестоматийного управленческого тезиса «Кадры решают всё!» заставило президента России срочно поставить вопрос о восстановлении в стране системы подготовки кадрового резерва для государственных структур.

Особо следует отметить тотальную, глубоко дифференциированную систему учебы членов выборных партийных органов, обеспечивавшую работу парторганизаций на стандартном профессиональном уровне. При этом учеба велась на двух уровнях: общегородская учеба, учеба в первичных партийных организациях. В МГУ использовались следующие формы учебы: 1) Филиал вечернего университета марксизма-ленинизма МГК КПСС при парткоме МГУ; 2) Постоянно действующие семинары партийного актива МГУ; 3) Выездные тематические занятия партактива университета в Красновидово; 4) Инструктивные совещания с партограмами по обмену опытом текущей работы на факультете.

Существенное внимание партком уделял профсоюзной организации факультета, в деятельности которой важную роль играли также коммунисты, имевшие определенные навыки и склонность к такой работе. Руководство профсоюзом на факультете проводилось в соответствии с государственной трактовкой этой организации как «школы коммунизма», с учетом руководящих партийных документов. Орготдел парткома МГУ производил, в частности, проверку организаций отдыха детей в университете пионерском лагере с информацией об её результатах на факультетах. По итогам профсоюзной деятельности фа-



культурных МГУ физический факультет постоянно занимал ведущие места. В семидесятых годах председателем объединённого профкома МГУ успешно работал доцент нашего факультета коммунист В.И. Южаков.

Под руководством парткома работали и другие общественные организации факультета, такие как Народный контроль, Совет ветеранов, ДОСААФ, народная дружина и другие.

Высокий авторитет физического факультета и его партийной организации в Московском университете обусловлен не только впечатляющими результатами профессиональной деятельности, но и общефакультетским стилем работы, который отличался обстоятельностью, обоснованностью, глубиной, некоторым консерватизмом.

Работе парткома факультета были свойственны професионализм, ответственность, требовательность, продуманность принимаемых решений и действий.

Следует отметить, что В.С. Фурсов, талантливый и многоопытный декан, в свою очередь, влиял на формирование рабочего стиля парткома. Будучи твердым поборником закона, В.С. Фурсов требовал от всех ответственного отношения к порученному делу, добивался четкого порядка в работе факультета. Представить ему недостаточно проработанные документы было просто недопустимо.

Многое в работе парткома зависело от его секретаря. Мне довелось поработать заместителем двух секретарей – Л.В. Лёвшина и И.И. Ольховского, так что их деятельность проходила на моих глазах. Возможно, потому что я знал их намного лучше других бывших секретарей, они мне представлялись бесспорными партийными лидерами в коллективе физического факультета. Большое впечатление производили их высокая ответственность и самоотдача, доходившая до самопожертвования. Так, во время выступления на одном из факультетских партийных собраний у Л.В. Лёвшина случился сильный гипертонический криз, а во время работы и.о. секретаря парткома МГУ его прямо из служебного кабинета переправили в больницу на операционный стол. И.И. Ольховский чистенько допоздна задерживался по неотложным делам в парткоме, принимая лекарства, а вскоре после освобождения от работы в парткоме скончался.

Лицо партийной организации определяли идейно убеждённые, интеллигентные люди с высокими деловыми и моральными качествами, которых много на нашем факультете. Высокий уровень большинства представителей партийных органов позволял им эффективно осуществлять руководство коллективом факультета, избегать примитивного администрирования в партийной работе. Говоря об этом, я мысленно представляю образы таких людей, как профессора Л.В. Лёвшин и Э.Г. Позняк.



Партком был доступен для всех сотрудников факультета, куда часто забегали по каким-то делам, оформить различные документы, узнать последние новости университетской жизни. В промежутках между лекциями в помещение парткома любил заходить наш выдающийся учёный А.А. Власов, чтобы немного посидеть, просмотреть свежую прессу. Располагался партком в трёх комнатах, где сейчас находится кафедра компьютерной физики, в одной комнате проходили заседания парткома и работал секретарь и его заместители, в другой была приёмная с техническим секретарём, а в третьей – работала выездная комиссия факультета и проводились локальные совещания, собеседования и инструктажи.

Неоценимым следствием работы партийной организации факультета являлось сплочение сотрудников всех его отделений и многочисленных кафедр в единый коллектив, живущий общими интересами. Особенно ярко это ощущалось на общем партийном собрании факультета, где в Центральной физической аудитории присутствовало более шестисот человек.

Физический факультет всегда отличался своей патриотичностью, чему весьма способствовала идеально-воспитательная деятельность парторганизации, которая, помимо чисто политической агитации, прививала также любовь к своему Отечеству, гордость за его вклад в развитие мировой цивилизации и славное прошлое. Основой для воспитания молодёжи были героические традиции нашего народа. Продолжением этой важной работы являются ежегодно проводимые у стеллы памяти павших фронтовиков – физиков митинги с проникновенными выступлениями декана В.И. Трухина и наших славных ветеранов. Мы всегда также отличались искренней любовью к своей «малой Родине» – Московскому университету и физфаку.

Подавляющее большинство наших сотрудников огульно не осуждают наше прошлое – период, когда прошли становление и расцвет физического факультета. Даже сохранившееся, к нашей чести, название факультетской стенгазеты «Советский физик» вызывает положительные ассоциации с лучшими сторонами жизни советского периода, в особенностях в сравнении с реалиями настоящего времени.

Несомненно, что в превращении физического факультета МГУ в один из ведущих научно-образовательных центров страны неоценимую роль сыграла его партийная организация, включавшая в себя лучших представителей факультетского коллектива.

Хочется верить, что в нашей, стоящей на перепутье, стране, её исторический опыт, созидающие и консолидирующие силы общества – реа-



листические инструменты из нашего славного прошлого помогут – сохранить и приумножить успехи науки нашего Отечества.



На фотографии  
автор статьи  
с губернатором  
Ульяновской области  
В.А. Шамановым  
и ректором МГУ  
имени М.В. Ломоносова  
В.А. Садовничим

В.П. Савинов,  
доцент, доктор физ.-мат. наук

## ЭЛЕКТРОННЫЕ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАССИВОВ НАНОТРУБОК ДИОКСИДА ТИТАНА

Коллектив ученых физического факультета МГУ под руководством профессора Константиновой Е.А. выполняет исследования, целью которых является разработка перспективных материалов на основе анодных нанотрубок оксида титана для преобразования углекислого газа в более энергоемкие углеводороды и изучение оптоэлектронных свойств полученных структур. Актуальность выполняемых работ обусловлена необходимостью решения экологических проблем, связанных с существенным увеличением содержания углекислого газа в атмосфере, инициирующим повышение средней глобальной температуры на нашей планете. Кроме того, с целью сохранения природных ресурсов и предотвращения загрязнения окружающей среды необходимо создавать альтернативные источники энергии. Научные исследования поддержаны грантом РНФ № 21-19-00494.

Почему мы выбрали для своих исследований наноматериалы? Приставка «нано» — это  $10^{-9}$  доля чего-либо. Размеры частиц в нанометровом диапазоне соответствуют примерно размерам больших молекул.

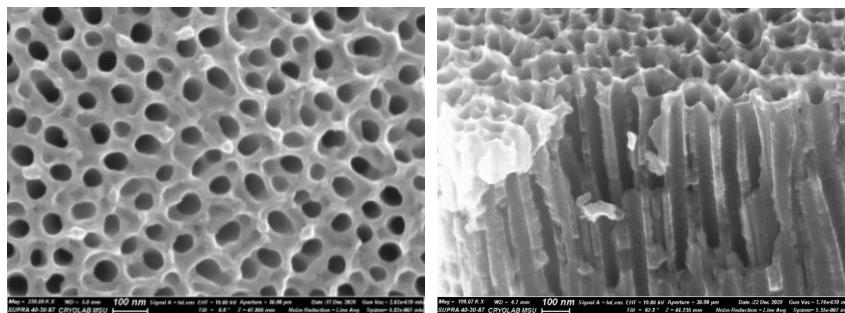


В качестве сравнения укажем, что человеческий волос примерно в 60000 раз толще одной молекулы. Одним из уникальных свойств наноматериалов является развитая удельная поверхность (сотни квадратных метров на грамм вещества), открытая для воздействия молекул окружающей среды. Чем меньше размер наночастицы, тем большая часть атомов находится на поверхности по отношению к объему и тем выше реакционная способность такой частицы, обусловленная взаимодействием с окружающими ее молекулами. Это дает возможность осуществить управление физическими и химическими свойствами нанообъектов, варьируя их структуру и химический состав поверхности, что открывает перспективы их использования в наноэлектронике, экологии и биомедицине. Почему мы остановили свой выбор на  $TiO_2$  в качестве объекта исследования? Данный материал широко используются при производстве красителей, лекарственных и косметических препаратов, пищевых продуктов. Если у вас в руках пищевой продукт, бытовой предмет или лекарство белого цвета, прочитайте внимательно на этикетке состав, и вы обязательно найдете в нем диоксид титана. Таким образом, каждый из нас обычно ежедневно потребляет содержащую  $TiO_2$  продукцию. Но самые интересные и необычные применения данный материал нашел в научно-технической сфере. Благодаря огромной удельной площади поверхности и, как следствие, высокой адсорбционной чувствительности открываются широкие перспективы его использования в газовых сенсорах, солнечных элементах, фотокаталитических фильтрах. Фотокаталитические фильтры на основе  $TiO_2$  в отличие от других аналогичных устройств не накапливают разнообразные загрязнения, а разлагают органические вещества, запахи и вредные химические соединения до безвредных веществ (как правило, до воды и углекислого газа), а также уничтожают вирусы и бактерии в процессе окислительно-восстановительных реакций под действием освещения. Благодаря этому такие фильтры никогда не станут источником загрязнения, если вовремя не заменить отработанный фильтр, и имеют долгий срок службы. Кроме того, можно использовать эффективно  $TiO_2$  для получения прекурсоров углеводородного топлива.

В ходе работ были сформированы массивы нанотрубок анодного оксида титана (HT- $TiO_2$ ), модифицированные с помощью электрохимического осаждения наночастицами меди (HT- $TiO_2/Cu$ ), и проведены исследования полученных образцов структурными, оптическими, электрофизическими методами, а также с помощью спектроскопии электронного парамагнитного резонанса. Как следует из данных электронной микроскопии (рис.1 и 2), морфология HT- $TiO_2$  не претерпевает существенных изменений при модификации медью.



Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с использованием численного моделирования идентифицированы дефекты и определены их основные параметры. В исходных НТ-TiO<sub>2</sub> детектируются оборванные связи углерода С·, локализованные во внутреннем слое нанотрубок TiO<sub>2</sub>, и кислородные вакансии во внешнем слое. В НТ-TiO<sub>2</sub>, модифицированных наночастицами меди, обнаружены O<sub>2</sub>· радикалы, ионы Cu<sup>2+</sup>, внедренные в структуру диоксида титана и замещающие ионы титана в кристаллической решетке, а также ионы меди Cu<sup>2+</sup> в фазе CuO, что свидетельствует о частичном окислении осаждаемой металлической меди и формировании наночастиц оксида меди на поверхности нанотрубок TiO<sub>2</sub>. При освещении концентрация Cu<sup>2+</sup> необратимо уменьшается, что свидетельствует об образовании фазы Cu<sub>2</sub>O. Концентрация O<sub>2</sub>· радикалов при освещении растет вследствие захвата фотоиндуцированных электронов молекулами кислорода, адсорбированными на поверхности НТ-TiO<sub>2</sub>. Были рассчитаны концентрации радикалов в исследуемых структурах, которые варьировались от 10<sup>15</sup> г<sup>-1</sup> в исходных образцах до 6 · 10<sup>16</sup> г<sup>-1</sup> в НТ-TiO<sub>2</sub>/Cu.



(а)

(б)

Рисунок 1. РЭМ изображения немодифицированных массивов нанотрубок оксида титана: морфология поверхности (а) и скол образца (б)

Ширина запрещенной зоны, определенная методом диффузного отражения света, в пределах погрешности была одинаковой для всех полученных образцов и составила 3.2± 0,1 эВ. Зарегистрирован прирост коэффициента поглощения видимого света структурами, содержащими медь и наночастицы оксида меди, по сравнению с исходными образцами, поскольку НТ-TiO<sub>2</sub>/Cu содержат больше дефектов, создающих энергетические уровни в запрещенной зоне.

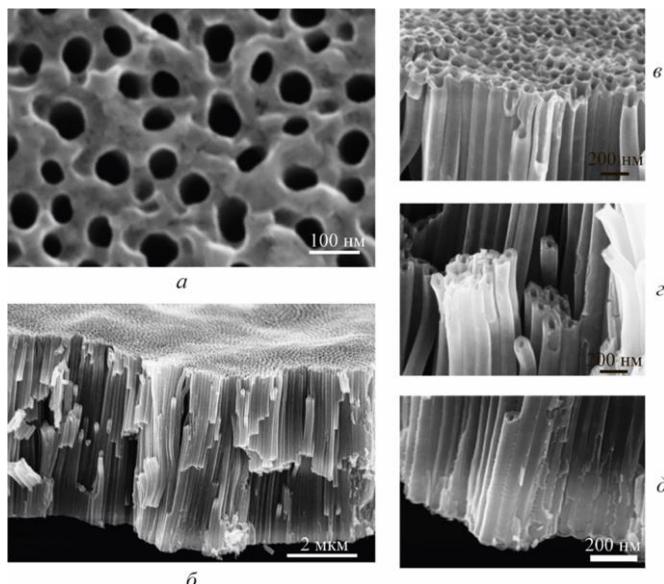


Рисунок 2. РЭМ изображения образцов  $\text{HT-TiO}_2/\text{Cu}$  с количеством циклов осаждения меди, равным 40: а – морфология поверхности, б – скол образца, в – верхняя область массива, г – центральная область массива, д – нижняя область массива

С помощью метода ЭПР определено положение энергетических уровней радикалов углерода в запрещенной зоне и построена зонная диаграмма. Для этой цели мы исследовали влияние освещения с фиксированной длиной волны  $\lambda$  на интенсивность сигнала ЭПР ( $I_{\text{ЭПР}}$ ) от оборванных связей углерода в образцах  $\text{HT-TiO}_2$ . Результаты этого исследования представлены на рис. 3.

Как следует из рис. 3, при изменении длины волны падающего излучения происходит резкое увеличение интенсивности сигнала ЭПР, обусловленного оборванными связями углерода, при  $\lambda = 880 \text{ нм}$  ( $h\nu = 1,4 \text{ эВ}$ ). Полученные данные можно объяснить, если предположить, что происходит обмен носителями заряда между зонами и дефектами при поглощении фотона с энергией, меньшей ширины запрещенной зоны. Таким образом, предполагая, что наряду с парамагнитными дефектами  $\text{C}^\bullet$  в образцах имеются и непарамагнитные отрицательно заряженные оборванные связи углерода (содержащие два спаренных электрона), можно записать следующее условие перезарядки этих дефектов:  $\text{C}^- - \text{e}^-$  (в зону проводимости)  $\rightarrow \text{C}^\bullet$ , что приводит к увеличению значения  $I_{\text{ЭПР}}$  от парамагнитных центров  $\text{C}^\bullet$  и одновременно к увеличению концентрации электронов в зоне проводимости. С использованием результатов, представленных на



рис. 3, и зная ширину запрещенной зоны исследуемых образцов, была построена зонная диаграмма (рис. 4).

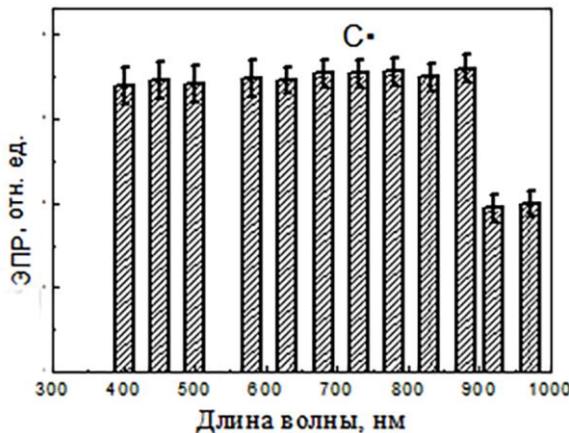


Рисунок 3. Зависимость интенсивности сигнала ЭПР от длины волны освещения для спиновых центров  $C\cdot$  в  $HT\text{-}TiO_2$

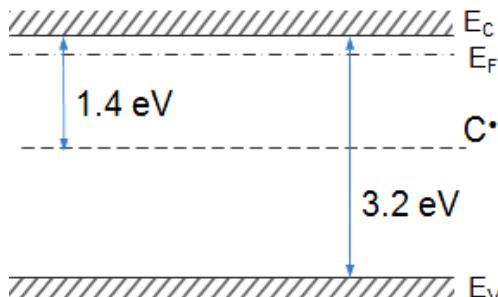


Рисунок 4. Зонная диаграмма образцов  $HT\text{-}TiO_2$ , модифицированных медью

Нами был обнаружен интересный эффект: при модификации  $HT\text{-}TiO_2$  медью происходит резкое увеличение проводимости на 3 порядка при увеличении числа циклов нанесения меди на поверхность нанотрубок  $TiO_2$  от 0 до 400 (рис.5) и уменьшение энергии активации проводимости. Погрешность измерений не превышала 10%. Полученные данные можно объяснить, предположив, что образуются новые донорные уровни в запрещенной зоне диоксида титана, которые возникают в результате внедрения ионов меди в структуру  $TiO_2$ . Это согласуется с данными ЭПР-спектроскопии: зафиксированные в структуре  $TiO_2$  ионы меди  $Cu^{2+}$  могут играть роль донорных центров.

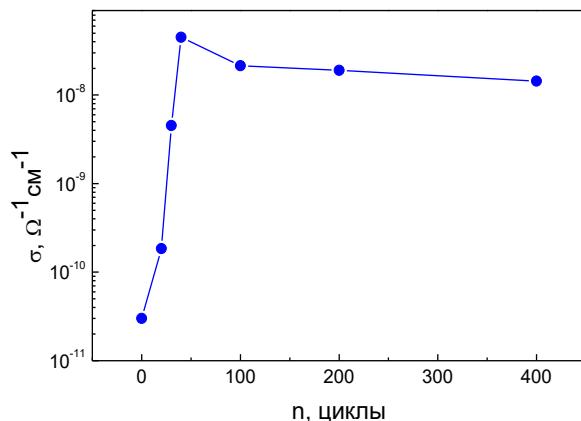
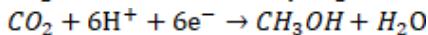
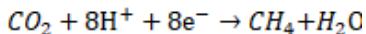


Рисунок 5. Зависимость проводимости образцов НТ- $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  от числа циклов нанесения меди. Измерения выполнены при температуре 300К

Действительно, термическая активация электронов с донорных уровней в зону проводимости приводит к увеличению концентрации свободных носителей заряда, и, следовательно, к росту проводимости. Таким образом, варьируя количество циклов нанесения меди на поверхность нанотрубок  $\text{TiO}_2$  можно управлять концентрацией электронов в зоне проводимости.

Поскольку синтезированные образцы предназначены для фотокаталитической конверсии углекислого газа в более энергоемкие углеводороды, нами были выполнены исследования фотокаталитических процессов с использованием исходных НТ- $\text{TiO}_2$  и модифицированных структур НТ- $\text{TiO}_2/\text{Cu}$ . Обнаружено, что на поверхности НТ- $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  происходит более эффективное преобразование  $\text{CO}_2$  в метан и метanol по сравнению с НТ- $\text{TiO}_2$ . В основе конверсии лежат окислительно-восстановительные реакции:



Дефекты являются центрами адсорбции молекул, обеспечивают примесное поглощение света. Концентрация дефектов более чем на порядок больше в НТ- $\text{TiO}_2/\text{Cu}$ , что и объясняет их большую фотокаталитическую активность по сравнению с НТ- $\text{TiO}_2$ .

Результаты нашей работы вносят важный вклад в разработку перспективных фотокаталитических устройств нового поколения на основе нанокристаллического оксида титана для переработки углекислого газа в прекурсоры углеводородного топлива.



*Научный коллектив (слева направо):*

*1-й ряд: аспирантка А.М. Шарафутдинова, М.Д. Ковалева (Школа Юных Физфака МГУ), студентка Е.В. Кытина;*

*2-й ряд: доценты В.Б. Зайцев, М.Н. Мартышов, А.В. Павликов, профессор Е.А. Константинова, студент А.О. Куушкин, доцент В.Г. Кытин.*

*Е. А. Константинова,  
доктор физико-математических наук, профессор кафедры ОФиМЭ,  
заведующая лабораторией ЭПР ЦКП физического факультета МГУ,  
руководитель гранта РНФ № 21-19-00494, <https://rscf.ru/project/21-19-00494/>*

## **ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ ТРУХИН**

*29 декабря 2023 года исполнилось бы 90 лет профессору Владимиру Ильичу Трухину. В эти праздничные дни уместно вспомнить о нем, ровеснике факультета, руководившем физическим факультетом девятнадцать лет - с 1992 по 2011 год.*

В.И. Трухин окончил физический факультет МГУ в 1958 г. и начал работать в Институте физики Земли (тогдашний Геофизик), а через полгода уехал на геофизическую станцию, расположенную на берегу Рыбинского водохранилища в поселке Борок. Эта станция была построена в рамках программы Международного геофизического года. В те времена государство не жалело денег на проведение научных исследований. За короткий срок было построено два лабораторных корпуса и 3-х этажный жилой дом для сотрудников.



Ко времени начала работы Владимир Ильич успел побывать в двух экспедициях по сбору образцов горных пород для палеомагнитных исследований. В 1956 г. состоялась очень трудная экспедиция по Енисею и его притокам. В дебрях Нижней Тунгуски были отобраны образцы древних траппов, а в другой экспедиции, в горах Армении — образцы древних вулканических лав. Это были первые в СССР палеомагнитные экспедиции по отбору образцов изверженных горных пород.

Через полтора года работы в Борке Владимира Ильича Трухина назначили исполняющим обязанности начальника геофизической станции, которая была расположена на территории научного городка Института биологии водохранилищ. Его директором был легендарный Иван Дмитриевич Папанин, который часто приходил в гости и не без юмора «учил» В.И. быть начальником.

В 1962 г. Владимир Ильич вернулся в Москву и начал работать и заниматься в заочной аспирантуре в Энергетическом институте АН СССР им. Г.М. Кржижановского. Работая под руководством член-корреспондента АН СССР Александра Саввича Предводителева над проблемами электрогазоразрядной плазмы, ему впервые удалось измерить давление и температуру в плазме, образующейся при взрыве тонкой металлической проволоки при воздействии высоковольтного импульсного разряда. Однако ему хотелось вернуться в геофизику.

В 1964 г. академик Владимир Васильевич Меннер пригласил Владимира Ильича Трухина на работу в Геологический институт АН СССР, где создавалась палеомагнитная лаборатория. Он участвовал в оборудовании этой лаборатории, проводил палеомагнитные измерения, а летом ездил в экспедиции, где Владимир Васильевич Меннер как геолог определял места для отбора палеомагнитных образцов.

В 1967 году Владимир Ильич защитил кандидатскую диссертацию на физическом факультете по результатам исследования свойств вязкой намагниченности осадочных горных пород. Это дало начало новому научному направлению в геомагнетизме — палеомагнетизму плейстоцена.





Владимир Александрович Магницкий — выдающийся учёный, академик, заведовавший в то время кафедрой физики Земли на физфаке, пригласил В.И. Трухина на работу на кафедре. Владимир Ильич, не задумываясь, принял приглашение Владимира Александровича Магницкого и, успешно пройдя конкурс на должность ассистента кафедры физики Земли, был назначен с января 1968 года заведующим геомагнитной лабораторией.

Он начинает читать лекции, сначала по геомагнетизму и магнетизму горных пород для студентов кафедры, а чуть позже курс лекций «Внутреннее строение и физика Земли» для студентов астрономического отделения.

В этот период Владимир Ильич интенсивно продолжает свои научные изыскания в области палеомагнетизма, участвует в многочисленных экспедициях по отбору образцов, проводит эксперименты по изучению структуры и физических механизмов образования остаточной намагниченности. В 1974 году в Геофизике Владимир Ильич успешно защитил докторскую диссертацию так же, как и кандидатскую, с единогласным голосованием.

После защиты докторской диссертации он выполнил цикл работ по магнетизму кимберлитов и траппов. В образцах алмазоносных кимберлитов удалось обнаружить уникальное природное явление — намагничивание пород антипараллельно направлению намагничивающего поля. Это явление получило название самообращения намагниченности. Оказалось, что оно связано с продуктивностью алмазоносных пород. Владимиром Ильичём был написан большой цикл статей по этим проблемам и две монографии: «Магнетизм кимберлитов и траппов» и «Самообращение намагниченности природных пикроильменитов».

Основным направлением его научной деятельности с 1975 г. стало исследование магнетизма океанских горных пород, образцы которых либо драгировались со дна океана, либо добывались в результате подводного бурения. Он был непосредственным участником ряда океанских экспедиций, в том числе на знаменитом корабле науки — научно-исследовательском судне «Витязь». Были детально изучены механизмы намагничивания подводных базальтов, исследована кинетика их ферромагнитной фракции и происходящие при этом изменения магнитных свойств. По этим проблемам опубликованы две коллективные монографии «Геология и геофизика дна Индийского океана» (1981 г.) и «Магнитные аномалии океанов и новая глобальная тектоника» (1982 г.)

Параллельно в геомагнитной лаборатории проводились также исследования магнетизма современных почв, которые являются основой жизни для всего растительного и животного мира. Оказалось, что магнитные материалы и процессы их намагничивания в геомагнитном поле в значительной степени определяют свойства почв, в том числе и их плодородие. Было обнаружено, что предварительное намагничивание почв



приводит к ускорению в 1,5-2 раза темпов роста растений, высаженных на этих почвах (авторское свидетельство «Способ ускорения роста растений»). По результатам исследования почв позднее была опубликована коллективная монография «Магнетизм почв» (1995 г.)

На физическом факультете МГУ В.И. Трухин активно занимался общественной и научно-организационной работой. В течение ряда лет Владимир Ильич был секретарем партийной организации отделения геофизики, заместителем секретаря парткома физического факультета по учебной, научной и производственной работе. В мае 1981 г. он был назначен заместителем декана по научно-исследовательской части факультета, а в 1985 г. — заместителем декана по научной работе. В то время деканом факультета был выдающийся ученый и организатор науки профессор Василий Степанович Фурсов. Заместителем декана по научной работе Владимир Ильич был около 10 лет и по должности входил в состав университетского Совета по научно-исследовательской работе.



В июне 1992 г. Ученый совет физического факультета избрал Владимира Ильича Трухина деканом. Он победил в первом туре голосования, набрав голосов больше, чем в сумме два его соперника. Это было тяжелое время для России, для высшего образования и для Московского университета — время новой власти, рыночной экономики, времени разрушительных для страны либеральных реформ. Финансирование образования и науки в государственных университетах было сведено до минимума — выплачивалась очень низкая заработная плата. В обществе резко упал интерес к высшему образованию — конкурс при приеме студентов на физический факультет в 1992 г. составил 1,2 человека на место.

За 19 лет пребывания Владимира Ильича в должности декана физический факультет МГУ не только выстоял в трудное время, но и укрепил свои позиции по всем направлениям деятельности. В образовательной области факультет сохранил свою главную ценность — физическое образование, на базе которого в сочетании с привлечением студентов к акту-



альным исследованиям ведется подготовка высококвалифицированных физиков, что признано в России и за рубежом.

Им опубликовано более 300 научных статей, 8 монографий, 4 учебных пособия, в том числе монографии «Введение в магнетизм горных пород», «Геофизика дна Индийского океана», «Магнетизм кимберлитов и траппов», учебники «Ферримагнетизм минералов», «Общая физика твердой Земли», «Основы экологической геофизики» и др. В 2005 году в серии «Классический университетский учебник» издан учебник «Общая и экологическая геофизика».

Он подготовил 15 кандидатов и 7 докторов наук. Владимир Ильич Трухин — действительный член Международной Академии наук высшей школы и Общенациональной Академии знаний.

Владимир Ильич Трухин — Заслуженный профессор МГУ, «Почетный работник высшего профессионального образования России». Лауреат 2-х Ломоносовских премий за педагогическую и научную деятельность. Награжден орденами - «Орден Дружбы», «Орден Почета», «Знак Почета», «Академическая пальмовая ветвь» (Франция), медалями «Ветеран труда» и «В память 850-летия Москвы».

С 1996 г. по 2001 г. В.И.Трухин исполнял обязанности Проректора МГУ по академической политике и организации учебного процесса, являясь при этом с 1992 по 2011 г. одновременно деканом физического факультета. С 1992 г по 2013 г. он заведовал кафедрой физики Земли.

Владимир Ильич был разносторонней творческой личностью, писал стихи, коллекционировал картины русских художников, любил классическую музыку.



Друзья, коллеги



## О ЮБИЛЕЕ ССО

Центральный штаб Молодежной общероссийской общественной организации «Российские Студенческие Отряды» обратился на физический факультет с просьбой предоставить список бойцов (участников) первого студенческого строительного отряда, который был создан на физическом факультете.

Юбилей ССО планируется широко отметить во всероссийском масштабе!

Полного списка участников пока не существует. Инициативная группа уже работает над составлением такого списка, но требуется ваша помощь!

Обращаемся ко всем, кто имеет сведения об участниках первых стройотрядов, предоставить такую информацию в профком сотрудников физфака.

Сырьев Николай Егорович

Почта [niksyr@mail.ru](mailto:niksyr@mail.ru)

Телефон +7903-75041-69

*Сырьев Н.Е.*





## НА ВДНХ ОТКРЫЛСЯ ПАВИЛЬОН «АТОМ»

4 ноября 2023 г. на ВДНХ открылся павильон «Атом». Экспозиция павильона призвана разбудить интерес школьников к ядерной физике. Из 7 этажей павильона интерес для взрослых и историков физики представляют, вероятно, только первый и частично второй этажи, остальные заполнены развлечениями, вплоть до лежанок, огромных шахмат и теннисных столов. Но есть интересная интерактивная экскурсия на полигон №2 (Семипалатинск) в день взрыва первого советского заряда РДС-1, есть интерактивные модели реакторов, интерактивная ходовая рубка ледокола «Ленин» с лекцией капитана и много других фото и видео.

Первый этаж посвящен закрытым советским городам (сейчас их 30, с населением 2,1 млн. жителей, из которых 3900 чел. – с научными степенями). В постсоветское время эти номерные города получили названия Снежинск, Трёхгорный, Лесной, Заречный (Пензенской обл.), Заречный (Свердловской обл.), Озерск, Северск и др.

В экспозиции не только фотографии городов и их описания, но и макеты-диорамы с фигурами реальных персон в 1/8 натуральной величины.



Например, фигурки И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона и К.И. Щелкина с женами, выполненные по фотографии, сделанной в Арзамасе-16 женой Харитона в 1959 г. Далее – 1955 г., оз. Синара на Урале, будущий директор НИИ-1011 Д.Е. Васильев(1902–1961) показывает своему водителю, где будет заложен город Снежинск, рядом строительство котлована под реактор А-1 на Базе-10 (будущий комбинат «Маяк»).



Здесь же – макет электрички из города Железногорск, которая с 1958 г. развозит рабочих по подземным ядерным реакторам (на глубине 200–230м). Если нажать кнопку рядом с диорамой, электричка отходит от пассажирской платформы и скрывается в тоннеле Атаманского хребта (объем горных пород, вынутых при прокладке тоннелей к 1958 г. был равен объему тоннелей Московского метро, достигнутого в Москве, лишь в 1964 г.).

В соседнем зале – четыре «междугородние» телефонные будки, из которых можно, набрав год основания одного из 10 секретных городов, прослушать постановочный телефонный разговор с жителями этого города и также видеть обсуждаемое на экране монитора, вделанного в стену.

Далее на этом же этаже показаны этапы Советского ядерного проекта – имитация сталинского кинозала, на столе его трубка, пара томов Ленина, работающий небольшой кинопроектор (на самом деле изображение на экране проецируется из-под потолка). На экране – хроника разрушенных городов – Хиросимы и Нагасаки.

Далее – зал разведки, подсвеченный красным, как фотолаборатория шпиона. Между прочим, на стене – упоминание имени профессора кафедры теоретической физики физического факультета МГУ Я.П. Терлецкого (1912–1993), см журнал ВИЕТ 1992 № 3 с.97–134. В «проявочных» ванночках не фотопленка, а мониторы, на которых отображаются «секретные материалы».

Далее – землянка геолога-рудоискателя, большие химические реакторы, в которых в кислоте растворяли руду, затем макеты в натуральную величину РДС-1 и её корпуса-бомбы (изделие 501).

Целый зал занимает макет «Царь-бомбы» АН602 и ее парашют в натуральную величину. Почему-то отсутствуют макеты сахаровской «слойки» и макеты импульсных реакторов (это была бы эффектная картина, со вспышками фейерверка). Ничего нет о современном ядерном оружии, хотя в музеях Сарова и Снежинска его предостаточно. Ничего не сказано и о таком понятии, как «ядерная зима» и о последствиях ядерной войны, хотя они были подробно изучены еще 40 лет назад. Впрочем, в павильоне «Атом» еще много свободного места.



Слева – кинозал на 16 мест, демонстрирующий 6,5-минутные видеоролики о холодной войне, справа – зал бомбы АН602

Впечатляет анфилада из 6 комнат рядом с маленьким кинозалом, каждая из которых поделена в дверном проеме на две части – слева типичное советское жильё соответствующего года, справа – американское.

В первой комнате обстановка 1949 года. На черной стене диаграмма состояния ядерных сил в этом году. У СССР две бомбы по 20 кт, у США – 170 (общей мощностью 4,2 Мт).

Следующая комната – 1951 г.: у СССР 25 бомб (1,2 Мт), США имеют 438 шт. (35,3 Мт). У обеих стран пока ещё нет термоядерного оружия. Далее – 1955 год: СССР – 200 бомб (суммарно 2,3 Мт), США – 2422 заряда (2880 Мт).

Появляется термоядерное оружие, а в комнатах появляются первые телевизоры, в которых демонстрируются ядерные взрывы на испытаниях, появляются и другие предметы улучшения быта.

И далее – 1957, 1960, 1961 гг. Накануне Карибского кризиса СССР имел 2492 бомбы (392 Мт), США – 22229 бомб (10950 Мт). Мало кто из посетителей обращает внимание, что за год мегатонаж США снизился вдвое (в 1960 г. в Америке 18638 бомб (20491 Мт), и это не опечатка, а результат списания многотонных монстров – бомб свободного падения с заменой их на компактные ракетные боеголовки).

Второй этаж посвящен гражданскому применению энергии атома (этаж называется «Время первых»). В 1950–1960-е годы это направление было очень популярным. Об этом свидетельствуют сотни книг и журналов той эпохи, выставленные на полках в залах второго этажа. Лишь аварии на АЭС Тримайл Айленд (1979), в Чернобыле (1986) и крупнейшей в мире АЭС Фукусима (2011) положили предел этим проектам. До статочно сказать, что американская компания Lewyt Corp в 50-х годах занималась разработкой... ядерного пылесоса (проект не был осуществлен). На выставке, в метровом стеклянном шаре, присутствуют и ядерный пылесос-макет и даже фен для сушки волос.



Всем хорошо известно про атомные подлодки и ледоколы (их макеты в 1/25 величины стоят на выставке). Менее известно, что еще 17 сентября 1955 года состоялся первый полёт американского бомбардировщика NB-36 с работающим ядерным реактором на борту. Правда, в полетах его сопровождал другой транспортный самолет с батальоном морских пехотинцев, призванных оцепить зону обломков в случае падения атомолета. За месяц до этого, 12 августа 1955 г., вышло Постановление Совета Министров СССР № 1561868 о создании самолетов с ядерным двигателем – ОКБ-156 (Туполева), ОКБ-23 (Мясищева), ОКБ-276 (Кузнецова) и ОКБ-165 (Люльки). И уже в декабре 1955 г. был создан наземный стенд-реактор в Томилино, а в 1958 г. – в Семипалатинске. Позже в Семипалатинск прилетел Ту-95ЛАЛ с атомным реактором ВВР-2 весом 39 т на борту. Несмотря на 5-сантиметровый слой свинца весом 9 т и борированный полиэтилен, экипаж получал годовую норму облучения. Более поздняя разработка Ту-119 с 4 двигателями НК-14А так и не вышла за рамки чертежей, как и проекты самолетов Мясищева М-60 и М-30-1. Макеты Ту-95ЛАЛ и Ту-144 представлены на выставке, как и макет советского атомного дирижабля и английского космического зонда «Дедал», который за 5 лет полета должен был набрать скорость 36000 км/с. Тут же макеты американских атомного локомотива и атомного вертолета, их чертежи на кульманах. Это были неосуществленные проекты, как и автомобиль Ford Nucleon, который был разработан компанией Ford (конструктор Джим Пауэрс) в 1957 году. В СССР ответили проектом автомобиля «Волга-Атом». Такой автомобиль никогда не существовал, остался лишь макет в 1/2 натуральной величины.

Рядом стенд об экзотической атомной подземной лодке. Эта титановая «Субтерина» длиной 35 м и диаметром 3,8 м могла передвигаться под землей со скоростью до 15 км/ч и несла тонну взрывчатки для уничтожения подземных КП и шахт МБР. Она испытывалась в Крыму (Громовка), а потом на Урале (гора Благодать). 15 августа 1964 при взрыве «лодки» погиб весь экипаж во главе с полковником С. Будниковым и проект был закрыт.

Широко применялись ядерные реакторы и в космосе. СССР – единственная страна, разработавшая ядерный ракетный двигатель РД-0410 (тягой 35,28 кН в вакууме). Реакторы Топаз-2, дающие энергию спутникам, даже поставлялись на экспорт. 4-тонный ИСЗ УС-А (4Я11) представлен на выставке в чертежах и в макете. Он был частью системы наблюдения и наведения ракет для ВМФ «Легенда», принятой на вооружение в 1975 г. К 1988 г. СССР запустил 39 ИСЗ УС-А. После выгорания реактора спутник уводился на орбиту захоронения высотой 900 км, где должен существовать сотни лет, до распада радиоактивной начинки. В 2006 г. система «Легенда» была снята с вооружения.



Есть на выставке макет одного из блоков ТЭС-3 (в масштабе 1/3), созданный в Обнинске (лаборатория В). Передвижная АЭС ТЭС-3 (объект 27) состоящий из 4 контейнеров на шасси танков Т-10 (общий вес 312 т, тепловая мощность 11 МВт) работала на Камчатке с 13 октября 1961 г. по 1965 г.

Конечно, атом не только вредит здоровью, но и лечит. Всем известно о лечении онкологии кобальтовыми пушками. В США с 1965 г. разрабатывали кардиостимулятор на изотопах плутония-238 (0,5 г которого вырабатывали 162 мкВт). Построенный в 1967 г., в мае 1968 г. он был вживлен в тело собаки, а в мае 1970 г. – в тело 58-летней женщины. В 2007 году в мире оставалось девять пациентов, которые пользовались плутониевыми кардиостимуляторами. Срок службы такого устройства внутри человека достигал 35 лет.

В целом выставка производит сильнейшее впечатление – дает представление о многолетнем научном и трудовом подвиге работников отрасли, рассказывает о фантастической увлеченности ученых и конструкторов, указывает на новые горизонты развития важнейшей отрасли науки и промышленности.

**Остается добавить, что до 12 апреля следующего года выставка «Атом» работает бесплатно. Не откладывайте посещение!**

*В. Лукашик*

*Примечание Главного редактора*

Компьютер подчеркивает «К.И. Щелкин»! Как-то горько и стыдно это отмечать...



*И.В. Курчатов,  
Б.Л. Ванников,  
К.И. Щелкин*



Кирилл Иванович Щелкин – Трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и трех Сталинских премий, первый руководитель ядерного центра Челябинск-70 (на котором было создано две трети атомного оружия СССР), член Госкомиссии, принявший изделие РДС-1 и приведший его в действие. В 1941 г., имея бронь, с трудом добился отправки на фронт, защищал Москву.

## ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ ПЕТРОВИЧА КАНДИДОВА



18 марта 2023 года ушел из жизни Валерий Петрович Кандидов, ученый-физик, Заслуженный профессор МГУ. Валерий Петрович был яркой, социально значимой, широко мыслящей личностью, Гражданином с большой буквы. Его научная и преподавательская деятельность сочеталась с общественной, гражданской активностью. Всю жизнь он «сеял разумное, доброе, вечное», выполнял главнейший долг российской интеллигенции.

Став студентом МГУ в 1953 году, в год открытия Главного здания МГУ на Ленинских горах, Валерий Петрович в течение последующих 70 лет оставался надежной кадровой опорой физического факультета.



После окончания аспирантуры в 1963 году он начал свою деятельность с ассистента, защитив кандидатскую диссертацию (1966), получил звание доцента в 1973 году, защитив докторскую диссертацию (1987), получил звание профессора кафедры общей физики и волновых процессов в 1989 году. В 2015 году ему было присвоено звание «Заслуженный профессор МГУ».

В чем особенность личности Валерия Петровича? Он был не только ученым, но и гражданином, общественником. В студенческие годы он был комсомольским лидером, в годы, когда профессорско-преподавательский состав физфака нуждался в правовой и социальной защите, – профсоюзным активистом, а в последние годы – активистом по организации учебного и научного процесса на физическом факультете.

В аспирантуре Валерию Петровичу пришлось пробыть не три, а четыре года. Он согласился на предложение Ленинского РК ВЛКСМ поработать один учебный год (1959-1960) освобожденным секретарем бюро ВЛКСМ физического факультета, комсомольская организация которого насчитывала около 2500 членов и была сравнима с районной комсомольской организацией г. Москвы. Год жизни комсомольской организации физфака под руководством Кандидова имел ряд особенностей. Во-первых, надо было закрепить и развить успехи, связанные с реализацией в летние каникулы 1959 года задуманной еще год назад идеи использовать студентов не на уборке урожая, а на строительстве. Отряд из 339 студентов-физиков строил жилые дома и животноводческие помещения в Булаевском районе Северо-Казахстанской области. Организатором и командиром этого отряда был Сергей Филиппович Литвиненко – секретарь бюро ВЛКСМ факультета в 1958-1959 учебном году. Это была инициатива комсомольцев, ССО родился не по решению «сверху». Конечно, учебный год на физфаке в 1959 году начался не с первого сентября, а почти на месяц позже (последняя группа студентов прибыла из Казахстана 9 октября). Такая практика существенно осложнила реализации учебных программ, что вызвало недовольство ряда преподавателей. С другой стороны, результат от поездки 1-го строительного отряда оказался очень значимым как для студентов (они увидели свою полезность!), так и для совхозов Булаевского района, где на первом месте были сельскохозяйственные работы, а на какое-либо строительство не хватало как средств, так и людей. И эта инициатива была подвержена.

В 1960 году 7 мая на физическом факультете состоялся первый массовый праздник физиков «День рождения Архимеда». Решение о проведении праздника было принято в октябре 1959 года на X комсомольской конференции: «Учредить праздник День Физика. Считать Днем Физика день рождения Архимеда. Постановить, что Архимед родился 7 мая



287 г. до н.э.». Вершиной праздника являлась шуточная опера «Архимед», подготовленная Валерием Канером и Валерием Миляевым.

В 1965 году Валерий Петрович стал кандидатом физ.-мат. наук, защитив диссертацию на тему «Электронное моделирование флаттера крыла малого удлинения». На кафедре общей физики для мехмата, которую возглавлял профессор С.П. Стрелков, при активной роли Валерия Петровича был развит метод численного анализа, позволивший повысить точность расчета динамики распределенных упругих тел. Метод был применен для изучения флаттера, ставшего особо грозным явлением в пору преодоления самолетами сверхзвукового барьера.



1959 год. Президиум комсомольской конференции физического факультета. Слева направо: член комитета ВЛКСМ МГУ Д.Ф. Киселёв (аспирант), профессор В.И. Иверонова, секретарь бюро ВЛКСМ физфака В.П. Кандидов (аспирант), председатель конференции А.В. Баранов (член бюро ВЛКСМ, аспирант), секретарь партбюро профессор А.И. Кузовников, декан физфака профессор В.С. Фурсов и зам. декана И.И. Ольховский

В 1974 году после смерти С.П. Стрелкова кафедру общей физики для мехмата возглавил профессор С.А. Ахманов, которая в дальнейшем объединилась с частью кафедры волновых процессов и получила название общей физики и волновых процессов. С этого времени научные интересы В.П. Кандидова связаны с атмосферной и адаптивной оптикой и лазерной физикой.



Валерий Петрович предложил метод расчета динамики тонких упругих пластин и оболочек разбиением их на элементы, известный в настоящее время как метод конечных элементов. В работах, посвященных динамическому демпфированию колебаний, предложил оригинальный метод фильтрации упругих волн (1975). С 1978 г. вел исследования в области нелинейной волновой оптики, лазерной физики и нелинейной атмосферной оптики. Разработал и обосновал метод моделирования фазовых искажений светового поля при распространении в атмосфере в условиях турбулентности и рассеяния на частицах аэрозоля, изучил трансформацию статистических характеристик частично-когерентного светового поля при самовоздействии интенсивного лазерного излучения в турбулентной атмосфере. Предложил моментную модель полидисперсного аэрозоля, модальный принцип формирования фазы светового пучка в системах адаптивной оптики. В 1990-е годы исследовал фазовую синхронизацию генерации лазерных решеток на основе эффекта Тальбо, изучил явление филаментации мощного фемтосекундного лазерного импульса в прозрачных диэлектриках, развел модель движущихся фокусов для объяснения этого явления. В его работах раскрыта физическая природа формирования протяженных филаментов с высокой концентрацией энергии и каналов с лазерной плазмой, процесса генерации суперконтинуума и конической эмиссии в фемтосекундном лазерном импульсе, исследована множественная филаментация в импульсах высокой мощности. Имеет патент на изобретение и четыре авторских свидетельства.

Докторская диссертация Валерия Петровича «Самовоздействие лазерного излучения в регулярных и случайно-неоднородных средах» была посвящена исследованиям физических явлений, которые возникают при прохождении лазерного луча высокой мощности в атмосфере и приводят к дефокусировке луча, рассеянию энергии и, соответственно, снижению поражающих свойств лазерной пушки.

За создание специальной техники В.П. Кандидов в 1985 году был удостоен Государственной премии СССР в области науки и техники. В 1997 году за цикл работ «Статистика светового поля лазерного излучения и закономерности ее преобразования в нелинейно-оптических процессах» В.П. Кандидов стал лауреатом премии им. М.В. Ломоносова МГУ (в авторском коллективе с В.А. Алешкевичем и А.С. Чиркиным).

В.П. Кандидов является автором более 450 трудов, среди которых 6 книг. Под руководством В.П. Кандидова было подготовлено 22 кандидата и один доктор физико-математических наук.

Валерий Петрович создал и читал «Численные методы», «Оптика случайно-неоднородных сред», «Математическое моделирование» на фи-



зическом факультете МГУ, общий курс «Физика волновых процессов» на факультете ВМК. Совместно с коллективом преподавателей кафедры создал цикл компьютерных демонстраций «Физик-лектор».

В 1995 году на Валерия Петровича было возложено научное руководство молодежной группой научно-технического сотрудничества в ЦПНПК (Центр по подготовке научно-педагогических кадров МГУ).

В.П. Кандидов был одним из активных создателей организации Некоммерческое партнерство «Выпускники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова».

Он являлся одним из учредителей «Товарищества взаимной поддержки» (ТВП «Дружба»), созданного в 2002 году с целью оказания финансовой поддержки физиков МГУ выпусков 1959-1966 годов, оказавшихся в тяжелых жизненных условиях. В 2007–2015 годах Валерий Петрович активно вел общественную работу в профсоюзной организации физического факультета.

В.П. Кандидов относится к тем ученым, широта кругозора которых не замыкается только на науке, которая дает возможность видеть окружающий мир во всей его сложности, противоречивости и загадочности, но и наталкивает на осмысление общечеловеческих проблем, связанных с научно-техническим прогрессом.

Светлая память о Валерии Петровиче Кандидове сохранится в сердцах его коллег и товарищей.

*Коллеги, друзья.*



## СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА ПРОФЕССОРА В.В. БЕЛОКУРОВА С ЮБИЛЕЕМ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА	2
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА	3
ФЕСТИВАЛЬ НАУКА 0+ 2023 ГОДА НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ	36
А СЕГОДНЯ НА УЛИЦАХ ЯБЛОНИ РАСЦВЕЛИ	40
ПАРТИЙНЫЕ СТРАНИЦЫ ЖИЗНИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА	47
ЭЛЕКТРОННЫЕ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАССИВОВ НАНОТРУБОК ДИОКСИДА ТИТАНА	56
ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ ТРУХИН	62
О ЮБИЛЕЕ ССО	67
НА ВДНХ ОТКРЫЛСЯ ПАВИЛЬОН «АТОМ»	68
ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ ПЕТРОВИЧА КАНДИДОВА	73

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.

27.11.2023