

# СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

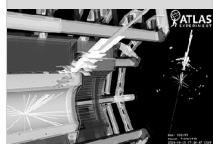
№2 (161) 2023

**В номере:**



**Поздравление декана физического факультета МГУ  
профессора В.В. Белокурова с Днём 8 Марта**

**Стр. 2**



**Большой адронный коллайдер в 2022 году**

**Стр. 3–7**



**Из истории лаборатории акустики и гидроакустики**

**Стр. 7–14**



**Сотрудницы кафедры общей физики –  
заслуженные работники Московского университета**

**Стр. 39–41**



**Поздравляем ведущего электроника кафедры  
физики твердого тела Наилю Хасьяновну Волкову  
с юбилеем и 8 Марта**

**Стр. 41**

# СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

2(161)/2023

(февраль-март)



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



**ДОРОГИЕ ЖЕНЩИНЫ ФИЗИЧЕСКОГО  
ФАКУЛЬТЕТА,**

**С 8 МАРТА!**

ОТ ВСЕЙ ДУШИ ПОЗДРАВЛЯЮ ВАС С МЕЖДУНАРОДНЫМ  
ЖЕНСКИМ ДНЕМ!

ЖЕЛАЮ ЗДОРОВЬЯ И СЧАСТЬЯ, ЛЮБВИ И БЛАГОПОЛУЧИЯ  
ВСЕМ ВАМ И ВАШИМ БЛИЗКИМ.

**С ПРАЗДНИКОМ!**

*Декан физического факультета МГУ  
профессор В.В. БЕЛОКУРОВ*

**ПРИКАЗ ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА**

О поощрении женщин физического факультета МГУ

**Дорогие женщины физического факультета,  
поздравляю вас с международным женским днем!**

**1. ОБЪЯВЛЯЮ**

Приказ ректора «О поощрении женщин МГУ имени М.В. Ломоносова №156 от 17.02. 2023:

«В преддверии Международного женского дня 8 Марта объявляю благодарность всем женщинам - труженицам Университета».

Выплатить надбавку всем работающим в МГУ женщинам в размере двух тысяч пятьсот рублей согласно приложению.

**2. ПРИКАЗЫВАЮ**

В дополнение к указанным в приказе ректора надбавкам, выплатить каждой работающей на физическом факультете женщине одну тысячу пятьсот рублей из средств физического факультета от приносящей доход деятельности.

## **НАГРАДЫ СОТРУДНИКОВ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**Шибает Андрей Владимирович —  
лауреат премии Правительства  
Москвы молодым ученым за  
2022 год**

Лауреатами премии Правительства Москвы молодым ученым за 2022 год стали 10 сотрудников Московского университета, включая сотрудника физического факультета, кандидата физико-математических наук, Шибаета Андрея Владимировича. Его работа «Гидрогели с адаптивными свойствами на основе полимеров и поверхностно-активных веществ» была высоко оценена экспертным жюри.

Премия Правительства Москвы вручается с 2013 года молодым ученым — гражданам России из столичных организаций: аспирантам, научным работникам, специалистам и кандидатам наук, не достигшим 36 лет, и докторам наук до 40 лет.

*Подробнее о лауреатах: [vk.cc/clh9zC](https://vk.cc/clh9zC)*

**Поздравляем Андрея Владимировича Шибаета с высокой  
наградой!**



## **БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР В 2022 ГОДУ**

Прошедший год был замечателен для Большого адронного коллайдера (БАК, LHC), расположенного в Европейской лаборатории частиц ЦЕРН (CERN) вблизи Женевы, по нескольким причинам. Прежде всего, в этом году отмечалось десятилетие открытия бозона Хиггса. Открытие состоялось на двух самых больших детекторах БАК - ATLAS и CMS. И ATLAS, и CMS опубликовали обзоры результатов своих исследований свойств открытой частицы в журнале Nature 4 июля, день объявления об открытии в 2012 г. (Nature 607, 52-59 и 60-68 (2022)). Основным итогом исследований явилась высокая степень соответствия измеренных свойств бозона Хиггса массе 125 ГэВ предсказаниям Стандартной мо-

дели (СМ) как общей квантовой теории электрослабых и сильных взаимодействий. Выделены все основные каналы рождения бозона Хиггса (до шести) и основные моды распада (до десяти). Измерены константы взаимодействия фундаментальных частиц СМ ( $t$  и  $b$  кварков,  $\mu$  и  $\tau$  лептонов,  $W$  и  $Z$  бозонов) с бозоном Хиггса, в результате которых они приобретают свои массы. Они также согласуются с предсказаниями СМ. В статье CMS приводятся оценки сечения рождения пары бозонов Хиггса, которые определяют важный параметр – силу взаимодействия этих бозонов между собой. Сечения рождения пар очень малы, сложность выделения таких реакций высока. Тем не менее, полученные оценки сечений достигли уровня предсказания СМ и показывают согласие с ожиданиями.

Важно продолжать исследования бозона Хиггса, например, для измерения редких распадов, прямого измерения константы взаимодействия между собой, повышения точности измерения параметров. Это диктуется известными проблемами СМ, например, существованием масс у нейтрино, темной материи во вселенной и другими, которые предполагают, что СМ является лишь низкоэнергетическим приближением более точной теории, которую предстоит установить. Вероятность распадов бозона Хиггса на новые частицы из существующих измерений могут достигать 30%. Это много! Для решения этих проблем пока планируется увеличить объем существующих данных в 20 раз в последующих этапах развития БАК путем увеличения светимости коллайдера и энергистолкновения протонов.

На этом пути отметим второе значимое событие прошедшего года на БАК — успешное начало третьего сеанса работы в июле 2022 г. Показанные выше результаты получены на данных второго сеанса (Run 2), собранных в 2015-2018 гг. при энергии столкновения протонов 13 ТэВ (тераэлектронвольт, 1 ТэВ соответствует около тысячи масс протона). В период между сеансами проводится обновление детекторов, совершенствование программных инструментов и анализ полного набора данных. Ограничения, обусловленные ковидом, осложнили проведение работ и начало нового сеанса задержалось минимум на год. Успехом нового запуска явились стабильная работа коллайдера и детекторов и увеличение энергии столкновения протонов с 13 до 13,6 ТэВ. Энергия каждого пучка протонов при этом возросла с 6,5 до 6,8 ТэВ. Плановая энергия пучка в 7 ТэВ оказалась не достигнутой, но светимость коллайдера, т.е. скорость сбора данных, вдвое превысила проектную и составила около  $2,5 \cdot 10^{34}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. При этом количество взаимодействующих пар протонов в детекторе ATLAS на отрезке около 5 см в 2022 г. в среднем составило более 40, что показывает сложность измерения рожденных во взаимодействиях частиц. Стоит напомнить, что первый запуск БАК в 2008 г. начался с аварии и первые физические результаты были получены на данных 2010-2011 гг. при энергии

соударений протонов 7 ТэВ. Стабильная работа БАК проходила в 2012 г. при энергии соударений 8 ТэВ, когда был обнаружен сигнал новой частицы массой 125 ГэВ, что увенчало первый сеанс Run-1. Работу детекторов в этом сеансе сопровождала команда в комнате управления в количестве до 25 человек в круглосуточном режиме 24/7. Сейчас эти функции осуществляются в основном удаленно. Но период запуска детектора всегда проходит напряженно и торжественно, в присутствии большой команды. На рисунке 1 приведена фотография ЦЕРН момента ожидания старта сеанса Run-3 БАК в пункте управления детектора ATLAS.



*Рис. 1 Комната управления ATLAS в ожидании старта Run-3 5 июля 2022 г.  
Фото ATLAS\_16.50.063ЦЕРН*

Третьим значимым событием этого года является 30-летие эксперимента ATLAS. Состав участников эксперимента ATLASот МГУ менялся со временем, как и текущие задачи эксперимента. Период проектирования и создания детектора ATLASсоставил 17 лет, до 2008 г., только с рабочими отчетами, практически без публикаций. Это были многократные тесты материалов и модулей детекторов, контрольные процедуры производства элементов конструкции, моделирование физических процессов. Много внимания уделялось исследованиям радиационной стойкости материалов детекторов. На счет нашей группы в создании детектора TRT можно отнести замену состава активной газовой смеси на завершающем

этапе строительства с целью повышения времени его устойчивой работы. Разрабатывалась и программа исследований В-мезонов, проводилось моделирование условий регистрации их распадов в детекторе.

В настоящее время множество новых результатов, помимо исследований бозона Хиггса, получено на данных второго сеанса Run-2, также согласующихся с СМ. Интереснейшие наблюдения выполнены в экспериментах LHCb и ALICE. В эксперименте LHCb исследовано более 60 новых адронов, мезонов и барионов, в состав которых входят тяжелые и с кварки. Открыты новые адроны необычной структуры, состоящие из четырех или пяти кварков. Детально измерены свойства кварк-глюонной плазмы в ALICE, состояния вселенной на одном из ранних этапов развития.

В экспериментах ATLAS и CMS поиск новой физики концентрируется на наблюдении новых резонансов большой массы, которые могут служить переносчиками взаимодействия нового типа. Большое внимание уделяется анализу событий с аномальными свойствами, например, таких, где образуются частицы, не регистрируемые в детекторах. Примером такого события является изображение, приведенное на рис. 2.

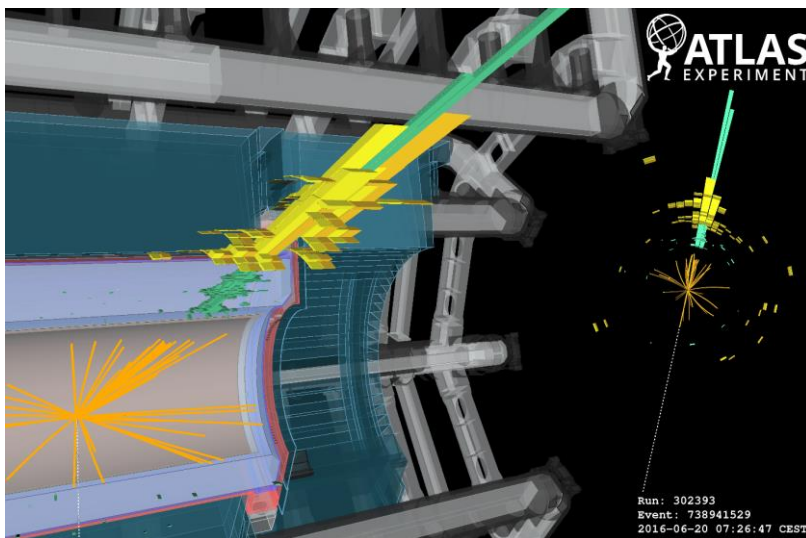


Рис. 2. Картина столкновения протонов в детекторе ATLAS при энергии 13 ТэВ с образованием адронной струи с энергией 1,9 ТэВ (энерговыведение струи в калориметрах показано желтым и зеленым цветом). Компенсирующий импульс нейтральных незарегистрированных частиц составляет тоже 1,9 ТэВ, он показан пунктиром.

Особенностью события является большой дисбаланс измеряемых импульсов частиц в поперечной пучку плоскости. Возникла струя адронов большой энергии 1,9 ТэВ, поперечный импульс которой не скомпенсирован частицами в детекторе. Такие нерегистрируемые частицы предсказываются моделью суперсимметрии и могут отвечать за темную материю во вселенной. Для таких событий определяются граничные оценки сечений для конкретных теоретических моделей. Они малы и находятся в диапазоне от сотни до долей фемтобарн (см., например, arXiv:2102.10874), что переносит возможность их регистрации на будущее.

Другим примером необычного поиска новых частиц является анализ пар струй, точка образования которых находится вне области пересечения пучков. Такому поиску способствуют большие размеры детектора ATLAS, диаметр которого достигает 25 м. Для разных предположений о массах частиц и процессах распадов получены ограничения для сечений их образования в зависимости от их времен жизни ст в диапазоне от 0,1 до 100 м (см., например, arXiv:2203.00587).



*Автор заметки, ЦЕРН,  
период Run-2, февраль 2016 г.  
Профессор Л.Н. Смирнова*

## **ИЗ ИСТОРИИ ЛАБОРАТОРИИ АКУСТИКИ И ГИДРОАКУСТИКИ**

*К 90-летию физического факультета МГУ*

Вихрь событий первой трети XX века отразился как на истории России, так и на истории Московского университета. Весной 1933 г. в МГУ была восстановлена факультетская система: в задачи созданных факультетов – механико-математического, физического, химического, биологического, почвенно-географического – входила подготовка уже не инженеров-производственников, а научных исследователей, участвующих в работе лабораторий, предприятий и институтов, а также преподавателей вузов по различным специальностям. Был установлен срок отработки



выпускников по нарядам наркоматов – 5 лет, объявлен контингент приёма в МГУ – 60% членов ВКП(б), 75% рабочих, однако с 1936 г. ограничения, связанные с социальным происхождением, были отменены. В Московском университете начали формироваться и развиваться новые научные школы, производственную практику студенты проходили в ведущих научных институтах. В предвоенные годы план приёма составлял: на физфак – 150, на мехмат, включая астрономию, – 240 студентов.

Великая Отечественная Война изменила все планы. На войне сражались более пяти тысяч студентов, аспирантов, профессоров, преподавателей и сотрудников. Вся научно-исследовательская работа МГУ имела оборонную направленность. В период с октября 1941 г. по июнь 1943 г. университет находился в эвакуации. По возвращению в Москву к работе приступили уже 12 факультетов, был утверждён список кафедр МГУ общим числом 131, из них 18 на физфаке. Вновь созданную кафедру акустики возглавил патриарх советской акустики профессор С.Н. Ржевкин (1891–1981), чья научная и педагогическая деятельность с 1924 г. была неразрывно связана с Московским университетом. В 1946 г. в соответствии с требованием времени в МГУ были созданы НИИ ядерной физики и физико-технический факультет, на все шесть курсов которого был объявлен набор лучших студентов технических вузов и университетов страны, включая физфак. В 1947 г. на мехмат было принято 125, физтех – 150, физфак – 225 студентов при общем плане приёма в МГУ 1500 человек ([letopis.msu.ru/](http://letopis.msu.ru/)). В уникальной книге под редакцией профессора Ю.М. Романовского представлен анализ научных и жизненных путей большинства выпускников-физиков 1952 г., где авторами неформальных статей были однокурсники, их родные и близкие, друзья и сослуживцы по работе. Все выпускники, треть из которых были девушки, остались верны физике до конца своих дней. Десятеро стали академиками и членами-корреспондентами АН ([urmsu.phys.msu.ru/1952/1952book.pdf](http://urmsu.phys.msu.ru/1952/1952book.pdf)).

Новый этап развития МГУ связан с открытием в 1953 г. университетского комплекса на Ленинских горах. С.Н. Ржевкин был председателем Комиссии по строительству здания физического факультета, где были созданы специальные помещения: первая в СССР большая заглушённая камера (размерами  $11 \times 9 \times 7,5$  м<sup>3</sup>), реверберационная камера (объемом 217 м<sup>3</sup>), лаборатория на плоской крыше для измерения на открытом воздухе и гидроакустический бассейн (площадью водного зеркала 40 м<sup>2</sup> и глубиной 4 м), оборудован гидроакустический полигон на водохранилище в Подмосковье. Проведенный в оборонных целях сотрудниками кафедры цикл работ по аэро- и гидроакустике положил начало развертыванию в дальнейшем широких исследований в этой области. В начале 50-х на кафедре был разработан и создан приемник для измерения векторных

характеристик акустического поля, с помощью которого были проведены первые эксперименты по регистрации в море инфразвуковых волн от удаленного на сотни километров шторма. Важнейшим усовершенствованием стало совмещение в комбинированном приемном модуле (КПМ) трех датчиков с взаимно перпендикулярными осями и гидрофона, а также измерение разности фаз между компонентами колебательной скорости и звуковым давлением. Под руководством Ржевкина на кафедре акустики начались планомерные работы по созданию приемников градиента давления различных типов, формировалось и получило развитие направление векторно-фазовых методов (ВФМ) исследования сложных акустических полей и обнаружения сигналов. В 60-е годы кафедра представляла собой крупный (до 75 сотрудников) научный коллектив, выполняющий, в том числе, большой объем натурных исследований (фото 1).



*Фото 1. Группа гидроакустиков на полигоне МГУ в Подмосковье, начало 60-х годов*

Основными развиваемыми на кафедре направлениями были: гидроакустика, архитектурная акустика и борьба с шумом, ультразвук и нелинейная акустика, биологическая акустика. Ежегодный прием составлял в среднем 20 студентов. Созданная собственная экспериментальная база позволяла привлекать аспирантов и дипломников акустиков к участию в сложных экспериментах. На физическом факультете МГУ были организованы и проведены три Всесоюзные акустические конференции (1957, 1958, 1968). Проводились важные исследования по хоздоговорам, имею-

щим большое научно-техническое и прикладное значение; на рубеже 70-х годов  $\frac{3}{4}$  сотрудников кафедры составлял высококвалифицированный инженерно-технический состав.

В 1975 г. заведующим кафедрой акустики физфака стал основатель научной школы по нелинейной и физической акустике и волнам в турбулентных средах, заслуженный профессор МГУ В.А. Красильников (1912–2000). Начатые им и его учениками исследования по нелинейной акустике оформились к этому времени в научное направление, ставшее одним из ведущих на кафедре (фото 2).



*Фото 2. 1979 год на семинаре кафедры акустики. Слева направо Буров В.А., Чернышов К.В., Карпачев С.Н., Нефедов Н.Н., Тонаканов О.С., Ржевкин С.Н., Виноградов Н.С., Иванов-Шиц К.С., Рожин Ф.В., Лебедева И.В., Велижанина К.А., Красильников В.А.*

С.Н. Ржевкин, в связи с преклонным возрастом, занял должность заведующего Лабораторией акустики и гидроакустики, организованной при кафедре. Именно он при поддержке ректора МГУ Р.В. Хохлова принял в лабораторию на должность старшего инженера, изобретателя первого бесконтактного электромузыкального инструмента, отца электронной музыки Л.С. Термена (1896–1993). Они познакомились еще в 1919 г., когда оба были мобилизованы после революции в Красную Армию и направлены в Военную радиотехническую лабораторию Главного военно-инженерного управления, а с 1923 г. работали в специальных комиссиях Государственного института музыкальной науки. Впервые в МГУ Термен организовал факультатив для всех интересующихся задачами му-

зыкальной акустики, вел дипломников, успешно концертировал. В конце 70-х на кафедре по научно-техническому договору МГУ – ЗИЛ проводились важные для практики работы по исследованию и снижению низкочастотных шумов автомобилей. Была разработана научная программа изучения «речи» дельфинов, совместно с биолого-почвенным факультетом проводились исследований бинаурального эффекта человека и животных. После кончины Ржевкина в январе 1981 г. руководство лабораторией уже в составе кафедры физики моря и вод суши осуществлял один из его учеников и ближайших помощников д.ф.-м.н. Л.Н. Захаров (1929–1986), с 1984 г. ставший начальником организованного в Акустическом институте АН СССР отдела по развитию ВФМ применительно к актуальным задачам гидроакустики. Сотрудники МГУ получили возможность активно включиться в практические работы по исследованию векторно-фазовой структуры звукового поля в условиях реального глубоководного океана на базе Тихоокеанского океанологического института АН СССР; в 1983, 1985 и 1987 гг. они участвовали в совместных морских экспедициях в районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов. В сентябре 1987 г. заведующим кафедрой акустики был назначен профессор О.В. Руденко. Лаборатория в полном составе вернулась на кафедру, руководителем работ по данной тематике стал д.ф.-м.н. В.А. Гордиенко (1946–2013), автор единственной монографии по векторно-фазовым методам в акустике (Наука, 1989 г.; Физматлит, 2007 г.). В 1989 г. в группе начались работы с многокомпонентным КПМ в звукозаглушённой камере в Москве, состоялась экспедиция на Чёрное и Средиземное моря для исследований возможности локализации источников на низких звуковых частотах. В 90-е годы на факультете были созданы и метрологически аттестованы две уникальные установки для калибровки векторных приёмников, при кафедре акустики совместно с ФГУП ВНИИФТРИ был образован Учебно-научный центр метрологического обеспечения гидроакустических измерений. Изменилась география натуральных работ — это стали Балтийское и Белое моря. Подробно об истории становления векторно-фазовых методов можно узнать из книг, посвященных юбилеям кафедры, на нашем сайте ([acoustics.phys.msu.ru](http://acoustics.phys.msu.ru)).

Принципы векторно-фазового приёма применимы не только в гидроакустике. Сотрудники группы принимали участие в натуральных экспериментах по выяснению особенностей распространения и регистрации в воздухе сигналов от импульсных источников взрывного типа, исследовалась возможность использования векторных приёмников в современных акустических низкочастотных пеленгаторах, локализации слабых акустических и сейсмоакустических сигналов на основании векторно-фазовых измерений. Проводилось изучение шумов и вибраций, вызванных движе-

нием городского железнодорожного транспорта и внутри зданий, расположенных около трамвайных путей, воздействия поля шумов гоночной трассы на акустическое загрязнение территории жилой застройки. Мобильная группа акустического контроля шума в период чемпионата мира по футболу FIFA 2018 проводила измерение уровня шума фестиваля футбольных болельщиков в помещениях Главного здания и на территории, прилегающей к МГУ. Руководителем многих научных проектов, неоднократно принимавший участие в различных экспедициях, был ученый, высококвалифицированный экспериментатор Б.И. Гончаренко (1941–2022), который в последние годы успешно передавал свой опыт молодёжи.



*Фото 3. Слева направо: В.А. Рожков, Е.О. Ермолаева, А.В. Григорьев, Б.И. Гончаренко, В.А. Гордиенко, 2013 г.*

В настоящее время развиваемые научные направления на кафедре акустики можно разделить на четыре группы: физика нелинейных колебаний и волн, физическая акустика твердого тела, гидроакустика, аэро-акустика. Большое внимание уделяется прикладным задачам гидроакустики (развитие подводной связи, освоение шельфа северных морей, акустическая томография океана). Руководителями научных исследований и выпускных работ студентов и аспирантов в этой области являются талантливые ученики заслуженного профессора МГУ В.А. Бурова (1934–2014). Они стали лауреатами российских (К.В. Дмитриев, медаль РАН, 2015) и международных наград (А.С. Шуруп, Евразийская ассоциация обратных задач, 2018), защищают диссертации (Румянцева О.Д., доктор-

ская, 2022), работают по грантам РФФИ и РНФ, участвуют совместно со студентами в экспедициях по морям и во внутренних водах РФ.

***Приходите учиться к нам на кафедру!***

*Ведущий инженер Ермолаева Е.О,  
кафедра Акустики*

### **Главный редактор:**

Дорогие читатели, позвольте представить постоянного автора нашей газеты Елену Олеговну Ермолаеву.

Елена Олеговна — выпускница кафедры акустики. Научным руководителем ее дипломной работы был д.ф.-м.н. Л.Н. Захаров. По распределению работала в Акустическом институте им. Н.Н. Андреева в отделе д.ф.-м.н. Н.А. Роя. С 1982 г. Елена Олеговна — сотрудник физического факультета МГУ, с 1987 г. работает на кафедре акустики, в настоящее время — в должности ведущего инженера.

Елена Олеговна — ведущий специалист в области метрологического обеспечения векторно-фазовых измерений в акустике, математического моделирования полей сигналов и шумов в водной и воздушной среде, компьютерной обработке экспедиционных экспериментальных данных. Участвует в исследовательских работах в звукозаглушенной камере, гидробассейне, на кафедральном полигоне в Подмоскowie. По акустической тематике имеет около 30 публикаций, в том числе 4 авторских свидетельства на изобретения. В течение многих лет вела занятия для сотрудниц различных факультетов и служб Московского университета по обучению программам MS Office, адаптированным в соответствии со специальностью и возрастом слушателей.

Ермолаева — член президиума Совета женщин МГУ. В составе аналитической группы Совета женщин МГУ занимается исследованием положения женщин в науке и высшей школе, особое внимание уделяя гендерным проблемам научно-педагогических кадров Московского университета. По данной тематике опубликовала более 30 работ, в том числе



2 книги; неоднократно принимала участие в работе международных форумов (IUPAP, ICWES, NorWiP).

Награждена Почётной грамотой Министерства образования и науки РФ и медалью «100 лет профсоюзам России».

Редколлегия газеты «Советский физик» от всей души поздравляет Елену Олеговну с замечательным праздником, желает дальнейших успехов в работе, счастья и благополучия в семье.

## **КАФЕДРА МАГНЕТИЗМА ПРИНИМАЕТ ШКОЛЬНИКОВ**

В последние годы актуальность физического образования значительно возросла. Ведущие российские вузы активно работают со школьниками, стараясь привлечь самых талантливых учеников. Физический факультет МГУ реализует различные формы работы со школьниками – нашими потенциальными абитуриентами. Среди таких программ: подготовительные курсы, вечерняя физико-математическая школа, физический практикум для старшеклассников, программа «Физический десант» и научно-популярные экскурсии, а также проектная деятельность школьников под руководством преподавателей физического факультета.

Программа «Физический десант» позволяет ребятам из отдаленных районов Москвы и Московской области познакомиться условиями поступления и обучения на физическом факультете, а также узнать об актуальных проблемах современной физики от студентов и преподавателей факультета непосредственно в своей школе. В рамках физического практикума ученики 9–11 классов могут почувствовать себя настоящими экспериментаторами и под руководством студентов выполнить одну из задач практикума.

Кафедра магнетизма активно участвует в различных программах, в том числе и в проведении научно-популярных экскурсий для школьников, в рамках которых ребята не только могут познакомиться с законами физики магнитных явлений, увидеть и поучаствовать в демонстрациях, но и убедиться на личном опыте, что законы магнетизма можно обнаружить в нашей повседневной жизни буквально на каждом шагу. Для старшеклассников, помимо научно-популярной части, предусмотрено посещение лабораторий и знакомство с исследованиями, которые проводят студенты и сотрудники кафедры.



*Аспирант Макарын Р.А. рассказывает школьникам о магнитных явлениях в повседневной жизни*



*Инженер кафедры магнетизма Перова Н.Н. знакомит школьников с работой магнитооптического магнетометра*

После окончания пандемии, наряду с указанными выше формами работы со школьниками, была возобновлена проектная деятельность старшеклассников под руководством преподавателей физического факультета. Не секрет, что во многих школах учителя физики целенаправленно отказываются от проведения лабораторных работ, освобождая дополнительное время для решения задач и подготовки к ЕГЭ. Очевидно, что именно высокие баллы ЕГЭ являются необходимым условием поступления абитуриентов на бюджетные места. С другой стороны, зачастую отсутствие специального оборудования и высокая нагрузка школь-

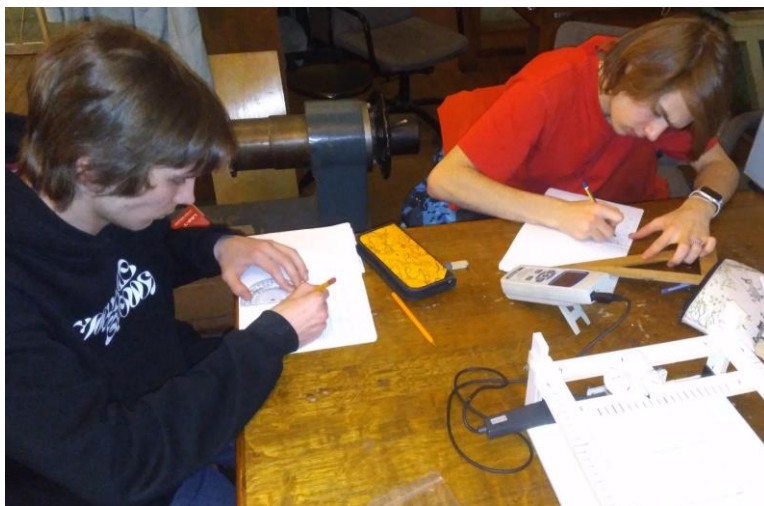


ного учителя не позволяют проводить на территории школы физические исследования, способные заинтересовать ребят. Еще одной немаловажной проблемой является стремление взрослых (в погоне за красивой строкой в очередном отчете) включить школьников в исследования, идея и проблематика которых непонятна ребятам. Как правило, непонимание цели своих действий приводит к отсутствию мотивации не только у школьников, но и у взрослых. Родители нередко, и совершенно обоснованно, возмущены тем, что и без того сильно загруженных старшеклассников школа пытается привлечь к внеурочной деятельности, польза от которой на первый взгляд неочевидна.

Указанные проблемы заставляют относиться к проектной деятельности школьников с особым вниманием. Во-первых, цель исследований должна быть не просто понятна ребятам, они должны уметь объяснить ее своим ровесникам. Во-вторых, работа должна быть, с одной стороны, законченным исследованием, а с другой стороны, она не должна отнимать слишком много времени. Опыт показывает, что оптимальной является работа в группе, состоящей из 2-3 человек, поскольку в этом случае можно распределять нагрузку в соответствии с возможностями каждого участника. Взрослым необходимо помнить, что проектная, как и любая другая, деятельность школьников не должна отвлекать их от основного занятия – учебы.

В 2020 г. с учениками 9-го физико-химического класса гимназии № 1543 Ворона Н. и Палкиной М. была начата работа по исследованию влияния различных предметов на магнитное поле Земли. Несмотря на ограничения, связанные с пандемией, удалось провести измерения и представить их результаты на школьной конференции. По словам девочек, им было интересно проводить измерения, обрабатывать результаты, готовить текст работы и выступление, которое потом очень долго «не отпускало». Приятно, что школьники, несмотря на все трудности, которые возникали при выполнении работы, отмечают, что приобрели полезный опыт и не считают время, потраченное на свой проект, проведенным впустую.

В настоящее время на кафедре магнетизма исследование влияния различных предметов на геомагнитное поле продолжают ученики 10 класса школы № 171. Примерно дважды в месяц, начиная с октября, ребята приезжают на физический факультет для проведения измерений, обработки результатов и их обсуждений. Хочется отметить, что, несмотря на большую нагрузку, ребятам удается совмещать учебу в школе и исследовательскую деятельность. Безусловно, этот результат не был бы достигнут, если бы не поддержка учителя физики школы № 171 Евстифеева Александра Владимировича, выпускника физического факультета 1993 г.



*Ученики 10 класса школы № 171 Артамонов Артем и Захаров Иван готовятся к измерениям на кафедре магнетизма*

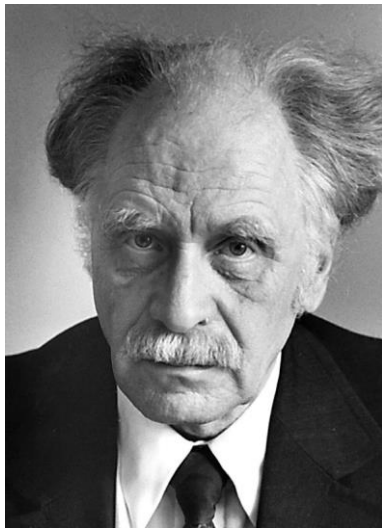
Рассматривая групповые и индивидуальные формы работы со школьниками, которые проводит физический факультет, следует отметить, что успех этой деятельности невозможен без поддержки активного участия школы. Вызывают восхищение учителя школ из разных регионов России, которые не только мотивируют своих учеников, но и организуют поездки в Москву и знакомство школьников с главным вузом России. В этой связи одна из важных задач, которые стоят перед организаторами мероприятий на физическом факультете, достойно встретить ребят и сопровождающих их взрослых и не ослабить тягу к знаниям у молодежи. Очевидно, что основа успешного решения этой задачи — это активное сотрудничество студентов, аспирантов и преподавателей факультета.



*к.ф.-м.н., доцент кафедры магнетизма Т.Б. Шапаева*

## КАФЕДРА ФИЗИКИ КОСМОСА

Кафедра физики космоса ведет начало от кафедры космических лучей. Приказом И.В.Сталина первого февраля 1946 года были основаны



Научно-исследовательский физический институт №2 (НИФИ-2) и Отделение строения вещества физического факультета МГУ. Директором Института был назначен академик Дмитрий Владимирович Скобельцын, заведующим Отделением - академик Сергей Николаевич Вернов. Вскоре после этого, в 1947 году, на отделении был образован ряд кафедр, среди которых и кафедра космических лучей. Заведующим кафедрой стал С.Н.Вернов.

*Академик С.Н.Вернов (1910 – 1982)*

Первый выпуск физиков, специализирующихся в области космических лучей, состоялся в 1949 г. С тех пор кафедрой подготовлено более 800 физиков - космиков, значительная часть которых успешно работала и работает в научных лабораториях НИИЯФ МГУ и институтах Академии наук, стали кандидатами, докторами наук, профессорами, руководителями научных направлений.

К подготовке студентов на кафедре были привлечены крупнейшие специалисты по экспериментальной и теоретической ядерной физике. Научной базой подготовки стал НИФИ-2 (в будущем НИИЯФ МГУ). Учебной работой на кафедре (лекции, руководство студентами и аспирантами) непосредственно занимались академики С.Н.Вернов, Г.Т.Зацепин, А.Е.Чудаков, Г.Б. Христиансен, чл.-корреспонденты Д.А.Киржниц, С.И.Никольский, профессора А.И.Лебединский, А.А.Санин, И.В.Ракобольская, Л.И.Сарычева, М.И. Панасюк.

Академик С.Н.Вернов возглавлял кафедру с 1947 г. до ухода из жизни в 1982 г., он автор ряда фундаментальных исследований по космическим лучами связанным с ними проблемам физики элементарных частиц, плазменных явлений, астрофизики и геофизики, один из основоположни-

ков изучения и освоения космического пространства с помощью искусственных спутников Земли. С помощью радиозондов С.Н.Вернов изучал состав космических лучей в стратосфере. Им было выяснено, что космическое излучение состоит в основном из протонов, а электронно-фотонная компонента имеет вторичное происхождение (Сталинская премия 1949г.) Академиками С.Н.Верновым и А.Е.Чудаковым было показано существование радиационных поясов Земли, исследованы их структуры и динамика, создана теория их происхождения (Ленинская премия 1960 г.). Дальнейшие исследования под руководством С.Н.Вернова позволили выяснить фундаментальные закономерности физики Солнца, межпланетной среды, магнитосферы и ионосферы Земли.

В 1982—2005 гг.кафедру космических лучей и физики космоса возглавлял академик Г.Т.Зацепин. Он был одним из ведущих мировых ученых в области физики космических лучей и нейтринной астрофизики, лауреат Государственной и Ленинской премий. Им были открыты электронно-ядерные ливни в космических лучах (1949 г.) и было показано, что частицами, генерирующими ливни, являются протоны и более тяжелые первичные ядра и основой развития атмосферного ливня является ядерно-каскадный процесс (1951 г.). Г.Т.Зацепин первым исследовал вопрос о происхождении ультрарелятивистских частиц через фотонный газ. Им разработаны новые методы регистрации нейтрино от Солнца и предложены эксперименты по детектированию нейтрино от коллапсирующих звезд. Г.Т. Зацепин также является основоположником гелиосейсмологии.



*Академик Г.Т. Зацепин (1917 – 2010)*

В 2005 г. кафедра получила свое нынешнее наименование – кафедра физики космоса, в 2005–2020 гг. ее заведующим был директор НИИЯФ МГУ профессор М.И.Панасюк. Под его руководством проводились исследования космической радиации, магнитосфер планет и космических лучей в ходе космических, аэростатных и наземных экспериментов. В результате были получены фундаментальные научные результаты: доказана возможность резонансного ускорения ионов в радиационных поясах Земли под действием квазипериодических флуктуаций магнитного поля, определена роль радиальной диффузии частиц радиационных поясов при воздействии флуктуаций электростатического и магнитных полей, была установлена роль ионосферного кислорода как основного компонента кольцевого тока, определяющего, наряду с протонами солнечной плазмы, энергетику геомагнитных бурь. Было открыто новое явление в околоземном пространстве – радиационный пояс, состоящий из частиц аномальных космических лучей, получены доказательства его связи с нейтральными частицами межзвездного газа. Под руководством М.И.Панасюка были начаты эксперименты на спутниках, которые легли в основу Программы космических исследований МГУ им. М.В.Ломоносова. К 250-летию Московского университета в январе 2005 г. был осуществлен запуск первого университетского спутника "Татьяна-Университетский", в экспериментах на котором было обнаружено новое явление – вспышки ультрафиолетового (УФ) излучения из атмосферы Земли. В дальнейшем такие вспышки исследовались в экспериментах на спутниках "Татьяна-2" (2009), «Вернов» (2014), «Ломоносов» (2016 – 2017), было показано, что УФ-вспышки в атмосфере в основном обусловлены высотными электромагнитными разрядами. Также в этих экспериментах были получены новые экспериментальные результаты по изучению экстремальных процессов во Вселенной:

Кафедра физики космоса является уникальным учебным подразделением физического факультета МГУ, осуществляющим подготовку специалистов – физиков широкого профиля в области современной астрофизики и космической физики по таким направлениям, как астрофизика космических лучей, рентгеновская и гамма-астрономия, физика околоземного и межпланетного пространства, физика Солнца и солнечно-земных связей, физика планетных магнитосфер, атмосферная физика высоких энергий, научное космическое приборостроение, а также в области ускорительной и неускорительной физики высоких энергий и космического материаловедения. Основной научной базой кафедры, в которой ведут научную работу ее преподаватели и сотрудники, студенты и аспиранты выполняют дипломные и диссертационные работы, является отдел космических наук НИИЯФ МГУ.



*Профессор М.И. Панасюк (1945 – 2020)*

На кафедре физики космоса сложился сплоченный коллектив преподавателей: заведующий кафедрой С.И. Свертилов, профессор В.И. Галкин, доценты А.М. Анохина, В.В. Богомолов, Д.А. Подгрудков, старший преподаватель С.А. Красоткин, ведущий электроник Т.П. Аминова. На кафедре также работают профессора – совместители, являющиеся авторитетными учеными в области физики космоса, астрофизики космических лучей и физики высоких энергий: В.В. Калегаев, заведующий ОКН НИИЯФ, Л.А. Кузьмичев, заведующий лабораторией наземной гамма-астрономии (ЛНГА) ОКН, Н.Н. Калмыков, ведущий научный сотрудник ЛНГА ОКН, Е.С. Беленькая, ведущий научный сотрудник лаборатории магнитосфер планет (ЛМП) ОКН И.П. Лохтин, ведущий научный сотрудник отдела экспериментальной физики высоких энергий (ОЭФВЭ) НИИЯФ.

С кафедрой тесно сотрудничают ведущие специалисты НИИЯФ МГУ, в том числе заведующий лабораторией радиационного мониторинга (ЛРМ) ОКН, заместитель директора НИИЯФ В.И. Оседло, заведующий лабораторией космических лучей предельно высоких энергий (ЛКЛПВЭ) П.А. Климов, заведующая лабораторией теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия и переноса излучений в различных средах (ЛТЭИВПИРС) Т.М. Роганова.

Кафедра физики космоса обеспечивает чтение общих курсов: «Численные методы», «Физика атомного ядра и частиц» для студентов астрономического отделения, «Физика атомного ядра и частиц» для студентов отделения геофизики геологического факультета. Также кафедра обеспечивает учебно-методическое руководство Специальным ядерным практикумом отделения ядерной физики (ОЯФ) по современным методам физических исследований и специальным практикумом ОЯФ по радиоэлектронике. Подготовка студентов на кафедре ведется в рамках программы подготовки специалистов «Физика космоса», а также по программе подготовки магистров «Космическая физика и астрофизика космических лучей» и по программе подготовки бакалавров «Физика космоса». В рамках указанных программ для студентов кафедры читаются 36 спецкурсов по основным разделам современной астрофизики, физики космоса, физики высоких энергий, экспериментальной ядерной физики. Кроме того, на кафедре читаются 10 спецкурсов для аспирантов.

В последнее время кафедра физики космоса активно включилась в работу междисциплинарной и межфакультетской школы «Фундаментальные и прикладные исследования космоса» (школа «Космос»). Кафедра является базовой для реализации межкафедральных магистерских программ «Физика атмосферы и ближнего космоса» (совместно с кафедрой физики атмосферы), «Научная аппаратура космического базирования» (совместно с кафедрой физической электроники). Также кафедра участвует в реализации межкафедральных магистерских программ «Физика астрочастиц и темная материя» и «Астробиология». В рамках межкафедральных программ подготовлено и читаются 12 новых лекционных курсов.

Научная работа ведется сотрудниками кафедры в рамках тем научно-исследовательских работ (НИР) ОКН НИИЯФ, по грантам РФФИ и государственным контрактам. Преподаватели кафедры также участвуют в работе различных научных коллабораций, в том числе международных. Научные направления, в которых участвуют сотрудники кафедры:

— разработка аппаратуры и постановка экспериментов на космических аппаратах по изучению магнитосферно – ионосферно – атмосферных связей, солнечной активности, космического и атмосферного рентгеновского и гамма-излучения (проект «Ионосфера» и др.) – зав. кафедрой С.И. Свертилов, доцент В.В. Богомолов;

— создание группировки наноспутников Московского университета «Созвездие-270» для мониторинга космической радиации и электромагнитных транзиентов - зав. кафедрой С.И. Свертилов, доцент В.В. Богомолов;

— разработка моделей распределений потоков космической радиации в околоземном пространстве и прогноз солнечной и геомагнитной

активности, исследование механизмов солнечно-земных связей - профессор В.В. Калегаяев, старший преподаватель С.А. Красоткин;

— создание гамма-обсерватории мирового уровня TAIGA в Тункинской долине (Бурятия) для наблюдений источников излучений высоких энергий – остатков сверхновых, пульсарных туманностей, активных ядер галактик и т.п. – профессор Л.А. Кузьмичев;

— исследование физических свойств магнитосфер планет Солнечной системы и экзопланет – профессор Е.С. Бельняк;

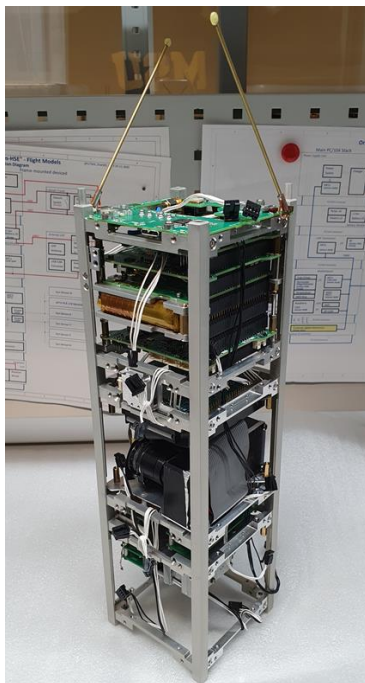
— анализ данных и моделирование экспериментов по поиску темной материи в рамках международных коллабораций, в том числе SHiP, NEWSdm1 др. – доцент А.М. Анохина, доцент Д.А. Подгрудков;

— моделирование взаимодействий космических лучей в атмосфере Земли и в Галактике, а также взаимодействий частиц высоких энергий в различных средах с целью изучения их радиационного воздействия на материалы – профессор В.И. Галкин, профессор Н.Н. Калмыков;

— анализ данных экспериментов на Большом адронном коллайдере по изучению кварк-глюонной плазмы и взаимодействиям при высоких энергиях, подготовка к экспериментам на коллайдере NICA — профессор И.П. Лохтин.

За последнее время сотрудниками кафедры совместно с учеными НИИЯФ МГУ было получено много важных научных результатов. В частности, осуществлен успешный запуск нескольких нано-спутников с аппаратурой, разработанной и изготовленной в НИИЯФ МГУ, для мониторинга космической радиации и наблюдений гамма-всплесков астрофизического и атмосферного происхождения. На основе анализа данных предыдущих экспериментов на спутниках формата кубсат, в частности на спутнике «СириусСат-1», впервые измерен высотный ход потоков электронов суб-релятивистских энергий в различных областях околоземного пространства.

*Спутник Московского университета «Монитор-1», запущенный 9 августа 2022 г.*





В Тункинской долине (в 50 км от озера Байкал) завершено развертывание первой очереди Астрофизического комплекса TAIGA. В состав комплекса входят три атмосферных Черенковских гамма-телескопа с восстановлением углового распределения (изображения) Черенковского света от широких атмосферных ливней.



*Атмосферные черенковские гамма-телескопы астрофизического комплекса TAIGA в Тункинской долине*

Разработаны новые подходы к моделированию солнечно-земных связей и их реализациям в Центре космической погоды МГУ. Основная идея этих подходов заключается в использовании данных среднесрочных (3-5 суток) прогнозов скорости квазистационарных потоков солнечного ветра на основе данных, полученных по изображениям Солнца в УФ-диапазоне длин волн, для повышения качества прогнозов магнитосферных факторов. Показано, что использование результатов среднесрочного прогноза скорости солнечного ветра в качестве входного параметра в модели суточного прогноза полного потока электронов позволяет значительно повысить ее качество с горизонтом прогноза до 4 суток.

Разработаны модели магнитосфер планет земной группы в зоне обитаемости вокруг звезд G-типа и рассмотрены условия работы механизма динамо на магнитопаузах быстро вращающихся экзопланет, обладающим магнитным полем.

В рамках проекта СФЕРА получен новый алгоритм для оценки массы первичных ядер по регистрируемому телескопом черенковскому свету, отраженному от покрытой снегом поверхности. Успешно развит количественный подход к обработке экспериментов по мюонной радиографии архитектурных и археологических объектов.

В рамках проекта NEWSdm осуществлено моделирование ускорения частиц холодной темной материи с массами от  $1 \text{ кэВ}/c^2$  при упругом взаимодействии с частицами космических лучей высоких энергий. Показано, что в 10 кг эмульсии, используемой для регистрации частиц темной материи, в течении одного года может быть зафиксирован значимый сигнал в области масс гипотетических частиц темной материи и сечений их взаимодействия, не исследованных в других экспериментах. Также были оценены перспективы использования эмульсионного трекового детектора для направленных наблюдений частиц темной материи.

Разработан новый подход к моделированию прямого рождения адронов в статистической модели, позволивший описать данные Большого адронного коллайдера по быстрым и азимутальным ширинам зарядовых корреляций частиц в соударениях ионов свинца. Проведено исследование перспектив измерения зарядовых корреляций адронов в условиях эксперимента MPD на коллайдере NICA, включая разработку методов анализа соответствующих данных.

В преддверии всенароднолюбимого праздника 8 марта особо следует подчеркнуть роль женщин в истории и развитии кафедры физики космоса. На нашей кафедре работали яркие женщины – преподаватели и ученые: профессора И.В. Ракобольская и Л.И. Сарычева, доктора физ.-мат. наук Т.М. Роганова и Е.Е. Антонова, С.А. Дубровина, Е.А. Мурзина, Н.Н. Дмитриева, Н.Р. Федоренкова, Н.П. Ильина. В настоящее время на кафедре работают замечательные женщины – Т.П. Аминева, А.М. Анохина, Е.С. Беленькая. Татьяна Павловна Аминева в течение многих лет была ученым секретарем кафедры и в настоящее время продолжает активно трудиться и передавать свой опыт сотрудникам кафедры. Татьяна Михайловна Роганова, как заведующая лабораторией ОКН НИИЯФ, ведет большую работу по организации работы студентов и аспирантов кафедры над дипломными и диссертационными работами. Ее знания и опыт очень важны для подготовки нового поколения специалистов в области физики космических лучей.

Особо необходимо отметить роль в развитии кафедры профессора Ирины Вячеславовны Ракобольской – легендарной женщины, замечательного ученого, преподавателя, общественного деятеля. Во время Великой Отечественной войны она была начальником штаба женского полка ночных бомбардировщиков. В 1968-2003 гг. профессор И.В. Ракобольская была заместителем заведующего кафедрой, под ее руководством заложены основы учебного процесса, который и поныне успешно реализуется на кафедре. В течение многих лет она читала на кафедре созданный ею фундаментальный курс «Введение в физику космических лучей», по которому учились и учатся многие поколения физиков-

космиков. Также под руководством Ирины Вячеславовны был создан практикум по физике космических лучей в рамках специального ядерного практикума ОЯФ. Помимо большой преподавательской работе на отделении ядерной физики физического факультета Ирина Вячеславовна читала курс «Ядерная физика» для студентов – геофизиков геологического факультета. На основе этого курса был издан замечательный учебник. В течение многих лет Ирина Вячеславовна руководила факультетом повышения квалификации МГУ. Ирина Вячеславовна в прямом смысле была душой кафедры, создала ту добрую атмосферу нашего коллектива, благодаря которой удается реализовывать все необходимые задачи.



*Профессор И.В. Ракобольская (1919 – 2016)*

**Сердечно поздравляем наших замечательных женщин  
с чудесным праздником 8 Марта!**

*Заведующий кафедрой физики космоса  
профессор С. И. Свертилов*

## МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ НЕЙТРИНО

(исследования на физическом факультете  
и в филиале МГУ в Сарове)

Присуждение Нобелевской премии в 2015 году руководителю Нейтринной обсерватории в Садбери Артуру Макдональду (Канада) и руководителю эксперимента Гипер-Камиоканде Такааки Каджите (Япония) за открытие осцилляций нейтрино доказывает, что масса нейтрино отлична от нуля.

Как хорошо известно, эффект смешивания и осцилляций нейтрино был предсказан в 1957 году Бруно Максимовичем Понтекорво, который с 1966 по 1986 год заведовал кафедрой физики элементарных частиц на физическом факультете МГУ.

Одним из фундаментальных следствий ненулевой массы нейтрино является наличие у нейтрино ненулевых электромагнитных свойств, которые не укладываются в Стандартную модель взаимодействия частиц. По этой причине изучение электромагнитных свойств нейтрино отрывает окно в новую физику.

Проблема электромагнитных свойств нейтрино является ключевым вопросом исследований, которые ведутся научной группой по физике нейтрино на физическом факультете Московского университета на протяжении многих лет. В том же 2015 году руководителем группы в соавторстве с итальянским физиком Карло Джунти опубликована подробная обзорная статья [1] по данной проблеме в одном из самых высокорейтинговых журналов. К настоящему моменту данная статья имеет более 400 цитирований.

Научной группой по физике нейтрино внесен заметный вклад в исследования электромагнитных свойств частицы. Так, в статье [2] развита теория рассеяния нейтрино на мишени. Это позволило обосновать правильность интерпретации результатов эксперимента ГЕММА по рассеянию реакторных антинейтрино на мишени (который проводится на Калининской атомной станции учеными из ОИЯИ и РНЦ «Курчатовский



Бруно Понтекорво  
1913-1993

институт») и подтвердить приоритет российских ученых в получении лучшего мирового ограничения сверху на величину магнитного момента:  $\mu_{\bar{\nu}_e} < 2.9 \times 10^{-11} \mu_B$ , здесь  $\mu_B$  – магнетон Бора.

В работе [3] на основе развития теории рассеяний реакторных нейтрино и использования данных эксперимента ГЕММА получено новое рекордное реакторное ограничение на миллиард нейтрино:  $|e_{\nu_e}| \leq 1.5 \times 10^{-12} e$ .

На основе результатов развития теории рассеяния с учетом эффектов смешивания нейтрино [4] в работе [5] впервые получены ограничения на недиагональные зарядовые радиусы нейтрино.

Указанные выше результаты (ограничения на магнитный момент, миллиард и зарядовые радиусы нейтрино) как важные характеристики электромагнитных свойств нейтрино включены в таблицы основных свойств частиц в «Обзорах по физике элементарных частиц», которые ежегодно публикует Международная коллаборация по свойствам элементарных частиц (ParticleDataGroupCollaboration). Последний из таких обзоров опубликован в прошлом году [6].



рекордных ограничений на магнитный момент нейтрино (или измерение указанной величины). Проект реализуется в рамках направления № 8 «Физика изотопов водорода» (руководители – О.А. Москалев и А.А. Юхимчук, РФЯЦ-ВНИИЭФ) по утвержденной научной программе Национального центра физики и математики в городе Сарове при самом активном участии научной группы по физике нейтрино физического факультета Московского университета.

Фактическая подготовка проекта началась с обращения А.А.Юхимчука осенью 2021 года к А.И.Студеникину провести впервые в

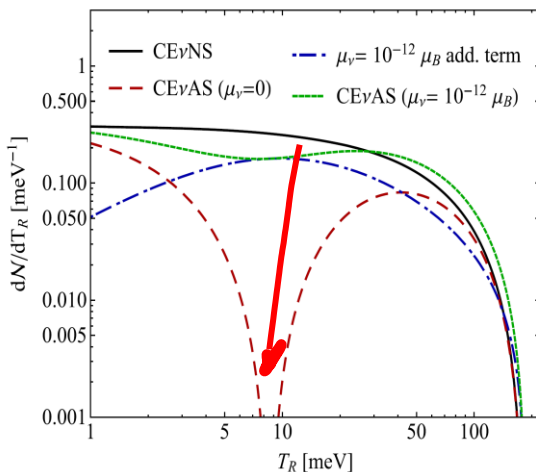
Прошедший 2022 год ознаменовался началом реализации масштабного проекта по изучению электромагнитных свойств нейтрино, главной целью которого является проведение впервые регистрации когерентного упругого рассеяния нейтрино на атомах и получение новых

мире измерения когерентного упругого рассеяния антинейтрино от тритиевого источника на атомах (CoherentElasticNeutrino-AtomScattering, CE $\nu$ AS) жидкогелиевого детекторов создаваемом Национальном центре физики и математики. Разработка идеи и обоснование возможности такого эксперимента изложены в статье [7].

Главной целью реализуемого проекта является изучение электромагнитных свойств нейтрино с беспрецедентной точностью и, в частности, получение нового рекордного ограничения сверху на величину магнитного момента нейтрино, превосходящего примерно на два порядка существующие в настоящее время ограничена на эту характеристику нейтрино.

Важной особенностью рассеяния тритиевых антинейтрино на жидкогелиевой мишени заключается в том, что вследствие «экранировки» ядра электронной оболочкой атома гелия происходит взаимная компенсация амплитуд рассеяния нейтрино на ядре и электронах оболочки. Это приводит к резкому подавлению вклада Стандартной модели в сечение рассеяния нейтрино на атоме практически до нуля (красная пунктирная линия на рисунке, иллюстрирующем зависимость различных вкладов в сечение рассеяние от энергии отдачи).

Впервые процесс упругого рассеяния нейтрино на атоме был теоретически рассмотрен в работе [8]. В рамках ( $V, A$ )-теории слабого взаимодействия ими было показано, что при энергиях нейтрино  $\approx 10$  кэВ существует область когерентно-оптических нейтринных явлений, где основную роль играют процессы упругого рассеяния нейтрино на атоме в целом. Действительно, при указанных энергиях дебройлевская длина волны нейтрино сравнима или даже превышает атомный радиус  $R_{\text{atom}}$ . Это обстоятельство дает возможность реализовывать режим когерентного упругого рассеяния  $qR_{\text{atom}} \ll 1$ , где  $|\vec{q}|$  — величина переданного трехмерного импульса, в достаточно широком диапазоне нейтринных углов рассеяния. На практике нейтрино требуемых энергий можно полу-

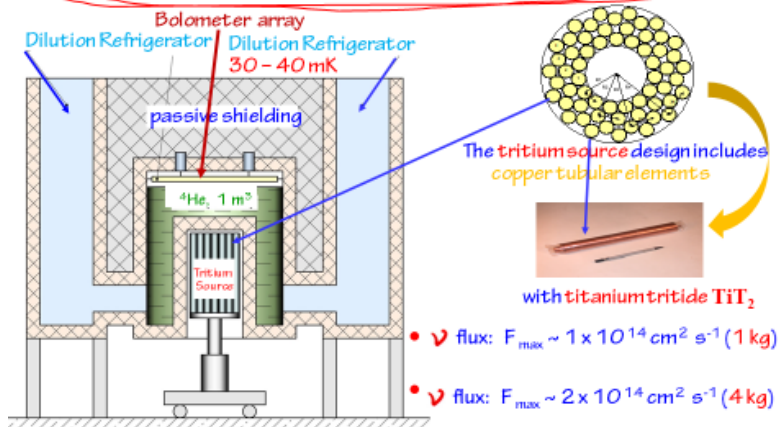


чить от тритиевого источника: электронные антинейтрино, рождающиеся в процессе бета-распада трития, имеют непрерывный спектр энергий от 0 до 18.6 кэВ со средним значением 12.9 кэВ. В более поздних работах других авторов в рамках Стандартной модели слабого взаимодействия было предсказано, что для определенных значений атомного номера и массового числа в упругом рассеянии электронного (анти)нейтрино на атоме должно наблюдаться полное экранирование слабого заряда атомного ядра электронным облаком атома. Полная экранировка реализуется при определенном значении энергии отдачи атома, которая не зависит от энергии нейтрино. В случае атома  ${}^4\text{He}$  эта энергия равна 9 мэВ, что открывает возможность поиска эффектов физики за пределами Стандартной модели, которые могли бы давать ненулевой вклад при энергиях отдачи около 9 мэВ.

В этой связи особый интерес представляет анализ чувствительности процесса  $\text{CE}\nu\text{AS}$  к электромагнитным свойствам нейтрино (а именно магнитного момента), существование которых предсказывается уже в минимальном расширении Стандартной модели с правыми массивными дираковскими нейтрино.

На первом этапе реализации проекта [9] будет использоваться титан-третий TiT<sub>2</sub> источник с начальной активностью 10 МКи (соответствует 1 кг трития). В дальнейшем возможно увеличение массы тритиевого

**Experimental scheme: tritium source, tank with liquid helium, dilution refrigerator, passive shielding, bolometer array**



источника антинейтрино до 4 кг. Схема эксперимента представлена на рисунке.

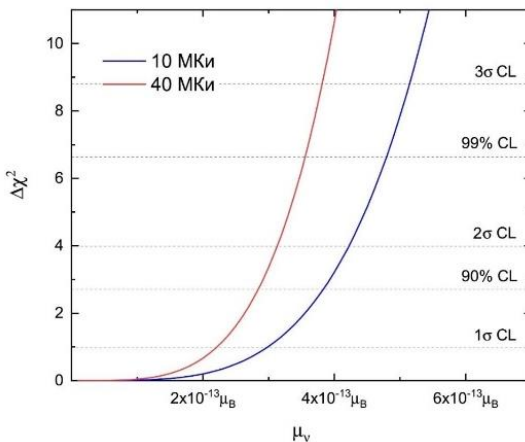
Для оценки чувствительности экспериментальной схемы используется критерий хи-квадрат:

$$\chi^2 = \left( \frac{N_{SM} - N}{\sqrt{N_{SM}}} \right)^2, \quad \text{где } N = N_{SM} + N_{\nu}.$$

То есть, предполагается, что отклонение общего числа CEvAS событий от значения, предсказываемого Стандартной моделью, вызвано магнитным моментом нейтрино. Результаты численных расчетов величины  $\Delta\chi^2 = \chi^2 - \chi^2_{\min}$  как функции магнитного момента нейтрино  $\mu_\nu$  в случае 5 лет набора данных приведены на рисунке. Таким образом, предсказываемая чувствительность эксперимента к величине магнитного момента находится в пределах примерно от 4 до 2 единиц на  $10^{-13} \mu_B$  (при 90 % уровне достоверности) в зависимости от массы тритиевого источника антинейтрино.

В настоящее время в работе по реализации проекта [9] при поддержке госбюджета и Росатома участвуют ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», МГУ имени

М.В.Ломоносова,  
 НГТУ имени Р.Е. Алексеева, ННГУ имени Н.И. Лобачевского, ФГУП «ПО «Маяк», Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН, Институт физики микроструктур РАН, Институт ядерных исследований РАН и Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ).  
 От Московского уни-



верситета наряду с тремя сотрудниками участвуют семь аспирантов и студентов магистратуры физического факультета.

В 2022 году в рамках работы по проекту группой по физике нейтрино под руководством А.И.Студеникина (в состав группы входят профессор К.А.Кузаков, научный сотрудник К.Л.Станкевич, аспиранты Ф.М.Лазарев, А.А.Личунов, А.Р.Попов, И.С.Степанцов, В.В.Шахов, студенты магистратуры М.М.Вялков, Н.М.Долганов, А.А.Пуртова и др., а также иностранные коллеги) были подготовлены и представлены докла-



ды на двух крупнейших международных конференциях (XLI International Conference on High Energy Physics, Italy и XXX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Korea) и на 14-й Международной школе по физике нейтрино и астрофизике в Сарове. Восемь статей по вопросам электромагнитных свойств нейтрино и теории рассеяния нейтрино на мишени, непосредственно связанные с темой проекта, находятся в печати.

[1] C.Giunti, A.Studenikin, «Neutrino electromagnetic interactions: A window to new physics», *Reviews of Modern Physics* 87 (2015) 531-561.

[2] K.Kouzakov, A.Studenikin, «Theory of neutrino-atom collisions: The history, present status and BSM physics», *Adv. High Energy Phys.* 2014 (2014) 569409 (16 p.)

[3] A.Studenikin, «New bounds on neutrino electric millicharge from limits on neutrino magnetic moment», *Europhys. Lett.* 107 (2014) 21001 (5 p.).

[4] K.Kouzakov, A.Studenikin, «Electromagnetic properties of massive neutrinos in low-energy elastic neutrino-electron scattering», *Phys. Rev. D* 95 (2017) 055013 (9 p.).

[5] K.Kouzakov, A.Studenikin et.al, «Neutrino charge radii from COHERENT elastic neutrino-nucleus scattering», *Phys. Rev. D* 98 (2018) 113010 (11 p.).

[6] Review of Particle Physics 2022 (Particle Data Group), *Prog. Theor. Exp. Phys.* 2022, 083C01 (2022).

[7] K.Kouzakov, A.Studenikin et. al, «Potentialities of a low-energy detector based on He-4 evaporation to observe atomic effects in coherent neutrino scattering and physics perspectives», *Phys. Rev. D* 100 (2019) 073014 (9 p.).

[8] Ю.В.Гапонов, В.Н.Тихонов, «Упругое рассеяние низкоэнергетических нейтрино на атомных системах», *Ядерная физика* 26 (1977) 594-600.

[9] M.Cadeddu, G.Donchenko, F.Dordei, C.Giunti, K.Kouzakov, B.Lubsandorzhev, A.Studenikin, V.Trofimov, M.Vyalkov and A.Yukhimchuk, «A proposal for experiment with high-intensity tritium neutrino source in Sarov: The search for coherent elastic neutrino-atom scattering and neutrino magnetic moment», *PoS (ICHEP2022) 591*, e-Print: 2302.05307 [hep-ph] Feb 10, 2023.

*А.И. Студеникин,  
профессор кафедры теоретической физики*

## НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ТЕТРАНЕЙТРОНА

Время жизни свободного нейтрона составляет примерно 15 мин. Однако имеется большое количество стабильных ядер, состоящих из протонов и нейтронов. Итак, присутствие поблизости протонов в составе одного и того же ядра стабилизирует нейтроны, причем число протонов и нейтронов в стабильных ядрах подчиняется неким правилам: в легких ядрах число нейтронов  $N$  примерно равно числу протонов  $Z$ , а в более тяжелых ядрах  $N$  становится больше  $Z$ , и разность  $N - Z$  растет с массой ядра, пропорцио-



нальной общему числу протонов и нейтронов в ядре  $A=N+Z$ . Когда число нейтронов  $N$  превышает предельное для данной массы значение, происходит так называемый  $\beta$ -распад, в котором один из нейтронов превращается в протон с испусканием электрона и антинейтрино. Отметим, что время жизни нейтрона в атомном ядре, обусловленное  $\beta$ -распадом, как правило, существенно отличается от времени жизни свободного нейтрона. Так, например, подверженный  $\beta$ -распаду изотоп углерода  $^{14}\text{C}$ , широко используемый в археологии для так называемого радиоуглеродного датирования, «живет» около 8 тыс. лет. Кроме того, мы знаем, что существуют нейтронные звезды, состоящие практически только из нейтронов, стабильность которых обусловлена мощным гравитационным притяжением.

А могут ли существовать ядра, состоящие только из нейтронов? Согласно всем нашим современным представлениям можно ожидать, что такие ядра, если их и удастся образовать в каких-то реакциях, могут состоять только из небольшого числа нейтронов. Более того, согласно накопленным знаниям о взаимодействии нейтронов друг с другом нельзя ожидать образования стабильных ядер, состоящих из одних нейтронов – можно ожидать только образование так называемых резонансных состояний, когда полученный в какой-то реакции сгусток из нескольких нейтронов при определенной энергии задержится на микроскопическое по человеческим понятиям, но достаточно типичное для ядерной физики время порядка 10–22 сек., а затем эти нейтроны разлетятся.

Казалось бы, что исследование таких короткоживущих резонансов не представляет никакого интереса. Но это не так, более того, такие исследования очень важны для нашего понимания природы внутриядерных сил. Дело в том, что хорошо изучено взаимодействие протонов друг с другом: один из протонов можно направить с нужной энергией из ускорителя на мишень из других протонов – попросту говоря, на мишень, состоящую из водорода, ядром атомов которого и являются протоны. Изучив столкновения протонов друг с другом при разных энергиях налетающих протонов, исследовав на какие углы они разлетаются, можно получить надежную информацию об их взаимодействии. На водородную мишень можно направить и нейтроны из реактора – энергия налетающего реакторного нейтрона изначально неизвестна, но, зарегистрировав разлетающиеся протон и нейтрон, можно определить энергию исходного нейтрона по закону сохранения энергии, а далее, как и в случае столкновения протонов, получить информацию о взаимодействии протонов с нейтронами. А получить аналогичную прямую информацию о взаимодействии нейтронов друг с другом невозможно, так как невозможно создать мишень из одних нейтронов. Поэтому вся наша информация о взаимодействии нейтронов получена только косвенным путем, на основе некоторых теоретических представлений и данных о реакциях или о связанных ядерных системах, где присутствуют также и протоны и запутывают извлече-

ние информации о взаимодействии нейтронов с нейтронами. В связи с этим исследование хотя бы короткоживущих резонансов в системе нескольких нейтронов представляет большую ценность.

Современные теории, да и имеющиеся не прямые данные отвергают наличие резонанса в системе двух нейтронов. А поисками резонансных состояний в системе трех (тринейтрон) и четырех (тетранейтрон) нейтронов человечество занимается уже около 60 лет. Поиски тринейтрона пока не дали никаких результатов, поэтому сосредоточимся на исследованиях тетранейтрона.

Поначалу образовать тетранейтрон пытались в реакции  ${}^4\text{He}(\pi^-, \pi^+)n$ , т. е. на ядра  ${}^4\text{He}$ , состоящие из двух протонов и двух нейтронов, направлялся пучок отрицательно заряженных  $\pi^-$ -мезонов, а регистрировался образовавшийся в реакции положительно заряженный  $\pi^+$ -мезон. Из закона сохранения заряда следует, что при этом пара протонов из ядра  ${}^4\text{He}$  превратились в нейтроны. В многолетних исследованиях этой реакции резонансного состояния тетранейтрона не было обнаружено.

Начиная с конца XX века все больше исследований в ядерной физике стало проводиться с пучками ионов, в том числе и радиоактивных ядер. Французские исследователи на ускорительном комплексе GANIL в городе Кан проводили эксперименты с пучками  ${}^{14}\text{Be}$ . Это ядро состоит из довольно компактного и сильно связанного кластера  ${}^{10}\text{Be}$ , вокруг которого вращаются слабо связанные с ним четыре нейтрона. Направив пучок  ${}^{14}\text{Be}$  на какую-либо ядерную мишень, можно выбить кластер  ${}^{10}\text{B}$  из  ${}^{14}\text{Be}$  и надеяться, что оставшаяся четверка нейтронов образует резонансное тетранейтронное состояние. И в 2002 г. ученые из GANIL рапортовали о регистрации в таком эксперименте тетранейтрона [1], причем даже не в резонансном, а в связанном состоянии. Однако воспроизвести этот результат в последующих исследованиях не удалось, судя по всему, была какая-то ошибка в исходном эксперименте или в обработке и интерпретации его данных.

Этот эксперимент вызвал появление многочисленных теоретических работ по исследованию тетранейтрона. В них и было окончательно установлено, что в соответствии со всеми современными представлениями о взаимодействии нейтронов связанного состояния тетранейтрона быть не может. Некоторые работы пытались теоретически оценить и возможность образования резонансного состояния тетранейтрона, и большинство из них давало отрицательный ответ на этот вопрос.

Здесь следует отметить, что тетранейтрон может распадаться только на четыре нейтрона, так как связанных состояний пары или тройки нейтронов не может образоваться. А распады на 4 частицы слабо изучены, устоявшейся теории таких распадов нет, да и экспериментально такие распады не изучались. Пионерами теоретического исследования распадов ядерной системы на несколько частиц была группа из Института физики в Тбилиси



под руководством Р. И. Джибути. Они ввели понятие «демократических» распадов, когда, как и в случае тетранейтрона, ни в какой комбинации распадающихся частиц не может образоваться связанная подсистема. Для описания демократических распадов предлагалось использовать так называемые гиперсферические функции.

В районе 2014 г. сразу несколько научных групп из разных стран начали планировать эксперименты по поиску тетранейтрона, используя пучки  $^8\text{He}$ -ядра, состоящего из компактного и сильно связанного кластера  $^4\text{He}$  ( $\alpha$ -частицы) и слабосвязанной с ним четверки нейтронов. Пучки  $^8\text{He}$  имеются на ускорительном комплексе научного центра RIKEN в Японии. Идея, как и в случае с  $^{14}\text{Be}$ , «стряхнуть» тетранейтрон с ядра  $^8\text{He}$ . Экспериментальная группа из Технического университета Дармштадта обратилась в теоретическую группу под руководством Дж. Вэри из Университета штата Айова (УША) в США с вопросом, нельзя ли что-то предсказать относительно параметров возможного резонанса тетранейтрона, что важно для планирования эксперимента. В это время в УША находился сотрудник НИИЯФ МГУ А. М. Широков, который в течении многих лет сотрудничает с Дж. Вэри в теоретических исследованиях легких ядер в модели оболочек. В это время А. М. Широков с И. А. Мазуром и А. И. Мазуром из Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ) в г. Хабаровск разработывал метод исследования резонансных состояний ядер в модели оболочек. В результате, используя еще сырую и неапробированную теорию резонансов и идеи демократического распада, А. М. Широковым совместно с коллегами из ТОГУ, УША и Р. Рот из Дармштадта была предложена оценка резонанса тетранейтрона, для которого предсказывалась энергия около 0.8 МэВ и ширина около 1.4 МэВ.

Подготовка эксперимента в Дармштадте затянулась из-за банкротства фирмы, которая изготавливала детектор для регистрации нейтронов. А в начале 2016 г. японская группа из RIKEN обнаружила тетранейтрон в эксперименте по рассеянию  $^8\text{He}$  на мишени из ядер  $^4\text{He}$  [2]. Для энергии резонанса тетранейтрона было получено значение  $0.83 \pm 1.90$  МэВ, а для ширины была дана только оценка, что она не превышает 2.6 МэВ. Статья А. М. Широкова и др., где резонанс тетранейтрона на основе уже проверенной и апробированной теории предсказывался в прекрасном согласии с японским экспериментом, была опубликована несколькими месяцами позже в том же 2016 г. [3]. Эта работа была поддержана грантом Российского научного фонда № 16-12-10048.

В японском эксперименте было зарегистрировано только 4 события, что обуславливает как большие погрешности результатов, так и определенные сомнения в их статистической достоверности. Этот эксперимент вызвал новую волну теоретических работ, практически все из которых отрицали возможность образования резонанса тетранейтрона, по крайней мере,

при достаточно низких энергиях и достаточно малой ширины, так, что его можно было бы зарегистрировать. Фактически единственной статьей, кроме работы А. М. Широкова и др. [3], подтверждающей существование резонанса тетранейтрона, где рассматривается распад системы четырех нейтронов и оценивается ширина резонанса, была вышедшая позже работа китайских авторов [4], выполненная в рамках гаммовской модели оболочек.

Здесь следует заметить, что в работе Широкова и др. [3] использовалось предложенное ими ранее взаимодействие между нейтронами NISP16 [5], которое хорошо описывает свойства легких ядер, но является «мягким», т. е. отталкивание нейтронов на малых расстояниях ослаблено по сравнению с тем, что обусловлено киральной эффективной теорией поля (КЭТП) – современным подходом к построению взаимодействий между нейтронами и протонами в ядре, связывающим их в определенных приближениях с кварковой структурой. В дальнейшем Широков и др. показали [6], что в том же подходе получается резонанс тетранейтрона с близкими параметрами и с другими «смягченными» взаимодействиями, но этого резонанса, как и в работах других авторов, не удастся получить со стандартными взаимодействиями КЭТП. Смягченное взаимодействие нейтронов использовалось и в работе [4].

Недавно, 22 июня 2022 г., были наконец опубликованы [7] результаты экспериментов по поиску тетранейтрона, полученные группой из Дармштадта. На рис. 1 виден четкий пик резонанса тетранейтрона, полученный с хорошей статистикой. Для энергии тетранейтрона получено значение  $2.37 \pm 0.82$  МэВ, а для его ширины –  $1.75 \pm 0.52$  МэВ.

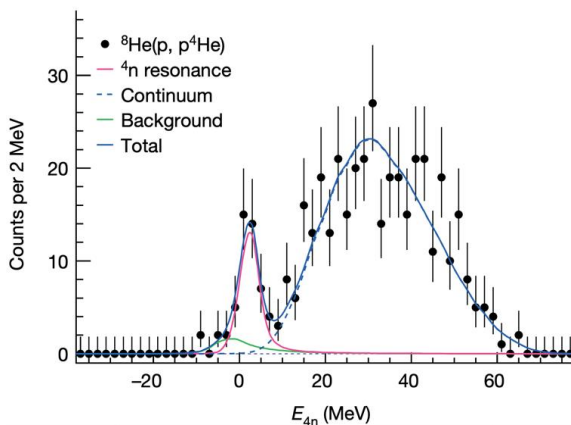


Рис. 1. Экспериментальные данные по поиску тетранейтрона. Красная кривая – пик тетранейтрона, описанный формулой Брейта–Вигнера. Зеленая и синяя штриховые кривые – различные фоновые процессы. Синяя сплошная кривая – сумма всех кривых. Из работы [7]

Этот эксперимент проводился с пучками  $^8\text{He}$ с энергией 156 МэВ на нуклон, которые рассеивались на водородной мишени. Схематическая иллюстрация эксперимента приведена на рис. 2. После столкновения  $^8\text{He}$  с протоном мишени регистрировался получивший ускорение протон и  $^4\text{He}$ , выбитый из  $^8\text{He}$ , причем отбирались такие события, при которых в системе центра инерции  $^4\text{He}$  летит практически в обратном направлении. Это обеспечивает, видимо, наиболее эффективное «стряхивание» с ядра  $^8\text{He}$  четырех нейтронов, которые в лабораторной системе летят вперед по направлению исходного пучка практически с той же скоростью, что и ядра  $^8\text{He}$  до соударения. Подтверждением этого является регистрация в этом направлении одного или двух нейтронов на совпадение с протоном и  $^4\text{He}$ .

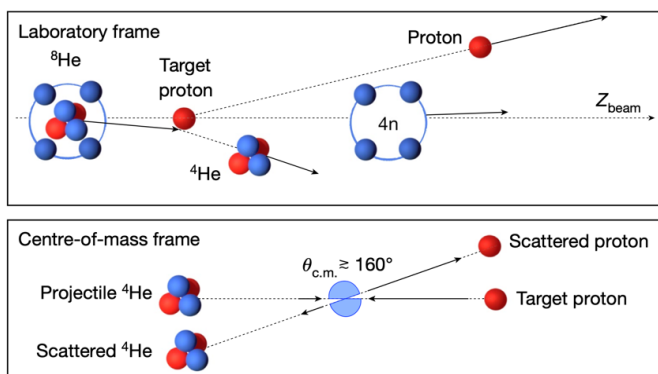
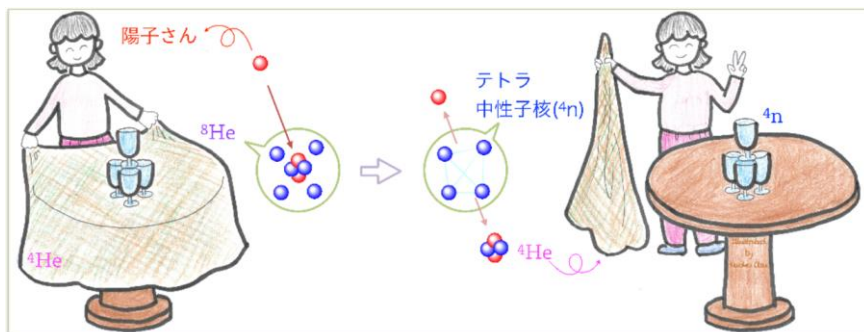


Рис. 2. Схема реакции в эксперименте [7]. Верхняя панель – лабораторная система отсчета; нижняя панель – столкновение протона с ядром  $^4\text{He}$ , входящими в состав ядра  $^8\text{He}$ , в системе их центра инерции. Из работы [7]

Сложность этого эксперимента иллюстрировалась в шуточной форме в пресс-релизе RIKEN [8], посвященного выходу из печати статьи [7], где выбивание тетранейтрона из ядра  $^8\text{He}$  сравнивалось с попыткой быстро выдернуть скатерть со стола, на котором стоит четыре бокала, так, чтобы эти бокалы остались на своих местах и не слетели со стола (см. Рис. 3).

Итак, более чем полувековые поиски тетранейтрона завершились успехом, существование этого резонанса надежно подтверждено экспериментально. Ранее резонанс тетранейтрона отвергался большинством теоретических работ, а его предсказание и описание было дано теоретиками только в работах [3] и [4], причем в пионерские предсказания серьезный вклад внесли российские ученые из НИИЯФ МГУ и ТОГУ. Описание тетранейтрона достигается пока только с внутриядерными взаимодействиями

определенного типа, «мягкими» по сравнению с взаимодействиями КЭТП. Это ставит новые интересные и важные вопросы в физике атомного ядра.



テトラ中性子核を生成する手法のイメージ

Рис. 3. Рисунок из пресс-релиза RIKEN [8]

1. F. M. Marqués et al, *Phys. Rev. C* 65, 044006 (2002).
2. K. Kisamori et al., *Phys. Rev. Lett.* 116, 052501 (2016).
3. M. Shirokov, G. Papadimitriou, A. I. Mazur, I. A. Mazur, R. Roth, and J. P. Vary, *Phys. Rev. Lett.* 117, 182502 (2016).
4. J. G. Li, N. Michel, B. S. Hu, W. Zuo, and F. R. Xu, *Phys. Rev. C* 100, 054313 (2019).
5. M. Shirokov, J. P. Vary, A. I. Mazur, and T. A. Weber, *Phys. Lett. B* 644, 33 (2007).
6. M. Shirokov, Y. Kim, A. I. Mazur, I. A. Mazur, I. J. Shin, and J. P. Vary, *AIP Conf. Proc.* 2038, 020038 (2018).
7. M. Duer et al, *Nature* 606, 678 (2022).
8. <https://www.nishina.riken.jp/news/2022/20220623/20220623.pdf>.



доцент, кфмн, снс отдела физики  
атомного ядра  
НИИЯФ МГУ А. М. Широков

## **СОТРУДНИЦЫ КАФЕДРЫ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ – ЗАСЛУЖЕННЫЕ РАБОТНИКИ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

На кафедре общей физики сейчас успешно работает довольно большое число женщин – преподавателей и сотрудников общего физического практикума. В канун 8 Марта, хотелось бы отметить тех сотрудниц кафедры, которые получили признание в этом году.

Ученый Совет МГУ на своем заседании 21 декабря 2022 года присудил почетные звания сотрудникам кафедры общей физики: «Заслуженный преподаватель Московского университета» доценту кафедры Пацаевой Светлане Викторовне, «Заслуженный работник Московского университета» ведущим инженерам кафедры Ермаковой Наталье Григорьевне и Калошиной Ирине Юрьевне.

Светлана Викторовна Пацаева является выпускницей физического факультета Московского Университета 1985 года, в 1989 году она защитила кандидатскую диссертацию, благодаря этому бесценному опыту.

Светлана Викторовна — образец кропотливого и аккуратного преподавателя, который и словом, и делом помогает будущим физикам не только погрузиться во все тонкости своего ремесла, но и не растерять любовь к нему.

За годы работы на физическом факультете Светлана Викторовна выпустила множество студентов и аспирантов, а также под ее руководством были защищены несколько кандидатских диссертаций. Понимая, что наука делается не только в кабинетах, Светлана Викторовна ежегодно проводит исследования вместе со студентами и аспирантами «в поле», на базе Беломорской биологической станции МГУ. Светлана Викторовна по достоинству может считаться также и великолепным популяризатором науки среди студентов, так, несколько раз она являлась председателем организационного комитета Международной студенческой Школы-конференции по оптике прибрежных вод.





В своей междисциплинарной научной работе Светлана Викторовна активно знакомит студентов не только с научно-исследовательскими группами физического факультета, но и расширяет рамки коммуникаций, проводя совместные исследования с учеными из различных областей науки, что формирует у ее подопечных широкий взгляд на науку в целом и строит базис для будущего продуктивного сотрудничества.



Наталья Григорьевна Ермакова закончила химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, работала в научных организациях, даже была помощником ректора в Академии. А в 1997 году пришла

работать в общий физический практикум физического факультета МГУ.

Ирина Юрьевна Калошина закончила МИНХиГП им И.М. Губкина, работала в научно-исследовательских организациях, а с 1996 года - в физическом практикуме факультета.



И вот уже более 25 лет они вместе со студентами младших курсов осваивают премудрости экспериментальной физики. За эти годы они работали практически во всех разделах практикума. Значительная часть поступающих на факультет первокурсников только на практикуме впервые сталкиваются с реальными экспериментальными установками. И здесь чрезвычайно важна помощь инженеров практикума. Они и расскажут, и покажут, когда надо – похвалят, а то и поругают. А по окончании занятий уберут за несознательными сту-

дентами их рабочее место, проверят, не сломали ли что-либо студенческие руки. А на следующий день – очередные неопытные студенты будут пытаться вывести установки из строя. И так – каждый день!

Мы от всей души поздравляем Светлану Викторовну, Наталью Григорьевну и Ирину Юрьевну с заслуженной наградой! И надеемся, что еще многие и многие годы они будут учить уму-разуму наших студентов!

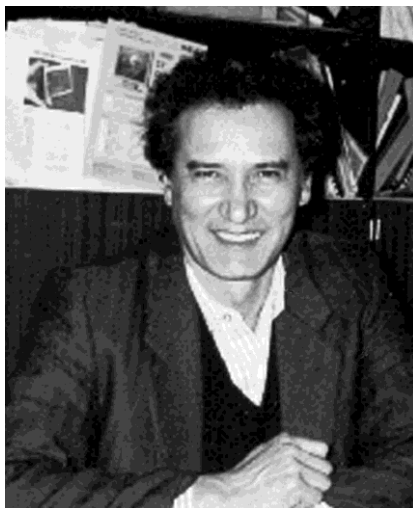
*Мужчины кафедры общей физики*

**ПОЗДРАВЛЯЕМ ВЕДУЩЕГО ЭЛЕКТРОНИКА  
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА  
НАИЛЮ ХАСЬЯНОВНУ ВОЛКОВУ  
С ЮБИЛЕЕМ И 8 МАРТА!**



*Коллеги, друзья*

## К ЮБИЛЕЮ АЛЕКСАНДРА ТУРСУНОВИЧА РАХИМОВА



10 января 2023 года исполнилось 80 лет заведующему отделом микроэлектроники НИИ ядерной физики МГУ доктору физико-математических наук, заведующему кафедрой атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета профессору Александру Турсуновичу Рахимову.

Выпускник физического факультета МГУ А.Т. Рахимов является одним из ведущих в мире специалистов в области физики плазмы и физической электроники, широко известным своим вкладом в разработку физических принципов приборов и технологий, основанных на использовании низкотемпературной плазмы. Ученым развита теория процессов в газоразрядной плазме, возбуждаемой в многокомпонентных молекулярных газах (кинетика заряженных и нейтральных частиц в плазме, устойчивость однородного горения в больших объемах, плазмохимические реакции в условиях сильной неравновесности, принципиально новые способы возбуждения плазмы).

А.Т. Рахимов является соавтором свыше 300 публикаций, в том числе около 190 статей в журналах, индексируемых в библиографических базах Web of Science и Scopus, 18 монографий. По данным Web of Science цитируемость его работ составляет более 2100, индекс Хирша – 27. Он является соавтором 20 патентов.



А.Т. Рахимов активно участвует в образовательной деятельности. В соавторстве им разработаны спецкурсы «Физика неравновесных процессов в газовых средах» и «Физические проблемы применения плазмы в микротехнологии» для кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники отделения ядерной физики физического факультета. Под его руководством защищено 18 кандидатских диссертаций и множество дипломных работ.

А.Т. Рахимов является ответственным лицом со стороны НИИЯФ МГУ в совместных исследованиях в рамках соглашений с ИМЕС (Бельгия).

А.Т. Рахимов – лауреат премии имени М.В. Ломоносова (совместно с Е.П. Велиховым и В.Д. Письменным) за цикл работ «Непрерывные СО<sub>2</sub>-лазеры с несамостоятельным разрядом». В 1978 году в составе научного коллектива он стал лауреатом Государственной премии СССР в области науки и техники за разработку физических принципов, создание и исследование газовых лазеров, возбуждаемых с использованием ионизирующего излучения.

За многолетнюю плодотворную научно-педагогическую деятельность во благо Московского университета и в связи с юбилеем приказом ректора заведующему отделом НИИ ядерной физики Рахимову Александру Турсуновичу объявлена благодарность

Коллеги, друзья, редакция газеты «Советский физик» поздравляют Александра Турсуновича с юбилеем и желают здоровья, успехов в работе на благо факультета и университета.

<https://www.msu.ru/thanks/k-yubielyu-atrahimova.html>

## **В КАКОЙ МЕРЕ ОПРАВДАН КУРС НА ФОРСИРОВАННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛА КАНДИДАТОВ И ДОКТОРОВ НАУК?**

*Постоянный автор нашей газеты профессор В.С. Сенашенко в новой статье продолжает обсуждение происходящих преобразований государственной системы аттестации научных и научно-педагогических кадров (смотри №7(159) «Советского физика»). Поскольку данный вопрос представляет интерес для многих читателей, предлагается обсудить его на страницах газеты. Обсуждаемый материал можно найти в следующих документах:*

*Федеральный закон от 7 октября 2022 г. N 397-ФЗ "О внесении изменений в статью 4 Федерального закона "О науке и государствен-*

*ной научно-технической политике" и статью 11 Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации"» (ФЗ-397), рекомендации Пленума ВАК РФ от 21.12.2022 №3-пл3/3, №3-пл3/4.*

*Упомянутые документы имеются в редакции.*

*Главный редактор «Советского физика»  
профессор Показеев К.В.*

21 декабря 2022 года Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования РФ (Минобрнауки России) были приняты нормативно-правовые документы, которые представляют особый интерес для научно-педагогической общественности, поэтому ниже приводятся без каких-либо изъятий. Это рекомендации «О расширении форм представления диссертационных работ соискателями ученой степени кандидата наук, подготовившими диссертацию в аспирантуре (адъюнктуре)» и «О создании "разовых" диссертационных советов».

ВАК в части расширения форм представления диссертационных работ соискателями ученой степени кандидата наук, подготовившими диссертацию в аспирантуре (адъюнктуре) рекомендует:

1. Предоставить право защиты диссертации в форме научного доклада аспирантам (адъюнктам) очной формы подготовки, выполнившим диссертационные исследования по техническим, физико-математическим и естественнонаучным областям науки, требующим существенных экспериментальных работ.

2. Президиуму ВАК утверждать перечень научных специальностей и отраслей науки, при подготовке диссертаций по которым аспирантам (адъюнктам) может быть предоставлено право защиты диссертации в форме научного доклада.

3. Установить, что защита диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в форме научного доклада аспирантом (адъюнктом) может быть проведена только в сроки подготовки и в течение одного года после окончания нормативного срока подготовки аспиранта (адъюнкта).

4. Определить, что количество публикаций, в которых аспирантом (адъюнктом) излагаются основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, оформленной в виде научного доклада, должно быть не менее 5 в изданиях, отнесенных к категории К1 или К2 из «Перечня ВАК», в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI, в научных изданиях, индексируемых международными базами данных, перечень которых определен в соответствии с рекомендациями ВАК.

5. Установить, что при подготовке защиты диссертации в форме научного доклада аспирантом (адъюнктом) предоставляются в обязательном порядке в диссертационный совет научный доклад, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11 - 2011, а также все публикации соискателя, в которых опубликованы основные результаты диссертационного исследования.

6. Предусмотреть обязательное представление диссертационными советами в Минобрнауки России копий публикаций соискателя, успешно защитившим диссертацию на соискание ученой степени кандидата наук в форме научного доклада, для последующего рассмотрения на заседании экспертного совета ВАК.

7. Считать целесообразным приглашение на заседание экспертных советов ВАК всех соискателей ученых степеней (кандидатов наук, докторов наук), защитивших диссертации «по совокупности публикаций» («по научному докладу») для уточнения новизны результатов и личного вклада соискателя в их получение.

8. Считать целесообразным до подготовки Минобрнауки России соответствующих изменений в нормативные правовые акты, обсудить данную рекомендацию на совещании руководства Минобрнауки России, Российской академии наук, ВАК.

Далее следуют рекомендации ВАК о создании «разовых» диссертационных советов содержат следующие положения:

1. Считать целесообразным создание «разовых» диссертационных советов по защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата наук, доктора наук.

2. Установить следующие основные требования к организациям, членам «разовых» диссертационных советов:

— наличие у организации лицензии на осуществление образовательной деятельности по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) по научным специальностям, в соответствии с которыми подготовлена диссертационная работа, представляемая в «разовый» диссертационный совет;

— численность диссертационного совета - от 5 до 9 человек;

— в состав диссертационного совета могут входить лица, имеющие ученую степень доктора наук или ученую степень, полученную в иностранном государстве, признаваемую в Российской Федерации, обладателю которой предоставлены те же академические и (или) профессиональные права, что и доктору наук;

— в состав диссертационного совета могут входить лица со степенью PhD или кандидата наук (не более 25% от состава диссовета), имею-

щие за последние 5 лет не менее 10 публикаций в изданиях из К1 «Перечня ВАК» или из RSCI, или в изданиях из международных баз данных, определенных ВАК 26 июня 2022 года;

— в составе диссертационного совета должно быть не менее 1/3 штатных сотрудников, которые более 2 лет, предшествующих дате защиты, имеют основным местом работы организацию, на базе которой создается диссовет;

— в составе диссертационного совета должно быть не менее 1/3 членов диссовета - сотрудников других различных организаций;

— все члены такого диссертационного совета должны иметь за последние 5 лет публикации по тематике защищаемой диссертации, что должно определяться ученым советом (или научно-техническим советом) указанной организации.

3. Предусмотреть создание «разовых» диссертационных советов Минобрнауки России в установленном порядке на основании рекомендации ВАК.

4. Не создавать «разовые» диссертационные советы в случае наличия на базе организации диссертационного совета, которому предоставлено право приема к защите диссертаций по той же научной специальности, а также для защиты диссертации, подготовленной на стыке научных специальностей, в случае наличия на базе организации диссертационного совета, которому предоставлено право приема к защите диссертаций хотя бы по одной научной специальности диссертации.

5. Считать целесообразным до подготовки Минобрнауки России соответствующих изменений в нормативные правовые акты, обсудить данную рекомендацию на совещании руководства Минобрнауки России, Российской академии наук, ВАК при Минобрнауки России.

События развиваются столь стремительно, что академическая общественность не успевает как следует их изучить и высказать к ним свое отношение. И хотя Отделение математических наук РАН высказало свое несогласие с происходящими преобразованиями, это не помешало ВАК принять изложенные выше рекомендации.

В итоге к двадцати образовательным и научным организациям, включая МГУ им. М.В. Ломоносова и СПбГУ, которым ещё в 2016 году было предоставлено право присуждать ученые степени, в обозримом будущем прибавится ещё более ста образовательных и научных организаций. Это, прежде всего, все федеральные университеты, национальные исследовательские университеты, государственные научные центры, а затем вузы, «которые достигли высоких результатов в научной и научно-

технической деятельности и обладают авторитетом в вопросах подготовки научных и научно-педагогических кадров».

Выступая на заседании комитета советников ВАК при Минобрнауки России, Министр образования и науки РФ В.Н. Фальков говорил о том, что изменения в системе аттестации вызваны «резко возрастающей необходимостью масштабировать подготовку молодых ученых, кандидатов и докторов наук по приоритетным направлениям науки и технологий». Не ясно только, как «масштабирование» связано с повышением качества подготовки кадров высшей квалификации. Ведь в рекомендациях ВАК речь идет всего лишь об упрощении процедуры получения ученой степени и не более того. К тому же, хотя после 2016 года, когда ряд образовательных и научных организаций получили право создавать диссоветы и присуждать ученые степени, прошло более пяти лет, анализ накопленного ими не проводился. А если и проводился, то полученные результаты не были представлены научно-педагогической общественности. В то же время наметилась очень тревожная тенденция, когда некоторые вузы, имеющие «собственные» диссертационные советы по той и иной научной специальности Номенклатуры научных специальностей, принимают к защите диссертации выпускников аспирантуры других образовательных и научных организаций, которые по тем или иным причинам не имеют диссертационных советов по соответствующим специальностям. Выпускники аспирантуры принимаются с условием кратковременной стажировки и последующего редактирования текста рукописи диссертации на платной основе с одновременной заменой научного руководителя соискателя ученой степени работником организации, в которой имеется соответствующий диссовет и планируется защита. Тем самым обременяя соискателей существенными финансовыми расходами и превращая защиту диссертации в акт купли-продажи, что очевидным образом сказывается на качестве защищаемых работ и престиже ученой степени. В конечном счете, такой подход к подготовке кадров высшей квалификации уже на начальном этапе профессиональной карьеры соискателя провоцирует создание искаженных стереотипов восприятия нового знания как духовной ценности.

Складывается впечатление, что, выше приведенные рекомендации ВАК, принятые в соответствии с Федеральным законом от 7 октября 2022 г. N 397-ФЗ «О внесении изменений в статью 4 Федерального закона "О науке и государственной научно-технической политике" и статью 11 Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации"» (ФЗ-397) предполагают форсировать реформу аттестации нового пополнения кандидатами и докторами наук кадровой составляющей об-



разования и науки по западному образцу, тогда как система высшего образования и система подготовки кадров высшей квалификации возвращает отечественные образовательные традиции, включая подготовку кадров высшей квалификации. Очевидно, что написание диссертации как целостного научного труда по результатам выполненных научных исследований является убедительным доказательством научной зрелости соискателя ученой степени.

В то же время истинные причины кризиса системы подготовки кадров высшей квалификации в основном в недостаточном финансировании образования и науки. Поэтому в принятых ВАК рекомендациях невольно просматривается, прежде всего, стремление к сокращению расходов и на систему подготовки, и на систему аттестации кадров высшей квалификации. Реальной проблемой подготовки и аттестации научных и научно-педагогических кадров являются не сложности процедуры защиты диссертаций, а дефицит престижа научной и педагогической профессий, нехватка адекватного социального статуса ученого и педагога, соответствующего значимости их социальной миссии.

Остается лишь задать ряд вопросов, которые возникают при прочтении приведенных выше рекомендаций ВАК. С какой целью и зачем всё это делается? Как планируемые преобразования скажутся на качестве защищаемых диссертаций и уровне подготовки кадров высшей квалификации? Как планируемые преобразования системы аттестации кадров высшей квалификации скажутся на характере взаимоотношений между сотрудниками как образовательных, так и научных организаций?



*Заслуженный работник высшей школы, лауреат премии Правительства РФ в области образования (2004, 2012 гг.), профессор В.С. Сенашенко*

## С ЛЮБИМЫМИ НЕ РАССТАВАЙТЕСЬ!

*Заметкой о поэте Александре Сергеевиче Кочеткове мы продолжаем цикл статей про выдающихся выпускников Московского университета, посвященный 270-летию МГУ.*

*...По законам фуги*

*Растите мысль, катайтесь на коньках, –  
И страшный суд придется отложить.*

Поэта Александра Сергеевича Кочеткова мало кто помнит, но многие знают его «Балладу о прокуренном вагоне», известную по строчке «С любимыми не расставайтесь!», прозвучавшую в фильме «Ирония судьбы...» Э. Рязанова в 1975 году, который многие россияне традиционно смотрят каждый год. Этой же строкой была названа пьеса А. Володина, по которой в 1979 году был снят одноименный фильм. Стихотворение это было написано в далеком 1932 году, а впервые опубликовано только в 1966 в альманахе «День поэзии». История написания «Баллады...» впечатляет.

Александр Сергеевич отдыхал у родителей жены в Ставропольском крае, но пора было уже ехать по делам в Москву, а уезжать очень не хотелось, и жена смогла уговорить его остаться еще на три дня, билеты были сданы. Это спасло поэту жизнь! Поезд «Сочи – Москва», на котором он должен был ехать, попал в страшную аварию на станции Люблино-Дачное (погибло 36 человек, 51 человек пострадал, начальник станции был расстрелян, дежурный, сторож и сигналист получили сроки). Друзья поэта в Москве были уверены, что он погиб. По возвращении в первом же письме Александр Сергеевич отправил «Балладу...» своей жене.



*Жена поэта, Инна Григорьевна, любовь к которой в прямом смысле слова спасла Александру Сергеевичу жизнь*

**Баллада о прокуренном вагоне**

Как больно, милая, как странно,  
Сроднясь в земле, сплетясь ветвями, —  
Как больно, милая, как странно  
Раздваиваться под пилой.  
Не зарастёт на сердце рана,  
Прольётся чистыми слезами,  
Не зарастёт на сердце рана -  
Прольётся пламенной смолой.  
— Пока жива, с тобой я буду —  
Душа и кровь неразделимы, —  
Пока жива, с тобой я буду —  
Любовь и смерть всегда вдвоём.  
Ты понесёшь с собой повсюду —  
Ты понесёшь с собой, любимый, —  
Ты понесёшь с собой повсюду  
Родную землю, милый дом.  
— Но если мне укрыться нечем  
От жалости неисцелимой,  
Но если мне укрыться нечем  
От холода и темноты?  
— За расставаньем будет встреча,  
Не забывай меня, любимый,  
За расставаньем будет встреча,  
Вернёмся оба - я и ты.  
— Но если я безвестно кану —  
Короткий свет луча дневного, —  
Но если я безвестно кану  
За звездный пояс, в млечный дым?  
— Я за тебя молиться стану,  
Чтоб не забыл пути земного,  
Я за тебя молиться стану,  
Чтоб ты вернулся невредим.  
Трясаясь в прокуренном вагоне,  
Он стал бездомным и смиренным,  
Трясаясь в прокуренном вагоне,  
Он полуплакал, полуспал,  
Когда состав на скользком склоне  
Вдруг изогнулся страшным креном,  
Когда состав на скользком склоне  
От рельс колеса оторвал.



Нечеловеческая сила,  
В одной давилъне всех калеча,  
Нечеловеческая сила  
Земное сбросила с земли.  
И никого не защитила  
Вдали обещанная встреча,  
И никого не защитила  
Рука, зовущая вдали.  
С любимыми не расставайтесь!  
С любимыми не расставайтесь!  
С любимыми не расставайтесь!  
Всей кровью прорастайте в них, —  
И каждый раз навек прощайтесь!  
И каждый раз навек прощайтесь!  
И каждый раз навек прощайтесь!  
Когда уходите на миг!

«Баллада...» приобрела огромную популярность в годы Великой Отечественной войны, ее переписывали, читали наизусть, она стала неофициальным гимном эвакуации.

Александр Сергеевич родился 12 мая 1900 года в семье железнодорожного служащего недалеко от станции Лосиноостровская. Стихи писать Александр начал в 14 лет. В 1917 году он окончил гимназию и поступил на филфак МГУ, сохранив свое увлечение поэзией, а Вера Меркулова и Вячеслав Иванов стали его первыми наставниками. После окончания университета поэт работал переводчиком. Он переводил очень популярные в 20-х годах XX века произведения: Шиллера, Бомарше, Корнеля, Расина, Гюго, восточных (Хафиза, Анвари, Фару, Унсари) и прибалтийских авторов, которые много печатались, и переводы эти не устаревают. А вот собственные стихотворения поэта были изданы при его жизни лишь раз в 1926 году в альманахе «Золотая зурна». Почему? Современники вспоминали, что он был необычайно скромн и застенчив, стеснялся ходить по редакциям со своими стихами, а если стихи и попадали в редакцию, то боялся идти за ответом, страшился отказа. Он был всегда приветлив и добродушен, относился с благоговением к любому живому существу. Когда он работал на даче в Черкизово-Старках, птицы залетали в окно и садились ему на голову и плечи, но он их не прогонял, ведь птицы — это небесные посланники...



*А.С. Кочетков на даче в Песках. Лето 1940. Фотография Л.В. Горнунга.  
Архив Дома-Музея Марины Цветаевой*



Александр Сергеевич работал исключительно в русле классического стиха, но близкие по духу поэты его ценили. Друг поэта Лев Озеров, который составил и подготовил и издал в 1985 году книгу стихотворений и поэм «С любимыми не расставайтесь», написал о них: «Стихи Александра Кочеткова отличаются отточенностью формы и классическим изяществом». В 1974 году в издательстве «Советский писатель» отдельной книгой вышло самое крупное произведение Кочеткова – драма в стихах «Николай Коперник». Были опубликованы две его одноактные пьесы: «Голова Гомера» – о Рем-

бранте и «Аделаида Граббе» – о Бетховене. Вышли циклы лирических стихотворений в «Дне поэзии», в журналах «Памира» и «Литературная Грузия». Остальная часть наследия поэта (лирика, поэмы, драмы в стихах, переводы) так и остается в архиве.

Александра Сергеевича уважала Анна Ахматова, с Мариной Цветаевой он дружил, она гостила на у него на даче вместе с сыном Георгием (Муром), которого Александр Сергеевич однажды спас во время купания, что сделало дружбу еще крепче.

Поэт умер 1 мая 1953. Если о жизни его нам известно очень мало, то о смерти – вообще ничего. Долгое время неизвестно было даже место захоронения урны с его прахом, его нашли только в 2014 энтузиасты Общества некрополистов в колумбарии Донского кладбища. Теперь на нише установлена плита с портретом и со строчками из «Баллады о прокуренном вагоне».

*Савина М.К.*

## ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ГАГАРИН

### 55 ЛЕТ СО ДНЯ ГИБЕЛИ

9 марта 1934 г. - 27 марта 1968 г.

*Наша история*



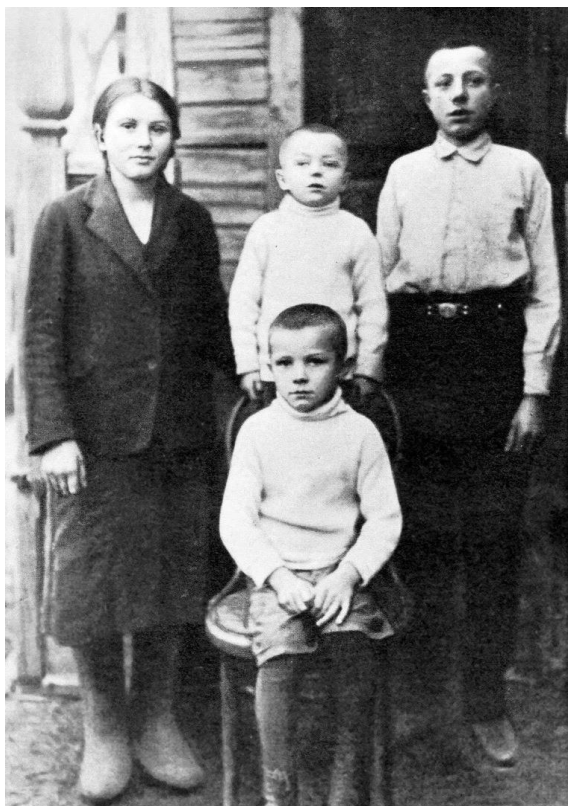
*«Это не моя личная слава. Разве я бы мог проникнуть в космос, будучи одиночкой? Это слава нашего народа».*



*Нет слов. Встреча на Земле.*



*«И если тем не менее я решаюсь на этот полет, то только потому, что я коммунист, что имею за спиной образцы беспримерного героизма моих соотечественников — советских людей».*



На этой фотографии сестра и три брата. самого младшего на этом снимке, Борю, немцы повесят на шарфике, и родным удастся спасти его в самый последний момент. После войны он выучится на рабочего, будет трудиться на радиоламповом заводе.

Двух старших немцы угонят в Германию, но они сумеют сбежать по дороге и присоединятся к частям Красной Армии. Валентин станет плотником, а девочка, Зоя, закончит курсы медсестер и, когда вырастет, будет работать в детской больнице города.

Ну а мальчик, что сидит на стуле, утром 12 апреля 1961 года скажет: «Поехали!»

*[https://vk.com/al\\_feed.php](https://vk.com/al_feed.php)*

*Подборка Показеева К.В.*



## СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ПРОФЕССОРА В.В. БЕЛОКУРОВА С ДНЕМ 8 МАРТА	2
ПРИКАЗ ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА	2
НАГРАДЫ СОТРУДНИКОВ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА	3
БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР В 2022 ГОДУ	3
ИЗ ИСТОРИИ ЛАБОРАТОРИИ АКУСТИКИ И ГИДРОАКУСТИКИ КАФЕДРА МАГНЕТИЗМА ПРИНИМАЕТ ШКОЛЬНИКОВ	7
КАФЕДРА ФИЗИКИ КОСМОСА	14
МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ НЕЙТРИНО	18
НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ТЕТРАНЕЙТРОНА	27
СОТРУДНИЦЫ КАФЕДРЫ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ – ЗАСЛУЖЕННЫЕ РАБОТНИКИ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	32
ПОЗДРАВЛЯЕМ ВЕДУЩЕГО ЭЛЕКТРОНИКА КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА НАИЛЮ ХАСЬЯНОВНУ ВОЛКОВУ С ЮБИЛЕЕМ И 8 МАРТА!	39
К ЮБИЛЕЮ АЛЕКСАНДРА ТУРСУНОВИЧА РАХИМОВА	41
В КАКОЙ МЕРЕ ОПРАВДАН КУРС НА ФОРСИРОВАННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛА КАНДИДАТОВ И ДОКТОРОВ НАУК?	42
С ЛЮБИМЫМИ НЕ РАССТАВАЙТЕСЬ!	43
ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ГАГАРИН. 55 ЛЕТ СО ДНЯ ГИБЕЛИ.	44
СОДЕРЖАНИЕ	49
	53
	56

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.

06.03.2023

Заказ \_\_\_\_\_. Тираж 60 экз.

Отпечатано в Отделе оперативной печати  
физического факультета МГУ