



Факультет в 2019 году

*Некоторые итоги деятельности факультета в 2019 году
из отчетного доклада декана физического факультета
профессора Н.Н. Сысова*

Мы активно развиваемся, что подтверждают результаты мировых рейтингов.

По версии QS World University Rankings by Subject по направлению «Физика и астрономия» в 2019 году МГУ занял 26 место. В России мы заняли самую высокую позицию, поднявшись в рейтинге по сравнению с прошлым годом.

Сейчас МГУ находится на шестом месте в мире по версии QS по критерию востребованности выпускников в области физики и астрономии. На пятом месте идет Оксфордский университет, а на седьмом — Калифорнийский университет в Беркли. Поздравляем с этим большим успехом всех выпускников и сотрудников физического факультета МГУ.

В рейтинге лучших университетов мира U.S. News по направлению «Физика» мы заняли 16 место.

Еще одно наше важное достижение — это первое место по количеству публикаций в журналах по сравнению с другими подразделениями МГУ.



*Декан физического факультета
Московского государственного университета
профессор Н.Н. Сысов*

СОДЕРЖАНИЕ

1	НОВОСТИ НАУКИ
18	ПРЕМИИ / НАГРАДЫ
22	КОНФЕРЕНЦИИ
25	ДИССЕРТАЦИИ
27	ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ
30	ИСТОРИЯ

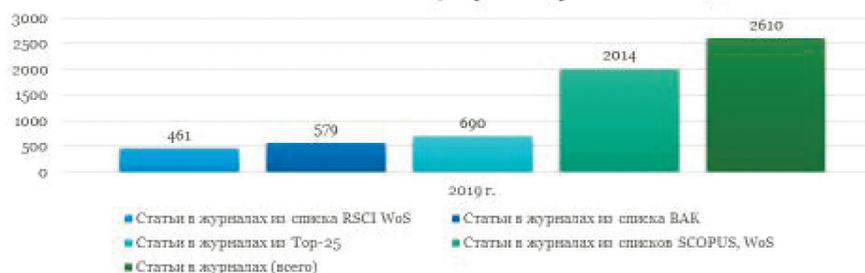
ISSN 2500–2384

Современной тенденцией является оценка работы научной организации по количеству публикаций ее сотрудников и их цитированию. За 2019 год сотрудниками факультета опубликовано свыше 2600 работ, из которых четверть — публикации в престижных международных журналах ТОП-25.

Из данных, представленных на диаграмме, видно, что ежегодно публикационная активность факультета возрастает — наблюдается рост суммарного импакт-фактора сотрудников факультета.

Научная и публикационная деятельность факультета

Количество статей, публикуемых в год



Научная и публикационная деятельность факультета

Вестник МГУ Серия 3. Физика. Астрономия, который имеет импакт-фактор:

год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
IF	0,199	0,225	0,200	0,250	0,281	0,448	0,506	0,580

Журнал издаётся шесть раз в год, переводится на английский язык и распространяется онлайн издательством на платформе Springer. Журнал индексируется во всех основных библиографических базах, включая Web of Science, Scopus и РИНЦ.

Ученые записки физического факультета Московского Университета

В журнале публикуются статьи сотрудников, аспирантов и студентов МГУ и других ВУЗов и научных институтов.

Бюллетень «Новости науки физического факультета МГУ»

Журнал издаётся один раз в два месяца (6 выпусков в год).

«Вестник Московского университета. Физика. Астрономия» издаётся шесть раз в год, переводится на английский язык и распространяется онлайн издательством на платформе Springer. Журнал индексируется во всех основных библиографических базах, включая Web of Science, Scopus и РИНЦ. Журнал «Физика. Астрономия» — единственный журнал серии Вестник МГУ, который имеет импакт-фактор, причём он постоянно растёт.

На факультете также издаётся электронный журнал «Ученые записки физического факультета», который индексируется в РИНЦ.

Физический факультет выпускает бюллетень «Новости науки» — новое информационное издание, целью которого является освещение научных достижений и информирование о событиях в жизни университетских физиков.

Подводя итоги нового приёма, можем обратить внимание на рекордные показатели 2019 года: в этом году 458 студентов зачислено на 1 курс бакалавриата (показатели приема 2018 года — 380) и 298 ребят поступило в магистратуру (2018 год — 268).

При этом проходной балл резко поднялся: 354 по сравнению с 320 в прошлом году.

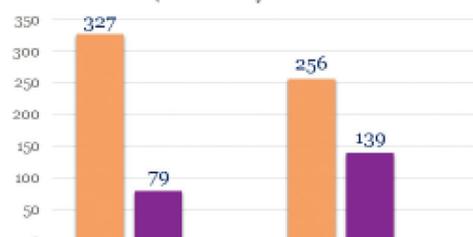
В 2019 мы выпустили 327 бакалавров и 256 магистров. Более половины, обучающихся в магистратуре, получили диплом «с отличием».

96 человек в этом году продолжило обучение в аспирантуре, 76 было выпущено.

Общее число абитуриентов, поступивших на бюджетную и контрактную форму обучения

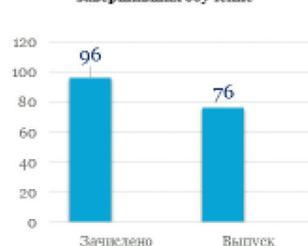


Общее число студентов, получивших диплом с отличием и общее число выпускников



Прием и выпуск в 2019 году

Общее число аспирантов, поступивших и завершивших обучение



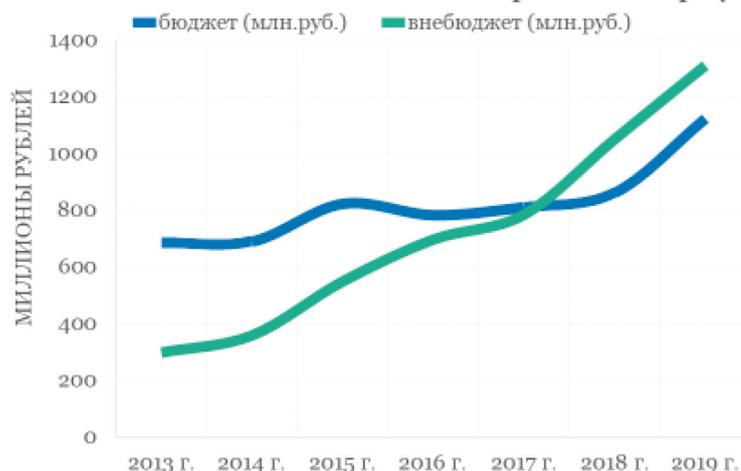
Финансирование физического факультета осуществляется за счет бюджетных и внебюджетных источников. Внебюджетное финансирование формируется главным образом из средств, полученных при выполнении НИР и ОКР, а также от платного обучения.

Соотношение между источниками финансирования существенно изменилось за последние годы. Стоит заметить, что в 2019 году объём средств, полученных из внебюджетных источников даже немного превысил средства от бюджетного финансирования.

Проведены обширные работы по восстановлению и реконструкции объектов физического факультета: ремонт фасадов, восстановление утраченных декоративных элементов главного корпуса, гранитной облицовки и конструктивных элементов крылец, воздухозаборников, работы по обследованию кабельного коллектора.

Затраты на выполнение ремонтно-строительных работ по долям в соотношении финансирования со стороны факультета и ректората приведены на диаграмме.

Финансирование физического факультета



В 2019 году за 10 месяцев получено **1,310 млрд. руб.**
Бюджетное финансирование **1,121 млрд. руб.**

Результаты работы по ремонту и содержанию факультета



Стал лауреатом Государственной премии в области науки и технологий

Митрофанов Валерий Павлович



Избраны членом-корр. РАН

Шкуринов Александр Павлович
Пантелеев Михаил Александрович
Михайлов Валентин Олегович

Награждены орденом Александра Невского

Кашкаров Павел Константинович
Аксенов Виктор Лазаревич

События 2019 года

Удостоен «Звезды Московского университета»

Садовников Борис Иосифович

Стали Лауреатами премии Правительства Москвы для молодых ученых

Волкова Ольга Сергеевна
Эльманович Игорь Владимирович
Кондратенко Михаил Сергеевич



Достижения ученых и преподавателей факультета отмечены наградами на государственном и университетском уровнях.

Сердечно поздравляем наших сотрудников с заслуженными наградами. Трое сотрудников избраны членами-корреспондентами РАН. Трое — стали лауреатами Премии Правительства Москвы для молодых ученых.

Студенты – Лауреаты именных Стипендий

имени Л.А. Арцимовича

Сухарников Владислав Владимирович
Гусейнов Абдул-керим Демирович

имени Р.В. Хохлова

Снигирев Вячеслав Сергеевич
Николаева Ирина Алексеевна

имени Л.А. Арцимовича

Сухарников Владислав Владимирович
Гусейнов Абдул-керим Демирович

имени С.И. Вавилова

Львов Кирилл Вячеславович
Добрынин Дмитрий Михайлович

имени М.В. Келдыша

Макин Евгений Андреевич
Королькова Елизавета Валериевна

имени И.В. Курчатова

Захаров Роман Викторович
Королькова Елизавета Валериевна

имени М.В. Ломоносова

Логинов Артем Борисович
Гандева Екатерина Рифатовна
Пустовалов Виталий Александрович
Дмитриева Ольга Алексеевна
Пестова Полина Андреевна

имени С.Н. Вернова

Крюкова Екатерина Андреевна

имени Д.И. Блохинцева

Путилин Михаил Сергеевич

имени А.Н.Тихонова

Долматов Александр Сергеевич
Котельникова Любовь Михайловна

Достижения наших студентов



- Студентка кафедры физики атмосферы **Кибанова Ольга** удостоена медали РАН
- Студент первого курса **Ибрагимов Алишер** стал победителем Олимпиады Национальной технологической инициативы
- Команда МГУ, в составе которой аспирант кафедры квантовой электроники **Игорь Балашов** и студент кафедры медицинской физики **Иван Павлеев**, принесла бронзу на Imagine Cup: EMEA Regional Final
- Команда студентов физического факультета заняла третье место в Международной олимпиаде по теоретической физике (**Терзиев Николай, Крюкова Екатерина, Мишняков Виктор, Асриян Норайр, Спирidonов Андрей**)

Хотелось бы отметить достижения наших студентов. 21 студент стали лауреатами именных стипендий. Многие команды, в составе которых наши учащиеся, победили в различных российских и международных олимпиадах.

Профессорское собрание физического факультета с участием заместителя председателя Правительства Российской Федерации Ю.И. Борисова и ректора Московского университета академика В.А. Садовниченко



8 ноября 2019 года состоялось заседание Профессорского собрания физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, на котором выступил Заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Ю.И. Борисов и ректор Московского университета академик В.А. Садовниченко. Открыл собрание декан физического факультета профессор Н.Н. Сысоев.

Заседание началось с выступления В.А. Садовниченко, который отметил тесную взаимосвязь фундаментальной науки и прикладных технологий. Ректор рассказал о создании Центров по внедрению фундаментальных исследований, в том числе о развивающейся Научно-технологической долине МГУ «Воробьевы горы».

Ю.И. Борисов в своём выступлении на профессорском собрании физического факультета отметил, что Правительство уделяет большое внимание развитию Оборонно-промышленного комплекса и Вооружённых Сил РФ. Сегодня показатель современного вооружения в среднем по разным видам и родам войск доведен с 16-20% до уровня выше 60%, что гарантированно обеспечивает суверенитет и защиту нашей страны.

В своём выступлении Ю.И. Борисов подчеркнул важность фундаментальной науки и отметил, что фундаментальная наука должна составлять не менее 1% от программы вооружения. Это примерно 200 млрд. рублей, которые необходимо целевым образом тратить на фундаментальные и фундаментально-поисковые исследования.

На собрании говорилось о взаимодействии ОПК с ВУЗами, о перспективных научных исследованиях и технологиях и о подготовке кадров в целях ОПК.

Кадры ОПК — это передовой отряд ученых, инженеров, наших конструкторов, которым под силу создать конкурентоспособное, а иногда и превосходящее аналоги по своим техническим характеристикам системы. В своём выступлении Ю.И. Борисов подчеркнул, что подготовка кадров на базе научных школ ВУЗов — ключ к успешной работе ОПК.

На встрече с Юрием Ивановичем Борисовым в дискуссии принимали участие профессор физического факультета Борис Иосифович Садовников, Владимир Александрович Караваев, Николай Сергеевич Перов,



Владимир Михайлович Липунов, Анатолий Григорьевич Ягола, профессор Андрей Федорович Александров, и доцент Светлана Викторовна Пацаева.

Позже беседа продолжилась в формате круглого стола, где Ю.И. Борисов встретился со студентами и аспирантами факультета. Заместитель председателя Правительства рассказал ребятам про свой жизненный путь и поделился опытом работы, рассказал про государственную программу вооружения и оборонно-промышленный комплекс. На встрече ребята задавали интересные их вопросы, и искренне поблагодарили Юрия Ивановича за встречу.

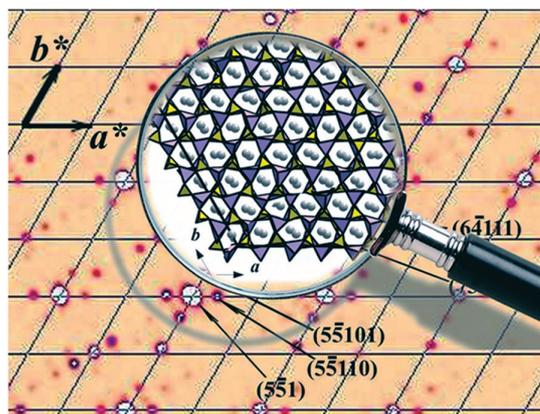


Обнаружена соразмерно модулированная структура цезий марганцевого фосфата

Установлены особенности кристаллической структуры и при низких температурах исследованы физические свойства новой полиморфной разновидности цезиевого фосфата двухвалентного марганца CsMnPO_4 .

Авторы работы: ведущий научный сотрудник геологического факультета МГУ Л.В. Шванская и профессор физического факультета МГУ А.Н. Васильев

Соразмерно модулированная кристаллическая структура этого соединения представляет собой каркас, образованный чередующимися вдоль одного из кристаллографических направлений слоев из шестичленных колец MnO_4 и PO_4 тетраэдров, связанных вершинами. Каналы каркаса включают катионы цезия, как показано на рисунке. Большинство катионов распределены вдоль осей a и b элементарной ячейки с псевдопериодами в пять раз меньшими значений параметров a и b . Псевдопериод нарушается, главным образом, расположением атомов кислорода, т.е. фактически ориентацией марганцевых и фосфорных тетраэдров. Основное отличие кристаллических структур ромбической $\alpha\text{-CsMnPO}_4$ и соразмерно модулированной моноклинной $\beta\text{-CsMnPO}_4$ фазы связано с характером распределения кислорода в анионной подрешетке. В структуре α фазы часть позиций атомов кислорода расщеплена, чего не наблюдается в $\beta\text{-CsMnPO}_4$. Предполагается, что возможен



структурный переход второго рода между полиморфами, связанный с разворотом тетраэдров. При этом упорядочение атомов кислорода приводит к пятикратному увеличению параметров a и b элементарной ячейки в случае β -фазы. Наблюдаемая модуляция последней может быть связана со стремлением двухвалентного марганца, находящегося в тетраэдрической координации, достроить полиэдр до наиболее энергетически выгодно кислородного окружения — пятивершинника.

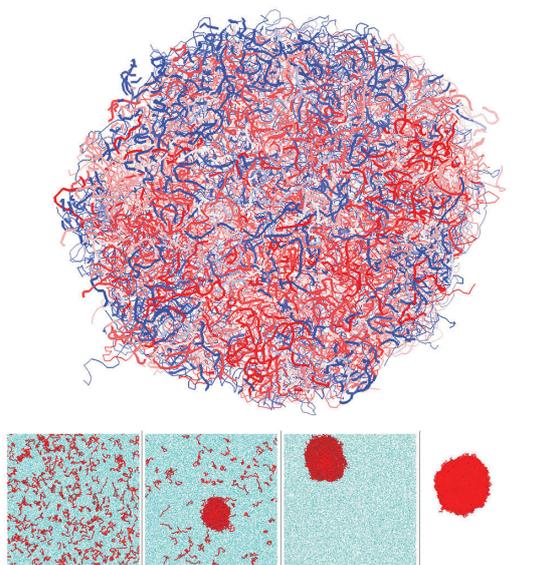
Данные как намагниченности, так и удельной теплоемкости для β -CsMnPO₄ указывают на установление

дальнего антиферромагнитного упорядочения при температуре ниже $T_N = 4,5$ К с постоянной Вейсса $\Theta = -2$ К, полученной из данных обработки кривой температурной зависимости магнитной восприимчивости.

«A commensurately modulated crystal structure and physical properties of novel polymorph of the caesium manganese phosphate, CsMnPO₄». N. Bolotina, O. Yakubovich, L. Shva-nskaya, O. Dimitrova, A. Volkov, A. Vasiliev. Acta Cryst. **B** 75, 822 (2019).

Новый сверхбыстрый модулятор оптического излучения

Создана компьютерная модель, с помощью которой можно изучать внутреннюю структуру, свойства и синтез частиц микрогеля. Результаты работы позволяют расширить область применения таких материалов. В разработке принимали участие ученые физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Института химической физики имени Н.В. Семенова РАН. Исследования поддержаны грантом Президентской программы исследовательских проектов Российского научного фонда.



Микрогели — это частицы нанометрового размера, состоящие из сшитых между собой полимерных цепочек. Такие вещества используются в медицине, потому что они изменяют свои размеры при нагревании до температуры человеческого тела. Такие микрогели могут входить в состав лекарственных капсул направленного действия (доставка лекарства происходит в заданную область организма, ткани или клетки) или специальных пластырей для ускорения заживления ран. Хотя учеными разных стран ведутся разработки по использованию микрогелей в медицине, фармацевтике, косметологии и легкой промышленности, их широкое применение ограничено. Компьютерная разработка команды физиков МГУ позволяет решить эту проблему.

«Теперь мы можем точно знать, сколько времени надо проводить реакцию синтеза микрогелей, какие вещества предпочтительнее использовать, как контролировать рост частиц, чтобы потом получить качественный готовый продукт», — объясняет руководитель проекта Елена Кожунова, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник физического факультета МГУ.

Каждая молекула вещества (мономер) в процессе синтеза микрогеля образует структурное звено и может многократно соединяться с другими мономерами. Так происходит рост полимерных (то есть состоящих из мономеров) цепей, а из низкомолекулярного вещества формируется высокомолекулярное соединение, синтез которого получил название «полимеризация». Для микрогелей это достаточно долгий процесс. «Это сложные, плохо поддающиеся изучению водорастворимые системы, и делать выводы только по данным экспериментов непросто. Именно поэтому так важно создать компьютерную модель микрогелей, — пояснила Елена Кожунова, — это значительно упрощает работу». В зависимости от заданных параметров — растворителей, реактивов, концентрации исходных веществ — можно достаточно быстро получить результаты синтеза на мониторе.

Для создания модели была сформирована группа экспериментаторов и теоретиков, занимающихся компьютерным моделированием. Исследования велись параллельно, и в результате ученые-теоретики получили точную модель эксперимента, который проводили практики. Благодаря современным суперкомпьютерам (все расчеты выполнены на суперкомпьютере «Ломоносов-2») ученые впервые смогли достаточно подробно изучить и описать протекание всего процесса синтеза, итоговую структуру с точностью до связей между частицами. В

специальных программах можно посмотреть на частицу микрогеля, проанализировать положения отдельных полимерных цепочек, предсказать необходимое время реакции в зависимости от заданных параметров.

С помощью новой компьютерной модели, как говорят ученые, можно регулировать процесс производства микрогелей в зависимости от нужных характеристик будущего продукта. А это, в свою очередь, открывает

новые возможности применения микрогелей в различных отраслях науки и промышленности.

«Towards the realistic computer model of precipitation polymerization microgels». V.Yu. Rudyak, E.Yu. Kozhunova, A.V. Chertovich. Scientific Reports. V. 9, 13052 (2019).

Высокоапертурная фокусировка фемтосекундного лазерного излучения: начальные условия для задач распространения в нелинейной среде

Сотрудники физического факультета и МЛЦ МГУ совместно с коллегами из ФИАН им. П.Н. Лебедева, Греции и Франции разработали фазово-амплитудную коррекцию поля начальных условий для моделирования высокоапертурной фокусировки фемтосекундного лазерного излучения с помощью непараксиальных нелинейных уравнений распространения



Фокусировка оптического излучения является очевидным методом увеличения интенсивности света в области фокальной перетяжки, и в настоящее время фокусировка в вакуум фемтосекундных импульсов петаваттного уровня мощности позволяет получить интенсивности порядка 10^{23} Вт/см². Фемтосекундное лазерное излучение умеренной пиковой мощности ~ 50 ГВт (энергия 2 мДж при длительности 40 фс), сфокусированное в

воздух линзой (параболическим зеркалом, высокоапертурным объективом) с фокусным расстоянием 5–10 см при диаметре пучка около 1 см обеспечивает полную ионизацию среды и развитие в самонаведенной плазме ряда нелинейных эффектов: генерации суперконтинуума, оптических гармоник, терагерцового излучения и т.д.

Для теоретического описания волнового (с учетом дифракции) распространения и фокусировки электромагнитного излучения применяются два основных подхода: вычисление интеграла Кирхгофа и ему подобных или решение уравнений распространения, причем только последние практически применимы для описания задач нелинейной оптики объемных сред. Уравнения распространения построены на естественном для лазерного излучения разделении координат на эволюционную продольную z и поперечные x и y . Обычно они описывают лишь параксиальные задачи, то есть распространение под малым углом к оптической оси. Фокусировка в параксиальном приближении соответствует случаю тонкой линзы, задающей лазерному пучку параболический фазовый набег.

Существуют и непараксиальные уравнения распространения для описания большой (десятки градусов) расходимости/сходимости излучения, в т.ч. с учетом продольной компоненты поля. Но оказалось, что и эти более общие уравнения неудовлетворительно описывают жесткую фокусировку излучения, если распределение поля после фокусирующего элемента (начальные условия) задано в той же форме, что и для параксиальных уравнений. Это объясняется тем, что тонкий фокусирующий элемент, будь то зеркало или линза, не может обеспечить высокоапертурную фокусировку.

Таким образом, для теоретического описания жесткой фокусировки лазерного излучения (а также нелинейных эффектов, развивающихся в перетяжке пучка) с помощью уравнений распространения отсутствует ключевой элемент — начальные условия в плоскости $z=0$, проходящей через вершину фокусирующего зеркала. Построим эти начальные условия в приближении геометрической оптики, справедливой вдали от фокуса для макроскопических фокусирующих элементов. Луч, падающий на поверхность на расстоянии $r=\sqrt{x^2+y^2}$ от оси фокусирующего элемента (рис. 1, красная сплошная линия), отражается и распространяется в направлении геометрического фокуса. Его мысленное продолжение пересекает плоскость $z=0$ в точке $R=r+z_s(r) \tan 2\alpha$, где α — угол между касательной к отражающей поверхности $z_s(r)$ и плоскостью $z=0$. Это точка фиктивного источника излучения. Если к лучу, испущенному из нее, применить уравнения геометрической оптики (для эйконала и амплитуды), то можно построить искомые начальные условия, в которых корректируется не только фаза, но и вектор комплексной огибающей поля (как по модулю, так и по направлению). Результаты численного моделирования жесткой фокусировки с помощью уравнений распространения и разработанных начальных условий находятся в отличном согласии с точными решениями уравнений Максвелла, для численного интегрирования которых требуется большое количество вычислительных ресурсов (см. рис. 2, на котором показана зависимость максимальной интенсивности от расстояния распространения z).

Строгий метод вывода начальных условий для непараксиальных уравнений распространения достаточно громоздкий, однако распределение фазы в пучке может

быть получено из простых геометрических соображений: электрическое поле для начальных условиях, которые мы хотим построить, должно отставать на расстояние Δ , соответствующее длине оптического пути, обозначенное на рис. 1 зелеными линиями: $\Delta=z_s(1+1/\cos 2\alpha)$; в параксиальном приближении такой луч задерживается на оптический путь $\Delta_p=2z_s$ (синяя линия на рис. 1). При больших углах фокусировки разница между величинами Δ и Δ_p становится настолько существенной, что при использовании параксиальных начальных условий Δ_p воспроизвести поле в фокусе элемента оказывается невозможным.

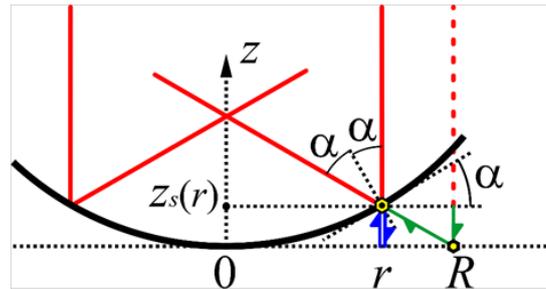


Рис. 1. Геометрия отражения света от высокоапертурного аксиально симметричного оптического элемента. Красными сплошными линиями показаны падающий и отражённый лучи. Зеленые стрелки показывают оптический путь луча за поверхность, синие — его параксиальное приближение.

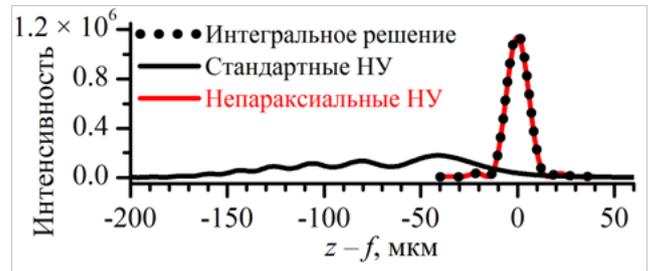


Рис. 2. Сравнение решения уравнения распространения со стандартными и непараксиальными начальными условиями и расчета с помощью векторных дифракционных интегралов для пучка диаметром 2 мм, сфокусированного параболическим зеркалом с фокусным расстоянием $f = 3$ мм.

Итак, найден способ построения начальных условий для уравнений распространения, позволяющий корректно описывать острую фокусировку лазерного излучения с использованием зеркал с различной геометрией отражающей поверхности. На основе предложенного способа возможно описание распространения сфокусированного излучения в среде с учётом нелинейных эффектов в условиях реального эксперимента. В группе профессора О.Г. Косаревой они активно применяются в численном моделировании нелинейных задач распространения.

“Tight focusing of electromagnetic fields by large-aperture mirrors”. D.E. Shipilo, I.A. Nikolaeva, V.Yu. Fedorov, S. Tzortzakis., A. Couairon., N.A. Panov, O.G. Kosareva. Physical Review E 100, 033316 (2019).

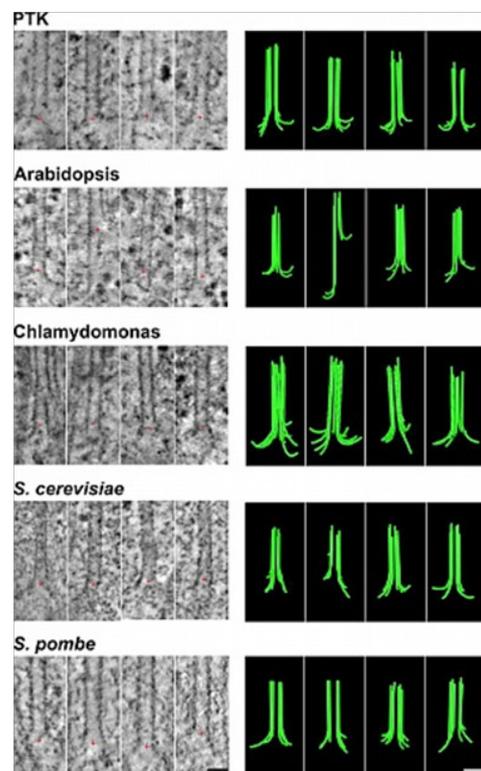
Новая теория механизма сборки цитоскелетных микротрубочек

Учёные физического факультета МГУ совместно с американскими коллегами из Университета Колорадо открыли новый механизм сборки микротрубочек и проанализировали причины их необычного бистабильного поведения в клетке. Результаты опубликованы в журналах *Journal of Cell Biology* и *Plos Computational Biology*. Первая публикация вошла в престижную коллекцию «цитируемых статей по структурной клеточной биологии, вышедших в журнале *Journal of Cell Biology* за последние годы». Исследования поддержаны грантом Российского научного фонда (РНФ). Прогресс в понимании молекулярных механизмов работы микротрубочек может вывести разработку лекарств от рака на качественно новый уровень.

«Основным объектом нашего исследования были микротрубочки, образующие внутренний скелет живой клетки. Микротрубочки состоят из димеров белка тубулина и динамически заполняют клетку за счет необычного свойства — способности спонтанно переключаться от сборки к разборке. Благодаря этому, они выполняют множество функций, в том числе находят хромосомы во время клеточного деления и распределяют генетический материал между дочерними клетками», — объясняет руководитель проекта, старший научный сотрудник кафедры биофизики физического факультета МГУ кандидат физико-математических наук Никита Гудимчук.

В цитоплазме клетки белки тубулина связаны с молекулами гуанозинтрифосфата (ГТФ). Комплексы ГТФ и тубулина встраиваются в концы микротрубочек, удлиняя их. Вскоре после встраивания, однако, происходит химическая реакция превращения молекулы ГТФ в кармане тубулина в молекулу гуанозиндифосфата (ГДФ). Поэтому большая часть микротрубочки состоит из тубулинов, связанных с ГДФ, а ГТФ-тубулины обнаруживаются лишь на концах микротрубочек, создавая там стабилизирующую зону. Потеря ГТФ-тубулинов с концов микротрубочек приводит к быстрой разборке микротрубочек. Ранее считалось, что причиной этого является разная кривизна тубулинов в комплексе с ГТФ и ГДФ. В частности, ГТФ предполагался более прямым и поэтому «более подходящим» для построения микротрубочки, а ГДФ-тубулин — более изогнутым. Эта модель подразумевала разный вид концов микротрубочек во время сборки и разборки.

Используя криоэлектронную томографию ученые, наоборот, обнаружили, что концы микротрубочек всегда состоят из изогнутых протофиламентов, подразумевая, что различие между ГТФ- и ГДФ-тубулинами кроется не в их кривизне. Чтобы объяснить эти данные, ими была предложена новая модель сборки микротрубочки, согласно которой удлинение микротрубочки происходит за счет смыкания изогнутых нитей тубулина на



На фото: Криоэлектронные томограммы и реконструированные по ним модели растущих концов микротрубочек в пяти различных организмах: в животных клетках (PTK), в высших растениях (*Arabidopsis*), в одноклеточных водорослях (*Chlamydomonas*) и двух видах дрожжей. Масштабный отрезок 25 нм.

растущем конце, которые часто выпрямляются и смыкаются благодаря тепловым колебаниям. Детальное полно-атомное моделирование таких нитей с помощью метода молекулярной динамики в соавторстве с коллегами биологического факультета МГУ, подтвердило сходство кривизны ГТФ- и ГДФ тубулинов. Авторы пришли к выводу, что присутствие молекулы ГТФ внутри тубулина делает связь между его димерами более гибкой, позволяя легче встраиваться в тело микротрубочки, несмотря

на присущую этому белку кривизну. Это дает новый молекулярный механизм для переключения микротрубочек от сборки к разборке.

Полученные результаты имеют существенное значение как для фундаментального понимания регуляции микротрубочек и зависимых от них процессов в клетках, так и для медицины. Остановка динамики микротрубочек препаратами химиотерапии является одной из наиболее успешных стратегий блокирования деления раковых опухолей. Однако механизмы работы многих таких препаратов до конца не понятны, что затрудняет их рациональный дизайн и улучшение. В связи с этим, прогресс в понимании молекулярных механизмов работы микротрубочек может вывести разработку таких лекарств на качественно новый уровень.

«Microtubules grow by the addition of bent guanosine triphosphate tubulin to the tips of curved protofilaments». J.R. McIntosh, E. O'Toole, G. Morgan, J. Austin, E. Ulyanov, F. Ataullakhanov, N. Gudimchuk. *J Cell Biol* (2018) 217 (8): 2691–2708.

«Mechanical properties of tubulin intra- and inter-dimer interfaces and their implications for microtubule dynamic instability». V.A. Fedorov, Ph.S. Orekhov, E.G. Kholina, A.A. Zhmurov, F.I. Ataullakhanov, I.B. Kovalenko, N.B. Gudimchuk. *Plos Computational Biology*. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007327> (2019).

Сканирующая зондовая микроскопия для исследования формирования двумерных материалов

Исследования физических свойств графена, удостоенные Нобелевской премии в 2010 г., инициировали значительное возрастание интереса к материалам с выраженным двумерным характером электропроводности, теплопроводности, механических характеристик и других свойств. К числу таких двумерных (2D) материалов кроме графена относятся дисульфиды (MoS_2 , WS_2 , перовскиты и др.). Для проведения научных исследований часто используются образцы таких материалов, получаемые с помощью механического расщепления с помощью клейкой ленты (т.н. скотч-тапе / scotch-tape метод). Однако такие методики не в состоянии обеспечить требуемые для практических применений воспроизводимые характеристики 2D материалов и устройств на их основе. Одним из альтернативных способов изготовления одно- и много-слойных 2D материалов может служить осаждение из газовой фазы (CVD). При разработке CVD методов возникает необходимость оптимизации их параметров с целью получения материалов с заданными структурно-морфологическими характеристиками. Одним из существенных отличий 2D атомных слоев от объемных форм материалов факторов является интенсивное взаимодействие с окружающей средой. В частности это может приводить к изменению их свойств из-за контакта с окружающей атмосферой при переносе синтезированных образцов из ростовой камеры для анализа тем или другим методом. Это обстоятельство значительно затрудняет проведение исследований с использованием традиционных методик, предполагающих ex-situ исследования, для установления зависимости свойств получаемых материалов от параметров процессов, используемых при их получении.

Для решения указанной проблемы, повышения адекватности и информативности исследования процессов формирования 2D структур с использованием CVD была разработана уникальная методика, позволяющая проведение анализа получаемых материалов с помощью сканирующей зондовой микроскопии непосредственно в ростовой камере, т.е. без их контакта с окружающей атмосферой. В ходе работы была создана экспериментальная установка, включающая CVD реактор с установленным в нем сканирующим туннельным микроскопом (СТМ). Конструкция микроскопа позволяла проведение исследований топологии поверхности в заданной области поверхности образца непосредственно в реакторе (т.е. без контакта с воздушной атмосферой) до и после осаждения 2D слоев, а также изучение изменения топологии слоев под воздействием (контактным или в результате приложения разности потенциалов) зонда СТМ. Уникальность разработанной установки состоит в том, что она обеспечивает измерения в заданной локальной области после проведения осаждения при температурах порядка 1000° в газовой смеси требуемого состава.

Один из результатов, полученных при использовании созданной установки для исследования процессов CVD формирования 2D много-слойного графена, представлен на рис. 1. На этом рисунке показаны топологии поверхности исходной подложки никеля (голубой цвет), а также осажденного графенового слоя (красный цвет). Типичной закономерностью, выявленной в результате проведенного анализа, является формирование наполненных газом «пузырей» в осажденном 2D материале. Морфология таких покрытий может изменяться при сканировании зондом с приложенному к нему дополни-

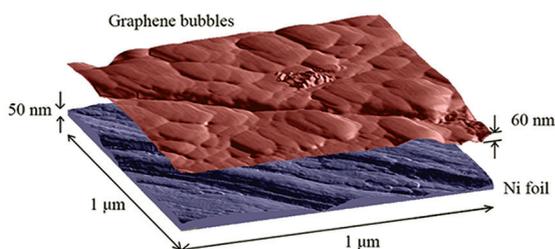


Рис. 1 СТМ изображения морфологии одной и той же локальной области на поверхности исходной никелевой подложки (голубой цвет) и осажденного на ней графенового слоя (красный цвет).

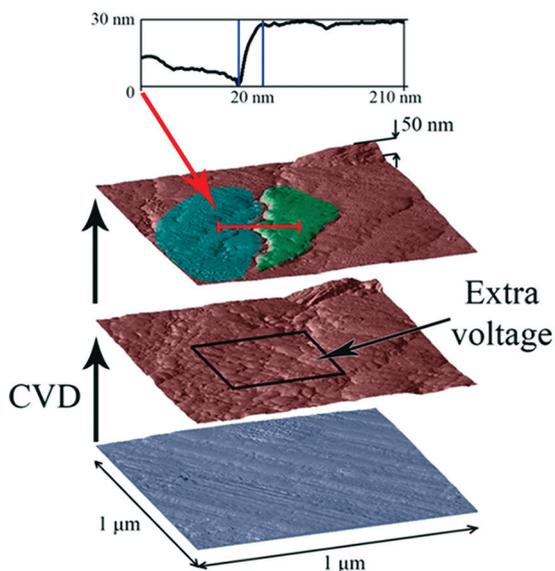


Рис. 2 СТМ изображения одной и той же локальной области на поверхности никелевой подложки (голубой цвет) и осажденного на ней графенового слоя (красный цвет), а также морфологии поверхности графенового слоя, модифицированной в результате сканирования зондом с приложенным к нему дополнительным напряжением (модифицированные области показаны зеленым и бирюзовым). В верхней части рисунка показан профиль поверхности графенового слоя вдоль линии, пересекающей границу модифицированной области.

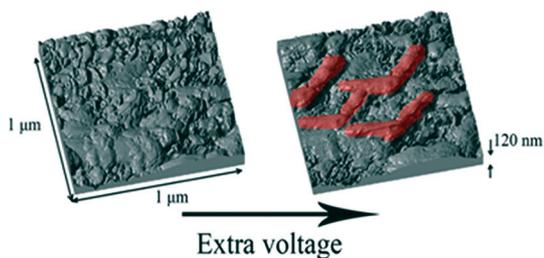


Рис. 3 СТМ изображения графенового слоя, показывающие модификацию исходной морфологии CVD слоя графена (слева) под воздействием напряжения, приложенного к зонду СТМ (справа). Образующиеся под воздействием избыточного напряжения бумеранго-подобные структуры выделены красным цветом.

тельному (по отношению к исследуемой поверхности) напряжению. Данный эффект иллюстрируется СТМ изображениями на рис. 2, где показаны топологии исходной поверхности никелевой подложки (голубой цвет), выращенного на ней графенового слоя (крайний цвет), а также его модификации (изменения топологии) под воздействием дополнительного напряжения, приложенного к зонду (модифицированные области выделены зеленым и бирюзовым цветом); также показан профиль поверхности вдоль линии, пересекающей границу модифицированной области. Полученные данные позволяют не только выявить важные закономерности в характеристиках получаемых материалов, но и предложить методики их направленной модификации, которые могут быть востребованы при формировании приборных структур.

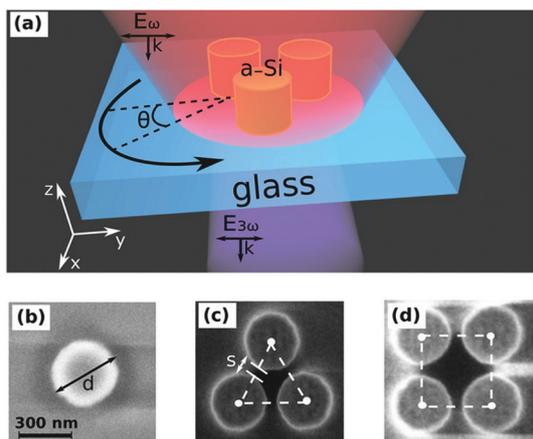
Еще одним примером, демонстрирующим уникальную информативность разработанной методики, позволившую выявить ранее неизвестные особенности свойств CVD графеновых слоев, может служить выявление формирования структур с формой бумеранга. Представленные на рис. 3 изображения показывают топологические изображения таких структур, появляющихся на графеновом слое после воздействия повышенного напряжения определенной величины. Форма выявленных структур по-видимому обусловлена кристаллографическими характеристиками графена. При этом их наличие свидетельствует о наличии особенностей в силе взаимодействия осажденного 2D материала и подложки. Такие особенности могут иметь важное значение для практических применений.

Разработанная методика и экспериментальное оборудование позволяют проведение аналогичных исследований и для других 2D материалов. В качестве примечательной особенности данной работы можно отметить то, что ее планирование и практическое осуществление, включая создание сложного экспериментального оборудования, в значительной степени были выполнены самостоятельно студентом физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Артемом Логиновым. Необходимые дополнительные исследования были выполнены коллективом исследователей, включающих студентов, аспирантов и сотрудников физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, а также сотрудников ИОФ имени А.М. Прохорова РАН и МИЭТ. Работа выполнялась в рамках исследований, поддержанных грантами РФ (17-72-10173) и РФФИ (18-02-01103). Результаты проведенных исследований опубликованы в работе:

«Few-layer graphene formation by carbon deposition on polycrystalline Ni Surface». A.B. Loginov, I.V. Bozhev, S.N. Bokova-Sirosh, E.D. Obraztsova, R.R. Ismagilov, B.A. Loginov, A.N. Obraztsov. *Applied Surface Science* **494** (2019) 1030.

Новый фотонный материал

Сотрудники физического факультета МГУ совместно с коллегами из Нижнего Новгорода, Америки и Австралии разработали оптический материал с искусственно созданной анизотропией нелинейного отклика на основе отдельных кластеров кремниевых наночастиц. Ими было теоретически и экспериментально показано, что, изменяя условия возбуждения системы, можно добиться модуляции интенсивности сигнала третьей оптической гармоники, причем симметрия нелинейного отклика будет совпадать с геометрической симметрией возбуждаемого образца. Новый материал может быть внедрен в платформу существующих мобильных устройств.



Схематическое изображение ТГГ микроскопии изолированных олигомеров. Интенсивность ТН при прохождении измеряется в зависимости от угла азимутального вращения образца; б-г — изображения сканирующего электронного микроскопа исследуемых наночастиц. Мономер — изолированный кремниевый нанодиск (б); тример — три кремниевых нанодиска, лежащих в вертикальной плоскости в вершинах равностороннего треугольника (с); квадрумер — четыре кремниевых диска, лежащие в вершинах квадрата (д).

Образцы наноструктур были изготовлены из кремния стандартными методами микроэлектроники и представляли собой отдельно расположенные кластеры цилиндрических наночастиц на стеклянной подложке: тримеров — частицы расположены в вершинах равностороннего треугольника, квадрумеров — в вершинах квадрата, а также одиночных наночастиц. Геометрические параметры составных элементов каждой наносистемы подбирались таким образом, чтобы структуры эффективно преобразовывали ближнее ИК-излучение в свет ближнего УФ диапазона.

Эффекты, изучаемые в работе, возникают благодаря взаимодействию нанообъектов за счет локальных электромагнитных полей, приводящему к изменению оптического отклика всей системы. «При сближении резонансных наночастиц между ними возникает локальное взаимодействие, приводящее к возбуждению коллективных оптических мод нанокластера, что демонстрировалось нами и в предыдущих работах. Однако сейчас нам удалось управлять этим взаимодействием, изменяя поляризацию лазерного импульса», — рассказал автор статьи, научный сотрудник кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Александр Шорохов.

«При использовании метода нелинейной микроскопии были получены зависимости сигнала третьей оптической гармоники от угла вращения поляризации излучения накачки для трех типов структур: одиночного нанодиска, тримера и квадрумера. Симметрия сигнала, полученного в нелинейном режиме, совпадает с точечной группой симметрии образцов, при этом линейный отклик всех рассматриваемых наноструктур является изотропным», — уточнила автор работы, аспирант кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Мария Кройчук.

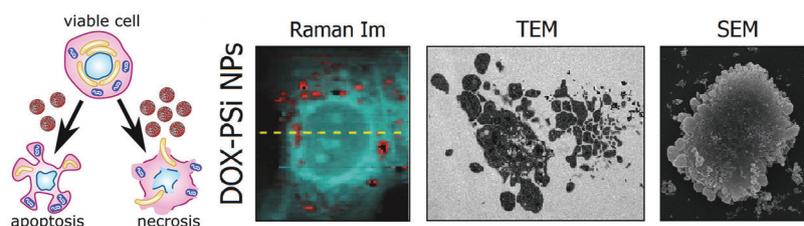
«Представленный в рамках исследования метод, позволяет не только управлять локальным взаимодействием наночастиц, но и характеризовать симметрию экспериментальных структур в дальнем оптическом поле без использования ближнеполюсных методик», — рассказал руководитель научной группы профессор МГУ Андрей Федянин.

Результаты проделанной работы могут быть использованы при создании компактных эффективных управляемых нелинейных частотных преобразователей для задач интегральной нанофотоники. Исследование материала с управляемой анизотропией нелинейного отклика приблизит создание эффективных наноразмерных источников ультрафиолетового излучения с контролируемой интенсивностью выходного сигнала. УФ излучение применяется в медицине, профилактических учреждениях, сельском хозяйстве и т.д., поэтому поиск новых решений для его искусственного получения является актуальной проблемой современной науки. Основным преимуществом рассматриваемого в работе материала является его размер и КМОП-совместимость, позволяющие внедрение источников, например, в так называемую лабораторию на чипе (lab-on-chip) или в платформу существующих мобильных устройств.

«Tailored Nonlinear Anisotropy in Mie-Resonant Dielectric Oligomers». M.K. Kroychuk, D.F. Yagudin, A.S. Shorokhov, D.A. Smirnova, I.I. Volkovskaya, M.R. Shcherbakov, G. Shvets, Yu.S. Kivshar, A.A. Fedyanin. *J. Advanced Optical Materials*. Volume 7, Issue 20, 2019.

Пористый нанокремний поможет в борьбе с раком

Сотрудники физического факультета и факультета фундаментальной медицины МГУ в содружестве с коллегами из Германии впервые продемонстрировали возможность направленного регулирования гибели раковых клеток с использованием наноконтейнеров на основе пористого кремния, загруженных противоопухолевым препаратом.



Наномедицина в настоящее время является одной из наиболее динамично развивающихся областей исследований. Инновационные диагностические и терапевтические методы, которые могут быть достигнуты с использованием нанотехнологий, поднимают современную медицину на новый высокий уровень. Лекарство, загруженное в наноконтейнеры, может быть доставлено в нужное место и в нужное время, тем самым терапевтический эффект проявляется только в зоне локализации заболевания, а побочные воздействия на здоровые клетки и ткани нивелируются. Доставка с помощью наноконтейнеров может изменить фармакодинамику и фармакокинетику лекарственного препарата.

Нарушение программы гибели является одним из свойств устойчивости раковых клеток к лечению. Поскольку клетка может погибнуть по нескольким механизмам важно не только уничтожать нежелательные клетки, но и регулировать по какому механизму они наиболее эффективно способны исчезнуть. Апоптоз является наиболее изученным и часто встречающимся механизмом гибели клеток, который запрограммирован их природой.

«В представленной работе мы впервые предложили и доказали возможность регулируемого запуска апоптоза в раковых клетках различной этимологии с использованием наноконтейнеров на основе наночастиц пористого кремния, заполненных противораковым препаратом — доксорубицином», — рассказала Любовь Осминкина, руководитель лабораторией физических методов биосенсорики и нанотераностики физического факультета МГУ.

С применением комплекса биологических и физических методов *in-vitro* показано, что сами по себе наночастицы пористого кремния не являются токсичными вплоть до очень высоких концентрации даже при продол-

жительных временах взаимодействия с клетками. Наночастицы имеют удельную площадь поверхности 230 м²/г, и их поры заполняются лекарством с эффективностью 48%. Таким образом, беря за факт то, что сами по себе контейнеры не токсичны, легко регулировать дозу лекарства, которое они доставляют в опухолевую клетку. Методом микро-спектроскопии комбинационного (Рамановского) рассеяния света впервые в динамике продемонстрировано, как, попадая внутрь клеток, наноконтейнеры выпускают лекарство, и затем сами полностью растворяются. При этом лекарство, введенное в клетки с помощью наноконтейнеров, оказывает больший терапевтический эффект, чем лекарство доставленное без контейнера. Апоптоз направленно запускается в клетках при воздействии на них наноконтейнеров, доставляющих относительно низкие дозы доксорубицина, высокие дозы доставляемого лекарства приводят к развитию некроза, что подтверждается большим набором методологических подходов.

«Полученные результаты крайне важны для развития дальнейших применений биосовместимых и биоразборимых наноконтейнеров на основе пористого кремния для апоптоз-направленной терапии онкологических заболеваний», — отметил профессор Борис Животовский, руководитель лаборатории исследования апоптоза факультета фундаментальной медицины МГУ.

Проект был поддержан грантами Российского научного фонда.

«Biodegradable porous silicon nanocontainers as an effective drug carrier for regulation of the tumor cell death pathways». P. Maximchik, K. Tamarov, Eu.V. Sheval, E. Tolstik, T. Kirchberger-Tolstik, Zh. Yang, V. Sivakov, B. Zhivotovsky, L. Osminkina. ACS Biomater. Sci. Eng. 2019, 5, 11, 6063-6071.

Лазерная биофотоника проливает свет на биофизические механизмы деформируемости эритроцитов



Доцент А.В. Приезжев



С.н.с. Е.А. Ширшин



Аспирант А.Н. Семенов

Деформируемость красных клеток крови, эритроцитов — это их фундаментальное свойство, обеспечивающее их способность проникать в мельчайшие кровеносные сосуды — капилляры и снабжать кислородом все ткани тела человека. Эритроциты — это клетки максимально высокой специализации. Они осуществляют обмен дыхательных газов, а также транспорт питательных веществ и продуктов межклеточного и тканевого метаболизма. Нарушения газотранспортных процессов приводят к необратимым структурным повреждениям органов и тканей организма. В ходе эволюции для обеспечения наибольшей эффективности газообмена эритроциты лишились многих клеточных подсистем (ядра, митохондрий, цитоплазматического ретикулама), обеспечив тем самым наибольший объем для заполнения молекулами гемоглобина, выполняющими газотранспортную функцию. При циркуляции крови эритроциты вынуждены испытывать значительные механические нагрузки в зависимости от реологических условий кровеносного русла. Эритроциты способны проходить через капилляры, размер которых вдвое меньше размера самой клетки, эффективно изменяя свою форму и размеры для обеспечения наибольшей поверхности для газообмена (рис. 1). В то же время в крупных сосудах, где скорость течения и соответствующие сдвиговые напряжения высоки, эритроциты стабильно сохраняют форму дискоцита для обеспечения наилучших гидродинамических условий течения крови. Такое поведение эритроцитов возможно благодаря их деформируемости, которая обеспечивается за счет оптимальных значений соотношения площади поверхности клетки и ее объема, вязкости внутриклеточного содержимого и жесткости примембранного цитоскелета.

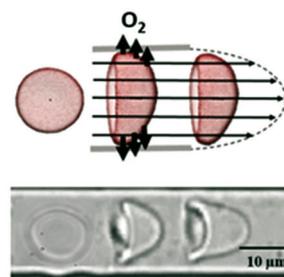


Рис. 1. Изменение формы эритроцита при движении в микроканале вследствие сдвиговых напряжений в потоке.

В эритроците существуют молекулярные системы точной подстройки и регуляции деформируемости. В процессе биологического развития человека возникли сигнальные системы, диктующие необходимость клетки изменить свое биомеханическое состояние в ответ на физиологические запросы организма. Одной из таких систем в эритроците является аденилатциклазный сигнальный каскад, биомеханические функции которого были исследованы на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова с применением методов лазерной биофотоники и результаты были опубликованы в августе 2019 г. [1]. Ключевым элементом этой системы является фермент аденилатциклаза. Его активация запускает каскад ферментативных реакций, приводящих к изменению микромеханического состояния клетки за счет структурных изменений белковых комплексов, прикрепляющих цитоскелет к клеточной мембране (схема каскада представлена на рис. 2). Активация аденилатциклазы происходит при стимулировании адренергических рецепторов на поверхности клеточной мембраны. Естественным ак-

тиватором каскада является адреналин, концентрация которого в крови значительно увеличивается при стрессе или высоких физических нагрузках. В современной медицинской практике часто используются искусственные синтетические адреностимуляторы, т.н. адреномиметики. В результате конформация белков цитоскелета изменяется, что приводит к отсоединению цитоскелета от мембраны и уменьшает жесткость всей биомеханической конструкции. Это позволяет эритроциту легче изменять форму и размеры. Тем самым такая система создает предпосылки для улучшения микроциркуляции при стрессовой нагрузке, однако комплексного исследования роли различных стимуляций аденилатциклазного каскада в изменении деформируемости эритроцитов до недавнего времени проведено не было.

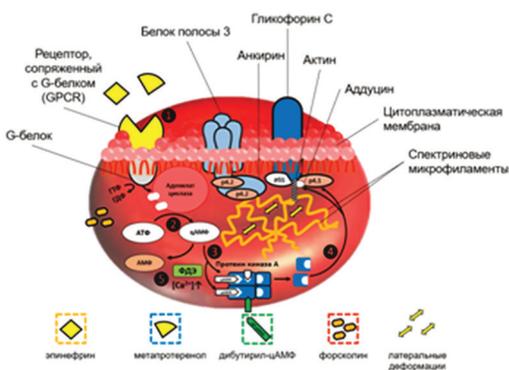


Рис. 2. Последовательная блок-схема молекулярных сигнальных путей при активации мембранной аденилатциклазы, приводящих к изменению структуры белков примембранного цитоскелета, что обеспечивает способность эритроцита к деформации [1].

Нами было проведено исследование эффектов при различной стимуляции аденилатциклазного сигнального каскада в изменении деформируемости эритроцитов. Для этого был использован малоинвазивный метод лазерной эктацитометрии. Суть метода заключается в анализе дифракционных картин, получаемых при освещении лазером (длина волны 635 нм, мощность 1.5 мВт) суспензии эритроцитов, находящихся под сдвиговым напряжением в микроканале экспериментальной кюветы. Формирующаяся дифракционная картина характеризует среднюю форму клеток в популяции. Форма дифракционной картины аппроксимируется эллипсом, что позволяет ввести индекс деформируемости (ИД) как отношение разности больших и малых полуосей эллипса к их сумме. Исследование изменений ИД при различных сдвиговых напряжениях позволяет оценивать способность эритроцитов к деформации. На ансамбле большого числа эритроцитов (10 000–100 000 клеток) нами было показано, что различная стимуляция аденилатциклазного каскада достоверно увеличивала деформируемость эритроцитов, причем эффект имел дозозависимый характер [1]. Наибольший эффект был обнаружен при воздействии адреналина — соответ-

ствующие графики деформируемости эритроцитов изображены на рис. 3. Для некоторых стимуляторов есть определенная зависимость эффекта от величины внешнего механического воздействия на клетку. Это дает основания полагать, что состояние биомеханических молекулярных систем эритроцита зависит от внешнего механического воздействия и подтверждает концепцию о роли сигнальных систем в подстройке реологического состояния клетки в ответ на внешние микромеханические стимулы.

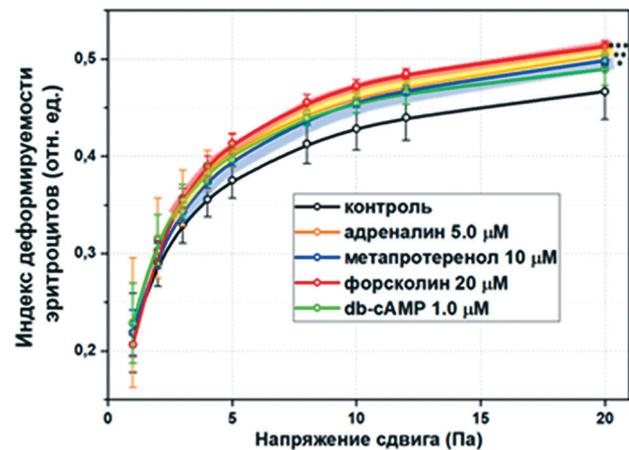


Рис. 3. Зависимость индекса деформируемости эритроцитов от напряжения сдвига в потоке при различной стимуляции аденилатциклазного каскада [1]. Результаты лазерной эктацитометрии. Размер выборки $N = 10$, указаны стандартные значения и отклонения от средних. Достоверность различий определялась по стандартному T-тесту.

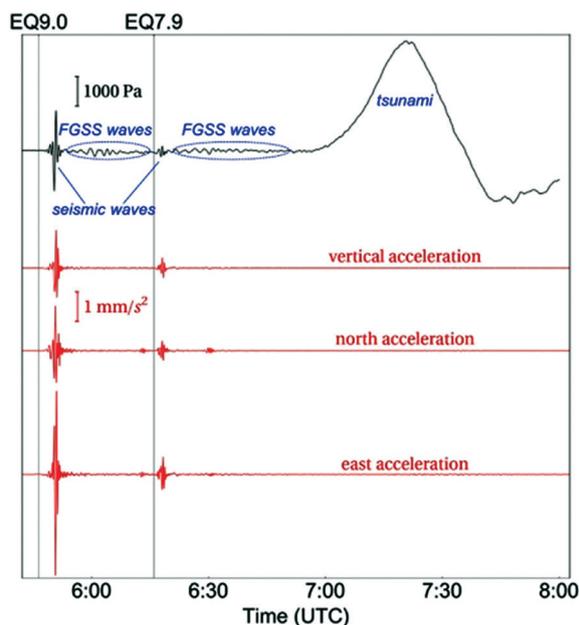
Практическая значимость полученных результатов заключается в определении адекватных рабочих диапазонов активаторов аденилатциклазного каскада, позволяющих с одной стороны обнаружить достоверно значимые эффекты, с другой стороны — избежать морфологических изменений эритроцитов вследствие возможных цитотоксических проявлений, что представляет значительный интерес для прогноза и коррекции гемореологических нарушений при многих социально-значимых заболеваниях.

Работа была выполнена при поддержке грантов РФФИ мол_а № 18-32-00756 (разработка экспериментальных оптических методик) и РНФ № 18-15-00422 (проведение экспериментов и статистическая обработка данных).

The effects of different signaling pathways in adenylyl cyclase stimulation on red blood cells deformability / Semenov A.N., Shirshin E.A., Muravyov A.V., Priezhev A.V. // *Frontiers in Physiology* – 2019. – VOL. 10 – № 923, DOI: 10.3389/fphys.2019.00923.

Новое явление в океане

Сотрудники кафедры физики моря и вод суши физического факультета МГУ совместно с коллегами из Японского агентства морских и наземных исследований и технологий (JAMSTEC) и Университета Кагавы (Япония) обнаружили и детально исследовали эффект генерации гравитационных волн в океане пробегающими по дну поверхностными сейсмическими волнами.



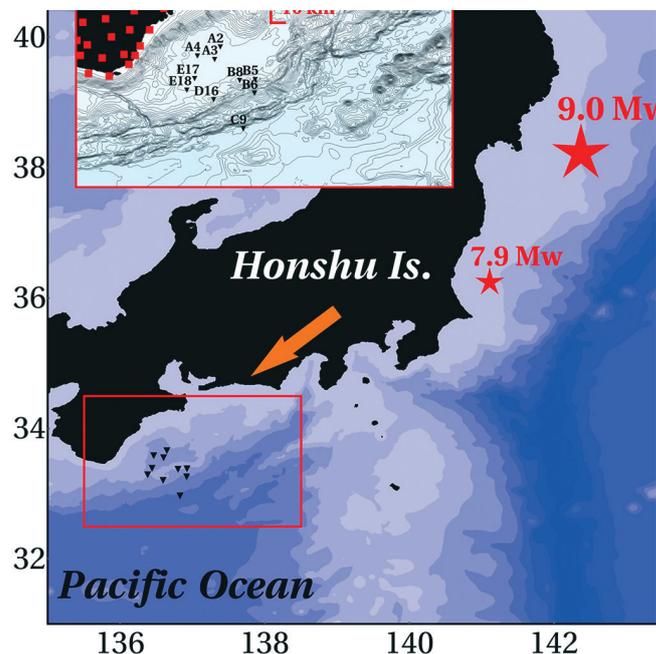
Низкочастотная ($f < 0.025$ Hz) компонента вариаций давления и ускорения движения дна. На вариациях давления после прохождения сейсмических волн видны проявления свободных гравитационных волн (FGSS waves).

Учёные физического факультета МГУ обнаружили новое явление — свободные гравитационные волны, возбуждаемые в океане сейсмическими поверхностными волнами. Короткого названия для обнаруженного явления, которое правильно бы отражало его физическую суть, пока нет. В статье учёные предлагают аббревиатуру «FGSS waves» (Free Gravity waves excited in the ocean by Seismic Surface waves — свободные гравитационные волны, возбуждаемые в океане сейсмическими поверхностными волнами). «Мы сознательно избегаем возможного термина “предвестник цунами”, так как наличие или отсутствие FGSS waves не позволяет однозначно судить о приближающейся катастрофе (цунами)», — рассказал автор статьи, заведующий отделением геофизики, профессор кафедры физики моря и вод суши физического факультета МГУ Михаил Носов.

Однако, незначительные колебания уровня моря у берега, обязанные FGSS waves, могут служить в качестве своеобразного естественного сигнала, предупреждающего о цунами. Кроме того, сами сейсмические волны являются таким предупреждающим сигналом. В отдельных случаях FGSS waves, вероятно, могут иметь значительную амплитуду и представлять опасность для жизни и имущества. Однако этот вопрос нуждается в специальном изучении.

«На основе анализа записей, полученных сетью глубоководных обсерваторий DONET во время катастрофического землетрясения и цунами 11 марта 2011 года у берегов Японии, установлено, что при прохождении по дну океана волн Лява и Рэлея в водном слое возникают свободные гравитационные волны, появление которых более чем на час опережает вступление волн цунами», — добавил Михаил Носов.

Эффект воспроизведен численно с использованием разработанной на кафедре физики моря и вод суши 3D модели CPTM (Combined Potential Tsunami Model). Численные эксперименты позволили установить, что свободные гравитационные волны возбуждаются только низкочастотными компонентами поверхностных сейсмических волн и исключительно в областях крутых подводных склонов. При этом ключевую роль при генерации этих волн играют горизонтальные сейсмические движения.



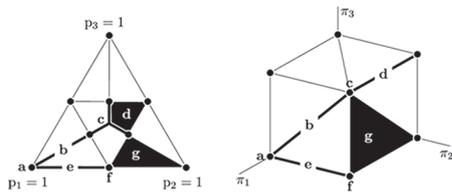
Взаимное расположение эпицентров землетрясения 11 марта 2011 года и главного афтершока (звездочки) и глубоководных обсерваторий DONET (черные треугольники).

«Free Gravity Waves in the Ocean Excited by Seismic Surface Waves: Observations and Numerical Simulations». K.A. Sementsov, M.A. Nosov, S.V. Kolesov, V.A. Karpov, H. Matsumoto, Y. Kaneda. *J. of Geophysical Research*. 124. 1. 8468–8484, 2019.

Сравнение и комбинирование субъективных суждений исследователей в математическом моделировании физических явлений и анализе данных эксперимента

Сотрудник кафедры математического моделирования и информатики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова предложил новый метод сравнения, который позволяет оценить информативность и согласованность друг с другом субъективных суждений, высказанных разными исследователями

Важную роль при построении математических моделей физических явлений и анализе данных физического эксперимента играют опыт и интуиция исследователя. Зачастую именно они являются главным критерием, позволяющим оценить качество результатов моделирования или анализа данных эксперимента, успешность проведённых экспериментов и т. д. Вопросы математического представления субъективных суждений исследователя, обобщающих его опыт и интуицию, а также их использования для решения прикладных задач — предмет изучения нечёткой математики.



«Треугольник вероятностей» и «куб возможностей» — множества, на которых принимают свои значения векторы вероятностей и возможностей, и их разбиения на соответствующие друг другу классы эквивалентности.

Одним из направлений нечёткой математики является теория возможностей в варианте, предложенном основателем кафедры математического моделирования и информатики профессором Ю.П. Пытьевым. Согласно этой теории, исследователь выражает своё субъективное суждение о результатах моделирования или анализа данных эксперимента путём задания распределений возможностей, характеризующих степень уверенности исследователя в правильности тех или иных результатов: чем больше заданное экспертом числовое значение возможности, тем выше степень его уверенности в правильности результатов. При этом числовые значения возможностей задаются в относительной шкале, выбор которой неважен, — роль играют лишь их соотношения (больше, меньше, равно).



К.ф.-м.н. доцент кафедры математического моделирования и информатики А.В. Зубюк

Затем оптимальные параметры математической модели физического явления или метода анализа данных эксперимента выбираются исходя из принципа максимизации возможности.

Однако, суждения разных исследователей по одному и тому же вопросу (и, следовательно, заданные ими распределения возможностей) могут отличаться.

В работе А.В. Зубюка дано новое определение информативности распределений возможностей, заданных разными исследователями, предложен метод их сравнения по информативности и его алгоритмическая реализация. Доказано, что чем информативнее распределение возможностей с точки зрения предложенного метода, тем точнее с их помощью удаётся определить оптимальные значения параметров математической модели физического явления или метода анализа данных эксперимента.

«A new approach to specificity in possibility theory: Decision-making point of view» Zubuyuk A.V. // Fuzzy Sets and Systems. — 2019. V. 364 P. 76–95

Заведующий кафедрой медицинской физики Владислав Яковлевич Панченко – почетный профессор МГУ



Сердечно поздравляем!

В рамках Торжественного акта, посвященного 265-летию со дня основания Московского университета, прошло вручение дипломов и знаков новым Почетным профессорами МГУ имени М.В. Ломоносова. Церемония прошла в Актовом зале Главного здания университета в присутствии участников и гостей Татьянинного дня в МГУ.

Почетным профессором Московского университета стал заведующий кафедрой медицинской физики физического факультета МГУ, председатель Совета Российского фонда фундаментальных исследований, профессор, академик РАН *Владислав Яковлевич Панченко*.

Говоря о его заслугах перед Московским университетом и российской наукой, ректор Московского университета Виктор Антонович Садовничий отметил, что В.Я. Панченко является выпускником МГУ, крупным ученым, главой известной научной школы. Возглавляя кафедру медицинской физики на физическом факультете, он разработал и читает курсы лекций по фундаментальным основам лазерной технологии и медицинской физики, координирует работу над новыми лазерными информационными технологическими системами.

Учёные физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова избраны членами Российской академии наук Общим собранием РАН



Профессор кафедры медицинской физики М.А. Пантелеев



Профессор кафедры физики Земли В.О. Михайлов



Профессор кафедры общей физики и волновых процессов А.П. Шкуринов

11-12 ноября 2019 года состоялись выборы новых академиков и членов-корреспондентов РАН.

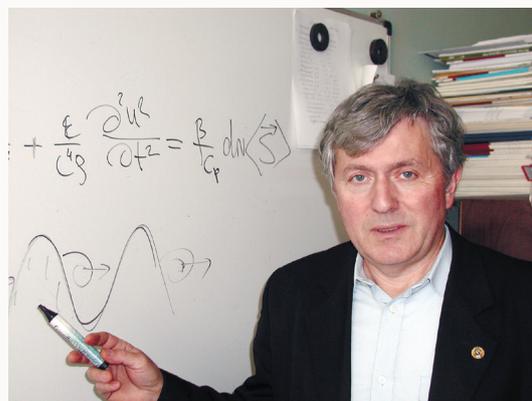
Сердечно поздравляем доктора физико-математических наук профессора кафедры общей физики и волновых процессов *А.П. Шкуринова*, доктора физико-ма-

тематических наук профессора кафедры медицинской физики *М.А. Пантелеева* и доктора физико-математических наук профессора кафедры физики Земли *В.О. Михайлова* с заслуженным признанием их научных трудов.

Заведующий кафедрой акустики,
**академик РАН Олег Владимирович Руденко —
 Лауреат премии имени М.В. Ломоносова
 за педагогическую деятельность**

Решением Ученого совета МГУ Премия имени М.В. Ломоносова за педагогическую деятельность присуждена Олегу Владимировичу Руденко.

Сердечно поздравляем Олега Владимировича с главной наградой Университета!



ГЛАВНЫЕ НАГРАДЫ УНИВЕРСИТЕТА



Валерий Николаевич Прудников



Геннадий
Иванович
Ширмин



Виктор Владимирович Фадеев



Владимир Георгиевич Сурдин

22 января 2020 года в здании Института стран Азии и Африки МГУ прошла торжественная церемония вручения дипломов заслуженным профессорам, преподавателям, научным сотрудникам и работникам МГУ.

Звание «Заслуженный ПРОФЕССОР МГУ»
получили:

Профессор кафедры магнетизма
Валерий Николаевич Прудников

Профессор кафедры квантовой электроники
Виктор Владимирович Фадеев

Звание «Заслуженный ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МГУ»
получили:

Доцент кафедры экспериментальной астрономии
Владимир Георгиевич Сурдин

Доцент кафедры небесной механики, астрометрии и гравиметрии **Геннадий Иванович Ширмин**

Звание «Заслуженный РАБОТНИК МГУ»
получила

Ведущий инженер кафедры общей физики
Тамара Иосифовна Малова

Сердечно поздравляем сотрудников факультета с высшими наградами Университета!

Сотрудники, аспиранты и студенты физического факультета — лауреаты стипендий Московского университета



22 января 2020 года в здании Института стран Азии и Африки МГУ прошла торжественная церемония вручения дипломов лауреатам стипендий Московского университета для молодых преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, а также для студентов, добившихся успехов в научной, общественной, спортивной и культурной деятельности.

Сказав о традиции вручения дипломов лучшим сотрудникам и студентам университета в Императорском зале, о его создании руками зодчих Казакова и Жиллярди, ректор МГУ академик В.А. Садовничий поздравил собравшихся с наступающим Татьяниным днем, празднование которого в университете было возрождено в 1992 году, а с 2005 года по указу Президента России В.В. Путина отмечается как День российского студенчества. В этом году этот праздник знаменует собой еще и 265-летие со дня основания Московского университета.

В заключение своего приветствия Виктор Антонович еще раз поблагодарил всех собравшихся за труд, за работу на благо МГУ имени М.В. Ломоносова, российского образования и науки.

Поздравляем сотрудников, аспирантов и студентов физического факультета с получением стипендий Московского университета.

Белов Александр Александрович, научный сотрудник кафедры математики

Гаврилов Алексей Андреевич, научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов

Григорьев Кирилл Сергеевич, младший научный сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов

Гудимчук Никита Борисович, старший научный сотрудник кафедры биофизики

Гумеров Рустам Анрикович, младший научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов

Дагесян Саркис Арменакович, младший научный сотрудник лаборатории «Криоэлектроника»

Иешкин Алексей Евгеньевич, старший научный сотрудник кафедры физической электроники

Карзова Мария Михайловна, физик кафедры общей физики и физики конденсированного состояния

Кондратенко Михаил Сергеевич, научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов

Макарова Людмила Александровна, ассистент кафедры магнетизма

Манцевич Сергей Николаевич, доцент кафедры физики колебаний

Потемкин Федор Викторович, доцент кафедры общей физики и волновых процессов

Смирнов Александр Михайлович, младший научный сотрудник кафедры физики полупроводников и криоэлектроники

Татаринцев Андрей Андреевич, старший научный сотрудник кафедры физической электроники

Харчева Анастасия Витальевна, младший научный сотрудник кафедры общей физики

Шишин Евгений Александрович, старший научный сотрудник кафедры квантовой электроники

Шорохов Александр Сергеевич, младший научный сотрудник кафедры квантовой электроники

Юшков Егор Владиславович, старший научный сотрудник кафедры математики

Голинская Анастасия Дмитриевна, аспирант

кафедры физики полупроводников и криоэлектроники

Зефиров Вадим Викторович, аспирант кафедры физики полимеров и кристаллов

Якимов Борис Павлович, аспирант кафедры квантовой электроники

Горлова Диана Алексеевна, студент кафедры общей физики и волновых процессов

Гришин Кирилл Алексеевич, студент кафедры астрофизики и звездной астрономии

Ермолинский Петр Борисович, студент кафедры общей физики и волновых процессов

Журенко Сергей Викторович, студент кафедры физики низких температур и сверхпроводимости

Захаров Роман Викторович, студент кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники

Костылева Екатерина Ильинична, студент кафедры физики колебаний

Масляницына Анастасия Игоревна, студент кафедры общей физики и волновых процессов

Швецов Борис Сергеевич, студент кафедры общей физики и молекулярной электроники

Ягудин Дамир Фаритович, студент кафедры квантовой электроники

Поздравляем сотрудников физического факультета МГУ — победителей конкурсов РФФ!

Победитель конкурса РФФ «Проведение исследований международными научными коллективами» (совместно с Объединением им. Гельмгольца – Die Helmholtz-Gemeinschaft):

ПОТЕМКИН И.И.

Победители конкурса РФФ «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными):

ТРУХАНОВА М.И.

КРИТ Т.Б.

НОВИКОВ В.Б.

МУСОРИН А.И.

АФИНОГЕНОВ Б.И.

МАЛЫШКО Е.В.

КОРОТЕЕВА Е.Ю.

ИСМАГИЛОВ Р.Р.

Победители конкурса РФФ «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными):

КОЛОТИНСКИЙ Н.В.

КЛЕЩ В.И.

КАТАМАДЗЕ К.Г.

ГОНГАЛЬСКИЙ М.Б.

ШИРШИН Е.А.

Победители конкурса 2019-2021 года на право получения стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам:

ЭЛЬМАНОВИЧ И.В.

ГОНЧАР К.А.



Российский
научный
фонд



Совет по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ РФ

Знаковый успех ученых физфака на Международной выставке Силиконовой Долины

Летом в США в г. Санта-Клара прошла Международная выставка изобретений Силиконовой Долины, организованная Всемирной Организацией Интеллектуальной Собственности / WIPO/ и Ассоциацией Изобретателей Америки /UIA/, а также Международной Федерацией Изобретательских Ассоциаций. В выставке приняли участие представители из 33 стран мира /Германия, США, Италия, Россия, Великобритания, Франция, Швейцария и др./ представившие 380 разработок и новых технологий. При выставке были аккредитованы представители средств массовой информации из 29 стран, зарегистрировалось более 10000 специалистов и посетителей.

Физический факультет был награжден в двух номинациях двумя «ГРАН-

ПРИ» выставки. Один «ГРАН-ПРИ» — в номинации «Безопасность» за разработку кафедры общей физики и волновых процессов: Базыленко В.А. «Новый способ защиты от подделки и контроля подлинности ценных изделий основанный на циркулярном фотогальваническом эффекте в полупроводниковых наноструктурах с квантовыми ямами». Второй «ГРАН-ПРИ» — в номинации «Медицина» за разработку сотрудников кафедры физики низких температур и сверхпроводимости: Тимошенко В.Ю., Каргина Ю.А. Базыленко Т.Ю. «Метод одновременной диагностики и терапии рака, использующий биоразлагаемые кремниевые наночастицы». Обе работы запатентованы в России.



Ст. преподаватель, зам. директора МЛЦ МГУ Базыленко В.А.

2) Ю. Ванг (Y. Wang, КНР) — директор Института физики высоких энергий (Пекин), академик Китайской академии наук,

3) М.И. Панасюк — директор НИИЯФ МГУ,

4) Г.И. Рубцов — заместитель директора ИЯИ РАН,

5) Р. Фейденханс (R. Feidenhans, Дания) — директор мегасайенс-проекта «Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах» (XFEL, Гамбург),

6) С. Витале (S. Vitale, Италия) — руководитель Научной программы Европейского космического агентства (European Space Agency),

7) М. Гаджиски (M. Gazdzicki, Германия) — руководитель исследовательского проекта NA61/SHINE в ЦЕРНе,

8) Дж. Пинфолд (J. Pinfold, Канада) — руководитель исследовательского проекта MoEDAL в ЦЕРНе,

9) Я. Семерцидис (Y. Semertzidis, Корея) — директор Института фундаментальных исследований (Корея),

10) А. Кастеллина (A. Castellina, Италия) — руководитель международного проекта по детектированию космических лучей Pierre Auger Observatory,

11) Дж. Ван ден Бранд (J. van den Brand, Нидерланды) — руководитель эксперимента по регистрации гравитационных волн Virgo,

12) А. Серебров — руководитель исследовательского проекта Neutrino-4 Experiment (Санкт-Петербург),

13) Дж. Ким (J. Kim, Корея) — председатель оргкомитета Международной конференции по физике высоких энергий (International High Energy Conference-IHEP-2018, Seoul, Korea),

14) М. Мезетто (M. Mezzetto, Италия) — председатель оргкомитета Европейской конференции по физике высоких энергий (European Physics Society High Energy Conference - EPS-HEP 2017 (Venice, Italy),

15) К. Лонг (K. Long, Великобритания) — председатель оргкомитета международной конференции по физике нейтрино и астрофизике (International Conference on Neutrino and Astroparticle Physics (2016, London),

16) Р. Бернабеи (R. Bernabei, Италия) — руководитель проекта по поиску темной материи DAMA/LIBRA (Gran Sasso).

За шесть рабочих дней на форуме был представлен 221 доклад. Из них 90 пленарных докладов, 125 секционных и 6 постерных. Более половины докладов было сделано иностранными учеными. Утренние заседания конференции посвящались пленарным докладам по наиболее важным вопросам физики элементарных частиц, астрофизики, гравитации и космологии. Это позволило всем участникам ознакомиться с ос-



новными идеями и результатами из смежных областей физики. Копии слайдов презентаций всех докладов, сделанных на конференции, размещены на сайте конференции www.lomcon.ru. На этом же сайте находятся записи интервью, в которых участники конференции осылали наиболее актуальным проблемам физики элементарных частиц. По тематике докладов конференции в настоящее время под редакцией председателя оргкомитета подготовлен сборник (включающий более сотни статей общим объемом более 600 страниц), который будет издан отдельной книгой под названием «Particle Physics at the Year of 150th Anniversary of the Mendeleev's Periodic Table of Chemical Elements» международным научным издательством World Scientific (Singapore).

На конференции также было организовано 22 параллельные секции, проходивших в послеобеденное время 23, 24, 26 и 27 августа, на которых были представлены доклады по более узким темам, представляющим интерес для конкретного круга специалистов в той или иной области. Научная программа охватила актуальные проблемы современной фундаментальной физики и состояла из несколько крупных блоков вопросов. Среди главных тем конференции - новейшие достижения в области ускорительной физики высоких энергий, физики нейтрино, физики космических лучей, астрофизики и гравитации. Тематика докладов отражала общее состояние и тенденции развития исследований по указанным направлениям.

В области физики высоких энергий помимо докладов по результатам многих ведущихся в настоящее время экспериментов следует особо выделить состоявшееся на конференции обсуждение направления и перспектив развития ускорительной физики, в том числе дискуссии о преимуществах обсуждаемых в настоящее время различных новых проектов ускорителей в Европе, Китае и Японии. Обсуждавшиеся в докладах на конференции российское участие в развитии данного направления на российских установках в основном было связано с перспективным проектом НИКА в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) и развитием исследований на ускорительном комплексе Института ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. Важность российского вклада в развитие данного направления было также продемонстрировано тем фактом, что доклады от имени ряда международных коллабораций (например, CMS, ALICE и NA/64 (CERN), J-PARK (KEK) и др.) на конференции были представлены российскими учены-



ми. Значительный интерес с точки зрения уже полученных результатов и перспективы дальнейшего развития исследований представляет проблема аномальных магнитных моментов заряженных лептонов. В настоящее время имеются указания на существенное отклонение предсказаний теории от экспериментальных данных, что должно быть проверено при проведении в ближайшее время серии новых экспериментов на ускорителях в США и Японии. Результаты, полученные на CDM-3 детекторе в СО РАН, о которых было доложено на конференции, играют одну из ключевых ролей в решении данного вопроса.

Одним из важнейших (и наиболее представительным с точки зрения количества докладов) был нейтринный блок программы. Российские ученые на протяжении многих лет традиционно вносят существенный вклад в развитие как экспериментальных, так и теоретических исследований в данном направлении. Отечественными учеными было сделано несколько очень интересных теоретических докладов по физике нейтрино, связанных с проблемой массы частицы, реликтовых нейтрино, развитием новых формализмов при описании явления смешивания и осцилляций и учете коллективных эффектов. Оптимизм при оценке перспективы развития данного направления в России связан с активным участием российских ученых во многих ведущих международных (и находящихся за пределами России) коллаборациях. Следует особо отметить, что международный нейтринный мегасайенс проект JUNO, в котором Московский университет принимает участие с 2015 года, был представлен на конференции в нескольких докладах, в том числе в трех пленарных докладах, сделанных руководителями данного проекта. Как и в случае ускорительной физики несколько международных нейтринных проектов (например, Bogexino, OPERA, COHERENT, MAJORANA, EXO-200 и др.) на конференции были представлены в докладах российских ученых.

В области гравитации, физики космических лучей и астрофизики важность вклада российских ученых была отражена в докладах об инфляционной модели Все-

ленной и экспериментальных ограничениях на теории гравитации, а также в докладе от имени международного орбитального эксперимента PAMELA и при обсуждении нового российского проекта GAMMA-400. Отметим, что международный проект Telescope Array Experiment был также представлен на конференции российским участником.

Одним из важных новых направлений, которое находится на стыке физики элементарных частиц, космических лучей и гравитации и которому было уделено значительное внимание на конференции, является так называемая «многоканальная астрономия» или «интегральная астрономия» («multi-messenger astronomy»). После открытия гравитационных волн появилась реальная возможность одновременного детектирования электромагнитного излучения, гравитационных волн и потока нейтрино, идущих от удаленных космических событий, порожденных разными физическими процессами и потому приходящих по множеству каналов (например, килоновое событие GW170817).

Multi-messenger astronomy является абсолютно новым и динамично развивающимся направлением фундаментальной физики, и, с учетом имеющегося российского задела и квалифицированных кадров в указанной интегральной области, у отечественных ученых имеются хорошие перспективы для участия в дальнейшем развитии данного направления.

Результаты проведенной 19-й Ломоносовской конференции по физике элементарных частиц будут служить стимулом для дальнейшего развития исследований в данной области, станут основой для написания новых статей по тематикам представленных докладов, а также найдут полезное применение в учебном процессе образовательных проектов различных уровней.

По сложившейся традиции в заключительный день работы Ломоносовской конференции был проведен 13-й Международный симпозиум по проблемам интеллигенции, который был посвящен теме «Наследие и будущее интеллигенции». Как обычно Ломоносовская конференция включала насыщенную культурную программу — первый рабочий день конференции завершился проведением вечерней сессии, которая состоялась на борту корабля идущего по Москве-реке через центр города, в выходной день был посвящен поездке всех участников конференции в Сергиев Посад с посещением историко-археологического музея и Троице-Сергиевой лавры.

Успешное проведение 19-й Ломоносовской конференции стало возможным благодаря самоотверженной и четкой работе технического комитета в составе аспирантов, студентов физического и экономического факультетов и факультета вычислительной математики и кибернетики Московского университета.

*Александр Студеникин,
профессор кафедры теоретической физики,
председатель Оргкомитета 19-й Ломоносовской конференции
по физике элементарных частиц*



18 декабря 2019 г. состоялась защита докторской диссертации доцента кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета

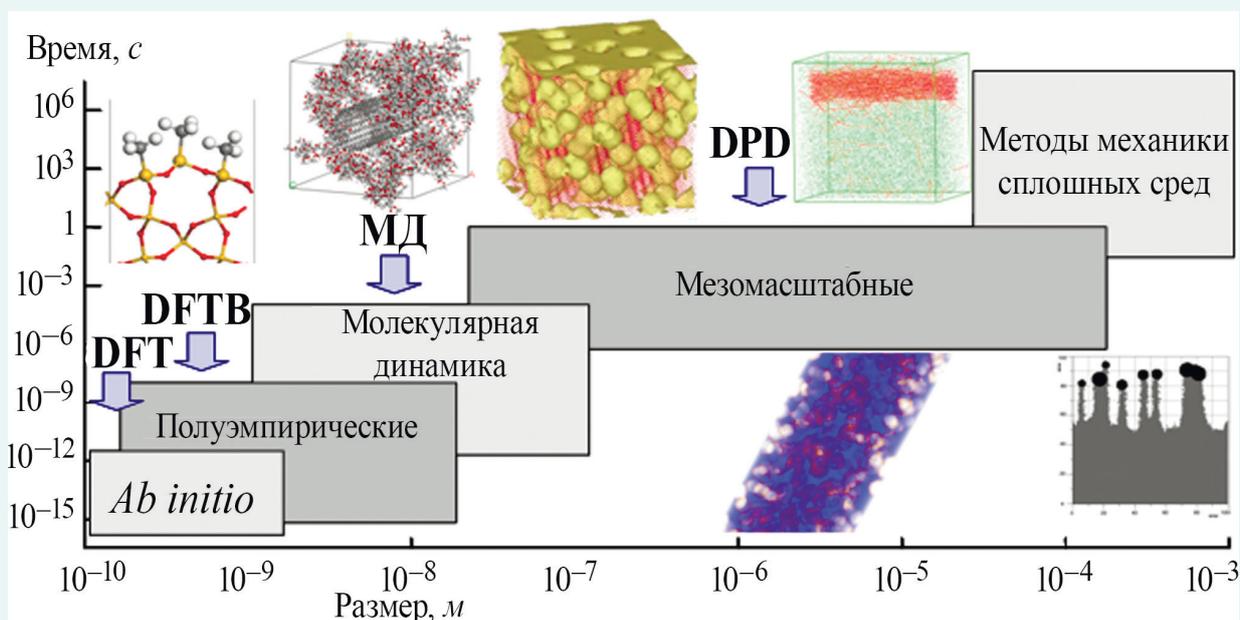
Ворониной Екатерины Николаевны

на тему:

«Механизмы воздействия радикалов и ионов низкотемпературной плазмы на наноструктурированные материалы»

Диссертационная работа посвящена исследованию с помощью методов многомасштабного моделирования механизмов воздействия радикалов и ионов низкотемпературной плазмы на наноструктуры и наноструктурированные материалы, т.е. материалы со структурными элементами, хотя бы один линейный размер которых лежит в диапазоне от 1 до 100 нм. Свойства таких материалов в ряде аспектов могут превосходить свойства их традиционных объемных аналогов, вследствие чего они привлекают колоссальный интерес исследователей и уже сегодня находят широкое применение в различных областях: микро- и нанoeлектронике, оптике, химии, медицине и даже космической технике.

Внедрение наноструктурированных материалов в производство требует адаптации существующих и создания новых технологий их плазменной обработки, поскольку воздействие плазмы способно вызывать повреждение таких материалов, изменяя не только их строение, но и свойства (электропроводность, коэффициент преломления и т.д.). В связи с этим в настоящее время ведется активный поиск подходов для снижения степени нежелательного повреждения наноструктурированных материалов, увеличения сроков их эксплуатации в экстремальных условиях, а также для целенаправленного изменения их свойств под действием плазмы различного состава.



Иерархия методов многомасштабного моделирования

Математическое моделирование является мощным инструментом для изучения отклика наноструктурированных материалов на воздействие частиц плазмы, объяснения получаемых в экспериментах результатов, выявления основных механизмов происходящих элементарных физико-химических процессов и предсказания изменения свойств материалов при таком воздействии. Отличительной особенностью подхода, реализованного в диссертационной работе, является использование методов многомасштабного моделирования. Поскольку процессы, протекающие в таких материалах и оказывающие существенное влияние на их свойства, относятся к различным пространственно-временным диапазонам, критически важным является корректный выбор метода и моделей, используемых в расчетах.

Благодаря разнообразию применяемых методов и подходов в сочетании с тщательным анализом экспериментальных данных автору удалось исследовать различные аспекты механизмов взаимодействия частиц плазмы с наноструктурированными материалами на примере 1D и 2D наноструктур, нанопористых диэлектриков с ультраниз-

кой диэлектрической проницаемостью (low-k диэлектриков), полимерных нанокомпозитов. Так, в работе изучено влияние кривизны поверхности нанотрубок на процессы адсорбции радикалов, продемонстрированы особенности технологии атомно-слоевого травления полупроводниковых 2D материалов на основе дисульфидов молибдена и вольфрама, описаны многоступенчатые механизмы взаимодействия тепловых атомов F и N с low-k диэлектриками, дано объяснение эффекта запечатывания приповерхностных пор в нанопористых материалах под действием ионов низкой энергии, проанализировано влияние степени диспергирования на стойкость полимерных нанокомпозитов к воздействию кислородной плазмы.

Полученные в работе результаты имеют большое прикладное значение, поскольку могут быть непосредственно использованы при оптимизации существующих и разработке новых технологий создания, плазменной модификации и травления рассматриваемых наноструктурированных материалов, а также разработке методов повышения стойкости этих материалов к воздействию низкотемпературной плазмы различного состава.



12 сентября 2019 г. состоялась защита докторской диссертации старшего научного сотрудника кафедры биофизики физического факультета

Свешниковой Анастасии Никитичны

на тему:

«Молекулярные механизмы активации тромбоцита»

Работа посвящена экспериментальному и теоретическому анализу передачи (т.н. трансдукции) внешнего стимула в клетках крови тромбоцитах, установлению и математическому моделированию закономерностей формирования его функционального ответа на внешний активатор, до сих пор неизвестных. В работе используются методы кинетического стохастического моделирования сложных систем, а также экспериментальные методики проточной цитофлуориметрии и флуоресцентной микроскопии.

Тромбоциты – безъядерные клетки крови, которые играют центральную роль в остановке кровотечения, и одновременно участвуют в патологической закупорке сосуда – тромбозе. Для участия в процессе роста тром-

ба, тромбоцит должен войти в новое состояние, которое принято называть «активацией». Активация заключается в быстрой перестройке клетки, что регулируется системой биохимических реакций. Центральным элементом системы является ион кальция, концентрация которого изменяется в ответ на внешние воздействия, и именно на нее реагируют функциональные белки тромбоцита. Преобразование информации системой биохимических реакций и процессов возможно благодаря комбинации положительных и отрицательных обратных связей, в результате которых возникают как преобразователи триггерного типа, позволяющие переключение между качественно различными состояниями, так и другие нелинейные преобразователи сигнала. Актуаль-

ной и нерешенной задачей является ответ на вопрос, как один относительно простой сигнал (концентрация ионов кальция) управляет одновременно разными функциональными ответами тромбоцита.

Решение этой задачи в настоящей работе разложено на несколько шагов: определение механизмов преобразования информации о внешнем окружении тромбоцита в концентрацию ионов кальция, обратного преобразования концентрации ионов кальция в концентрацию активных интегринов (белки, позволяющие тромбоцитам агрегировать друг с другом) или долю погибших тромбоцитов.

золье, для которых интегральная концентрация кальция пропорциональна внешнему стимулу. Последовательные спайки концентрации кальция в цитозоле преобразуются в «пик» концентрации кальция в матриксе митохондрий, при этом амплитуда «пики» определяется количеством спайков концентрации кальция в цитозоле клетки и их частотой. Некроз тромбоцита определяется превышением концентрацией свободных ионов кальция в митохондриях порогового значения (рис. 1). Аналогичная зависимость была получена и для других ответов тромбоцита на активацию.

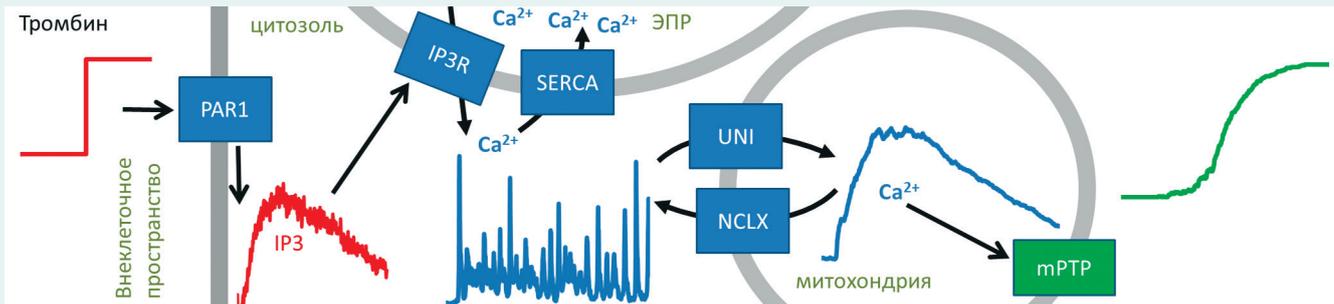


Рис. 1. Схема преобразования сигнала (тромбин) в тромбоците. Прямоугольники обозначают основные белки-преобразователи сигнала (приведены общепринятые сокращения названий), кривые показывают зависимость формы сигнала от времени на каждом этапе преобразования.

В результате работы выведена общая для тромбоцита формула трансдукции сигнала на уровне рецептора, показано, как ступенчатое возрастание концентрации активатора переходит в «пик» концентрации инозитол-3-фосфата в цитозоле клетки, максимум которого возрастает, а полуширина убывает с увеличением концентрации активатора. Далее «пик» концентрации ИФ3 за счет нелинейных свойств рецептора к ИФ3 преобразуется в осцилляции концентрации ионов кальция в цито-

Полученные результаты расширяют современное представление о процессе активации тромбоцита и процессе преобразования потока информации, происходящего при активации живой клетки. Разработанные в работе подходы позволяют проводить диагностику пациентов с нарушениями тромбоцитарного гемостаза и строить персональные компьютерные модели типа «виртуальный тромбоцит», позволяющие проводить *in silico* тестирование действия лекарственных препаратов.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ МГУ С ЗАЩИТАМИ В 2019 г.

МГУ.01.01

Председатель – Хохлов Алексей Ремович, д.ф.-м.н., проф., акад. РАН
Уч. секретарь – Лаптинская Татьяна Васильевна, к.ф.-м.н., доц.

10.10.2019

6. **ПОЛОВНИКОВ Кирилл Евгеньевич** «Конформационные и динамические свойства топологически

стабилизированных полимерных состояний» 02.00.06 – высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

7. **БАУЛИН Роман Алексеевич** «Поляризационные эффекты в мессбауэровской и рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии магнитных многослойных структур» 01.04.07 – физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

14.11.2019

8. **ДОРОЩЕНКО Игорь Александрович** «Анализ локализации импульсного объемного разряда и возникающих ударно-волновых конфигураций» 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Кандидатская диссертация.

19.12.2019

9. **БАЛУЯН Тигран Григорьевич** «Исследование низкотемпературного магнитного фазового перехода в сверхструктурах селенида железа Fe₇Se₈» 01.04.07 – физика конденсированного состояния Кандидатская диссертация.

10. **ПЕТРОВ Михаил Михайлович** «Электрохромные свойства поли(пиридиний) трифлата и интерполимерных комплексов на его основе» 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.04

*Председатель – Твердислов Всеволод Александрович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Сидорова Алла Эдуардовна, к.т.н.*

12.09.2019

11. **СВЕШНИКОВА Анастасия Никитична** «Молекулярные механизмы активации тромбоцита» 03.01.02 – биофизика. Докторская диссертация.

12. **МАНЖУРЦЕВ Андрей Валерьевич** «Магнитно-резонансная спектроскопия на ядрах ¹H и ³¹P в исследовании метаболических ответов мозга человека на зрительную стимуляцию и гипербарическую оксигенацию» 03.01.02 – биофизика. Кандидатская диссертация.

17.10.2019

13. **ДУДЫЛИНА Арина Леонидовна** «Активные формы кислорода, оксид азота и антиоксиданты в митохондриях сердца и модельных системах» 03.01.02 – биофизика. Кандидатская диссертация.

14. **КОВАЛЕНКО Татьяна Александровна** «Механизмы мембранно-зависимых реакций внешнего пути свертывания крови» 03.01.02 – биофизика. Кандидатская диссертация.

21.11.2019

15. **САВКИН Игорь Алексеевич** «Персонализированная медицина: прогностические системы на основе байесовских сетей» 03.01.02 – биофизика. Кандидатская диссертация.

16. **КОМИСОВ Александр Александрович** «Методика качественного и количественного картирования макроэлементного состава биологических тканей» 03.01.02 – биофизика, 03.01.08 – биоинженерия. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.06

*Председатель – Садовников Борис Иосифович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Поляков Петр Александрович, д.ф.-м.н.*

17.10.2019

19. **АРБУЗОВА Елена Владимировна** «Эффекты неустойчивости при модификации гравитации» 01.04.02 – теоретическая физика. Докторская диссертация.

19.12.2019

20. **ТАРЕЛКИН Александр Алексеевич** «Некоторые точные решения первого уравнения в цепочке уравнений Власова» специальность 01.04.02 – теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

21. **БЛАНК Аркадий Викторович** «Управление стохастическими режимами коллимированных волновых пучков в оптически прозрачных турбулентных средах» 01.04.02 – теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

26.12.2019

22. **ЕГОРОВ Вадим Олегович** «Квантовое теоретико-полевое описание процессов, происходящих на конечных пространственных и временных интервалах» 01.04.02 – теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.08

*Председатель – Салецкий Александр Михайлович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Косарева Ольга Григорьевна, д.ф.-м.н.*

10.10.2019

27. **ШЕСТАКОВ Павел Юрьевич** «Туннелирование световых волновых пакетов в плоскостойких диэлектрических периодических структурах» 01.04.03 – радиофизика. Кандидатская диссертация.

28. **ЗАРУБИН Василий Павлович** «Ультразвуковая термометрия и томография твёрдых тел сложной формы с использованием лазерных источников ультразвука» 01.04.06 – Акустика. Кандидатская диссертация.

12.12.2019

29. **ЕГОРОВ Роман Владимирович** «Повышение эффективности клистронов большой мощности — теория и эксперимент» 01.04.03 – Радиофизика. Кандидатская диссертация.

30. **РОСНИЦКИЙ Павел Борисович** «Многопараметрический анализ нелинейных эффектов в ударно-волновых полях фокусирующих систем для задач неинвазивной ультразвуковой хирургии» 01.04.06 – Акустика. Кандидатская диссертация.

19.12.2019

31. **ДОРОФЕЕНКО Александр Викторович** «Управление светом с использованием неоднородных

оптических и плазмонных систем» 01.04.03 – Радиофизика. Докторская диссертация.

МГУ.01.12

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

Уч. секретарь – Карташов Игорь Николаевич, к.ф.-м.н.

12.09.2019

33. **ДОМБРОВСКАЯ Жанна Олеговна** «Особенности распространения электромагнитных волн через диэлектрические метапластики и слоистые среды» 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Кандидатская диссертация.

34. **НИКОНОВ Александр Михайлович** «Физические процессы в технологическом плазменном реакторе для магнетронного напыления функциональных покрытий с ионным стимулированием» 01.04.08 – Физика плазмы. Кандидатская диссертация.

17.10.2019

35. **ДЕШКО Кирилл Игоревич** «Коммутация тока в маломощном разряде с плазменной инжекцией» 01.04.08 – Физика плазмы. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.13

Председатель – Андреев Анатолий Васильевич, д.ф.-м.н., проф.

Уч. секретарь – Коновко Андрей Андреевич, к.ф.-м.н.

19.09.2019

40. **КОПЫЛОВ Денис Александрович** «Генерация оптических гармоник в нелинейных кристаллах от широкополосного излучения вынужденного параметрического рассеяния» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

24.10.2019

41. **БЫЧКОВ Антон Сергеевич** «Комбинированная оптико-акустическая и лазерно-ультразвуковая томография сред с неоднородностями акустических свойств и индуцированными источниками тепла» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

21.11.2019

42. **БОРЩЕВСКАЯ Надежда Алексеевна** «Перепутанные состояния света высокой размерности на основе спонтанного параметрического рассеяния» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

43. **КОРНИЕНКО Владимир Владимирович** «Параметрическое рассеяние света и нелинейно-оптическое детектирование излучения терагерцового диапазона» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

05.12.2019

44. **ШИЛКИН Даниил Александрович** «Силы светового давления, рассеяние света и флуоресценция в резонансных диэлектрических структурах» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

25.12.2019

45. **КУЧЕРИК Алексей Олегович** «Масштабно-инвариантные лазерно-индуцированные наноструктуры с топологической зависимостью оптических и электрофизических свойств» 01.04.21 – Лазерная физика. Докторская диссертация.

МГУ.01.15

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

Уч. секретарь – Смирнов Владимир Борисович, д.ф.-м.н., доц.

24.10.2019

46. **БАРАНОВ Сергей Владимирович** «Теоретические основы оценки опасности сильных афтершоков землетрясений» 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. Докторская диссертация.

19.12.2019

47. **МАРКИНА Маргарита Юрьевна** «Ветровое волнение в контексте взаимодействия океана и атмосферы на различных масштабах» 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.18

Председатель – Перов Николай Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.

Уч. секретарь – Шапаева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н.

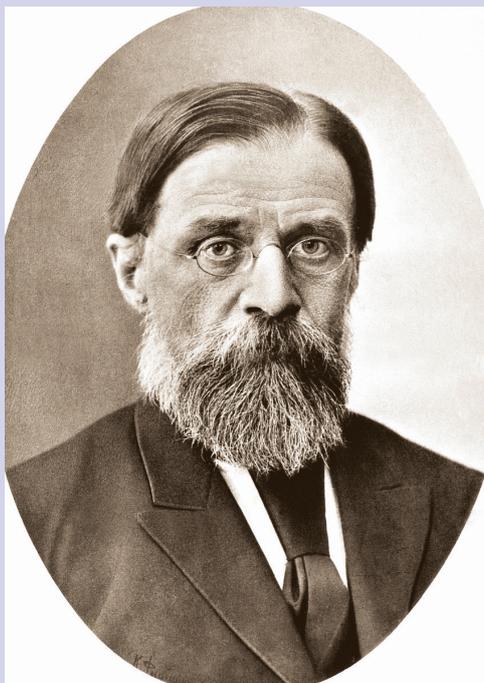
17.10.2019

52. **ЗВОНОВ Алексей Игоревич** «Магнитокалорический эффект и магнитострикция в сплавах и соединениях тяжелых редкоземельных металлов» 01.04.11 – Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

53. **ШУЛЕЙКО Дмитрий Валерьевич** «Влияние фемтосекундного лазерного облучения и термического отжига на структурные, оптические и электрофизические свойства кремниевых наносистем» 01.04.10 – Физика полупроводников. Кандидатская диссертация.

19.12.2019

54. **НОВИЦКИЙ Андрей Павлович** «Влияние дефектов и замещения висмута редкоземельными элементами на термоэлектрические свойства оксиселенидов BiCuSeO» 01.04.10 – Физика полупроводников. Кандидатская диссертация.



Александр Григорьевич Столетов

К 180-летию со дня рождения А.Г. Столетова, создателя физической школы в России

Имя Александра Григорьевич Столетова красной строкой вписано в историю развития физики в России. Его жизнь пришлось на период развития и становления классической физики, в которой он сыграл заметную роль. Созданная по его инициативе в Московском университете физическая лаборатория создала плодотворную почву для подготовки целой плеяды российских физиков. В октябрьском номере «Советского физика» была представлена статья П.Н. Николаева о научных заслугах А.Г. Столетова.



Фамильный дом Столетовых



Анна Столетова

В настоящей заметке краткая информация о семье Столетовых.

Отец А. Г. Столетова — Григорий Михайлович Столетов (1794–1858 гг.), мать — Александра Васильевна Столетова (Полежаева) (1805–1889 гг.). Род Столетовых жил во Владимире со времен Ивана III (конец XV века), по преданию, они (Столетовы) были высланы в числе ряда других новгородцев за выступления против московского царя. Традиционное занятие Столетовых — кожевническое дело, — передавалось по старшинству. Дом Столетовых во Владимире, построенный в самом конце XVIII века, стал одной из первых каменных построек Владимира. Это здание сохранилось до настоящего времени, хотя в XX веке оно подвергалось существенным перестрой-

кам. Фотография здания представлена на рисунке.

Семья купцов Столетовых использовала здание и как жилье, и как торговое и складское помещение. В этом здании и родился будущий физик Саша Столетов. Он был четвертым ребенком в семье. До него в семье появились старший брат Василий (1825 года рождения), второй брат Николай (1831 года рождения), старшая сестра Варвара (1833 года рождения). После Александра Столетова родились брат Дмитрий (1845 года рождения) и сестра Анна (1847 года рождения).

После смерти Григория Михайловича в 1850 году его дело унаследовал Василий. А старший брат Николай, окончивший школу с золотой медалью, показал пример

Александр и поступил в 1850 году в только что образовавшийся (1850) физико-математический факультет Московского университета, который закончил с отличием в 1854 году и поступил вольноопределяющимся в армию, чтобы принять участие в Крымской войне. Следует отметить, что Николай Григорьевич Столетов став военным, сделал выдающуюся карьеру, дослужившись до звания генерала от инфантерии (аналог звания генерал армии в наше время) и умер в 1912 году. Во время русско-турецкой войны он руководил действиями болгарского ополчения, в 1977 году возглавлял оборону Шипки, в его честь в Болгарии названы улицы в Габрово и Плевене, переименована вершина Шипки.

Младший брат А.Г. Столетова также окончил физико-математический факультет Московского университета, но стал военным и дослужился до звания генерал-майора артиллерии. Достой-

но прожили свою жизнь и воспитали интеллигентных, образованных детей сестры ученого: Варвара, которая вышла замуж за архитектора А. П. Филаретова, и Анна — жена полковника П. И. Губского.

Более подробно о семье Столетовых можно узнать во Владимирском мемориальном музее братьев Н.Г. и А.Г. Столетовых, открытом в 1976 году.

При подготовке данной заметки использованы материалы сайтов:

<http://museum.vlsu.ru/index.php?id=81>

<http://www.vlsu.ru/index.php?id=492&L=2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D082#c1257>

<https://www.proza.ru/2018/07/03/776>

<http://old.museum-murom.ru/nauch-rab/uvarvii/kupecheskaya-semya-stoletovyh>

*Зав.кафедрой магнетизма
Н. Перов*



Варвара Столетова



Братья Столетовы: Дмитрий, Василий, Александр, Николай





ФИЗИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ». © 2019 Физический факультет МГУ.
Под ред. И.Н. Обинова, В.П. Задкова, А.А. Федянина, Н.Б. Барановой

Дизайн и верстка: И.А. Силамтьева
Фотограф С.А. Самкин

Пресс-секретарь физического факультета: Т.Челнина Д.И.
press@phys.msu.ru

Подписано в печать 3.05.20. Тираж 400 экз.

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

ISSN 2500-2384

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «ООО Флайт-арт»