

СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

№4 (150) 2021

В номере:



Поздравление профессора Н.Н. Сысоева,
декана физического факультета МГУ,
с новым учебным годом

Стр. 2



Старт строительства новых кластеров
научно-технической долины МГУ

Стр. 3–5



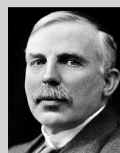
МГУ — лидер мирового рейтинга научного цитирования
NATURE INDEX RANKING 2021 среди российских вузов

Стр. 6



Противовирусная адсорбционная активность наночастиц
пористого кремния

Стр. 7–9



К 150-летию Эрнеста Резерфорда

Стр. 34–40



Как жили создатели советского атомного оружия

Стр. 54–63

СОВЕТСКИЙ ФИЗИК

4(150)/2021
(сентябрь–октябрь)



ОРГАН УЧЕНОГО СОВЕТА, ДЕКАНАТА
И ОБЩЕСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
2021



ПОЗДРАВЛЕНИЕ ПРОФЕССОРА Н.Н. СЫСОЕВА, ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ, С НОВЫМ УЧЕБНЫМ ГОДОМ

*Дорогие студенты, аспиранты, преподаватели
и все сотрудники факультета!*



Сердечно поздравляю вас с Днем знаний и новым учебным годом!

Приветствую наших первокурсников — добро пожаловать на факультет, с поступлением вас! Вы сделали один из главных выборов в своей жизни, выбрали профессию, можно сказать, свое будущее! Желаю вам учиться с удовольствием и упорством, трудиться каждый день, на каждой паре, а на нашем факультете созданы все условия для того, чтобы вы стали профессионалами своего дела.

Студентам и аспирантам, для которых это уже не первый учебный день, а продолжение интереснейшего пути в стенах Московского университета, желаю и в дальнейшем старания и упорства в приобретении знаний. Отличных вам отметок, легких экзаменов и зачетов, интересных лекций, верных друзей!

От всей души поздравляю с началом учебного года весь профессорско-преподавательский состав и сотрудников факультета. Ваш колоссальный труд, самоотдача и наивысший профессионализм — залог высокого качества образования. Желаю вам постоянных достижений в вашем нелегком каждодневном труде, карьерного роста, терпения, стойкости, прилежных и внимательных студентов.

Желаю всем крепкого здоровья, выдающихся успехов, упорства и настойчивости на пути к новым целям, достижениям и открытиям на благо отечественного образования и России!

Непростой период борьбы с коронавирусом стал для нашего факультета эпохой нового развития и роста, а главное — еще больше нас сплотил.

За последний год мы сумели эффективно адаптироваться к сложившейся ситуации. Нам удалось успешно внедрить новые формы совместной работы, провести множество интересных дистанционных мероприятий в онлайн-формате.

Мы приобрели огромный, интересный и ценный опыт, который обязательно будем совершенствовать и использовать в дальнейшем!

*Декан физического факультета МГУ
профессор Н.Н. СЫСОЕВ*



СТАРТ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВЫХ КЛАСТЕРОВ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЛИНЫ МГУ



12 июля 2021 года состоялась торжественная церемония начала строительства кластеров «Междисциплинарный» и «Образовательный» Инновационного научно-технологического центра МГУ «Воробьевы горы». В мероприятии приняли участие ректор МГУ академик В.А. Садовничий, мэр Москвы С.С. Собянин и генеральный директор Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачев.

«Проект, поддержанный Президентом России, даст шанс реализовать себя тысячам ученых, аспирантов и студентов. Это отличная возможность для инноваторов и инвесторов прикоснуться к развитию научных областей. Это одно из важнейших событий накануне 270-летия МГУ, которое предстоит в 2025 году. Освоение новой территории рядом с Московским университетом, возведение корпусов его научно-технологической долины – небывалый грандиозный проект, который уже реализуется. Я благодарен мэру Москвы Сергею Семеновичу Собянину за огромную поддержку этой инициативы. Именно благодаря этой поддержке мы все уже видим, как оторвался от земли, как растет первый корпус "Ломоносов". Огромную помощь воплощению проекта инновационного научно-технологического центра МГУ "Воробьевы горы" оказывает президент Государственной корпорации "Росатом" Алексей Евгень-



евич Лихачев. Не стоит забывать, именно благодаря ей над нашей страной сегодня мирное небо, а в домах жителей – свет и тепло. Нас связывает еще и проект организации филиала МГУ в городе Сарове, реализуемый по поручению президента России Владимира Владимировича Путина. Все вместе – это инфраструктура созидания, инноваций, движения вперед в фундаментальной и прикладной науке», – рассказал ректор Московского университета В.А. Садовничий.

Мэр Москвы С.С. Собянин отметил, что сегодня большое событие для МГУ, для города, для российской науки. «Должен сказать, что в Москве мы привыкли к масштабу, стройке. Этим, наверное, никого не удивишь, но то, что реализуется здесь по поручению Президента России, это является, конечно, уникальным проектом для нашей страны. В центре города, рядом с лучшим университетом страны, разворачивается такая стройка, которая призвана объединить потенциал Московского государственного университета, ведущих корпораций страны, инновационного малого и среднего бизнеса, правительства Москвы, правительства Российской Федерации, под эгидой президента страны. Это действительно будет ведущая площадка, которая объединяет образовательный, научный, технологический потенциал страны», – подчеркнул мэр.

«Росатом и МГУ связывают многолетние дружеские взаимоотношения: в данный момент это совместная работа по созданию филиала МГУ в Сарове (в декабре 2020 года эту инициативу Росатома по созданию в Национального центра физики и математики и открытию там филиала университета одобрил Президент России), а теперь и возможность участия в новом проекте МГУ, продвигающем российскую науку и технологии. Росатом обладает большим опытом и передовыми компетенциями в области строительства. Мы управляем сооружением не только атомных станций, но и других сложных объектов капитального строительства, не связанных с энергетикой, но требующих высокопрофессионального подхода. Мы готовы поделиться этим опытом и в ходе создания Инновационного научно-технологического центра МГУ», – отметил А.Е. Лихачёв.

В 2015 году ректор Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова академик В.А. Садовничий выступил с инициативой создания научно-технологической долины МГУ на новой территории Московского университета (ныне – Инновационный научно-технологический центр (ИНТЦ) МГУ «Воробьевы горы»). Инициатива была поддержана Президентом Российской Федерации.

Основная идея создания ИНТЦ заключается в формировании на территории Московского университета инновационной экосистемы мирового уровня в целях реализации приоритетов научно-технологического развития России, повышения инвестиционной привлекательности сферы ис-



следований и разработок, коммерциализации их результатов, расширения доступа граждан и юридических лиц к участию в перспективных, коммерчески привлекательных научных и научно-технологических проектах.

Проект ориентирован на создание высокорентабельного инновационного механизма функционирования Центра на базе междисциплинарных фундаментальных и научно-прикладных исследований на цифровой основе, результатом которых являются передовые технологии, востребованные экономикой. Движущей силой проекта выступают передовые междисциплинарные научно-образовательные школы Московского университета, замкнутые на реальный сектор экономики, в том числе вовлекающие в свою деятельность перспективные стартапы.

Центр создается в качестве инновационного научно-технологического интерфейса Московского университета с промышленностью России и научно-образовательной площадки для подготовки кадров для новой цифровой экономики.

Приоритетные направления инновационной научно-технологической деятельности реализуются путем развития взаимосвязанных кластеров. 12 июля был дан старт строительству кластеров «Междисциплинарный» и «Образовательный».

Первый предназначен для междисциплинарных гуманитарных исследований и исследований в области когнитивных наук и искусственного интеллекта; реализации Транснационального мегапроекта «Единая Евразия»; инновационных спортивных разработок (разработка научных основ развития спорта в России; создание методики описания «идеальных» моделей спортсменов с учётом генетических, физиологических, антропологических, биохимических характеристик человека; вопросы психологического обеспечения и сопровождения спорта).

В «Образовательном» кластере предполагается наличие учебных аудиторий и исследовательских лабораторий для реализации образовательных проектов (в том числе программ дополнительного образования) на базе факультетов и научно-образовательных школ МГУ, а также формирование инновационной среды для развития научно-технологических стартапов.

На сегодняшний день выполнен первый этап проектирования кластеров: завершены эскизная проработка архитектурных проектов и инженерно-изыскательские работы на стройплощадках, подготовлены котлованы для начала строительных работ.

<https://www.msu.ru/news/start-stroitelstva-novykh-klasterov-nauchno-tekhnologicheskoy-doliny-mgu.html>



МГУ — ЛИДЕР МИРОВОГО РЕЙТИНГА НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ NATURE INDEX RANKING 2021 СРЕДИ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ

В мировом рейтинге научного цитирования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова занял первое место среди отечественных университетов и второе – среди научных организаций, пропустив вперед только Российскую академию наук. Такая оценка достижений МГУ дается в новом выпуске Nature Index Ranking. Ученые Московского университета также заняли 1 место среди всех научных организаций **по физическим наукам, химии, наукам о жизни, в исследованиях Земли и природы**. Рейтинг оценивает работы, вышедшие в период с 1 мая 2020 года по апрель 2021 года.



Ректор Московского университета академик Виктор Антонович Садовничий: «Высокий результат МГУ в Nature Index Ranking 2021 обусловлен как традиционно фундаментальным характером научной и образовательной деятельности университета, так и проявлением междисциплинарного подхода, созданием новых научно-образовательных школ. Образовано 7 междисциплинарных научно-образовательных школ, объединивших интеллектуальный потенциал и исследовательскую инфраструктуру разных факультетов, сконцентрировав его на самых прорывных

направлениях развития научного знания, мы создали условия для формирования высокопродуктивных исследовательских групп и получения научных результатов мирового уровня. Сейчас идет усиление инновационного характера структуры научной и образовательной деятельности в рамках новых университетских школ, происходит глубокий синтез деятельности по получению новых знаний и ее трансляции от преподавателя к студенту. Это означает развитие в университете экосистемы научных и образовательных проектов, нацеленной на расширенное воспроизводство научных знаний и кадров. Полагаю, что в недалеком будущем именно от ее результативности во многом будет зависеть масштаб научно-исследовательской и публикационной активности вуза».

https://www.msu.ru/science/main_themes/mgu-lider-mirovogo-reytinga-nauchnogo-tsitirovaniya-nature-index-ranking-2021-sredi-rossiyskikh-vuzov.html

ПРОТИВОВИРУСНАЯ АДСОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Сотрудники кафедры медицинской физики физического факультета и школы “Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина”, совместно с коллегами с физического, химического факультета и Федерального научного центра исследований и разработки иммунобиологических препаратов им. М.П. Чумакова РАН продемонстрировали универсальную противовирусную адсорбционную активность наночастиц пористого кремния. Полученные результаты свидетельствуют о большом потенциале использования данных наночастиц в качестве универсальных вирусных сорбентов и дезинфицирующих средств для выявления и лечения вирусных заболеваний. Работа опубликована в журнале *Bioactive Materials* (IF14.593), исследование поддержано грантом РНФ.

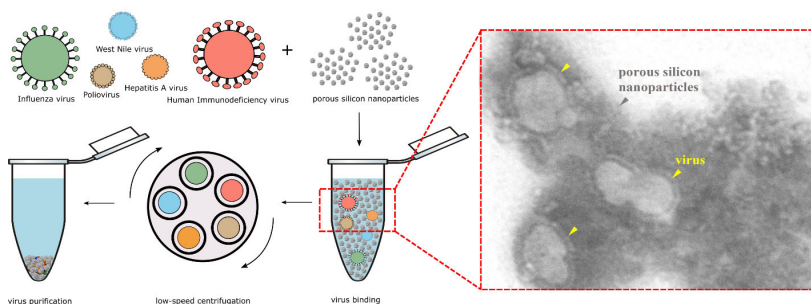


Рис. 1. Схема эксперимента по оценке противовирусной адсорбционной активности наночастиц (слева), а также микрофотография просвечивающей электронной микроскопии вирусов гриппа H1N1, захваченных наночастицами пористого кремния (справа)

Новые патогенные вирусы возникают из уже существующих человеческих вирусов или из вирусов животных. Текущая глобальная пандемия SARS-CoV-2 показала, что новые штаммы патогенных вирусов могут распространяться очень быстро, вызывая болезни и смерть миллионов людей, что, в свою очередь, приводит к значительным негативным социально-экономическим последствиям. Поэтому поиск новых способов борьбы с различными патогенными вирусами является важной актуальной задачей, а стратегии, основанные на применении наноструктурированных материалов, представляют значительный интерес.

Наночастицы пористого кремния в настоящее время продемонстрировали большой потенциал для их использования в биомедицине, осо-



бенно в качестве эффективных систем доставки лекарств. Преимущества применения кремниевых наночастиц в качестве противовирусных агентов связаны с их низкой токсичностью и биоразлагаемостью, а также с простотой и воспроизводимостью методов их изготовления.

Сотрудники физического факультета совместно с коллегами впервые показали противовирусную адсорбционную (вирулицидную) эффективность наночастиц пористого кремния против различных оболочечных и безоболочечных патогенных вирусов человека, таких как вирус гриппа А, полиовирус, вирус иммунодефицита человека, вирус Западного Нила и вирус гепатита.

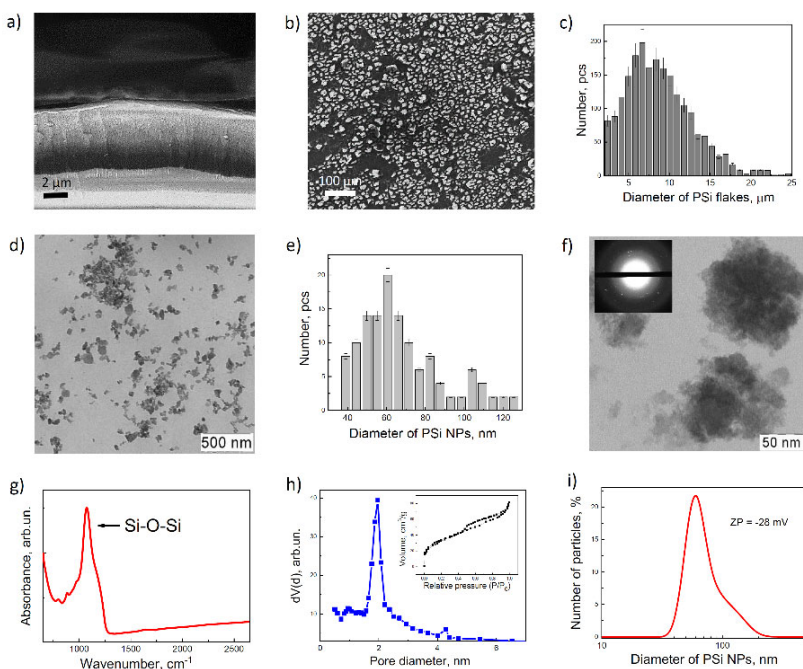


Рис. 2. Структурные свойства пленок и наночастиц пористого кремния

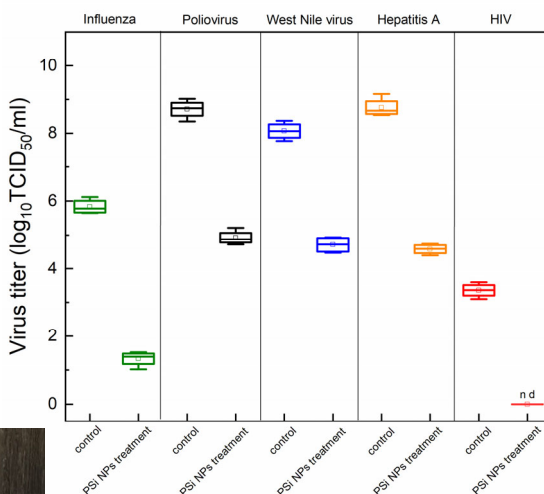
Наночастицы размером 60 нанометров со средним диаметром пор 2 нанометра и удельной поверхностью 200 $\text{м}^2/\text{г}$ были получены измельчением пленок микропористого кремния.

После взаимодействия с наночастицами наблюдается сильное подавление инфекционной активности зараженных вирусами жидкостей, что проявляется в снижении инфекционного титра всех изученных типов



вирусов примерно в 10^4 раз и соответствует инаktivации 99,99 % вирусов *in vitro*. Такая сорбционная способность наночастиц возможна благодаря их микропористой структуре и огромной удельной поверхности, которая обеспечивает эффективный захват вирионов. Это также подтверждается проведенным ИФА-анализом, измерениями динамического светорассеяния и полученными изображениями просвечивающей электронной микроскопии. Агломераты наночастиц и вирусов, образующиеся после их контакта, легко удаляются из растворов до инфицирования клеток-хозяев.

Рис. 3. Вирулицидный эффект наночастиц пористого кремния против вируса гриппа А, полиовируса, вируса Западного Нила, вируса гепатита А и вируса иммунодефицита человека (ВИЧ), который выражается в снижении титра вируса после взаимодействия с наночастицами по сравнению с контролем



Обнаруженная универсальная адсорбционная активность наночастиц пористого кремния против различных патогенных вирусов может быть использована при разработке сенсоров и средств первой помощи в случае непредвиденных вирусных эпидемий или пандемий.

Любовь Осминкина, руководитель гранта РНФ, зав. лабораторией физических методов биосенсорики и нанотераностики кафедры медицинской физики физического факультета МГУ



МЕЗОСКОПИЧЕСКОЕ НЕСООТВЕТСТВИЕ — НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ЭПИТАКСИЮ НАНОСТРУКТУР

Сегодня, после более чем ста лет активных исследований на предмет напряжений и деформаций на поверхностях, идея о том, что последние играют решающую роль в определении динамики морфологии и роста, как поверхности, так и находящихся на них наноструктур, кажется почти тривиальной. Например, пониженная координация поверхностных атомов, которая может приводить к сокращению межатомных расстояний и реконструкции поверхности, проявляется в ещё более явном виде для наноструктур на поверхности, вызывая в них и в подложке сложные и высокоанизотропные поля деформаций.

В настоящее время под обобщающим названием “*мезоскопическое несоответствие*” (mesoscopic misfit) принято понимать деформации поверхности и наноструктур на них, вызванные многочисленными эффектами, связанными с конечными размерами системы или принципиальным несовпадением параметров решётки составляющих её материалов[1]. В опубликованной нами статье проведена попытка объединить результаты и внести некоторый порядок в современное понимание того, как и когда возникает *мезоскопическое несоответствие* в наноструктурах на металлических поверхностях и какое оно оказывает воздействие на морфологию, рост, электронные и магнитные свойства системы. С развитием концепции *мезоскопического несоответствия* сегодня стало очевидным его влияние в масштабах длины от сотен нанометров до нескольких ангстрем. Этот диапазон мы будем иметь в виду, говоря “*мезоскопический*”, хотя для большей части обсуждаемых эффектов он может быть сужен до пределов от единиц до десятков нанометров.

Несмотря на то, что наше современное понимание возможных источников *мезоскопического несоответствия* пока нельзя считать полным, сама идея о том, что напряжения и деформации поверхности играют фундаментальную роль в определении свойств последней, была высказана более века назад в работах Гиббса. В начале 20-го века, в период интенсивного развития кристаллографии, когда впервые один кристаллический материал был выращен на поверхности другого (процесс, для которого термин “эпитаксия” был введён Руайе), напряжение на границе раздела кристаллических материалов обычно рассматривалось как результат только “*естественного несоответствия*” (на основе различия постоянных кристаллической решётки двух материалов). Понимание того, что напряжение является мерой избыточности, которую поверхность будет стремиться устранить, чтобы минимизировать свою энергию, потребовало хорошей предсказательной теории, способной достаточно точно



учесть влияние напряжения и деформаций на величину поверхностной энергии. На основании определений напряжения и деформации, данных Гиббсом, Шаттлуортом, Херрингом и др., было разработано их последовательное теоретическое описание для поверхностей, показывающее, что, среди прочего, они могут быть сильно анизотропными и неоднородными.

В конце 1920-х Леннард-Джонс и Дент выдвинули три замечательных утверждения: (I) физика атомных масштабов может привести к равновесному сокращению длин связей на поверхности кристалла; (II) нормальная к поверхности кристалла составляющая результирующего напряжения приводит к сокращению межслоевых расстояний вблизи поверхности; (III) несоответствие между равновесными длинами связи на поверхности и в объёме кристалла приводит к тому, что поверхность подвергается растягивающему напряжению. Эти три утверждения оказались исключительно оригинальными для того времени и стали, вероятно, одной из первых попыток атомистического описания поверхностных напряжений и деформаций. Основополагающей стала работа Полинга, в которой на основе квантовомеханических соображений был установлен набор более общих правил, относящихся к связям посредством электронных пар, в частности, касающихся прочности связей в зависимости от природы одноэлектронных собственных функций. Одно общее утверждение, которое следует из этих правил и будет для нас особенно важным, может быть выражено в следующей простой формулировке — чем меньше связей у атома, тем сильнее каждая из них.

В 1950-е годы, когда эксперименты по дифракции электронов с высоким разрешением доказали, что, вне всякого сомнения, сжатие решётки в мелких металлических кристаллах действительно происходит и, более того, зависит от их размера, теоретическое предсказание, выдвинутое Леннардом-Джонсом, Дентом и Полингом, стало преобладающим объяснением такого рода экспериментальных наблюдений. Достоверное экспериментальное определение сжатия решётки также позволило получать значения поверхностного напряжения для различных материалов.

Благодаря появлению в 1990-е годы локальных зондовых методов (таких как сканирующая туннельная микроскопия — STM), позволяющих исследовать свойства поверхности в реальном атомном масштабе, стало ясно, что как возникновение *мезоскопического несоответствия*, так и возможные его последствия были ещё далеко не полностью оценены. Было замечено, что даже атомы лёгких элементов при адсорбции на поверхность могут вызывать сложные сдвиги окружающих поверхностных атомов. Данный результат намекал на то, что свойства связи на атомном уровне играют ключевую роль в определении локальных сил и, следовательно, морфологии системы. Так STM-измерения продемонст-



рировали, что конкуренция между поверхностными и объёмными напряжениями (так называемые *деформационные релаксации*) может привести к росту разветвлённых островков на начальной стадии эпитаксии меди на поверхности Ni(001) или к эффекту формирования островков правильной формы при высокой температуре.

Важнейшие идеи пришли также из теоретических работ. Концепция *мезоскопического несоответствия* строилась и разрабатывалась для устранения недостатков континуальной теории упругости, которая долгое время была фактически основной в описании искажений границ раздела. В классической континуальной теории снятие напряжений описывается на основе “макроскопического” или *естественного несоответствия* решётки $m_0 = (a_{ads} - a_s)/a_{ads}$, где a_{ads} и a_s — равновесные длины связи материалов адсорбата и поверхности; соответственно, если $m_0 > 0$ ($m_0 < 0$), *несоответствие* приводит к сжатию (растяжению) адсорбированной структуры. Однако, если адсорбированная система имеет “мезоскопические” размеры (в несколько сотен атомов или меньше), действительные длины связей в ней сильно отличаются от длин связей в объёмах соответствующих кристаллов. Неоднородная в пространстве зависимость длин межатомных связей от масштаба атомных длин приводит к *мезоскопическому несоответствию*, которое возникает в структурах конечных размеров, варьируется в субнанометровом масштабе (в зависимости не только от *естественного несоответствия*, но и от локального окружения конкретных атомов) и часто приводит к сложным трёхмерным полям деформаций как в адсорбированной структуре, так и в подложке [1]. Даже при гетероэпитаксии, которая считалась хорошо изученной в рамках континуальной теории упругости, некоторые эффекты невозможно было понять без рассмотрения *несоответствия* как существенно локального, мезоскопического свойства системы. Например, если растягивающее напряжение можно ожидать в рамках *естественного несоответствия* в таких системах как Fe, Co, Ni и Cu на поверхности W(110) в режиме роста субмонослоя, то по факту сжимающее напряжение было обнаружено экспериментально для таких гетероэпитаксиальных систем. Более неожиданным было наблюдение внутрислоевых осцилляций параметра решётки, обнаруженных методом дифракции быстрых электронов (RHEED) при эпитаксии кобальта на поверхности Cu(001) в режиме псевдоморфного роста: в растущих монокристаллических слоях кобальта происходило периодическое “поджатие” для полупроводниковых покрытий поверхности [2]. Поэтому одновременно с экспериментальными измерениями проходили и теоретические изыскания с целью улучшения макроскопического подхода континуальной теории упругости для описания первых стадий эпитаксиального роста. Керн и Мюллер выступили за ис-



пользование так называемого “активного несоответствия” — поправки к *естественному несоответствию*, учитывающей пониженную координацию атомов на краях наноструктуры [3]. Главная идея заключалась в том, что атомы на краях наноструктуры будут стремиться к релаксации своих позиций, чтобы увеличить энергию своих связей путём максимизации числа ближайших соседей.

Основополагающие работы по развитию концепции *мезоскопического несоответствия* появились лишь в начале 2000-х годов. Первые ключевые расчёты были проведены нашей группой на основе разработанной нами уникальной методики, получившей название *квазипервопринципной молекулярной динамики* с применением усовершенствованных многочастичных потенциалов [4,5]. Результаты наших исследований впервые показали, что, во-первых, не только напряжения и деформации в адсорбированной структуре определяют её форму и механизм роста, но и деформация подложки является механизмом снятия напряжений в ней, оказывая, порой, решающее воздействие на процесс эпитаксии и его энергетику. Во-вторых, было показано, что напряжения и деформации сильно зависят от локального окружения (т. е. от формы и размера адсорбированной наноструктуры). Таким образом, наконец, была однозначно установлена первостепенная важность “локального” или “мезоскопического” подхода к *несоответствию*, в противоположность опирающемуся, в духе континуальной теории упругости, на объёмные макроскопические значения *естественного несоответствия*. В-третьих, что не менее важно, *мезоскопическое несоответствие* не должно являться исключительным свойством гетероэпитаксиальных систем, но должно также существовать и в гомоэпитаксиальных системах — утверждение, позднее доказанное экспериментально и обобщившее понятие *мезоскопического несоответствия* для произвольной системы, независимо от её химического состава.

В качестве иллюстративного примера *мезоскопического несоответствия* деформационных релаксаций в эпитаксиальных наноструктурах на рис. 1 показаны смещения атомов в островке Co^{36} и в прилегающем участке подложки вдоль направления $\langle 110 \rangle$ поверхности $\text{Cu}(001)$ [5]. Из рисунка видно, что помимо выраженных внутрислоистых релаксаций в системе видны сильные внеплоскостные смещения. Атомы подложки под островком вдавлены вниз, в то время как по краям островка они приподняты. Среднее относительное смещение (определяемое из анализа длин связей) в слое подложки под кластером в плоскости поверхности отрицательно, то есть атомная структура подложки находится под действием напряжения сжатия.

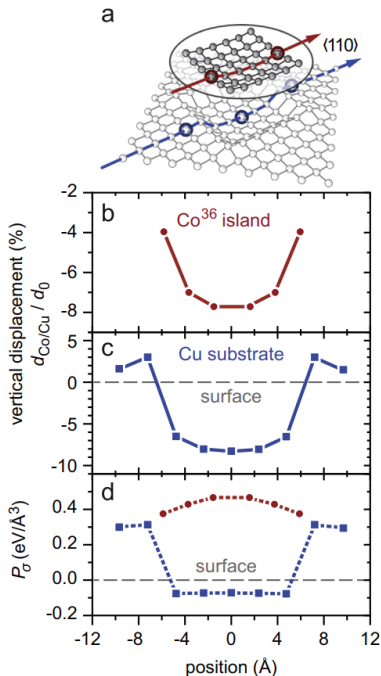


Рис. 1. (a) Эскиз системы (квадратный островок Co^{36} на поверхности $\text{Cu}(001)$) и трёхмерное представление релаксаций. (b) Вертикальное смещение атомов кобальта в островке и (c) атомов меди в верхнем слое подложки вдоль направления (110) . Расстояние между слоями $d_0 = 1,8075 \text{ \AA}$, постоянная решётки меди $a_0 = 3,615 \text{ \AA}$. (d) Гидростатическое напряжение в том же островке и слое подложки [5].

Описанные релаксационные эффекты были также установлены в структурах Co на Cu(111), убедительно показав общую применимость концепции *мезоскопического несоответствия* к различным структурам, сформированным на ранних стадиях эпитаксии тонких плёнок. Кроме того, на основе проведенных расчетов был впервые предоставлен доступ к локальной (атомного уровня) картине напряжений и деформаций, который даже современные экспериментальные методы не могут пока обеспечить в достаточной степени. Так на рис. 1(d) показано атомарно разрешённое гидростатическое напряжение $P_\sigma = \text{Tr}(\sigma_{\alpha\beta})$ в островках Co^{36} и в поверхностном слое Cu [5]. Как видно из рисунка, атомный слой меди вблизи края островка испытывает сильное растягивающее (положительное) напряжение, в то время как слой подложки под островком испытывает сжимающее (отрицательное) гидростатическое напряжение. Различное растягивающее напряжение наблюдается в центре и на краю кластера, что указывает на необходимость рассматривать *несоответствие* с мезоскопической, а не с макроскопической точки зрения.

Однако более важным оказалось то, что гомоэпитаксиальные структуры также подвержены закономерностям при деформационных релаксациях, которые во многом схожи со случаем гетероэпитаксии [1]. Этот результат бросал вызов общепринятому представлению о согласованности решёток островка и подложки в рамках классического континуально-упругого подхода к гомоэпитаксии, мотивируя необходимость перехода к более полной мезоскопической картине несоответствия.



В качестве иллюстрации на рис. 2 мы представляем пример расчёта *мезоскопического несоответствия* в квадратных островках кобальта и меди моноатомной толщины на поверхности Cu(001) в зависимости от их размеров как средней длины связи в таких кластерах учётом полной релаксации системы [6]. *Мезоскопическое несоответствие* при этом определялось как $m = (r_b - r_0)/r_0$ (r_b и r_0 — средние длины связей, соответственно, в островке и в объёме медного кристалла). Видно, что между небольшими островками кобальта и медной подложкой (гетерозпитаксиальная система) оно заметно больше, чем макроскопическое

$m_0 = (a_{Co} - a_{Cu})/a_{Co} \approx 0,02$ (где a_{Cu} и a_{Co} — характерные размеры длин связей в кристаллах меди и кобальта), и отлично от нуля для медных островков (гомоэпитаксиальная система). Это связано с

тем, что средняя длина связи в островках меньше, чем в объёме ГЦК-кристалла меди, что полностью противоречит интуитивному представлению о точках зрения континуальной теории упругости. Такое сжатие обусловлено сильным смещением краевых атомов и частично внутренних атомов в результате их релаксации (как видно на рис. 1). С ростом размера островков *несоответствие* масштабируется в соответствии с долей атомов, принадлежащих их краям, и зависимость становится пропорциональной $N^{-0.5}$ (серые пунктирные линии на рис. 2). Таким образом, *мезоскопическое несоответствие* не только является сильно зависящим от размеров наноструктуры, но и, как будет показано ниже, само, в свою очередь, влияет на морфологию и динамику роста эпитаксиальной наноструктуры.

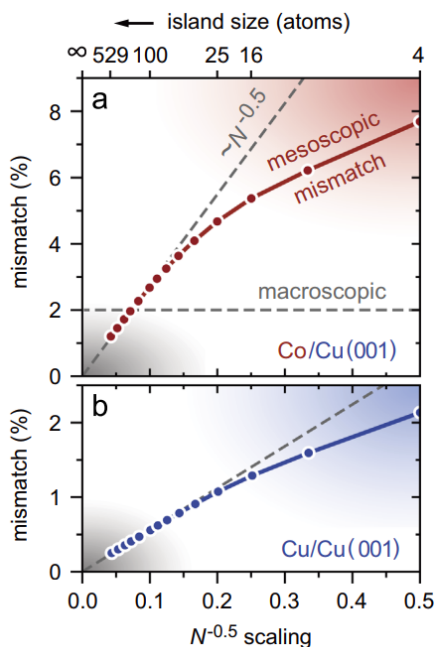


Рис. 2. Эволюция среднего мезоскопического несоответствия $m = (r_b - r_0)/r_0$ для квадратных островков кобальта (a) и меди (b) как функции размера островка N (число атомов, растет справа налево). r_b и r_0 — средние длины связей, соответственно, в островке и в объёме медного кристалла [6].



Попытка прямого наблюдения динамики роста адатомов на поверхности островков была впервые предпринята в экспериментах полевой ионной микроскопии (FIM) Эрлихоми Гольцхаузером [7]. Эти эксперименты продемонстрировали, что движение адатомов на вершинах островков отличается от их движения по ровной поверхности. При диффузии иридия на поверхности Ir(111) и платины на поверхности Pt(111) была обнаружена “оголённая” зона, разделяющая центральную область и край кластера (рис. 3). Эта “загадка” впоследствии была разгадана нами с помощью уникальной методики расчетов на атомном уровне, которые показали, что эффект пустых зон является следствием тонкого баланса между деформационными релаксациями в системе и уменьшением координационного числа на краях кластеров с образованием невыгодной зоны адсорбции, разделяющей центральную и краевую части островков [1]. В результате отдельным атомам приходится преодолевать энергетический барьер, чтобы пересечь пустую зону и достигнуть края кластера.

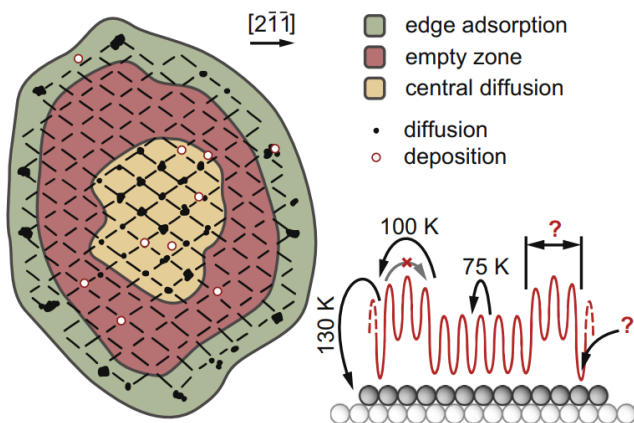


Рис. 3. Отображение позиций, занимаемых атомами Pt на кластере Pt(111) из ~145 атомов. Закрашенными метками отмечены положения атомов после диффузии. Пустые метки обозначают атомы после осаждения при ~20 K. Только один атом находится на кластере в каждый определённый момент при отображении. “Оголённую” зону, отделяющую центральную область от края кластера, могут заселять атомы при осаждении. Схема в правой нижней части демонстрирует адсорбционный потенциал на поверхности островка и температуру, при которой задействуются определённые процессы транспорта [7].

Более детальное исследование влияния напряжений на подвижность отдельных атомов по поверхности деформированных Со-островков на Si(001) показало, что на данное движение сильное влияние оказывают

только деформационные релаксации на мезоскопическом уровне, но и размер самих островков [6]. Барьеры прыжковой диффузии атомов кобальта на поверхностях небольших Со-островков (16–50 атомов) оказались на ~20% ниже, чем на более крупных островках (100–500 атомов). Мезоскопическое сокращение связей, зависящее от размеров островков, явилось главной причиной изменения диффузионных барьеров на их поверхностях. Более плотная упаковка последних уменьшает “волнистость” энергетического рельефа, что делает движение адсорбированных атомов более свободным. Важным следствием таких изменений может быть прямое воздействие на эпитаксиальный рост. Так, впервые объединив кинетический метод Монте-Карло (кМС) и молекулярно-статическое моделирование в атомном масштабе, нам удалось обнаружить формирование треугольных двухслойных островков кобальта на поверхности Cu(111) при комнатной температуре, сравнив полученные нами результаты с экспериментальными наблюдениями [1]. Согласно последним, при 290 К кобальт, осаждённый в 0,4 монослоя на поверхность Cu(111), образует вполне разделённые треугольные островки правильной формы (рис. 4а). Принимая во внимание все соответствующие процессы атомного уровня, но пренебрегая мезоскопическими релаксациями в системе, кМС-моделирование предсказывает совершенно иную, дендритную структуру островка (рис. 4б), характерную для гораздо более низких температур в эксперименте. Однако, как только в модель вводятся мезоскопические эффекты (рис. 4с), образующиеся формы островков почти идеально соответствуют экспериментальным.

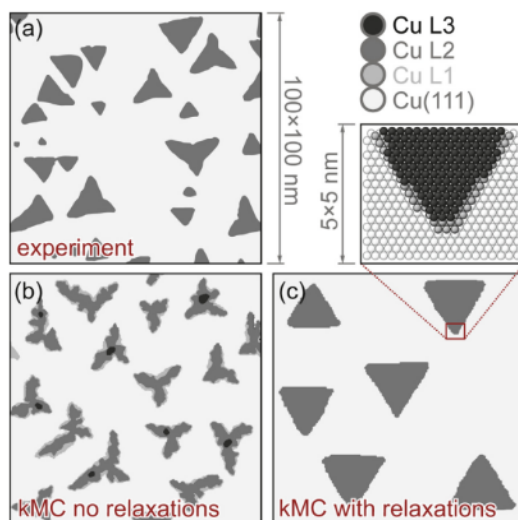


Рис. 4. Поверхность Cu(111) с осаждённым в 0,4 монослоя при 290 К кобальтом: экспериментальная STM-карта (а) и результат кМС-моделирования без деформационных релаксаций (б) и с правильным их учётом (с) [1].

го рельефа, что делает движение адсорбированных атомов более свободным. Важным следствием таких изменений может быть прямое воздействие на эпитаксиальный рост. Так, впервые объединив кинетический метод Монте-Карло (кМС) и молекулярно-статическое моделирование в атомном масштабе, нам удалось обнаружить формирование треугольных двухслойных островков кобальта на поверхности Cu(111) при комнатной температуре, сравнив полученные нами результаты с экспериментальными наблюдениями [1]. Согласно последним, при 290 К кобальт, осаждённый в 0,4 монослоя на поверхность Cu(111), образует вполне разделённые треугольные островки правильной формы (рис. 4а). Принимая во внимание все соответствующие процессы атомного уровня, но пренебрегая мезоскопическими релаксациями в системе, кМС-моделирование предсказывает совершенно иную, дендритную структуру островка (рис. 4б), характерную для гораздо более низких температур в эксперименте. Однако, как только в модель вводятся мезоскопические эффекты (рис. 4с), образующиеся формы островков почти идеально соответствуют экспериментальным.



В последнее десятилетие многочисленные теоретические и экспериментальные исследования были направлены на то, чтобы в деталях понять и увидеть, как именно возникает *мезоскопическое несоответствие*. На сегодняшний день можно отметить лишь несколько наиболее важных прямых экспериментальных подтверждений *мезоскопического несоответствия*, которые были достигнуты с развитием в последние годы экспериментально-технической базы. *Первое* из них основано на комбинации метода дифракции рентгеновских лучей на поверхности (SXRD) и STM-измерений [8]. STM-изображение поверхностной атомной структуры, образованной 0,5 монослоя железа на $\text{O}/\text{Fe}(001)-p(1 \times 1)$, в режиме постоянного тока на рис. 5 даёт доказательство того, что размерный эффект играет главную роль в модификации геометрии адсорбции кислорода в этой системе. На большом островке железа диаметром 4 нм видны две области: (i) со структурой окружающей его террасы — во внутренней части и (ii) с повышенным контрастом и потерей атомарного разрешения — на “краю” островка (шириной ≈ 1 нм), соответствующая наблюдаемому возвышению на $0,75 \text{ \AA}$ над внутренней частью островка. Высотный профиль вдоль линии показывает, что малый островок и краевая структура большого островка железа имеют одинаковую видимую высоту $\approx 2 \text{ \AA}$ относительно уровня террасы.

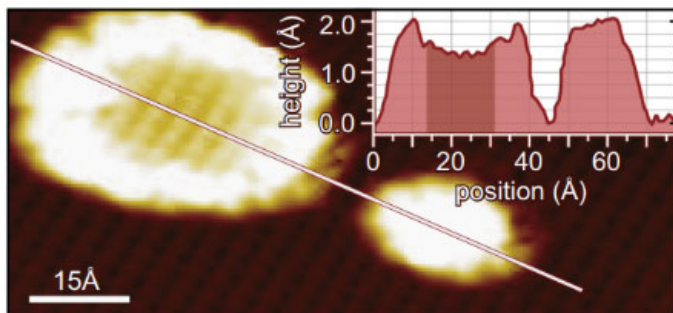


Рис. 5. STM-изображение в режиме постоянного тока ($8,0 \times 3,6 \text{ нм}^2$, напряжение смещения $-0,2 \text{ В}$, $I = 100 \text{ пА}$) двух Fe-островков ($\varnothing \approx 20$ и $35 \text{ \AA}$) [8]. На вклейке показан видимый высотный профиль вдоль линии.

В рамках *второго подхода* для подтверждения существования мезоскопических релаксаций были проведены исследования поверхности $\text{Cu}(001)$ при малом покрытии кобальтом (< 1 монослоя) методом EXAFS (протяжённой тонкой структуры рентгеновского спектра поглощения) [9]. В результате экспериментального анализа и теоретического расчёта преобразования Фурье интерференционной функции спектров EXAFS



были получены два замечательных результата: во-первых, однозначное свидетельство сокращения межатомных Co–Co расстояний с $R_{Co} = 2,51 \text{ \AA}$ в объеме до $R_{Co} = 2,45 \pm 0,02 \text{ \AA}$ в островке кобальта. Во-вторых, эффективное (среднее) координационное число атомов кобальта в островке уменьшено с $N_{Co} = 6,0$ (для бесконечно большого островка) до $N_{Co} = 3,2$. Эти результаты соответствуют нашим теоретическим предсказаниям и могут рассматриваться как прямое доказательство существования структурных релаксаций, вызванных *мезоскопическим несоответствием*.

Подводя итоги, можно сказать, что *мезоскопическое несоответствие* оказывает сильное воздействие на структуру поверхности, а также влияет на динамику роста и морфологию эпитаксиальных структур на ней. На протяжении последних лет предметом подробного исследования были различные способы, которыми *несоответствие* может оказывать такое влияние. Сокращение длин связей, внутри- и внеплоскостные релаксации на краях, преобразование формы в зависимости от размера структуры – вот лишь некоторые из них. Во всех этих проявлениях можно проследить влияние *несоответствия* в истинно атомном масштабе на такие элементарные процессы, как атомная адсорбция и диффузия. Однако, они не являются единственными индикаторами влияния *мезоскопического несоответствия* на свойства эпитаксиальных наноструктур. В настоящее время установлено, что деформационные релаксации в равной мере оказывают влияние на электронные и магнитные свойства, что проявляется в таких свойствах наноструктур, как локальные магнитные моменты, магнитная анизотропия и электронная структура [10].

В заключение хотелось бы отметить, что важнейшее преимущество теоретического подхода к исследованию проблемы *мезоскопического несоответствия* состоит в том, что большинство экспериментальных методов способны обнаружить лишь последствия этого *несоответствия*, в то время как теоретические методы на основе первопринципных и полумпирических расчётов способны дать локальную, разрешённую на атомном уровне картину геометрических, электронных и магнитных свойств системы, оставляя мало места для ошибок и неверных интерпретаций.

- [1] O.O. Brovko, D.I. Bazhanov, H.L. Meyerheim, D. Sander, V.S. Stepanyuk, J. Kirschner, *Surf. Sci. Rep.* 69, 159 (2014).
- [2] D. Sander, R. Skomski, C. Schmidthal, A. Enders, J. Kirschner, *Phys. Rev. Lett.* 77 (12), 2566 (1996); J. Fassbender, U. May, B. Schirmer, R. Jungblut, B. Hillebrands, G. Güntherodt, *Phys. Rev. Lett.* 75 (24), 4476 (1995).
- [3] R. Kern, P. Müller, *Surf. Sci.* 392 (1–3), 103 (1997).
- [4] N. Levanov, V. Stepanyuk, W. Hergert, D. Bazhanov, P. Dederichs, A. Katsnelson, C. Massobrio, *Phys. Rev. B* 61 (3), 2230 (2000).



- [5] V.S. Stepanyuk, D.I. Bazhanov, A.N. Baranov, W. Hergert, P. Dederichs, J. Kirschner, *Phys. Rev. B* 62 (23), 15398 (2000).
- [6] V. Stepanyuk, D. Bazhanov, W. Hergert, J. Kirschner, *Phys. Rev. B* 63 (15), 153406 (2001).
- [7] A. Götzhäuser, G. Ehrlich, *Phys. Rev. Lett.* 77 (7), 1334 (1996).
- [8] W. Feng, H.L. Meyerheim, K. Mohseni, O.O. Brovko, V.S. Stepanyuk, N. Jedrecy, R. Felici, J. Kirschner, *Phys. Rev. Lett.* 110 (23), 235503 (2013).
- [9] H.L. Meyerheim, E. Crozier, R. Gordon, Q. Xiao, K. Mohseni, N.N. Negulyaev, V.S. Stepanyuk, J. Kirschner, *Phys. Rev. B* 85 (12), 125405 (2012).
- [10] D. Sander, S.-H. Phark, M. Corbetta, J. Fischer, H. Oka, J. Kirschner, *J. Phys.: Condens. Matter* 26, 394008 (2014).

Бажанов Д.И.,
кафедра физики твердого тела



ГРУППА ПЛАЗМЕННЫХ И ИОННО-ПУЧКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время на кафедре физической электроники ведутся активные работы по созданию новых источников плазмы, разработке новых и усовершенствованию известных плазменных и ионно-пучковых технологий. Основным направлением фундаментальных работ группы плазменных и ионно-пучковых технологий является продолжение исследований физики ВЧ-разряда, начатых А.А. Кузовниковым, В.П. Савиновым, А.Ф. Александровым и А.А. Рухадзе. К настоящему времени центр тяжести фундаментальных работ по ВЧ-разряду на кафедре сместился к изучению поведения разряда при наличии внешнего магнитного поля. Известно, что вихревые ВЧ-поля скинируются в плазме и нагревают электроны только в пределах скин-слоя. Наложение на разряд внешнего магнитного поля определенной величины приводит к проникновению ВЧ-



полей вглубь плазмы, возбуждению волн и эффективному нагреву электронов во всем объеме.

Спектры волн, возбуждаемых в безграничной плазме при наличии магнитного поля, были ранее исследованы А.А. Рухазде и А.Ф. Александровым. Особенностью лабораторных источников плазмы, в том числе используемых в промышленности, является ограниченность их объема. Ограниченность приводит к изменению структуры возбуждаемых ВЧ-полей. Источники плазмы становятся резонаторами, в которых эффективность поглощения ВЧ-мощности существенно зависит не только от индукции магнитного поля, концентрации электронов и их частоты столкновений с тяжелыми частицами, но и от геометрических размеров самих источников.

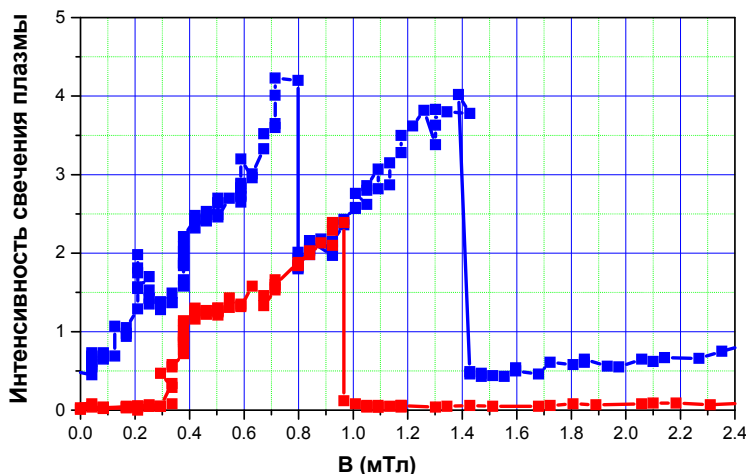


Рис. 1. Зависимость интенсивности свечения плазмы от индукции внешнего магнитного поля. $P_{gen} = 50\text{Вт}$ — красная кривая и $P_{gen} = 300\text{Вт}$ — синяя кривая

Еще одной особенностью ВЧ-разряда является тот факт, что не вся мощность ВЧ-генератора, отдаваемая во внешнюю цепь, вкладывается в плазму, часть мощности теряется во внешней цепи разряда. При этом возникает интересная ситуация: доля мощности, поступающая в разряд, зависит от внешних (индукции внешнего магнитного поля и др.) и внутренних (концентрации электронов и др.) параметров разряда, в свою очередь внутренние параметры разряда, в частности, концентрация электро-



нов в значительной степени определяются вложенной мощностью. Таким образом, при изменении величины магнитного поля происходит самосогласованное изменение параметров плазмы (см. рис. 1). Нахождение областей внешних параметров разряда, при которых достигаются максимальные значения концентрации электронов при заданной мощности генератора, имеют не только фундаментальное, но и большое прикладное значение, как при реализации космических, так и земных технологий.

Начиная с 60-х годов XX века, в промышленно развитых странах начались разработки электроракетных двигателей (ЭРД). Они предназначены для коррекции обриту, маневрирования космических аппаратов в космосе. Конструкция ЭРД включает в свой состав газоразрядную камеру, где генерируется плотная плазма. Полученные в плазме ионы затем ускоряются, как правило, с использованием или электростатических систем ускорения, или электрических полей, возникающих в плазме в области скрещенных электрических и магнитных полей. Поток ускоренных ионов создают тягу с типичными значениями от единиц до сотен мН.

Важными характеристиками работы ЭРД являются количество затраченной энергии на получение 1 мН, а также так называемая газовая экономичность, равная отношению потока ускоренных ионов, истекающего из ЭРД, к потоку атомов рабочего тела, поступающих в ЭРД. Очевидно, что конкурентноспособными являются ЭРД, позволяющие получить заданную тягу при минимальных энергозатрах и максимальной газовой экономичности. Фундаментальные работы, выполненные на кафедре физической электроники, позволили найти оптимальные режимы и разработать оригинальный прототип ВЧ индуктивного ионного двигателя с внешним магнитным полем. Характеристики двигателя не уступают мировым аналогам.

Разработанный прототип ионного двигателя работает на ксеноне – тяжелом инертном газе с большим сечением ионизации. В настоящее время в связи с развитием телекоммуникационных систем появилась потребность в разработке двигателей для космических аппаратов, работающих на низких (до 500 км) орбитах, где присутствует достаточно большое количество азота и кислорода. В связи с этим актуальной стала разработка двигателей, работающих на воздухе. Наиболее перспективными для этой цели устройствами являются ВЧ ЭРД, т.к. они не требуют использования катодов, время жизни которых в присутствии воздуха сильно ограничено. В настоящее время на кафедре физической электроники ведутся поисковые работы по нахождению оптимальных режимов прототипов ВЧ ионного, ВЧ Холловского и «геликонного» двигателей при использовании воздуха в качестве рабочего тела.



Фундаментальные исследования ВЧ-разряда, выполненные на кафедре физической электроники, применяются и для разработки новых и усовершенствования существующих наземных технологий. В частности, прототип ВЧ ионного двигателя использован для создания источника ускоренных ионов инертных и химически активных газов для поверхностной модификации материалов, распыления материалов в технологии получения тонких пленок.

Источник плазмы на основе ВЧ индуктивного разряда с внешним магнитным полем использован для ассистирования процессам напыления пленок. На основе разработок кафедры совместно с НИИ точного машиностроения (г. Зеленоград) была создана полупромышленная установка (см. рис. 2).

Малогабаритный «геликонный» источник плазмы, позволяющий получать поток ускоренных ионов с энергией 50–70 эВ, использован для придания гидрофильных и усиления сорбционных свойств углеродной ткани, разработанной в НИИГРАФИТ. Ткань используется в медицинских целях для лечения ран и ожогов.

На основе емкостного ВЧ-разряда в толуоле разрабатывается технология получения толстых алмазоподобных пленок по заданию ОАО «ТРЭМ ИНЖИНИРИНГ».



Рис. 2. Полупромышленная установка для напыления тонких пленок с ионным стимулированием



Кралькина Е.А., д. ф.-м.н., в.н.с.



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА

Широкий спектр миссий современных космических аппаратов (КА) требует наличия на их борту двигателя, способного создавать реактивную струю с высоким удельным импульсом – величиной, характеризующей скорость истечения частиц в реактивной струе. Для космических аппаратов на орбите Земли оптимальные значения скорости истечения лежат в приблизительном диапазоне от 10 до 30 км/с. Максимальная скорость истечения, получаемая при помощи химических ракетных двигателей, основанных на окислении топливной смеси, не превышает 5 км/с. По этой причине основными двигателями, используемыми на КА, являются электрические ракетные двигатели (ЭРД), где высокие скорости истечения достигаются ионизацией рабочего газа и последующим ускорением ионов электромагнитным полем.



Рис. 1. ВЧ ионный двигатель с диаметром газоразрядной камеры 5 см во время работы. Светлые пятна — блики на стекле смотрового окна вакуумной камеры

На сегодняшний день практически все используемые в космических миссиях ЭРД представлены двумя типами: сеточными ионными двигателями (ИД) и стационарными плазменными двигателями (СПД). Первые основаны на ионизации рабочего газа в газоразрядной камере и после-



дующем ускорении ионов посредством системы перфорированных электродов, находящихся под постоянным напряжением. Вид малого ИД во время работы приведён на рис. 1. Вторые используют скрещенные поля — продольное электрическое и радиальное магнитное — в тороидальном разрядном канале для организации замкнутого азимутального дрейфа электронов и создания постоянного электрического поля внутри самой плазмы, которое, в свою очередь, производит требуемое ускорение ионов. Обе технологии прошли длительный путь развития с момента первых орбитальных испытаний в 1970-х, а устройства на основе этих технологий были доведены до высокой степени технического совершенства.

В последнюю декаду развитие космической отрасли шло нарастающими темпами, однако особо быстро развивалось направление малых космических аппаратов (50 кг и менее) на низких околоземных орбитах высотой 500 км над уровнем моря и меньше. Популярность подобных малых спутников кроется в их коммерческой привлекательности, а также в преимуществах низких орбит для ряда задач, таких как телекоммуникация, геолокация, наблюдение за поверхностью Земли, сбор геодезических данных (например, возмущений гравитационного поля) и т.п. Для проведения манёвров в рамках типичных задач ориентирования и коррекции орбиты, а также для компенсации торможения КА верхними слоями атмосферы двигатель является обязательным компонентом. Таким образом, развитие области малых низкоорбитальных КА поставило перед разработчиками ЭРД ряд новых задач, а именно: миниатюризация, масштабирование в сторону малых мощностей, возможность стабильной и эффективной работы двигателя в условиях присутствия газов верхних слоёв атмосферы, возможность захвата и использования этих газов в качестве рабочего тела. В силу химической активности газов верхних слоёв атмосферы использование стандартных эмитирующих катодов (например, на основе гексаборида лантана) становится невозможным, что существенно снижает привлекательность устройств на основе разряда постоянного тока. СВЧ-устройства для эффективной ионизации рабочего газа требуют высоких значений магнитного поля для реализации электронно-циклотронного резонанса и эффективной ионизации рабочего тела, что также является проблемой. По этой причине очевидным решением является создание маломощных ВЧ ИД. Масштабирование ЭРД в сторону малых мощностей сопряжено с существенными потерями в параметрах эффективности, что заставляет научные коллективы, занимающиеся этой тематикой, искать новые способы организации рабочего процесса в ЭРД.

На кафедре физической электроники ведутся работы по исследованию физических процессов, происходящих в малых ВЧ ИД. Предложена схема повышения вложения ВЧ-мощности в разрядную плазму посред-



ством создания в газоразрядной камере продольного магнитного поля с величиной, соответствующей условиям возбуждения косых Ленгмюровских и геликонных волн. Это позволяет увеличить извлекаемый из плазмы ионный ток при фиксированной мощности, подводимой к разряду, что иллюстрирует рис. 2. Также рассматривается возможность использования импульсного режима работы ВЧ ИД таким образом, чтобы разрядная плазма значительную часть времени пребывала в процессе деионизации, который характеризуется малыми температурами электронов и, соответственно, малыми тепловыми потерями за счёт выноса заряженных частиц на стенки газоразрядной камеры.

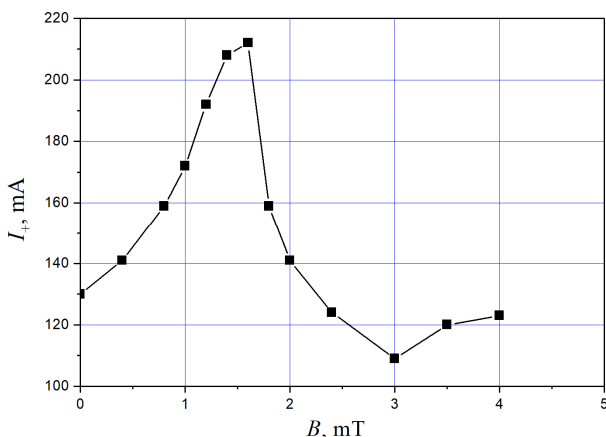


Рис. 2. Зависимость ионного тока I_+ , создаваемого ВЧ ИД, от величины магнитного поля B при фиксированной ВЧ-мощности источника питания и расходе рабочего газа

Альтернативной перспективной схемой двигателя для малых КА является маломощный геликонный двигатель, основанный на индуктивном ВЧ-разряде в цилиндрической камере с продольным магнитным полем. В отличие от ИД и СПД, которые создают ускоренный ионный пучок, требующий нейтрализации электронами при помощи стороннего катода-компенсатора, геликонный двигатель позволяет получить сразу скомпенсированный поток заряженных частиц. Физические процессы, приводящие к ускорению электронов и ионов, активно исследуются и всё ещё не до конца ясны. Помимо скомпенсированного потока сильной чертой подобного устройства является отсутствие каких-либо металлических поверхностей, контактирующих с плазмой, что открывает возможность работы на химически активных газах. Существенным недостатком этой



схемы является низкая энергия истекающих ионов по сравнению с установленными схемами ВЧ ИД и СПД (50-70 эВ по сравнению с 500-1500 эВ). Естественно, основные направления проводящихся на кафедре физической электроники исследований по этой тематике направлены на поиск возможностей наращивания энергии ионов при сохранении преимуществ разрядной схемы. Впрочем, низкие энергии ионов отлично подходят для использования подобного двигателя как источника ионов для ассистирования при нанесении тонких плёнок (рис. 3).

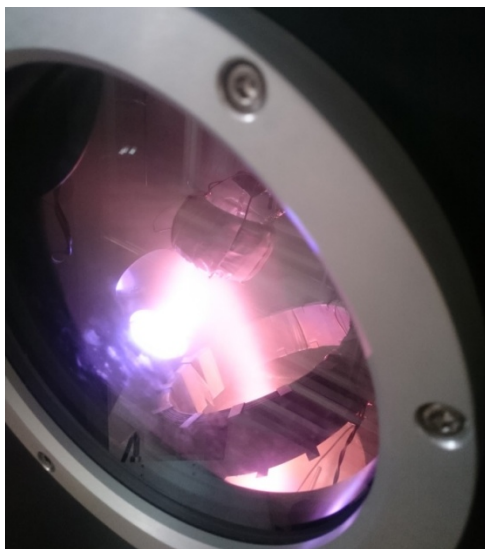


Рис. 3. Совместная работа магнетрона (слева) с геликонным источником (справа, видна лишь спазменная струя) в процессе нанесения тонкой плёнки с ионным ассистированием. Поток плазмы, создаваемый геликонным источником, изгибается при помощи электромагнитов для направления на запляемый образец

СПД обычно не рассматривается как кандидат на роль двигателя для малых низкоорбитальных КА, так как плохо масштабируется в сторону малых мощностей и требует эффективный эмитирующий катод, что вызывает проблемы при наличии остаточных газов верхних слоёв атмосферы. При этом используемая в СПД схема ускорения ионов без сложной и дорогой системы перфорированных электродов — ускорения прямо в толще плазмы, является чрезвычайно эффективной и интересной. По этой причине нашим научным коллективом проводятся работы по созданию двигателя с геометрией СПД на основе емкостного ВЧ-разряда. В подоб-



ном разряде существует принципиальная возможность создания плазмы, имеющей высокий средний за период ВЧ-колебаний потенциал относительно заземлённого электрода. Ионы, покидая такую плазму, будут приобретать энергию, соответствующую этому потенциалу. Вдобавок емкостной ВЧ-разряд способен замыкаться токами смещения, что позволяет

вынести электроды за пределы разрядного канала и получить скомпенсированный электронами поток ионов на выходе из двигателя. Однако практическая реализация такого устройства сопряжена с серьёзными техническими трудностями и тесно связана с необходимостью изучения достаточно сложного разряда — емкостного ВЧ-разряда во внешнем радиальном магнитном поле.



*Инженер Задириев И.И.,
кафедра физической электроники*

Примечание Главного редактора:

Задириев И.И. — один из победителей молодежных конкурсов 2021 года Президентской программы.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В последние три десятилетия большое внимание уделяется проблеме устойчивого развития человечества [1], имеющей много различных аспектов. Один из них — физический, а точнее термодинамический, связанный с устойчивостью систем, находящихся в состоянии «вдали от равновесия»¹.

Как известно, устойчивость это свойство систем изменяться под действием внешних возмущений или внутренних процессов таким образом, чтобы отклонения от исходного состояния были минимальны. После прекращения действия возмущающих факторов устойчивые системы

¹ Все живые организмы, их сообщества, биогеоценозы и биосфера в целом находятся в состоянии «вдали от равновесия».



восстанавливают исходное состояние. Устойчивость имеет пределы, которые определяются внутренним устройством систем, т.е. формой структурно-функциональной организации составных элементов и процессов взаимодействия между ними.

Проблему устойчивости биосферы можно рассматривать с двух точек зрения: кинетической и термодинамической. В обоих случаях априори допускается устойчивость естественного состояния биосферы, но единственным косвенным свидетельством верности этого положения служит сам факт ее существования в течение, по крайней мере, трех миллиардов лет. Несмотря на то, что в настоящее время получены многочисленные доказательства химической эволюции биосферы, допускается, что она находится в стационарном состоянии. Можно также предположить, что эволюция шла по квазистационарной траектории развития, соответствующей небольшой скорости химических изменений. В силу этого, вопрос о геохимической устойчивости биосферы можно свести к выяснению условий, при которых действие внешних или внутренних возмущающих факторов не ведет к существенным изменениям ее химической структуры.

Постоянство химического состава биосферы в целом и отдельных ее частей достигается в двух случаях: при статическом (термодинамическом) равновесии, характеризующемся отсутствием каких-либо макроскопических процессов внутри системы, и при динамическом равновесии, когда в каждой точке (объекте) биосферы входящие и выходящие потоки любого химического вещества равны друг другу. Поскольку явления жизни несовместимы с состоянием статического равновесия, первый случай неприемлем и остается только один путь экологической стабилизации биосферы, заключающийся в сохранении существующего динамического равновесия. Это утверждение составляет содержание *первого постулата устойчивого развития*, согласно которому хозяйственная деятельность не должна существенно нарушать сбалансированность миграционных потоков вещества, присущую современной биосфере. Данная формулировка допускает незначительное нарушение сбалансированности потоков и не утверждает необходимость точного соблюдения баланса. Последнее условие имеет принципиальное значение по следующей причине.

Полная и перманентная сбалансированность потоков вещества и энергии для биосферы означает запрет на эволюцию и невозможность адаптации к изменениям внешних условий, которые происходили на протяжении всей геологической истории и которые, несомненно, будут осуществляться и в будущем. Находясь в устойчивом стационарном состоянии, динамическая система способна эволюционировать, изменяя свою



структурно-функциональную организацию в результате адаптации к действию внешних сил или каких-либо внутренних процессов. Если происходящие при этом изменения состояния системы не выходят за пределы ее устойчивости, то эволюция идет по устойчивой квазистационарной траектории развития, при которой кризисные явления либо не реализуются вообще, либо выражены слабо.

Сбалансированность потоков вещества и энергии достигается как при устойчивом, так и при неустойчивом стационарном состоянии динамической системы. Очевидно, что при неустойчивом стационарном состоянии квазистационарный ход эволюционного развития невозможен, поскольку даже малые возмущения могут вывести систему из состояния динамического равновесия и спровоцировать быстрый переход к новой форме структурно-функциональной организации, т.е. вызвать кризисные явления.

Другое важное замечание в отношении первого постулата устойчивого развития заключается в том, что условие устойчивого стационарного состояния должно выполняться для всей биосферы. Мнение о том, что биота может полностью контролировать (регулировать) состояние окружающей среды, не соответствует действительности. Это следует хотя бы из того известного факта, что пространственные взаимоотношения материков и океанов, горных хребтов и равнин и другие явления, имеющие своей причиной процессы, происходящие в глубинах Земли, оказывают самое непосредственное влияние на климат планеты, который в этой части биоте не подвластен. Устойчивое стационарное состояние биоты не может считаться достаточным условием для сохранения экологических параметров биосферы в диапазоне значений, свойственных естественной биосфере.

Сохранение существующей сбалансированности миграционных потоков не предполагает полной неизменности абсолютных величин динамических параметров биосферы. Условие сбалансированности потоков веществ (J)

$$\sum J_i = 0 \quad (1)$$

может выполняться при множестве различных абсолютных величин каждого из потоков в отдельности. Необходимо только, чтобы для каждого из резервуаров мощности входящих и выходящих потоков любого химического компонента были равны между собой. Применительно к интересующей нас проблеме это означает, что имеется возможность для роста интенсивности хозяйственной деятельности при сохранении существующей химической структуры биосферы, т.е. возможно отдаление экологических ограничений на пределы роста за счет ускорения миграции веще-



ства в направлении, противоположном направлению его миграции в техногенных потоках. Данное условие, которое можно назвать *вторым постулатом устойчивого развития*, составляет основу для выработки новых принципов взаимоотношений человека с биосферой при переходе общества на путь устойчивого развития.

Нельзя, однако, считать, что таким способом можно вообще преодолеть экологические ограничения на расширение хозяйственной деятельности. Ускорение компенсирующих потоков вещества связано с затратами энергии, возобновляемые и невозобновляемые ресурсы которой ограничены. По-видимому, самые жесткие ограничения на пределы роста накладывает энергетическая структура биосферы и, в частности, допустимая мощность утилизируемых энергетических потоков, при которой биосфера сохраняется в устойчивом состоянии, приемлемом для биологического существования человека. Таких состояний может быть достаточно много и некоторые из них, вероятно, имеют преимущества перед ныне существующей формой структурно-функциональной организации биосферы.

Термодинамический анализ устойчивости биосферы основывается на предположении, согласно которому она представляет собой открытую термодинамическую систему, находящуюся в стационарном состоянии. В открытых системах изменения экстенсивных параметров (Y) могут быть представлены в виде аддитивных вкладов, обусловленных внутренними процессами ($d_i Y$) и процессами обмена с окружающей средой ($d_e Y$):

$$dY = d_i Y + d_e Y. \quad (2)$$

Для важнейших термодинамических параметров можно записать следующие соотношения:

$$dU = d_i U + d_e U, \quad (3)$$

$$dS = d_i S + d_e S, \quad (4)$$

$$dn_k = d_i n_k + d_e n_k, \quad (5)$$

где U , S и n_k – соответственно внутренняя энергия, энтропия и число молей химического компонента k .

Согласно первому закону термодинамики, выражающему принцип сохранения энергии,

$$d_i U = 0 \quad (6)$$

и в соответствии со вторым законом термодинамики

$$d_i S \geq 0, \quad (7)$$



где знак равенства относится к состоянию термодинамического равновесия, а неравенства – к неравновесным состояниям. Поскольку для неравновесных систем устойчивыми могут быть только стационарные состояния, характеризующиеся тем, что их свойства не изменяются во времени, для них $d_i Y = -d_e Y$ и из (3)–(7) следует:

$$d_e U = 0, \quad (8)$$

$$d_e S = -d_i S < 0, \quad (9)$$

$$d_e n_k = -d_i n_k. \quad (10)$$

Условия (8)–(10) лежат в основе термодинамического описания неравновесных систем.

В неравновесной термодинамике показано [2, 3], что критерием устойчивости стационарного состояния систем, находящихся вдали от равновесия, служит избыточное производство энтропии ($\delta\beta$) в возмущенном состоянии, соответствующее той части производства энтропии, которая обусловлена отклонениями термодинамических сил (δX) и потоков (δJ) от их значений в стационарном состоянии:

$$\delta\beta = \int dV \sum_r \delta J_r \delta X_r, \quad (11)$$

где $\beta = d_i S/dt$, t – время, V – объем системы, J_r и X_r – потоки и термодинамические силы r -го процесса в системе, δ – обозначение отклонения соответствующей величины от значений в стационарном состоянии. В зависимости от знака $\delta\beta$ возможны три разных случая:

- неустойчивое состояние ($\delta\beta < 0$),
- асимптотически устойчивое состояние ($\delta\beta > 0$),
- состояние с нейтральной устойчивостью ($\delta\beta = 0$).

Последний случай соответствует точке перехода от устойчивого к неустойчивому состоянию.

Согласно (11), неравновесная система будет находиться в пределах устойчивости при положительном значении суммы произведений вариаций потоков и соответствующих термодинамических сил, то есть при

$$\sum \delta J_r \delta X_r > 0. \quad (12)$$



Следует подчеркнуть, что условия устойчивости (11) и (12) содержат сумму произведений вариаций потоков и термодинамических сил и поэтому для некоторых процессов, протекающих в стационарной неравновесной системе, произведения $\delta I \delta X$ могут быть меньше нуля, если сумма всех произведений $\delta I \delta X$ остается положительной.

Поскольку в биосфере широко распространены процессы с обратными связями, ее следует относить к нелинейным неравновесным системам, для которых термодинамическая теория Николиса–Пригожина открывает путь анализа устойчивости состояний. Однако в настоящее время слишком мало известно о механизмах сопряжения потоков вещества и энергии в биосфере и решение этого вопроса – перспективное направление будущих исследований. Особый интерес представляет выяснение возможности эволюции биосферы по такой траектории, которая самопроизвольно удаляется от точек бифуркаций.

Литература

1. Марфенин Н.Н. Устойчивое развитие человечества. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. 625 с.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
3. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. М.: Мир, 2002. 461 с.

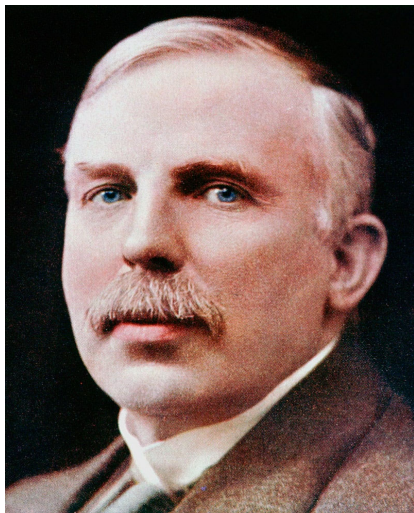
*Профессор географического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
В.С. Савенко*





К 150-ЛЕТИЮ ЭРНЕСТА РЕЗЕРФОРДА

150 лет назад, летним днем 30 августа 1871 г., в маленькой деревне Брайтуотер (Brightwater, которая тогда называлась Спринг-Гроув (Spring Grove)), в 20 км юго-западнее новозеландского города Нельсон, в семье



Джеймса Резерфорда родился «отец» ядерной физики. В те времена, когда ещё далеко не все ученые верили в существование атомов, Резерфорд открыл их (атомов) структуру и чуть позже осуществил многовековую мечту алхимиков — превращения атомов — открыл ядерные реакции. «Современная алхимия» — так называлась лекция, прочитанная им в 1936 в Ньюхемском колледже Кембриджа

Дед ученого приехал из Шотландии в 1842 г. по правительственной программе заселения колоний. Эрнест был 4-м из двенадцати детей фермера и учительницы. В 1894 он окончил Кентерберийский

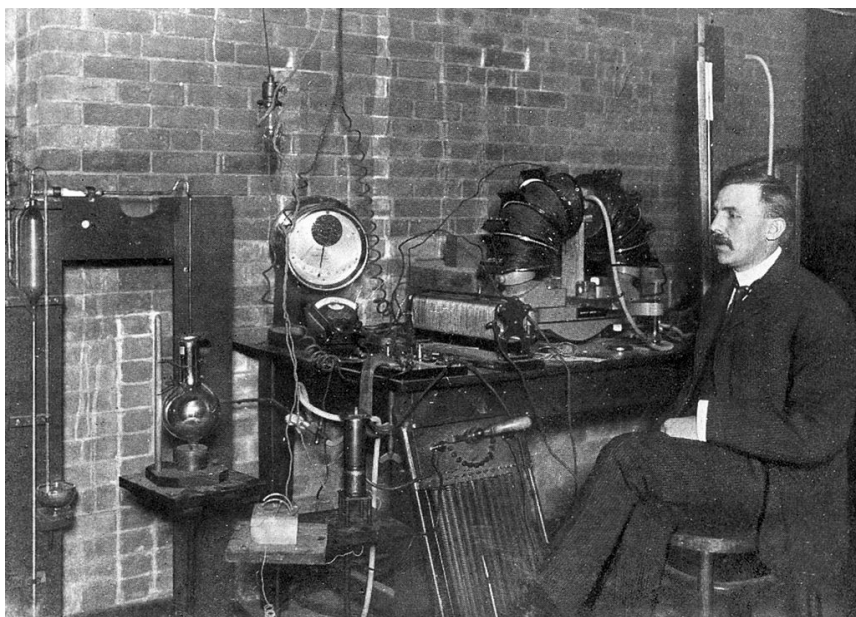
колледж Новозеландского университета в Крайстчёрче (Christchurch), где проявил склонность к изобретательству (в 1893 построил один из первых в мире радиоприемников — магнитный детектор электромагнитных волн). В годы первой мировой Резерфорд занимался изобретением гидролокатора.

Трудно сказать, как бы сложилась жизнь Эрнста в дальней колонии, далёкой не только от метрополии, но и от большой науки. Помог случай. В 1851 году в Британии с доходов Всемирной выставки была учреждена специальная стипендия для окончивших университеты «в заморских владениях» (150 ф. ст./год). Она присуждалась раз в два года и давала возможность продолжить научную работу в метрополии.

В 1895 году ее должен был получить химик Джеймс Скотт Маклорен (1864–1939), ставший впоследствии главным химиком-аналитиком Новой Зеландии. Это был достойный соперник, старше Эрнеста на семь лет, тоже выходец из большой семьи шотландских иммигрантов (у его родителей было 11 детей). Но Маклорен, обремененный семьей и имевший хорошую работу, не захотел ехать, и стипендия досталась Резерфорду. Уехав в Англию в сентябре 1895 г., молодой учёный стал работать в



Кавендишской лаборатории, директором которой был в то время будущий 2-й английский нобелевский лауреат по физике Дж.Дж. Томсон. В 1902 переехал в другой британский доминион, в Канаду, став заведующим кафедрой физики Монреальского университета (университет Мак-Гилла) с окладом 500 ф. ст./год. По утверждениям современников, Резерфорд стремился не изобретать новые теории, а пытался объяснять физические явления уже существующими теориями. Он был гениальным экспериментатором, а вот к математике и вычислениям прибегал нечасто, только по мере необходимости. Старался использовать в своих исследованиях простые и дешёвые приборы, затраты на оборудование не превышали 400 ф.ст./год (на фото ниже видно, что стены в лаборатории даже не оштукатурены).



Эрнест Резерфорд в Университете Макгилла в 1905 году

В 1907 Резерфорд вернулся в Англию, сначала в университет Виктории (Манчестер), где зарплата была втрое выше, чем в Канаде (1600 ф. ст./год), затем в Кембридж, где с 1919 он стал директором Кавендишской лаборатории, сменив на этом посту своего учителя Дж.Дж. Томсона.

Резерфорд стал в 1908 вторым по счёту английским нобелевским лауреатом по химии. В решении Нобелевского комитета сказано, что



премия (140 000 шведских крон или 6800 ф. ст.) присуждена «за проведенные им исследования по расщеплению элементов и химии радиоактивных веществ». Сам Резерфорд об этом решении на банкете в Стокгольме 10 декабря 1908 года высказался так: *«В свое время я наблюдал много превращений с разными временами, но самое быстрое, с которым я когда-либо встречался, — это мое собственное превращение из физика в химика»*.

Однако чтобы не огорчать Нобелевский комитет, назвал свою лекцию так, чтобы она соответствовала номинации: «О химической природе альфа-частиц, испускаемых радиоактивными веществами». Известно высказывание Резерфорда что *«все науки, кроме физики, сродни коллекционированию марок»* (All science is either physics or stamp collecting.)

С 1925 по 1930 Резерфорд — президент Лондонского королевского общества, он также был иностранным членом многих академий наук (с 1925 почетный член АН СССР).

Его открытия составляют основу современного школьного курса ядерной физики: открытие α - и β -излучений (1898), открытие эманаций тория — радона (1899), разработана теория радиоактивного распада (1902) и придуман термин период полураспада, дана идентификация α -излучений как дважды ионизованных ядер гелия, получены планетарная модель атома и формула рассеяния частиц на ядре (1911), открытие протона и расщепление ядра азота (1919), предсказание нейтрона и дейтрона (1920). А сколько открытий сделано его учениками и соратниками! Кроме того, в 1903 г. гениальный физик предсказал существование трансурановых элементов: «Если существуют элементы тяжелее урана, то вполне вероятно, что они окажутся радиоактивными. Исключительная чувствительность методов химического анализа, основанных на радиоактивности, даёт возможность обнаружить эти элементы, даже если они будут присутствовать в ничтожно малых количествах. Поэтому можно ожидать, что в будущем число радиоактивных элементов увеличится и что в незначительных количествах существует значительно больше, нежели три, известных сейчас радиоактивных элемента». С Олифантом экспериментально доказал справедливость закона взаимосвязи массы и энергии в ядерных реакциях (1933), в следующем году осуществил реакцию синтеза дейтронов с образованием трития.

Резерфорд знаменит своей школой. Среди его учеников 13 нобелевских лауреатов по физике и химии (в скобках — год получения премии): Ф. Содди (1921), Н. Бор (1922), Ф. Астон (1922), Р. Милликен (1923), Ч. Вильсон (1927), Д. Чедвик (1935), Д. Хевеши (1943), О. Ган (1944), Э. Эпплтон (1947), П. Блэккет (1948), Д. Кокрофт (1951), Э. Уолтон (1951), П.Л. Капица (1978). Всего же к настоящему времени, за почти



полтора века своего существования, Кавендишская лаборатория подготовила 29 нобелевских лауреатов.

В учебниках физики и радиохимии стоят фамилии его учеников Марка Олифанта, Генри Мозли, Дж. Неттола, Ганса Гейгера, Эрнста Мардене, Казимира Фаянса, каждый из которых внес вклад в развитие науки о ядре.

У Резерфорда стажировались «отцы» американской и советской атомных бомб — Р. Опенгеймер (в 1925–1926) и Ю.Б. Харитон (в 1926–1928), а также советские физики А.И. Лейпунский (в 1934–1935), научный руководитель программы создания ядерных реакторов на быстрых нейтронах и реакторов с жидкометаллическим теплоносителем, К.Д. Синельников (1927), создатель первого в СССР протонного ускорителя. Посещали Кавендиш А.Ф. Иоффе, Я.И. Френкель, Н.Н. Семенов. Одним из любимейших учеников Резерфорда был Петр Капица. В 1923 году он защитил диссертацию «Прохождение альфа-частиц через материальную среду и методы получения сильных магнитных полей» и был удостоен степени доктора философии Кембриджского университета. И уже в 1924 г. Капица — помощник директора Кавендишской лаборатории.



Резерфорд в лаборатории им. Людвиг Монда у Капицы. 1933

12 февраля 1914 в Букингемском дворце королём Георгом V Эрнест Резерфорд был посвящен в рыцари. Под конец жизни, в 1931, он стал ба-



ноном Rutherford of Nelson и получил родовой герб, который, однако, не передается по наследству.

Когда П.Л. Капицу при его посещении Советского Союза в 1934 г. не выпустили обратно, Резерфорд без раздумий переслал его лабораторию в Москву (она была выкуплена советским правительством за 30000 ф. ст. и стала основой Капицынского Института физических проблем).

Академик П.Л. Капица так вспоминал о своем учителе: «Наружностью он был довольно плотный, роста выше среднего, глаза у него были голубые, всегда очень веселые. Лицо очень выразительное. Он был подвижен, голос у него был громкий, он плохо умел модулировать, вполголоса он говорить не мог. Когда профессор входил в лабораторию, все знали об этом, и по интонации можно было судить, в духе он или нет. Во всей его манере обращаться с людьми сразу, с первого слова, бросались в глаза его искренность и непосредственность. Своей приветливостью он быстро располагал к себе людей. Проводить время в его обществе было исключительно приятно. Когда ему что-нибудь рассказывали, он немедленно реагировал, что бы это ни было».

Известно пророческое высказывание Резерфорда: «Если бы было возможно найти подходящий детонатор, можно было бы представить, что волна от атомного распада, возникнув внутри материи, превратит наш старый мир в пыль» или как бы шутливое, что «какой-нибудь дурак, работая в лаборатории, может ненароком взорвать Вселенную», но «мы можем рассчитывать на то, что Природа сохранит свою тайну».

Список его научных трудов — свыше 200.

Он обладал непревзойденной интуицией. Трудно найти ученого, который за свою жизнь допустил бы так мало ошибок. Одну из них он сделал в 1933 году во время выступления в Британской ассоциации содействия науке, когда сказал: «Эти превращения атомов представляют исключительный интерес для ученых, но мы не сможем управлять атомной энергией в такой степени, чтобы это имело какую-нибудь коммерческую ценность, и я считаю, что вряд ли мы когда-нибудь будем способны сделать это... Об атомных превращениях наговорили множество всякой чепухи. Наш интерес к этой проблеме чисто научный». Это было сказано за пять лет до открытия цепной реакции деления урана и за девять лет до того, как начал работать первый атомный реактор. Но скоропостижная смерть от последствий операции после травмы во время работы в саду вырвала этого человека богатырского телосложения из жизни и науки за 14 месяцев до открытия Ганом и Штрассманом деления урана. А ведь вполне можно было ожидать, что он доживет до практического применения своих научных исследований (его отец прожил 89 лет, мать — 92).



Похоронен барон Резерфорд в Вестминстерском аббатстве рядом с Ньютоном, Кельвиным, Дарвиным и Фарадеем.



С 1992 г. банкноту в сто новозеландских долларов украшает изображение самого, вероятно, известного уроженца Новой Зеландии

В честь Эрнеста Резерфорда в 1997 г. назван химический элемент № 104, впервые синтезированный в Дубне в 1964 году (до этого носил название «Курчатовий»). Ранее резерфордием был 106-й элемент (ныне — сиборгий), а до этого — 103-й (лоуренсий),

В честь Эрнеста Резерфорда также названы:

- лаборатория Резерфорда-Эплтона, одна из национальных лабораторий Великобритании, открытая в 1957 году;
- астероид (№ 1249) Резерфордия;



- кратеры на обратной стороне Луны и на Марсе;
- Медаль и премия Резерфорда Института физики (Великобритания);
- Мемориальная медаль Резерфорда Королевского общества Канады;
- Медаль Резерфорда Королевского общества Новой Зеландии.

Его именем названы улицы в Берлине, Нельсоне, Брайуотере, Абингтоне (Великобритания), Карлсбаде (США), Вогане (Канада), а также школы, парки, благотворительные фонды и даже ракетный двигатель фирмы Rocket Lab.

В настоящее время в библиотеке физфака МГУ работает выставка к юбилею Резерфорда, где можно ознакомиться с его прижизненными изданиями на русском и английском языках.

*В. Лукашик,
сотрудник библиотеки
физического факультета МГУ*

ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

***(К 75-летию опубликования
одноименной монографии Н.Н. Боголюбова)***

В этом году исполняется 75 лет со дня опубликования монографии Н.Н. Боголюбова "Проблемы динамической теории в статистической физике". Эта книга ознаменовала появление единой статистической теории неравновесных систем.

В 1946 году в ЖЭТФ вышли две работы Н.Н. Боголюбова — «Разложение по степеням малого параметра в теории статистического равновесия» и «Кинетические уравнения», которые фактически отражали содержание двух основных частей его монографии «Проблемы динамической теории в статистической физике» — равновесной и неравновесной. И эти две работы Н.Н. Боголюбов представил как сотрудник Московского университета.



В 1943 году он возвращается из эвакуации и был зачислен на кафедру теоретической физики физического факультета МГУ на должность профессора с 1 ноября 1943 года.

При поступлении на факультет Н.Н.Боголюбов указывает в личном листке по учету кадров в качестве предыдущего места работы Уфимский авиационный институт и Уфимский педагогический институт, где он заведовал кафедрами математического анализа (с июля 1941 по август 1943 года).

Основопологающей работе Н.Н. Боголюбова «Проблемы динамической теории в статистической физике» посвящено много исследований. Здесь нам хотелось бы отметить тот факт, что предисловие данной книги завершается словами благодарности в адрес А.А. Власова: «В заключение считаю своим долгом выразить здесь свою благодарность проф. А.А. Власову, беседы с которым значительно способствовали автору в уяснении им физической стороны рассматривавшихся проблем».

До работ Боголюбова кинетические уравнения устанавливались на интуитивной основе. В 1872 г. Больцман получил свое знаменитое уравнение (в общем виде — в 1875 г.). Позднее Эйнштейном и Смолуховским была создана теория брауновского движения. Обобщение уравнения Больцмана на плотные газы осуществлено Энскогом, а в 30-х годах XX века получены уравнения Ландау и Власова.

В своей монографии Боголюбов писал, что проблемы кинетики никогда не рассматривались с точки зрения динамической теории. Здесь основными были методы другого типа, используемые еще Больцманом при получении своего кинетического уравнения.

Но при таком подходе возникает внутреннее противоречие. С одной стороны, движение молекул трактуется как некоторый случайный процесс, а с другой — эффективные сечения рассеяния рассчитываются из





уравнений механики. Это характерно как для классической, так и для квантовой механики. В последнем случае учитываются требования симметрии.

Метод Больцмана основан на полном исключении корреляции между динамическими состояниями молекул. По этой причине его нельзя непосредственно обобщить для получения уравнений более высокого приближения.

Боголюбовым впервые предложен и осуществлен общий метод получения кинетических уравнений. Он основан на предположении, что за время порядка длительности соударения многочастичные функции распределения становятся функционалами одночастичных функций, которые удовлетворяют в свою очередь кинетическому уравнению.

На следующем этапе за время порядка гидродинамического времени одночастичная функция становится функционалом макроскопических величин, которые удовлетворяют уравнениям гидродинамики. В дальнейшем это направление интенсивно развивалось.

Вплоть до 50-х годов XX века выражения для уравнений состояния даже системы твердых сфер были известны с точностью до четвертого вириального коэффициента. В методе Боголюбова, когда функции распределения представляются в виде разложения по степеням плотности, первое приближение соответствует уравнению Больцмана, но с учетом того факта, что при соударении центры частиц находятся не в одной точке. Это уравнение в дальнейшем Боголюбов называл уравнением Больцмана-Энского.

Проведенные позже расчеты показали, что интегралы столкновений, рассчитанные по методу Боголюбова и определяющие в кинетических уравнениях диссипативные процессы, уже при учете четырех частиц становятся расходящимися. В дальнейшем эта проблема была разрешена за счет перегруппировки членов рядов теории возмущений.

Ценность работы Боголюбова заключается и в том, что в ней предложены пути распространения предлагаемой теории на системы более сложных частиц, взаимодействие между которыми может быть и многочастичным, а также на квантово-механические системы.

Семьдесят пять лет, которые прошли после выхода монографии Боголюбова, показали высокую эффективность заложенных в ней идей по созданию динамической теории в статистической физике. Работы Боголюбова оказали значительное влияние и на формирование динамической теории жидкости.

Профессор П.Н.Николаев



К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С.В. ТЯБЛИКОВА

Сложно писать о своём отце, тем более об отце знаменитом, поскольку всегда существует опасность незаслуженно очутиться в лучах его славы, никакого отношения к тебе не имеющей...



Биография любого человека всегда складывается из двух частей: биографии социальной — взгляда со стороны общества и окружающих людей на жизнь и поступки человека, и биографии «домашней» — взгляда на жизнь того же человека, но со стороны домочадцев. Мой папа, конечно же, не исключение, и поэтому рассказ о нём будет состоять из двух частей.

Итак, мой отец — Сергей Владимирович Тябликов, известный советский физик, родился в подмосковном г. Клин 7 сентября 1921 года. В 1939 г. он окончил школу с отличным аттестатом, получив этим пра-

во поступления в вуз без экзаменов, и выбрал физический факультет МГУ. Но после окончания им 2-го курса в 1941 г. началась война, он не подлежал мобилизации по зрению и вместе с университетом эвакуировался в Ашхабад, в вагоне эшелона близко познакомившись с А.Д. Сахаровым, оказавшись с ним на соседних полках. Это знакомство, видимо, и способствовало тому, что позднее А.Д. Сахаров привлёк отца к разработке «ядерного щита» СССР.

После возвращения из эвакуации он в 1944 г. окончил физический факультет МГУ с красным дипломом и поступил в аспирантуру при кафедре теоретической физики МГУ к профессору А.А. Власову — *специалисту по физике плазмы и статистической физике*, который и рекомендовал отца вернувшемуся в Москву Н.Н. Боголюбову. В 1947 г. после окончания аспирантуры и защиты кандидатской диссертации отцу была присвоена учёная степень кандидата физико-математических наук. В 1948 году (совместно с Н.Н. Боголюбовым) отцом была разработана



математическая теория «полярной» модели металла. Тогда же им была построена первая последовательная квантово-механическая теория *магнитной анизотропии*, и в дальнейшем квантовая теория *ферромагнетизма* и *антиферромагнетизма* занимает в его исследованиях ведущее место.

В 1954 г. отцом была защищена докторская диссертация «Исследования по теории поляронов», сделавшая его доктором физико-математических наук.

Позже, в 1956 году, вместе с Н.Н. Боголюбовым у него была поездка в США по приглашению одного из научных институтов. Из неё отец вернулся несколько озадаченный, но без того безудержного изумления и восторга, о котором часто читаешь в воспоминаниях людей, побывавших в те годы за «железным занавесом» в «логове мирового империализма». Он не привёз оттуда ничего, кроме научных книг, паркеровской ручки с золотым пером, с которой, из-за её удобства, не расставался до конца жизни.

Исключительно важные результаты в теории ферромагнетизма отец получил после появления метода двухвременных запаздывающих и опережающих температурных квантовых функций Грина, значительно усовершенствованного им в совместной работе с Н. Н. Боголюбовым (ДАН СССР, 1959 г). Тогда и появилось «приближение Боголюбова – Тябликова» («Bogolyubov–Tyablikov approximation»), знакомое ныне каждому физико-теоретику.

В 1959 году отец опубликовал ставшую впоследствии знаменитой работу, в которой впервые было описано полученное им уравнение магнитного состояния ферромагнетика в модели локализованных электронов Гейзенберга для широкого интервала температур. Построенное в этой работе приближение было основано на температурном упорядочении спектра магнонов и получило название «расщепление Тябликова» («Tyablikov decoupling»).

В 1961 г. отец (совместно с В.Л. Бонч-Бруевичем) написал книгу, в которой впервые был последовательно изложен «Метод функций Грина в статистической механике».

С 1947 года и до конца жизни отец работал в Математическом институте АН СССР, с 1962 года бессменно возглавляя Отдел статистической механики МИАН СССР и читал лекции по квантовой теории на физфаке МГУ. В 1966 году стал научным руководителем вновь созданного Сектора статистической механики ЛТФ ОИЯИ в Дубне. В 1964 году ему было присвоено звание профессора МГУ.

В МИАНе папа встретил свою будущую жену, мою маму, Таисию Васильевну Рогозкину, работавшую зав. аспирантурой МИАН после



окончания мехмата МГУ. Она была с отцом до его последнего мгновения...

В 1965 году вышла монография отца «Методы квантовой теории магнетизма», которую перевели и издали в 1967 году в США в изд. Шпрингера на английском, а потом, в 1968 году, в Лейпциге на немецком языке. За эту монографию отец был удостоен Государственной премии СССР 1970 года (посмертно). Монография была переиздана в 1975 г. и до настоящего времени служит учебником для студентов-физиков, в котором простым и ясным языком изложены основы современной квантовой теории магнетизма.

Мир взрослых и мир детей — это два совершенно различных мира, соприкасающиеся лишь в ограниченном числе точек. Но если взрослые, постаравшись вспомнить себя и своё поведение в детстве, могут попытаться понять ребенка и что его на сей момент волнует, то для детей это совершенно исключено — они ещё не были взрослыми... Поэтому мои воспоминания об отце, о папе — это окрашенные детским восприятием отдельные картинки, не более того...

В моей памяти папа был всегда очень занят, дверь в его кабинет была почти всегда закрыта — он постоянно работал... Заглядывая к нему, я видел большой стол, как стеной, обложенный стопками черновиков, рукописей и книгами. На этом столе всегда, как пресс-папье, стояли чугунные каслинского литья пантера и гончая, и ещё тяжёлая стеклянная пепельница, каждое утро оказывавшаяся с горкой окурков от «Беломора». Он курил всю жизнь исключительно «Беломор», только последние 2–3 года разбавляя болгарским «Орал».

Две стены его кабинета занимали стеллажи, шкафы с книгами, треть выходила на балкон. Часто из кабинета слышалась негромкая музыка, всегда только классическая — папа говорил, что она помогает думать, мне казалось это немного странным, но музыка и у меня рождала какое-то странное ощущение, может быть, настроение — она позволяла душе парить, отстраняясь от «сиюминутности» и открывая взору иные просторы...

Писал папа быстро, скорописью, перьевой ручкой. И очень любил крепкий индийский чай, пил его из стакана тонкого стекла в серебряном подстаканнике, подаренном ему после защиты докторской диссертации, с серебряной ложечкой из давних времён... На столе часто стоял недопитый стакан (порой уже остывшего) чая, из которого он прихлёбывал во время работы. У нас дома вообще был «культ чая» — чай пил и дедушка, и тоже только крепкий, и тоже из стакана с подстаканником. А потом к этому пристрастился и я.



Тогда для меня он был просто папа, его научные достижения лежали за пределами моего мира. Наши миры соприкасались, когда к нему приходили коллеги обсудить научные проблемы — тогда из-за двери кабинета слышались совершенно незнакомые слова и выражения, значения и смысла которых я не понимал, для меня это были слова на тарабарском языке...

Запуск 4 октября 1957 года первого спутника стал для всех шагом в новую эпоху. Вечером того или следующего дня мы с папой гуляли на улице в Москве, вокруг было много людей, они смотрели в тёмное небо и пытались что-то разглядеть там. Тогда папа посадил меня на плечи, показал на движущуюся звёздочку в небе и сказал: «Смотри, сын — это наш первый спутник, его запустили впервые в мире люди нашей страны, потому что наша страна — лучшая в мире и, что бы в ней ни происходило, как бы трудно в ней ни было жить, это — твоя Родина! Запомни это, сын!»

Мне тогда было 4 с половиной года, понял, я, естественно не всё, но запомнил дословно. А понимание сказанного пришло много позже...

И через 4 года, когда в космос полетел Гагарин, а я заканчивал 1-й класс — в тот солнечный апрельский день восторг от происходящего усиливался давно сказанными словами отца: «Это — твоя Родина!»

Занятость отца странным образом сочеталась с открытостью для нас с братом по любому неотложному делу (с уроками, например), но он очень сердился, когда его «дёргали» из-за ерунды. Потом я это тоже понял, когда вырос — как трудно бывает вернуться к прерванному ходу мыслей, но тогда было очень обидно, что нельзя просто так вбежать в кабинет с детским «тах-тах-тах» или гонять машинки вокруг его стола...

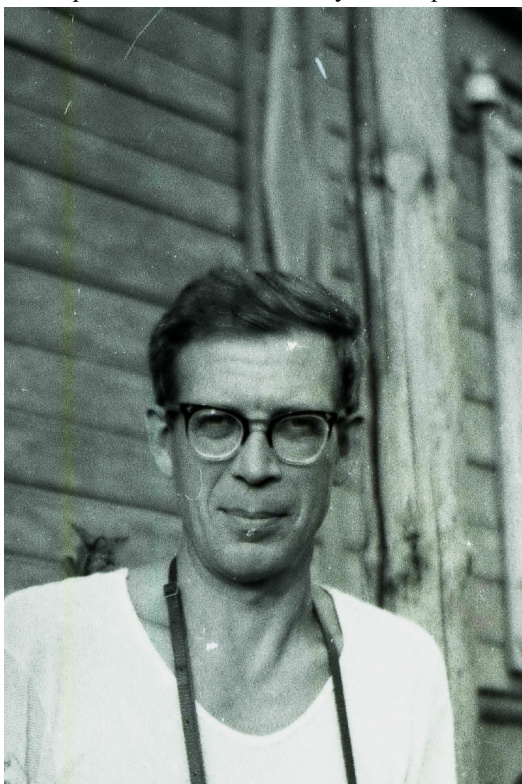
И ещё он обладал удивительным даром просто объяснять любые сложные вещи. Когда у меня однажды не получалась задача по математике (из какого-то усложнённого задачника), папа объяснил её и объяснил общий принцип решения задач так, что он (этот принцип) намертво отпечатался в памяти, и с тех пор я решал задачи, пользуясь тем однажды объяснённым им алгоритмом на уровне подсознания.

Однако один день в неделю, суббота, был безраздельно отдан нам с братом. На этот день всегда планировались какие-нибудь прогулки (в зоопарк или в сосновый парк недалеко от дома с обязательным разговором о произошедших с нами за неделю событиях). А в тёплое время года по вечерам у нас было ещё одно занятие, на которое папа всегда приглашался безоговорочно — игра в бадминтон. Мы выходили на улицу и час или полтора махали ракетками до той поры, пока летящий волан был ещё виден на фоне медленно темнеющего неба.



Мой отец был очень простым и прямым в общении человеком — об этом говорили и все, имевшие с ним дело. Дома у нас была практически спартанская обстановка — жёсткие деревянные стулья, никаких излишеств. Но далеко не все жили так. Однажды мы поехали с ним и мамой на дачу к папиному знакомому, тоже известному учёному, давно приглашавшему отца в гости с семьёй. Мне тогда было лет 7–8, а брата, по причине его малости (4 года) оставили у бабушки. За нами была прислана машина, водитель распахнул перед нами двери, мы сели и поехали. Дача была не очень далеко от Москвы, но дорога показалась мне очень длинной. Когда мы, наконец, приехали, встречать нас вышел хозяин в больших затемнённых очках и соломенной шляпе, одетый во что-то вроде косоротки или рубашки навыпуск и широких брюках...

Это была не совсем дача (дачи я видел и до того) — это был скорее загородный двухэтажный дом. Мы прошли по большому участку с сонами и цветочными клумбами перед входом в дом. На участке работал садовник, подстригая кусты, посаженные вдоль ограды. В самом доме была красивая и необычная мебель, мягкие кресла, обтянутые тканью с цветочным узором. Сидели мы тогда на крытой веранде, еду приносила горничная, разговор вращался около научных проблем и был довольно длинным, но участвовали в нём все, включая маму. Понимал я мало что, и мне было откровенно скучно. Хозяин, видимо, чтобы развлечь меня, спросил, как мне понравилась его дача. И я с детской прямоотой сказал: «Да, очень, — и задал вопрос, показывая на садовника и горничную, которая в этот момент уносила со стола посуду, — а это кто — прислуга? Разве





у советского человека может быть прислуга?» За столом повисло напряжённое молчание, у хозяина, сидевшего с коньячной рюмкой в руке, слегка порозовели щёки, отец был, пожалуй, просто ошарашен...

Хозяин что-то невнятно ответил, мягко обойдя мой вопрос. Но разговор уже не возобновился, окончательно прервавшись, и мы вскоре собирались домой. Хозяин снова предложил машину, но отец отказался, и домой мы возвращались на электричке, дойдя до станции пешком. По дороге мама начала меня отчитывать за возникшую неловкость, но папа оборвал её словами: «Остановись, не надо — по-своему он прав: таким мы его воспитали!»

Моя «клинская» бабушка была учителем литературы в Клину, и, вероятно, именно она привила отцу любовь к поэзии и литературе (особенно русской). Он очень любил поэзию, много читал и легко цитировал не только Пушкина и Лермонтова, но и А.Н. Апухтина с А.К. Толстым, и японские танки. У папы в кабинете стояло собрание сочинений М.Е. Салтыкова-Щедрина, которого он очень любил, знал чуть ли не наизусть и часто цитировал. Его коллеги однажды рассказали, что как-то на затянувшемся политсобрании, слушая нудного заезжего лектора, отец вполголоса процитировал «Историю города Глупова» про «органчик» и тем самым положил конец бесплодному мероприятию.

Позднее, когда до Салтыкова-Щедрина добрался и я, мне стала понятна любовь к нему отца — это произведения *вне времени*, не потерявшие своей жизненности и сейчас, всегда дающие возможность в любой ситуации достаточно прямо и едко высказать своё мнение о происходящем, не задевая никого *впрямую* своим отношением.

И, конечно же, я всегда ждал лета — летом папа делал перерыв в своей казавшейся мне бесконечной работе — у него был отпуск...

Свой отпуск отец делил обычно на две части — одну он проводил с нами (семьёй), в другую ездил с рюкзаком по стране — когда один, когда со знакомыми. Одним из его последних путешествий был сплав на деревянной лодке по Подкаменной Тунгуске с тремя коллегами-физиками. Снятый при этом фильм на 8-ми миллиметровой киноплёнке по возвращении он монтировал сам, привлекая к этому делу меня для монтажа мультипликационных вставок. К сожалению, этот фильм, будучи коллективной собственностью, (как это часто бывает) затерялся на просторах пространства и времени.

А предыдущая поездка на Подкаменную Тунгуску в одиночку чуть было не закончилась очень печально — отец простудился, заболел воспалением лёгких и неделю отлёживался в палатке, приходя в себя и согреваясь огнём костра... Об этом он иногда рассказывал с лёгкой иронией,



говоря, что «путешествия в одиночку не всегда проходят по намеченному плану...»

Ко всем детским «неприятностям» папа относился очень спокойно — когда я лет в 12, собирая деревянную модель яхты, почти наполовину располосовал себе большой палец ножом и смотрел, как заворожённый, на льющуюся кровь, соображая, что делать, чтобы не залить всю квартиру кровью, папа, случайно выйдя на кухню, невозмутимо сказал: «Ну что же ты стоишь, кровь нужно остановить, а палец перебинтовать...» И всё.

Все школьные каникулы мы с братом проводили в Клину у дедушки, отец с мамой приезжали на каждые выходные, и это было здорово — в Клину отец не работал и проводил всё время с нами. И ещё он был истинным теоретиком. Однажды папа решил показать мне, как работает детекторный приёмник — я намотал под его руководством приёмную катушку, потом мы спаяли схему, забросили на яблоню антенну и... ничего. Для увеличения чувствительности антенну подняли на крышу — ничего, подняли на мачту телевизионной антенны — ничего. Так он и не заработал. Уже много позже в Москве, когда я увлекся радиолубительством, мне попала в руки эта катушка — приёмник заработал сразу, хорошо и уверенно. Но при этом папа свободно обращался с топором и ножом, показывая, как выстругивать кораблики, отправляемые потом в плавание по весенним ручьям.

Мне очень нравились (и легко давались) все естественные науки — математика, физика, химия, биология. Особенно меня привлекала химия — дома при помощи отца была организована лаборатория, в которой временами (довольно часто!) было шумно, дымно и вонюче... Папа единственно, что говорил мне, так это быть аккуратнее с реактивами и помогать во всём — в том числе и с покупкой реактивов, которые не всегда продавали подросткам. И после школы я собирался поступать на химический факультет МГУ. День его смерти стал для меня днём прощания с химией — в тот день мне нужно было идти на городскую олимпиаду по химии после победы на районной, естественно, я не пошёл и решил, что мой долг (как ни высокопарно это звучит) продолжить дело его жизни и заниматься физикой. Теоретиком я, конечно, не стал — не моё это, но в эксперименте кое-что мне всё-таки удалось...

Отец и со своим уходом остался в памяти коллег и учеников — каждый год в день его смерти они приходили к нам домой на протяжении более 40 лет, вспоминая его; кто не мог прийти, оказавшись в командировке, всегда звонил, но их круг постепенно редел, они все были смертны... И сейчас не осталось уже почти никого...

После безвременной кончины отца нам пришло огромное количество соболезнований из самых разных и далёких стран, с разных континен-



тов (даже из Австралии и Южной Америки). Только тогда я в полной мере понял, что мой отец был не просто моим папой, но и очень известным учёным, хорошо известным всему миру, сделавшим для физики многое и оставившим после себя результаты, не потерявшие своего значения и теперь, больше чем через полвека после его смерти...

А вот ученики отца: Шиклош Тивадар (ВНР) (к.ф-м.н., Москва, МГУ, 1955), Потапков Н.А. (СССР) (к.ф-м.н., Москва, МИАН, 1958), Пу Фу Чо (КНР) (к.ф-м.н., Москва, МИАН, 1960), Яковлев Е.Н. (СССР) (к.ф-м.н., Москва, ИФВД, 1962), Плакида Н.М. (СССР) (к.ф-м.н., МИАН, 1966, д.ф-м.н 1976), Рудой Ю.Г. (СССР) (к.ф-м.н., Москва, МГУ- МИАН, 1967, д.ф-м.н., 1979), Петровский А.Б. (СССР) (к.ф-м.н., Москва, МИАН, 1970, д.т.н., 1994), Морозов В.Г. (СССР) (к.ф-м.н., Москва, МИАН, 1973, д.ф-м.н, 1987).

В.С. Тябликов

ЭМИЛИ ДЮ ШАТЛЕ ИЛИ ОПЫТ ЛЕТНЕГО ЧТЕНИЯ

Редакция «Советского Физика» несколько раз предлагала мне написать о том, что я думаю о французском физике и математике XVIII века Эмили дю Шатле (1706–1749), многолетней подруге и покровительнице Вольтера (1694–1774). Конечно, хорошо вспоминать о своих предшественниках, но предложение меня, по правде сказать, не очень увлекало. Дело в том, что я совсем не увлекаюсь Вольтером и его кругом общения. Я понимаю, что он был великим человеком, сыграл большую роль в истории Франции, да и всего современного мира, но сам он не казался мне таким человеком, о котором хочется узнать как можно больше. Мне почему-то не кажется приятным, когда крупный писатель высмеивает Жанну Д'Арк, даже если что-то в ее поведении и вызывало у него вопросы — нужно соблюдать некоторый такт, рассказывая о народных героях.

Однако жизнь распорядилась по-своему, и этим летом я, к своему удивлению, действительно много прочитал про Эмили дю Шатле. Оказалось, что в ее биографии было нечто, о чем стоит рассказать читателям нашей газеты.

Я познакомился с жизнью Эмили — так ее для краткости называл автор книги — достаточно случайно. Мой двоюродный брат отдал мне из общего семейного архива объемистую биографию Вольтера датского писателя Георга Брандеса в переводе на немецкий язык и изданную в Лейпциге в 1923 году. Трудно сказать, как она попала в нашу семью. По-



немецки умели читать многие родственники — учились в гимназии, но после 1923 года за границей бывал только дядя Вилли — крупный инженер, для которого немецкий был родным языком. Наверное, он ее и привез из одной из заграничных поездок, в которых он закупал оборудование для строящихся заводов. На книге есть экслибрис, но он мало проясняет ее происхождение.



Портрет Эмили дю Шатле из Википедии

Брат говорит — ты читаешь по-немецки, вот и прочитай. А у меня есть дурная привычка — стараюсь читать книги, которые мне дарят.

Про Вольтера в книге рассказано намного больше того, что я хотел бы про него знать. В частности, в деталях рассказано о том, как Эмили укрывала Вольтера в своем замке в то время, когда власти устраивали на него гонения. В литературе утверждается, что Эмили спасла жизнь Вольтеру. Видимо, это все же некоторое преувеличение — думаю, что при желании король смог бы его уничтожить.

В книге приведены обширные фрагменты их переписки. Они не дают прямого ответа на волнующий вопрос о степени близости двух уже не совсем юных людей. Во всяком случае, у Эмили был муж, с которым Вольтер был во вполне хороших отношениях, и трое детей, а люди XVIII века, в отличие от авторов современных социальных сетей, сооб-



ражали, о чем не стоит писать в своих письмах. Для желающих более глубоко вникнуть в эту сторону проблемы обращаю их внимание на интригующий вопрос о характере взаимоотношений Гёте и Шарлотты фон Штейн в следующем поколении.

Видно, что Эмили действительно интересовалась механикой, переводила на французский язык Ньютона и много сделала для пропаганды его идей. Она хорошо потрудились над тем, как отработать связь между идеями Ньютона и Лейбница. Ей во многом принадлежит внедрение в науку представления об импульсе.

Однако в целом Эмили все-таки трудно рассматривать как значимую для нас научную фигуру — наши области науки очень сурово относятся к своим творцам, так что уже через сравнительно небольшое время упоминаются лишь самые крупные достижения, а почти три века — большой срок.

Мне показались интересными не эти конкретные достижения Эмили, а ее восприятие современниками и потомками.

Сам Вольтер, как мне кажется, относился к своей близкой подруге и покровительнице откровенно потребительски. Когда ему было нужно, он не скупился на разнообразные похвалы и дифирамбы, а когда уезжал, скажем, в Голландию, то начинал ее откровенно игнорировать, а бедная любящая женщина явно страдала. Для Вольтера это было, в общем, достаточно типичное поведение. Не скажу, что это усилило мой интерес к Вольтеру.

Интересно другое. Брандес явно считает себя прогрессивно мыслящим человеком, но для него кажется очевидным, что даже такая бескорыстно интересующаяся физикой и математикой женщина ничего заслуживающего внимания в них сделать не может. Возможно, он и прав, считая, что Эмили лишь пересказывала идеи Вольтера. Мне кажется, что такие утверждения неплохо доказывать, чего он делать даже не пытается.

Замечательно и то, что он последовательно сравнивает Эмили с Софьей Ковалевской (Соней Ковалевски в его восприятии). Он знает, что Ковалевской принадлежат важные и общеизвестные в соответствующих кругах научные результаты, но считает, что эти идеи Ковалевской подсказал ее учитель Вейерштрасс. Я, конечно, слышал об этой мысли, но не знал, как она сформировалась. Любопытно, что история Ковалевской и Вейерштрасса до некоторой степени напоминает историю Эмили и Вольтера. Вейерштрасс был безнадежно влюблен в свою ученицу, а Софья любила только математику. Честно говоря, это не увеличивает мой интерес к Ковалевской, но современные историки математики убедительно доказали, что Ковалевская была оригинальным мыслителем, независимым от Вейерштрасса. Приятно, что Брандес и здесь ошибался.



Прочитав все это, я невольно вспомнил Аделаиду Борисовну Васильеву. Она была замечательным ученым, прекрасным учителем. Никому и в голову не приходило обсуждать степень оригинальности ее идей, хотя она сама с удовольствием рассказывала, что ее внимание к асимптотическим разложениям привлек ее учитель академик Андрей Николаевич Тихонов.

Мне кажется, что цепочка, вытянувшаяся от Эмили дю Шатле через Софью Ковалевскую к Аделаиде Борисовне Васильевой заслуживает внимания. Все-таки на масштабах столетий моральный прогресс общества хорошо заметен.

Встает вопрос — достигнут ли уже конечный результат на этом направлении? Видимо, еще нет. Мне кажется, что Аделаиду Борисовну можно и нужно было избрать академиком и в том, что этого не произошло, сыграло свою роль то, что она была женщиной. К счастью, это ее не очень задевало — она сама мне про это говорила. Так что пострадала скорее не Аделаида Борисовна, а Академия наук.

Вот какие мысли пришли мне в голову при чтении этой довольно скучной книжки.



Профессор Д.Д. Соколов



КАК ЖИЛИ СОЗДАТЕЛИ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ОРУЖИЯ*

Мой отец, Николай Гаврилович Швилкин, и мать, Ольга Болеславовна, работали в системе Министерства среднего машиностроения, с 1946 по 1950 годы — на объекте Арзамас-16, я там учился с 4-го по 6-ой класс. Вся жизнь этого объекта проходила у меня на глазах. Впоследствии, став физиком и сохранив интерес к атомной проблеме, я часто общался со многими участниками этой работы. Здесь я хочу поделиться своими личными наблюдениями и некоторыми сведениями, полученными от моих знакомых.



Швилкины Ольга Болеславовна и Николай Гаврилович. Советский атомный щит создавался и умом и руками моих родителей.

Ведущий научный сотрудник Б.Н. Швилкин



Создание атомного и термоядерного оружия в Советском Союзе велось в атмосфере строжайшей секретности. В мире мало что было известно об этом. Читателю, наверное, будет интересно познакомиться с той обстановкой, в которой протекала жизнь и работа атомщиков в так называемых зонах особого назначения. Объект, о котором пойдет речь, — Арзамас-16, являлся одним из центральных и располагается в городе Сарове. На этом объекте работали выдающиеся творцы советского атомного и термоядерного оружия: академики Академии наук СССР Яков Борисович Зельдович, Андрей Дмитриевич Сахаров, Юлий Борисович Харитон, член-корреспонденты АН СССР Николай Леонидович Духов и Кирилл Иванович Щелкин и другие.

Интенсивное строительство этого объекта началось вскоре после поступившего из Соединенных Штатов Америки известия об испытании в 1945 году на полигоне Аламагордо бомбы огромной разрушительной силы, ибо у нас, в СССР, боялись монополии американцев на атомное оружие. В том же году американцы выпустили подробный официальный правительственный отчет о разработке своей атомной бомбы, составленный Генри Девульфом Смитом, под названием «Атомная энергия для военных целей».

Опубликованный в открытой печати, отчет содержал подробное изложение основных научных и технических аспектов атомной проблемы, но в интересах национальной безопасности США, как это было заявлено в предисловии генералом Лесли Гровсом, в нем отсутствовали конкретные технологические сведения. Отчет напоминал сборник задач, в котором формулировались условия и приводились ответы, но отсутствовали решения. Многочисленные технические трудности и дороговизна атомного проекта, казалось бы, должны были охладить желание любого правительства создавать в то время собственное атомное оружие. Это, однако, не остановило советское правительство разоренной войной с Германией страны.

Для строительства объекта, о котором идет речь, в центре России был выбран затерявшийся среди лесов и болот небольшой глухой провинциальный городок, который вместе с прилегающей к нему огромной территорией был превращен в зону особого назначения. Названия этого города не было ни на одной советской карте тех лет. Глушь, труднодоступность и удаленность от больших населенных пунктов до революции 1917 года привлекали туда монахов и паломников, особенно еще и потому, что здесь находился широко известный в России монастырь преподобного Серафима Саровского. Во время Великой Отечественной войны в этих местах размещался завод по производству снарядов для реактивных пушек «Катюш», секрет которых тщательно оберегался. Место во-



круг монастыря было объявлено на особом положении, многие монахи были арестованы, сосланы. Все подозрительные для властей люди задерживались. Видимо, все это и побудило руководителя Лаврентия Павловича Берию выбрать это место для строительства объекта особого назначения, одного из самых секретных объектов в Советском Союзе. Сотни квадратных километров лесного массива были обнесены рядами колючей проволоки с расположенными между ними взрыхленными контрольными полосами земли. Охрану «зоны», как условно называлось все, что было внутри ограды, несла специальная дивизия, командовал которой полковник Гончаренко. На деревянных вышках вдоль проволочного заграждения круглосуточно стояли вооруженные часовые. Вдоль проволоки постоянно курсировали наряды солдат со служебными собаками.

Внутри зоны для прибывавших со всех концов страны на объект специалистов и их семей были сооружены два новых поселка, получивших названия: финский и ИТР (инженерно-технический работник). Финский поселок в основном был застроен однотипными финскими одноэтажными домиками, обставленными финской же мебелью. Построенный во вторую очередь поселок ИТР был более комфортабельным. Здесь люди жили в двухэтажных коттеджах и в двухэтажных восьмиквартирных домах. На строительство домов шел росший вокруг поселков строевой хвойный лес. Для приезжих детей сотрудников объекта была построена новая кирпичная школа. Раньше, чем повсюду в стране, на объекте были отменены карточки на продовольствие.

В те годы с объектом не было ни железнодорожного, ни автобусного сообщения. Люди добирались до объекта самолетом. Из Москвы туда регулярно летали преимущественно американские военно-транспортные самолеты «Дуглас», оставшиеся в Советском Союзе после Второй мировой войны. Американского производства были, по большей части, и автомобили на объекте: виллисы, доджи, джипы и грузовые студебеккеры. Наверное, существовавшие в то время советские автомобили вряд ли смогли бы беспрепятственно передвигаться по тамошним заболоченным дорогам, на которых часто встречались участки гати — лежащие поперек колеи бревна, по которым проезжали машины.

С большой строгостью производился отбор людей для работы на объекте. Специалисты, отобранные для работы на объекте, должны были обладать не только высокими профессиональными качествами, но они еще не должны были быть из «бывших», из раскулаченных и репрессированных. Они и их родные не должны были быть в плену и немецкой оккупации. Для выявления всех этих обстоятельств людей заставляли заполнять пространные анкеты, а сообщенные в них сведения тщательно проверялись сотрудниками госбезопасности.



Жители объекта были обязаны строго хранить государственную тайну, о чем с них брали подписку. Разглашение ее было делом далеко не безобидным. За разглашение тайны сильно пострадал заместитель начальника объекта Петр Андреевич Любченко. Его жена, прибывшая к мужу на объект и узнавшая, что муж изменял ей в ее отсутствие, устроила публичный скандал. Она громогласно заявила, что здесь делают бомбу, а ее неверный супруг, пользуясь секретностью, занимается развратом. Этого было достаточно, чтобы Любченко осудили на восемь лет заключения в исправительно-трудовых лагерях. Дело Любченко курировал генерал-лейтенант КГБ Павел Мешик — один из сподвижников Берии. Даже ближайшим родственникам нельзя было давать ни малейшего намека, где живет и какой работой занят сотрудник объекта.

Строго наказывали и за утерю секретного документа — «потерю бдительности». Молодой лейтенант-адъютант начальника объекта, генерала Павла Михайловича Зернова, потерявший какую-то важную бумагу, был немедленно разжалован и осужден на несколько лет тюрьмы. Срок заключения он отбывал в местном лагере.



Генерал П.М. Зернов

Выезд с объекта был строго ограничен и разрешался в основном только в служебных целях. В первые годы существования объекта все его



сотрудники свои отпуска проводили только внутри зоны. К их услугам был местный дом отдыха. Запрещалось даже фотографировать на улице, а если кто-то этим запретом пренебрегал, то у него немедленно изымалась пленка и тут же засвечивалась.

Все объекты внутри большой зоны — такие, как административный корпус и заводы, также были ограждены заборами и колючей проволокой и тщательно охранялись. Каждое подразделение — будь то лаборатория или отдел — изолировались друг от друга. Проход в любое подразделение разрешался только его сотрудникам. Ходить везде разрешалось только самым высоким начальникам, число коих было невелико. Считалось, что такой режим предотвратит утечку секретов.

Разработанная в зоне система безопасности требовала большого аппарата сотрудников спецслужбы. Были среди них и контрразведчики из СМЕРШа. К некоторым ученым были приставлены телохранители. Рассказывали, что на аналогичном объекте на Урале произошел печальный случай. Во время прогулки навстречу идущему по парку академику Исааку Кушелевичу Кикоину из кустов внезапно выскочил решивший попугать его безоружный человек с криком: «Сейчас застрелю!» Охранник мгновенно выхватил пистолет и застрелил шутника. Состоялся суд, и хотя телохранителя оправдали, он немедленно покинул объект.

Сотрудникам объекта не разрешалось вести деловые записи в личных блокнотах. Нарушение этого запрета грозило большими неприятностями. Одним из нарушителей был Андрей Дмитриевич Сахаров. Однако поскольку он занимал тогда уже высокое служебное положение, то местное начальство спецотдела не могло заставить его подчиниться общим для всех правилам. Не смогло сломить его упрямства и вызванное для беседы с ним московское начальство. Пришлось разрешить ему вести записи в личном блокноте, но так, чтобы понимать их содержание мог только он сам.

Однако, несмотря на все строгости режима, ходили слухи, что на объект все-таки пробрался американский шпион. Подозревался в этом дядя Эдика Лабби — эстонского мальчика, с которым я учился в одном классе и сидел за одной партой. Звали дядю Эдика Дмитрий Евлампиевич Стельмахович. На объекте он работал старшим научным сотрудником. Шпионом его объявили сразу после того, как он застрелился из охотничьего ружья. После гибели Стельмаховича его жена Дина и племянник были незаметно удалены с объекта. Был ли Стельмахович на самом деле шпионом или нет, так и осталось неясным. Скорее всего, что нет. Просто в атмосфере шпиономании и всеобщей подозрительности тех лет режимные органы объекта, наверное, хотели показать свое профессиональное мастерство в «разоблачении врагов».

*А.Д. Сахаров*

Известен и еще один случай, который, как некоторые считают, не мог произойти без участия шпиона. После первого успешного испытания атомной бомбы Игорь Васильевич Курчатов привез с полигона подробный отчет для правительства. В Москву он прибыл в воскресенье и для того, чтобы положить отчет в закрытое особо секретное помещение ЛИПАН в Покровском-Стрешневе, ему бы понадобилось затратить много времени. Поэтому Игорь Васильевич не стал этого делать, а отнес секретный отчет прямо домой начальнику режима института, который, как и многие из руководящего персонала, жил неподалеку от института в отдельном коттедже. А на следующее утро начальник был найден в своем коттедже убитым из винтовки. Предназначенная для него пуля прилетела в комнату через окно. Секретный отчет оказался целым и невредимым. История с убийством начальника режима породила версию, что убит он был шпионом, а материалы секретного отчета были пересняты на фото пленку и переправлены в Соединенные Штаты Америки.

Проволокой внутри большой зоны были ограждены и лагеря заключенных, физический труд которых широко использовался на объекте. Утром из лагеря, а вечером в лагерь шли они колонами под охраной вооруженных солдат, некоторые из которых вели с собой собак. Места работы заключенных, в обиходе именуемые «внутренними зонами», так же, как и места работы «вольных» творцов атомной проблемы, обносились колючей проволокой со сторожевыми вышками и контрольной полосой. Это были своего рода «зоны» в «зоне». Таким образом, заключенные отличались от «вольных» тем, что первые были постоянно отгорожены от внешнего мира двумя зонами, а вторые — в нерабочее время только одной.



Во время строительства поселок ИТР тоже был обнесен колючей проволокой, и долгое время внутри этой зоны днем одновременно находились и жители поселка уже построенных и заселенных домов, и заключенные — строители новых домов. Иногда к охране заключенных привлекали самих же заключенных, которым в этом случае начальство доверяло винтовки, но их одежда практически не отличалась от одежды тех, кого они охраняли. Некоторые из заключенных были расконвоированы и ходили из лагеря и в лагерь без охраны.

Кормили заключенных плохо. Постоянно они искали возможность что-нибудь поесть. Любимым их лакомством были жаренные на костре речные ракушки. Во время работы в жилых поселках заключенные иногда залезали в частные квартиры. Однажды залезли они и к нам. В кастрюле с топленым маслом остались следы их пальцев. Второпях голодные люди хватали полужидкое масло пригоршней и ели. Были среди заключенных и женщины, хотя их было не так много, как мужчин. Среди них там находилась расконвоированная женщина-архитектор Ольга Константиновна Ширяева, которая очень понравилась Якову Борисовичу Зельдовичу. Видя, что его симпатии к этой женщине растут, власти выслали ее за пределы «зоны» в другой лагерь.



Я.Б. Зельдович



Власти пытались воспитывать жителей объекта, как это было принято в те годы, в духе марксистско-ленинской идеологии. Этой задачей занимались работники политотдела, которые должны были контролировать моральный облик сотрудников объекта. Взрослые люди всерьез обсуждали, например, вопрос, каким будет человек при коммунизме, и приходили к общему выводу о том, что поскольку в процессе продвижения к коммунизму роль интеллектуального фактора будет усиливаться, а роль физического в результате механизации трудоемких процессов ослабевать, то у человека будет увеличиваться размер головы, а руки станут дряблыми.

Применять к собранному на объекте контингенту людей, к тому же занятых важнейшей государственной работой, стандартные методы воспитания было невозможно. Ученых вообще власти старались оставить в покое. Они хоть и жили, как заключенные, за колючей проволокой зоны, но были относительно свободны. Так, в те годы имя великого русского певца, не признавшего «Советы», Федора Ивановича Шаляпина было предано забвению, а вот на объекте из настежь открытых окон одной из квартир далеко разносился по улице могучий голос певца. Проходившие мимо люди останавливались и подолгу слушали редкие для тех времен пластинки. В Москве в те годы подобное было невозможно.

Возникшая внезапно зона привлекала внимание жителей окрестных сел. Не имея возможности проникнуть за колючую проволоку таинственного объекта и зная по слухам о хороших бытовых условиях в закрытом городе в голодное послевоенное время, местные жители сочинили свою версию. Они считали, что там проходит экспериментальную проверку сталинская теория строительства новых коммунистических городов и что этот закрытый город и является первым испытательным полигоном этой теории.

Объект особого назначения, как и атомный проект в целом, курировал шеф НКВД Лаврентий Павлович Берия и часто посещал его. Однажды я видел его совсем близко, стоящим на площади недалеко от административного корпуса и беседовавшим с генералом Павлом Михайловичем Зерновым. Будь я художником, я и теперь, спустя более, чем семьдесят лет, мог бы нарисовать его портрет. Небольшого роста, плотный, в новом сером костюме, который тогда почему-то называли «в искорку», в золоченом пенсне, под которым видны были колючие брови. Запомнился пронзительный взгляд этого человека. Когда я спросил отца, кого это я видел, он сказал мне, что это был Л.П. Берия.

Берия не только посещал объект. Он был и среди многочисленных испытателей при первом в Советском Союзе ядерном взрыве. Ударной волной была распахнута дверь в командном пункте, где он находился вместе с другими руководителями испытаний. После взрыва Берия и со-



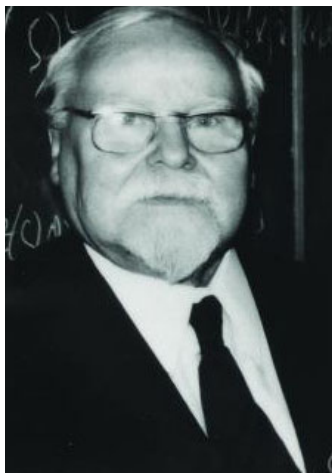
проводящие его лица поехали на легковых автомобилях смотреть результаты разрушений, не имея даже индивидуальных средств защиты.

Вслед за успешным испытанием атомной бомбы последовало щедрое награждение участников атомного проекта**. Заслуги многих из них отмечались Сталинской премией. Некоторых удостоили премии первой степени, которая в том случае, если она вручалась атомщикам, давала им большие права по сравнению со всеми другими категориями ученых. Поскольку считалось, что их жизнь в основном протекает на объектах в удалении от дома и семьи, то им разрешался бесплатный проезд на поездах и самолетах в любом нужном им направлении. Это было, конечно, исключительной привилегией, получившей шуточное название «ковер-самолет». Он мог доставить лауреатов в любые точки огромной страны, но без разрешения не мог перенести их через колючую проволоку зоны особого назначения. За успешное создание первой советской атомной бомбы было награждено большое число участников атомного проекта. Только в Арзамасе-16 семерым участникам работ было присвоено звание Героев Социалистического Труда, четырнадцать человек были награждены орденом Ленина, четырнадцать человек орденом Трудового Красного Знамени, многие были удостоены Сталинской премии.

Тридцать два ведущих сотрудника из общего числа, награжденных по стране, написали благодарственное письмо И.В. Сталину. Среди них подписи под письмом поставили декан физического факультета Василий Степанович Фурсов, сотрудники факультета академики Яков Борисович Зельдович и Андрей Николаевич Тихонов.



В.С. Фурсов



А.Н. Тихонов



Первой в благодарственном списке награжденных стояла подпись Лаврентия Павловича Бери, за ней следовали подписи И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона, Я.Б. Зельдовича, среди подписантов значился и Л.Д. Ландау.

В итоге за работы по атомному проекту пятеро из восьми ученых и инженеров-атомщиков Арзамаса-16 стали трижды Героями Социалистического Труда. Это ровно половина из шестнадцати трижды Героев — граждан СССР, удостоенных такого звания за всю историю существования Советского государства.

Примечания Главного редактора:

* Статья приведена с небольшими изменениями. Первоначальный вариант смотри в "Независимой газете" 26.01.2021.

** При вручении И.В. Курчатову звезды Героя Социалистического Труда И.В. Сталин сказал: «Если бы мы опоздали на один-полтора года с атомной бомбой, то, наверное, „попробовали“ бы её на себе».

СВОИ ЛЮДИ





Четыре года тому назад учебный отдел доверил мне стать начальником первого курса. Что конкретно входит в обязанности начальника курса, можно изложить лишь в многотомной должностной инструкции. Но в целом круг обязанностей я понимал, держа в голове пример начальника курса, на котором студентом был сам.

В предыдущей статье («Советский физик» №149/3) я уже рассказывал о неоценимой помощи и поддержке коллективов учебного отдела и кафедры акустики. Во многом благодаря этой поддержке, за четыре года студенты из недавних школьников выросли до качественно нового уровня. Большинство продолжило обучение в магистратуре. Настало время вспомнить о том, как пролетели наши четыре года, рассказать о курсе и главных мероприятиях, которые мы проводили вместе.

В самом начале возникла очень важная задача: подготовка к началу первого учебного года. Нужно было распределить около четырёх сотен первокурсников по 18 группам. И здесь мне очень помогли сами ребята, хотя мы с ними тогда ещё даже не были знакомы. Одна из групп была сформирована сразу же, поскольку студенты этой группы выбрали обучение по специальности «астрономия». Две группы — это студенты, которые знали своих преподавателей ещё со школьной скамьи и решили продолжить обучение с ними. Ну а дальше — творческий процесс. Мальчики и девочки, иногородние и москвичи. Соотношение должно примерно совпадать во всех группах, да ещё и пожелания самих первокурсников обязательны к исполнению. Никаких однофамильцев в группе. Правда, девочку и мальчика с одинаковой склоняемой фамилией мне простили. Но даже когда дело было сделано, мы всю ночь накануне собрания первокурсников вносили коррективы в списки групп и уточняли, кто станет старостой. И всё для того, чтобы группы были дружными и учиться было комфортно.

В начале сентября мои первокурсники пригласили меня за город в лес. В ту далёкую эпоху, когда реального и очного было больше, чем виртуального и дистанционного, каждую осень на одной из подмосковных опушек на живописном берегу реки проходило посвящение в первокурсники. Ребята оказались стойкими, разобрались, как ставить палатки и разжигать костры, готовить еду на настоящем огне и согреваться в осеннем стылом лесу. Это первое всеобщее и неформальное мероприятие для студентов всего курса. И для меня посвящение фактически стало первой возможностью пообщаться со всеми, увидеть не сухие статистические таблицы, не испуганные глазки на собрании первокурсников, а людей со своими историями, взглядами и эмоциями.

Студент — это фактически профессия. Даже в трудовую книжку отметку ставят. И для того, чтобы права студентов соблюдали, а во время



учёбы все были защищены, как и во всех профессиях, существует профсоюз. Составляют, а точнее, избирают его сами студенты. И для этого каждый год проходит профучёба и конкурс, на котором выбирают студенческих лидеров. На этих мероприятиях начальник курса играет различные роли в нескольких профессиональных конкурсах для студентов, а затем в режиме открытого микрофона отвечает на вопросы по поводу занятий, сессии и условий, в которых находятся студенты. Уже на первом таком мероприятии я убедился, что на курсе учатся активные и талантливые студенты, которые способны выучиться, постоять за себя, и, что наиболее ценно, оказать помощь и поддержку товарищам.

Не всегда, впрочем, удаётся ограничиться помощью и поддержкой внутри студенческого коллектива. Особенно во время сессии. Некоторые студенты хотят и могут показать результаты лучше, чем получилось на экзамене. И как только возникали малейшие сомнения, мы со студентами незамедлительно связывались с преподавателями. Встречались, вместе изучали записи в листах ответа, обсуждали ошибки. Вещь серьёзная. Действующее законодательство позволяет сдавать зачёт и экзамен не более трёх раз. Правда, оказалось, что даже некоторые преподаватели толком не понимают эту норму. Кто-то наобещал студентам, что можно только попросить — и учебный отдел пойдёт на нарушения и предоставит столько попыток, сколько заблагорассудится. Приходилось проводить разъяснительную работу и со студентами, и с преподавателями буквально перед каждым экзаменом. *Dura lex, sed lex*. Но зато все свои законные переосады студенты получили. Особенную радость это принесло тем, кто в результате получил диплом с отличием.

Кроме учёбы мы вместе с курсом занимались спортом и участвовали в полезных конкурсах. Всем общежитием делали утреннюю зарядку. Студенты активно участвовали в профильных турнирах. Почти каждый семестр было несколько заявок на участие в выездных мероприятиях. На конкурс курсовых работ мои студенты подали так много ярких и интересных, а главное — важных для науки работ, что конкурсная комиссия изучала и обсуждала работы заочного тура целых три дня! Да и в очном туре выделить победителей было настолько трудно, что приняли решение отдать вторые и третьи места сразу нескольким претендентам. Гладко прошло распределение по кафедрам. Каждый попал в ту лабораторию, в которой хотел заниматься научной работой. И каждой кафедре хватило студентов. Только после распределения по кафедрам мы встретились с моими студентами на занятиях. Безусловно, моя группа чувствовала особую ответственность, занимаясь у начальника курса. Безусловно, и я ощущал повышенную ответственность. Именно поэтому с моими студентами занятия проходили особенно интересно. Мы успели освоить основ-



ную часть курса, а с некоторыми разобрали и дополнительные задания. И, похоже, по данной дисциплине должников не было: все отчитались в срок.

Ещё когда я только собирался стать начальником курса, меня предупредили: только четыре года они будут студентами. А потом они станут своими людьми повсюду. Оказалось, что ещё студентами они стали своими людьми. Ответственными помощниками в учебной работе и при приёме абитуриентов, ответственными волонтерами в наше беспокойное время, ответственными студенческими лидерами и групповодами. До глубины души тронул случай, когда одна из моих студенток, Юля, сама нашла меня и предложила помощь.

Приятно, что большинство студентов, с которыми мы провели эти незабываемые четыре года, приняли участие в универсиаде, стали победителями и без вступительных экзаменов в новом учебном году приступят к занятиям в магистратуре физического факультета! Многие из тех, кто не победил в универсиаде, успешно сдали вступительные испытания и тоже готовы стать первокурсниками нашей магистратуры. А это значит, что свои люди остаются с нами! И через несколько лет, которые пролетят стремительно, свои люди будут открывать новые горизонты в науке!



Крит Т. Б., начальник IV курса



О ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ЧАСТИ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО- ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

*(Продолжение, начало —
«СОВЕТСКИЙ ФИЗИК» № 2(143), 2020)*

В соответствии с указом президента 2021 год объявлен Годом науки и технологий. Поэтому вопрос о необходимости принятия системных решений в части формирования кадрового потенциала науки и наукоемких отраслей экономики приобретает особую актуальность. Тем более что реформа аспирантуры как третьего уровня высшего образования, подкрепленного Федеральными государственными образовательными стандартами (далее ФГОС), как это было определено в федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации», оказалась неудачной. Аспирантура демонстрирует устойчивое понижение как объемов подготовки кадров, так и показателей её эффективности. Имеет место не только сокращение приема, но и увеличение отсева аспирантов в ходе обучения. Происходит падение количества защит диссертаций, снижение качества защищенных диссертаций.

Поэтому в связи с уточнением требований к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федеральным законом от 30.12.2020 № 517-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» (далее ФЗ) были закреплены изменения Федерального закона от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

В результате главной задачей аспирантуры снова является подготовка не только научно-педагогических, но и научных кадров высшей квалификации. В то же время аспирантура сохраняет статус одной из образовательных программ высшего образования. Остается неясным, до какой степени исследовательская функция аспирантуры будет замещена образовательной. Сложно и запутанно всё получается. Поэтому вряд ли стоит ожидать простых решений.

Одновременно изменился порядок разработки программ подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре:

- ✓ Решено отказаться от ФГОС и как следствие от государственной аккредитации программ аспирантуры, сохранив все академические права обучающихся по указанным программам, в т. ч. право на отсрочку от призыва на военную службу. К программам подготовки



научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) устанавливаются федеральные государственные требования (ФГТ)¹.

- ✓ Введено понятие самостоятельно устанавливаемых образовательными организациями высшего образования требований к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре как обязательных требований к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.
- ✓ Государственная итоговая аттестация по программам заменяется итоговой аттестацией. Итоговая аттестация по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре проводится в форме оценки диссертации на соискание учёной степени кандидата наук на предмет её соответствия критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом «О науке и государственной научно-технической политике». Таким образом, возвращается обязательная предзащита диссертаций как составляющая аспирантской программы. Главный акцент теперь делается не на освоении образовательных программ и получении диплома об окончании аспирантуры (адъюнктуры), а на защите диссертации. Предзащита становится главным критерием успешной итоговой аттестации. Предусматривается также возможность досрочной защиты диссертации до завершения срока обучения в аспирантуре.
- ✓ В случае успешного прохождения итоговой аттестации выпускнику аспирантуры выдаётся заключение о соответствии диссертации на соискание учёной степени кандидата наук критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом «О науке и государственной научно-технической политике», и свидетельство об окончании аспирантуры. Тем самым вводится новая модель реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в

¹ФГТ уже утверждались Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 16 марта 2011 г. N 1365 г. Москва и состояли из двух частей. В первом содержательном разделе были прописаны положения по структуре образовательной программы. Во втором разделе собраны требования к условиям реализации образовательной программы в процессе обучения. Образовательный стандарт содержит в себе разделы ФГТ и плюс еще третий раздел. В третьем целевом разделе образовательного стандарта прописаны требования к результатам усвоения изучаемой на определенном уровне образования программы. Но помимо этого раздела с требованиями есть и другие отличия. Например, стандарты давали больше возможностей работать самостоятельно.



аспирантуре, позволяющая считать предзащиту диссертации окончанием аспирантуры.

- ✓ Новый ФЗ впервые с момента учреждения института аспирантуры в стране требует установления порядка сопровождения лиц, успешно прошедших итоговую аттестацию по программе аспирантской подготовки, вплоть до представления ими диссертации на соискание ученой степени кандидата наук к защите в диссертационном совете.
- ✓ Планируется подготовить в течение 6 месяцев со дня принятия Федерального закона необходимые нормативно-правовые акты для его исполнения. Новый ФЗ вступит в силу с 1 сентября 2021 года. Установлены сроки прекращения приема в организации, осуществляющие образовательную деятельность, для обучения по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами или образовательными стандартами (с 2022/23 учебного года).
- ✓ ФГТ к программам подготовки научно-педагогических кадров вместе с порядком проведения итоговой аттестации утверждает Минобрнауки РФ. Порядок разработки образовательных программ для аспирантуры и контроля их исполнения устанавливает Правительство РФ.

По мнению Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре, принятие нового ФЗ будет способствовать усилению научной составляющей работы аспирантов и ее результативности, повышению качества подготовленных диссертаций на соискание ученой степени.

«Мы движемся в правильном направлении, но нам надо решать вопросы, связанные с реальной востребованностью науки и с финансированием науки на том уровне, который отвечает развитию цивилизации XXI века», — заключил В. Никонов.

Отправляясь от выше высказанного тезиса, следует обозначить трудности реформирования высшего образования и ключевые вопросы, решение которых могло бы способствовать успешному разрешению проблем подготовки кадров высшей квалификации.

Главной задачей аспирантуры остается углубление профессиональной подготовки аспирантов на базе регулярного, систематического обучения, формирование их как носителей новых научных подходов и концепций. Насыщение науки и образования, других отраслей народного хозяйства кадрами высшей квалификации, обладающими исследовательскими умениями и навыками. Отсюда — проблема совершенствования



исследовательской функции аспирантуры, повышение качества научной работы аспирантов.

К трудностям, возникающим при решении этой задачи, относятся:

- Неудовлетворительное состояние вузовской науки, сопровождающееся ослаблением исследовательской деятельности в большинстве университетов. Вымывание научной составляющей образовательных программ высшей школы.
- Снижение престижа высшего образования и престижа научных исследований, а как следствие — падение престижа профессий преподавателя высшей школы и учёного.
- Низкая заинтересованность научных руководителей и аспирантов в защите диссертации. Снижение качества защищаемых диссертаций.
- Недостаточность финансирования подготовки аспирантов: проблема аспирантских стипендий и как результат непрофильная трудовая занятость аспирантов. Фактическое превращение очной аспирантуры в заочную при сохранении «очных» сроков обучения.
- Снижение уровня оплаты научных руководителей аспирантов;
- Неготовность выпускников высшей школы к проведению научных исследований. Проблема академического развития поступающих в аспирантуру.
- Проблема трудоустройства выпускников аспирантуры. Значительная часть выпускников аспирантуры трудоустраиваются за пределами сферы образования и науки.
- Усиление рыночной составляющей в подготовке аспирантов. Ученые степени теряют внутреннюю самооценку и приобретают товарные черты.
- Отрыв подготовки научно-педагогических кадров и научной аттестации соискателей ученой степени.

Очевидно, что институт отечественной аспирантуры нуждается в безотлагательном, но глубоко продуманном переустройстве, тем более что неоднозначность нововведений последних лет придаёт рассматриваемой проблеме особую значимость.

Что делать?

На уровне образовательных и научных организаций:



- повышение качества набора в аспирантуру;
- заполнение пробелов в образовании студентов специалитета и магистратуры путем насыщения образовательных программ высшей школы наукоёмкой составляющей, отражающей современное состояние науки;
- совершенствование системы непрерывного образования путем обеспечения преемственности образовательных программ различного уровня, вплоть до интегрирования специалитета и аспирантуры, магистратуры и аспирантуры на основе индивидуализации образовательных траекторий;
- совершенствование института научного руководства аспирантами, включая педагогическую подготовку научных руководителей аспирантов;
- решение социальных проблем аспирантов: стипендия, условия работы и проживания;
- привлечения вузами аспирантов к работе над оплачиваемыми научными и прикладными проектами. Повышение практической значимости научно-исследовательской работы аспирантов.
- На государственном уровне:
- совершенствование нормативно-правового обеспечения аспирантуры, уход от фронтальных решений; переход к разнообразию аспирантских программ; создание исследовательской, профессиональной аспирантуры; формирование вариативной аспирантуры с ориентацией структуры и содержания подготовки аспирантов на различные виды профессиональной занятости выпускников; научно-педагогическая аспирантура как частный пример профессиональной аспирантуры;
- сопряжение подготовки и аттестации выпускников аспирантуры; уход от разделения подготовки и аттестации научных и научно-педагогических кадров;
- возрождение научных школ, активное включение аспирантов в профессиональную научную среду; создание массива «постаспирантских» программ, исследовательских проектов с целью обеспечения высокого качества подготовки кандидатов наук как состоявшихся молодых учёных с высокой исследовательской квалификацией;
- интегрирование образовательных ресурсов высшей школы, научного потенциала РАН и отраслевых научно-исследовательских институтов; создание сетевых аспирантур;



- переход к более гибким публикационным требованиям для защиты кандидатской диссертации в срок или увеличение нормативных сроков обучения;
- повышение престижа профессий учёного и преподавателя одновременно с повышением престижа учёных степеней.

Становление новой модели подготовки научно-педагогических кадров должно сопровождаться формированием единого научно-образовательного пространства страны, но в то же время отличаться широким многообразием программ подготовки аспирантов, их индивидуализацией.



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

К ВЫХОДУ СТОПЯТИДЕСЯТОГО НОМЕРА ГАЗЕТЫ «СОВЕТСКИЙ ФИЗИК», ВЫПУЩЕННОГО ДЕЙСТВУЮЩИМ СОСТАВОМ РЕДАКЦИИ

***(Отчет о работе редакции газеты
за период 11.1997–09. 2021 гг.)***

Дорогой читатель, Вы держите в руках, читаете в сети или стоите перед настенным вариантом юбилейного стопятидесятого номера газеты «Советский физик», выпущенной нашей редакцией.



Двадцать четыре года назад (в ноябре 1997 г.) Ученый Совет физического факультета поручил мне возглавить редакцию нашей настенной газеты «Советский физик».

Первый номер газеты нашим составом редакции был выпущен 29 декабря 1997 года! Используя красивый предлог — выпуск стопятидесятого номера газеты, редакция газеты «Советский физик» представляет вниманию читателей краткий отчет о работе за прошедшие годы. (Для чего, по мнению членов редакции, нужны отчеты, на страницах газеты будет обязательно рассказано — на примере организации эвакуации детей из санаториев на Северном Кавказе через Главный Кавказский хребет во время Великой Отечественной войны. Этот подвиг заслуживает специального рассказа, который появится в нашей газете позже.)

Подробный предыдущий отчет о работе редакции был представлен в сотом номере газеты — №3(100)/2013.

За отчетный период было сделано следующее:

1. Сформирован работоспособный коллектив редакции, который работает уже 24 года. Ныне в состав редакции газеты «Советский физик» входят: Наталия Николаевна Никифорова, Владимир Леонидович Ковалевский, Надежда Валерьевна Губина, Майя Константиновна Савина. Большую помощь в выпуске газеты оказывают Ольга Владимировна Салецкая, Ирина Анатольевна Силантьева, Артем Денисович Пашкин. В газете помещаются фотографии нашего фотографа Сергея Алексеевича Савкина. Хочу пользуясь случаем, поблагодарить своих соратников за то удовольствие, которое я получаю от работы с ними.
2. Организован регулярный выпуск газеты. Периодичность издания составляет 5–7 номеров в год. Выпущено 150 номеров газеты. Были организованы спецвыпуски газеты, посвященные юбилею ССО, М.В. Ломоносову, отделению геофизики и т.п.
3. С 1998 г. начат выпуск не только настенного варианта газеты, но и журнального.
4. Организован выпуск электронного варианта газеты, который выставляется на сайте физфака, в контакте.
5. В 2007–2013 г. проводился дополнительный выпуск газеты в многотиражном варианте. Ко Дню Победы газета выпускалась в цветном варианте в формате А3. Сформирован архив газеты за 24-летний период.

В настоящее время газета выходит в трех вариантах:



- настенном,
- электронном,
- журнальном.

6. Изданием газеты не ограничивается деятельность редакции. Наличие электронных вариантов позволяет выпускать по материалам газеты различные сборники.

2004 год. К 70-летию физического факультета и 250-летию МГУ был выпущен сборник «"Советский физик". Избранные материалы 1998–2004 гг.».

2005 г. Было осуществлено два издания сборника «Проблемы образования глазами "Советского физика" 1998–2005 гг.», в которых собраны материалы из газеты по проблемам образования.

2006 г. — выпущен сборник «Люди физфака», содержащий статьи «Советского физика», посвященные сотрудникам, студентам и аспирантам физического факультета за период с 1998 по 2005 г.

2010 г. — выпущен первый сборник «Физфаковцы», продолжающий сборник «Люди физфака».

2012 г. — выпущен итоговый сборник «Физфаковцы», содержащий статьи за период с 1998 по 2011 г.

2015 г. — выпущен сборник «Физфаковцы и Великая Отечественная война».

2018 г. — выпущен сборник «Физфаковцы», содержащий статьи за период с 2011 по 2017 г.

2018 г. — выпущен сборник «Физфаковцы в комсомоле и ССО».

2019 г. — выпущен отредактированный и дополненный вариант сборника «Физфаковцы в комсомоле и ССО».

2020 г. — выпущен дополненный сборник «Физфаковцы и Великая Отечественная война».

2020 г. — выпущен сборник «Советский сверхчеловек. По материалам газеты "Советский физик"».

2021 г. — выпущен сборник «М.В. Ломоносов в "Советском физике"». По материалам газеты «Советский физик»».

С 2018 г. начат выпуск «Ежегодника "Советского физика"». Ежегодник содержит все номера года.

Многие сотрудники факультета, не ссылаясь на свою занятость, регулярно поставляют материал для газеты. Хочу выразить им, а так же нашим читателям глубокую признательность и выражаю надежду на их активное дальнейшее участие в работе нашей газеты.



В редакции есть планы по дальнейшему совершенствованию газеты. Для их реализации нужны креативные молодые люди.

Ждем!



*Главный редактор газеты
«Советский физик» К.В. Показеев*



СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ ПРОФЕССОРА Н.Н. СЫСОЕВА, ДЕКАНА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ, С НОВЫМ УЧЕБНЫМ ГОДОМ	2
СТАРТ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВЫХ КЛАСТЕРОВ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЛИНЫ МГУ	3
МГУ — ЛИДЕР МИРОВОГО РЕЙТИНГА НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ NATURE INDEX RANKING 2021 СРЕДИ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ	6
ПРОТИВОВИРУСНАЯ АДсорбционная АКТИВНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ	7
МЕЗОСКОПИЧЕСКОЕ НЕСООТВЕТСТВИЕ — НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ЭПИТАКСИЮ НАНОСТРУКТУР	10
ГРУППА ПЛАЗМЕННЫХ И ИОННО-ПУЧКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	20
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА	24
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	28
К 150-ЛЕТИЮ ЭРНЕСТА РЕЗЕРФОРДА	34
ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ	40
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С.В. ТЯБЛИКОВА	43
ЭМИЛИ ДЮ ШАТЛЕ ИЛИ ОПЫТ ЛЕТНЕГО ЧТЕНИЯ	50
КАК ЖИЛИ СОЗДАТЕЛИ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ОРУЖИЯ*	54
СВОИ ЛЮДИ	63
О ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ЧАСТИ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ	67
К ВЫХОДУ СТОПЯТИДЕСЯТОГО НОМЕРА ГАЗЕТЫ «СОВЕТСКИЙ ФИЗИК», ВЫПУЩЕННОГО ДЕЙСТВУЮЩИМ СОСТАВОМ РЕДАКЦИИ	72
СОДЕРЖАНИЕ	76

Главный редактор К.В. Показеев

sea@phys.msu.ru

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

Выпуск готовили: И. А. Силантьева, Н. В. Губина, В. Л. Ковалевский,
Н. Н. Никифорова, К. В. Показеев, Е. К. Савина, О. В. Салеская.

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

27. 08.2021

Формат А5. Объем 4,75 п.л. Тираж 60 экз.

Заказ №

Отпечатано в отделе оперативной печати
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова