НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

№ 11

ПЕЧАТНЫЙ ОРГАН НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН В ЧЕРНОГОЛОВКЕ

Специальное приложение к "Черноголовской газете"

Год спустя после юбилея

Учреждению Российской академии наук Институту экспериментальной минералогии РАН (ИЭМ РАН) в 2009 году исполнилось 40 лет. Отгремели фанфары, произнесены хвалебные тосты, коллектив славненько отгулял свой праздник. И что дальше? Почивание на лаврах или дальнейшее развитие идей и замыслов, заложенных в трудах исследователей старшего поколения? Чем порадует Институт мировую науку год спустя? Чтобы ответить на этот вопрос, вспомним, с чего все начиналось.

Экспедиция Лаборатории гидротермальных процессов (группа флюидных систем) под руководством канд. геол.-мин. наук М.А. Коржинского на вулкане Кудрявый, Курильские острова. Полевые работы на южном склоне вулкана

Идея начать систематические экспериментальные исследования в минералогии зародилась еще в 1958 году, когда в Институте геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии, в отделе, возглавляемом академиком Д.С. Коржинским, была создана экспериментальная лаборатория под руководством В.А. Жарикова. Необходимость дальнейшего развития экспериментальных исследований поддержал Президиум АН СССР, приняв 17 мая 1963 года постановление № 393, в котором указывалось на *"...первостепенное значение развития экспериментальной минералогии и петрологии как решающего направления в развитии геологических наук"*. Это постановление было подкреплено решением президента АН СССР академика М.В. Келдыша о строительстве в Ногинском научном центре здания для будущего института. В 1965 году в составе Института физики твердого тела АН СССР Ногинского научного центра была организована Лаборатория экспериментальной минералогии и петрографии, которую возглавил будущий заслуженный деятель науки и техники СССР профессор И.П. Иванов. В штате лаборатории было всего 13 человек, среди них восемь научных сотрудников, в том числе один доктор и три кандидата наук.

Институт экспериментальной минералогии в его современном виде был организован по окончании строительства 1 октября 1969 года по распоряжению Президиума АН СССР и за 40 лет своего существования превратился в головную исследовательскую организацию по экспериментальному и теоретическому изучению процессов природного минералообразования и рудогенеза.

В соответствии с идеями, заложенными в основу создания Института его организаторами, ИЭМ РАН сочетает теоретические, экспедиционные и экспериментальные исследования процессов минералообразования, направленные на решение фундаментальных проблем наук о Земле, выявление условий формирования и развития геосфер Земли и месторождений полезных ископаемых. Главное научное направление работ ИЭМ РАН - "Физико-химические исследования процессов формирования минералов, горных пород и руд в коре и мантии Земли как основа прогноза и поиска месторождений полезных ископаемых". Основные идеи этих исследований, равно как и основы нового физико-химического направления в геологии, были сформулированы в трудах академика Д.С. Коржинского, который за его основополагающие работы был удостоин Ленинской премии, а также звания Героя Социалистического Труда. В дальнейшем идеи Дмитрия Сергеевича Коржинского были развиты в работах его учеников и последователей: В.А. Жарикова, А.А. Маракушева, Л.Л. Перчука, Г.П. Зарайского, И.П. Иванова, В.И. Сорокина и других.

В качестве наиболее ярких результатов проведенных в последние годы работ можно привести разработанный в ИЭМ РАН под руководством проф. Г.П. Зарайского уникальный поисковый критерий промышленных редкометальных месторождений W, Mo, Sn, Bi, Be. Ta, Nb, Li.

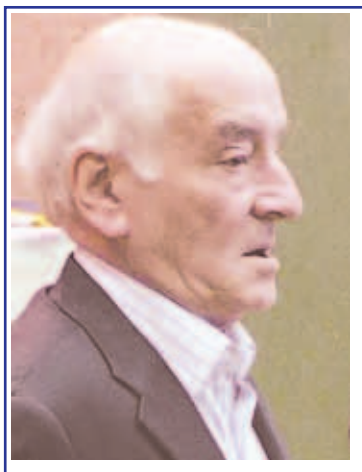
(Продолжение на стр. 12)

Академик Д.С. Коржинский - основатель нового физико-химического направления в петрологии, минералогии и геохимии, основатель ИЭМ РАН

Академик В.А. Жариков, директор ИЭМ РАН в 1979-2002 гг., лауреат Государственной премии в области науки (1974)

Профессор И.П. Иванов - первый руководитель Лаборатории экспериментальной петрографии ИФФТ АН СССР, прообраза ИЭМ РАН

Доктор геолого-минералогических наук Ю.Б. Шаповалов, директор Института экспериментальной минералогии РАН с 2002 г.



8-10 октября в Большой гостиной Дома ученых состоялась конференция ИТФ им. Ландау и ИФТТ РАН Fronters in condensed matter physics, посвященная 80-летнему юбилею Герасима Матвеевича Элиашберга и 75-летнему юбилею Всеволода Феликсовича Гантмахера. На ней с докладами выступили многие известные ученые из ИТФ, ИФТТ и из зарубежных научных центров. И, конечно, много теплых слов было сказано в адрес юбиляров. Напомним, что наши знаменитые физики академик Г.М. Элиашберг (теоретик) и членкор В.Ф. Гантмахер (экспериментатор), кроме всего прочего, являются профессорами МФТИ, а Всеволод Феликсович - еще и учитель Нобелевского лауреата Андрея Гейма.

Дорогие Герасим Матвеевич и Всеволод Феликсович! Редакция "Научного вестника НЦЧ РАН" поздравляет вас со славными юбилеями! Желаем отличного здоровья, новых научных открытий и новых учеников - лауреатов Нобелевской премии!

В Президиуме НЦЧ РАН

6 октября состоялось расширенное заседание Бюро Президиума НЦЧ РАН, в работе которого приняли участие директора и заместители директоров Институтов НЦЧ РАН.

Основным вопросом повестки дня было обсуждение проблем, связанных с созданием и деятельностью хозяйственных обществ с участием институтов НЦЧ РАН. В законодательных документах по этому вопросу много неясностей. Нет чёткого механизма использования объектов интеллектуальной собственности институтов в деятельности создаваемых хозяйственных обществ. В связи с этим предложено провести серию практических семинаров об участии учреждений НЦЧ в создании хозяйственных обществ по существующему законодательству: какие права имеет институт и как их реализовать на практике. Некоторый опыт по этим вопросам накоплен в ИПХФ РАН. Решено поручить проведение этих семинаров заместителю председателя НЦЧ РАН, заместителю директора ИПХФ РАН д.ф.-м.н. Берзигиярову П.К.

1 ноября 2010 года заканчивается установленный Правительством РФ срок формирования реестра федерального имущества, передаваемого организациям РАН. Двенадцатого октября вице-президент РАН академик С.М. Алдошин проводил совещание по вопросу формирования реестра. На заседании было рассмотрено состояние дел с подготовкой реестра федеральной собственности и регистрацией федерального имущества организациями НЦЧ РАН. В целом, картина по центру хорошая. Организациями проделана огромная работа. Во всех учреждениях закончено формирование реестра федерального имущества: оно зарегистрировано в АСУФИ, получены выписки из Росимущества. На основную часть имущества поданы документы в Управление земельно-имущественного комплекса РАН для включения его в перечень, который будет утверждён Правительством РФ.

ФИНЭПХФ и новый журнал

Вышел в свет первый номер международного журнала "Плазменная медицина" (Plasma Medicine), который был представлен на 3-й Международной конференции по плазменной медицине (ICPM-3) в Грейфсвальде (Германия), 19 - 24 сентября 2010 года.

На этой же конференции было организовано Международное общество плазменной медицины (ISPM).

Одним из организаторов и активным участником всех этих событий был д.х.н. ведущий научный сотрудник ФИНЭПХФ РАН Виктор Николаевич Василец, который является членом редакционной коллегии международного журнала " Плазменная медицина", участником международного оргкомитета всех трёх международных конференций по плазменной медицине (ICPM-1, ICPM-2, ICPM-3) и членом президиума Международного общества плазменной медицины (ISPM).

Алмазы на службе у науки

Алмазы - не только лучшие друзья девушек, но и основа уникального оборудования для изучения земных процессов. С 2005 г. в Институте экспериментальной минералогии РАН под руководством директора д.г.-м.н. Ю.Б. Шаповалова и ведущих научных сотрудников ИЭМ РАН и ИФТТ РАН д.х.н. Е.Г. Осадчего, д.х.н. Ю.А. Литвина, к.ф.-м.н. К.П. Мелетова ведутся работы по созданию современной комплексной установки на базе аппаратов высокого давления с алмазными наковальнями для исследований *in situ* глубинного вещества Земли и других планет в условиях одновременного воздействия высоких температур и давлений.

In situ означает, что мы можем наблюдать за процессами непосредственно в ходе эксперимента. Максимальные для мантии Земли PT-условия оцениваются как близкие к 140 ГПа (около 3000 км) и 2600^{o}C на границе мантия–ядро. Можно догадаться, что такие параметры в лабораторных условиях можно получить, используя только уникальное оборудование. Таким оборудованием являются аппараты с алмазными наковальнями DAC (diamond anvil cell) и лазерным нагревом LH (laser heating).

Аппараты с алмазными наковальнями и принцип их эксплуатации были разработаны в 1959 г. Однако работы с алмазными наковальнями именно последних десятилетий привели к прорыву в научной сфере исследований при высоких статических давлениях. Развитие методов *in situ* лазерного нагрева и создание техники DAC-LH (P > 150 ГПа, T > 2500^{o}C, достигнуты температуры порядка 6000^{o}C) радикально расширило возможности экспериментального изучения глубинного планетарного вещества при экстремальных параметрах и привело к появлению мировой сети геофизических, минералогических, петрологических и геохимических лабораторий, использующих эти методы.

К сожалению, по ряду причин Россия не смогла своевременно войти в эту сеть. Между тем, научная проблематика в области наук о веществе Земли и планет приобрела "глубинную" направленность, имеет явно выраженный междисциплинарный и международный характер, объединяя задачи геодинамики, сейсмологии, геохимии, петрологии, минералогии. Успешное решение этой проблемы напрямую связано с возможностью проведения систематических исследований глубинного вещества с использованием современных комплексных установок на базе аппаратов DAC-LH. В настоящее время во многих лабораториях развитых стран используются аппараты DAC-LH, которые сочетаемы с синхротронными рентгеновскими источниками; получает развитие использование нейтронной дифракции. Для России как ведущей геологической и космической державы данное фундаментальное направление экспериментальных исследований вещества глубинных оболочек Земли и планет с использованием аппаратов с алмазными наковальнями и лазерным нагревом несомненно имеет приоритетное значение.

Созданию в ИЭМ РАН комплексной установки с алмазными наковальнями и лазерным нагревом в современном варианте способствовали целевые Программы ОНЗ и Президиума РАН по исследованиям вещества Земли и планет в экстремальных условиях.

К работе на этой уникальной установке подключены и молодые кадры института. А.В. Спивак, А.В. Кузюра, Д.А. Чареев, М.В. Воронин, Н.А. Солопова проводят свои научные изыскания, результаты которых представлены на международных конференциях и опубликованы в ведущих зарубежных и российских изданиях. По результатам работ молодые ученые А.В. Спивак, А.В. Кузюра, Д.А. Чареев в 2009 году были отмечены Президентскими грантами, а в 2010 году А.В. Спивак получила медаль Европейской Академии.

А.В. Спивак за работой на установке с алмазными наковальнями во время лазерного нагрева (в данном случае греем до 3500 K)

Развитие в России современного экспериментального комплекса высоких давлений и температур предъявляет повышенные требования к квалификации экспериментаторов, работающих и приходящих в область минералогии, петрологии и геохимии глубинных зон Земли и планет, создает исключительные возможности для плодотворного международного сотрудничества и вхождения в новые международные проекты. Всё это несомненно, будет оказывать позитивное влияние на повышение научного и технико-методического уровня экспериментальных исследований важнейших геологических и планетологических проблем.

Е.С. ЗАХАРЧЕНКО

Год спустя после юбилея

(Окончание. Начало на стр. 11)

Или, например, открытие на вулкане Кудрявый (Курильские острова) нового минерала и единственного в мире месторождения сульфида рения (рук. - к.г.-м.н. М.А. Коржинский). Практически решена проблема происхождения алмаза в различных геохимических системах. Очень перспективное направление по синтезу и модифицированию природных и синтетических минералов развивается в лаб. проф. В.С. Балицкого. Это и поделочные и ювелирные камни, и технически важный высокогерманиевый кварц, и весьма обнадеживающие результаты по консервации и переносу битума в минералах. Институт занимается также и современными проблемами сохранения окружающей среды и обезвреживания радиоактивных отходов.

Численный состав института менялся и в настоящее время составляет 157 человек, среди которых: 1 академик, 17 докторов наук, 37 кандидатов наук, 16 научных сотрудников без ученой степени. Наличие высококвалифицированного научного персонала, а также сочетание теоретических, полевых и экспериментальных методов исследования позволяют институту решать на мировом уровне многие фундаментальные и практические задачи современной геологии. Результаты этих исследований опубликованы в многочисленных трудах сотрудников Института (более сотни монографий, тематических сборников статей, более 700 статей в ведущих российских и зарубежных журналах). Среди наиболее ярких результатов проведенных в последние годы работ можно назвать важнейшие, позволяющие считать уровень научных разработок ИЭМ РАН одним из самых высоких в области наук о Земле.

Заведующий Лабораторией синтеза и модифицирования минералов профессор В.С. Балицкий за подготовкой эксперимента по изучению свойств улекситового кварца

Доктор химических наук Ю.А. Литвин занят постановкой эксперимента по синтезу алмаза на установке высокого давления

Особенно приятно отметить, что основные научные направления и традиции старшего поколения достойно поддерживает молодежь. В Институте 22 молодых сотрудника в возрасте до 35-40 лет. Буквально сразу после юбилейных торжеств прошлого года четырем из них, кандидатам наук А. Ковальскому, А. Кузюра, А. Спивак и Д. Чарееву, были торжественно вручены гранты Президента РФ для поддержки молодых ученых - кандидатов наук. Почетное звание "Заслуженный деятель науки Российской Федерации" присвоено д.г.-м.н. проф. Г.П. Зарайскому (Указ Президента Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 1515) - к сожалению, посмертно. И уже в этом году грант Президента РФ для поддержки молодых ученых - докторов наук присужден д.г.-м.н. О.Г. Сафонову, а прошлогодний лауреат такого же гранта А. Спивак удостоена высокого звания лауреата конкурса Европейской Академии для молодых учёных 2010 года. О новых, развиваемых ими научных направлениях читайте на стр. 12-13 "Научного вестника".

В.В. ФЕДЬКИН, *к.г.-м.н., ученый секретарь ИЭМ РАН*

Флюиды в нижней коре

Тема, которая была подана мною на соискание гранта Президента РФ, звучит так: "Хлоридсодержащие флюиды в нижней коре и верхней мантии: эксперимент и приложение к природным ассоциациям". Человеку, по роду своей деятельности далекому от геологии, трудно понять, в чем же суть этой тематики.

Действительно, с понятием "флюид" в повседневной жизни мы встречаемся, рассуждая о чем-то легком, окутывающем, пронизывающем. Но это обыденное представление весьма недалеко и от того научного понятия, которое вкладывается в термин "флюид" в петрологии - науке о горных породах, слагающих Землю, и о закономерностях их возникновения и эволюции. Дело в том, что флюиды в недрах Земли - это наиболее подвижная, малоплотная, действительно "легкая" и "пронизывающая", составляющая планетарного вещества, способная переносить химические элементы, на порядки увеличивать скорости протекания многих геологических процессов, влиять на стабильность минеральных ассоциаций и приводить к интенсивному плавлению вещества Земли.

Флюиды в коре и мантии Земли в основном состоят из смесей газов системы углерод-кислород-водород (таких как вода, углекислый газ, метан, водород) с примесью азота, благородных газов, а также соединений серы, хлора, фтора. Тематика моих исследований связана с изучением флюидов, обогащенных хлоридными компонентами, то есть соединениями хлора с калием, натрием, кальцием. Как оказалось, эти компоненты активны во флюидах, связанных не только с гидротермальными приповерхностными образованиями, но и намного больших глубинах, вплоть до мантии Земли.

Изучением воздействия таких флюидов на породы, слагающие нижнюю кору Земли, я стал заниматься в Лаборатории литосферы ИЭМ РАН еще в начале 1990-х годов, будучи студентом геологического факультета МГУ. Тогда я только начал работать под руководством профессора Л.Л. Перчука, который в то время стал заведующим кафедрой петрологии. Леонид Львович и его ученик Тарас Викторович Геря вели работу по изучению влияния высокой активности калия и натрия во флюидах на процессы метаморфизма (преобразования при высоких температурах и давлениях) пород, развивая идеи основоположника физико-химического направления в петрологии и основателя ИЭМ РАН академика Дмитрия Сергеевича Коржинского.

Я подключился к этой работе и, надо сказать, благодаря преподавательскому таланту обоих моих руководителей, подключился вполне успешно: вышло несколько статей и в 1997 году я защитил кандидатскую по данной теме.

Главным итогом этой работы являлся вывод о том, что флюиды, обогащенные солевыми, в том числе и хлоридными, компонентами (в петрологической литературе их назвали "рассолы"), являются важнейшими, а в некоторых ситуациях и ведущими субстанциями, определяющими гранитизацию (процесс образования гранитов) в древних метаморфических комплексах, да и процессы метаморфизма этих пород в целом. Этот вывод был горячо поддержан некоторыми ведущими российскими и зарубежными учеными-петрологами. Однако возник резонный вопрос о происхождении таких флюидов. Мы предполагали их происхождение из мантии Земли. И тут как раз, в конце 1990-х годов, в петрологической литературе появились первые сообщения о находках уникальных включений флюидов в алмазах, выносимых кимберлитами - магматическими породами, образовавшимися из расплавов, исходящих из верхней мантии Земли, с глубин 150-200 км. Впервые эти находки были сделаны израильскими учеными при исследовании алмазов из африканских кимберлитов. Ранее такие включения не были известны, несмотря на то что включения в природных алмазах изучают с начала XX века. Просто не было аналитической техники, позволяющей наблюдать и тем более анализировать субмикронные включения.

Что же это оказались за включения? Именно такие, как мы и предполагали: обогащенные солями калия и натрия и, что самое удивительное, хлором "рассолы". Теперь алмазы, содержащие подобные включения, обнаружены в кимберлитах Якутии, Канады, Бразилии, Китая, Индии, и банк данных о таких включениях пополняется с каждым годом, невероятно быстро. Эти находки указывают на то, что хлоридсодержащие "рассолы", или, как их окрестили в мировой литературе, высокоплотные флюиды (high-density fluids), являются чрезвычайно активными субстанциями в глубинах Земли вплоть до глубин переходной зоны мантии (410-670 км). Дальнейшую интригу этим исследованиям придала недавняя находка "соленых" кимберлитов, то есть кимберлитов, содержащих высокие концентрации хлоридов калия и натрия, в алмазоносной трубке "Удачная-Восточная" в Якутии. Встал вопрос об общей модели взаимосвязи "рассолов", включенных в алмазы, с выносящими их кимберлитовыми, а также другими типами магм, связанными с кимберлитами. Кроме того, стало очевидно, что начали сбываться предположения о происхождении флюидов-"рассолов" в нижней коре Земли.

Однако, несмотря на то что исследование высокоплотных флюидных включений в алмазах дало уникальную возможность для реконструкции состава глубинных флюидов, все же этого было недостаточно для построения модели их эволюции в недрах Земли: мантия, увы, недоступна прямому наблюдению. Основную часть данных о мантии Земли ученые получают косвенным путем - с помощью лабораторных экспериментов при высоких температурах и давлениях, когда природные минералы и горные породы или их модельные аналоги исследуются в специальных установках, позволяющих создавать давления до сотен тысяч атмосфер и температуры более 2000°С. Путем эксперимента пошли и мы в своих исследованиях. И тут опять нам повезло: мы начали сотрудничать с Юрием Андреевичем Литвиным - замечательным ученым-экспериментатором, заведующим Лабораторией флюидно-магматических процессов ИЭМ РАН. Вот в таком "триумвирате" нам удалось создать экспериментальную модель эволюции расплавов, включающих силикатную, карбонатную и хлоридную составляющие, и показать, что она адекватно описывает многие наблюдаемые закономерности, связанные с хлоридсодержащими флюидами или расплавами в мантии Земли. Но самое важное то, что предлагаемая нами модель эволюции таких "жидкостей" имеет выход на многие другие петрологические задачи, в частности, образование мантийных щелочных (то есть богатых калием и натрием), кимберлитовых и карбонатитовых магм, формирование алмазов, связь мантийных "рассолов" с подобными флюидами при метаморфизме пород земной коры. Именно расширению и углублению предложенной нами модели и посвящен мой проект, поддержанный грантом Президента РФ. В нем я хочу соединить результаты, полученные мной в соавторстве с Л.Л. Перчуком, Т.В. Герей, Ю.А. Литвиным и многими другими российским и зарубежными исследователями за прошедшие 15 лет.

Д.г.-м.н. О.Г. Сафонов в лаборатории

Время вносит свои необратимые коррективы. К сожалению, уже полтора года как нет с нами Леонида Львовича. Но его идеи живут в работах его учеников, и я горд тем, что могу внести свой посильный вклад в их осуществление и развитие. Так месяца три назад в престижном международном журнале Journal of Petrology вышла наша статья, которую мы обсуждали с Леонидом Львовичем буквально за два-три дня до той трагической июньской недели 2009 года. А сколько еще идей предстоит реализовать! И грант Президента РФ будет тому замечательным подспорьем. А что касается получения этого гранта, то, без всякого сомнения, оно было бы невозможно без поддержки моих учителей, друзей и сотрудников, образующих то крепкое содружество, которое называется Институт экспериментальной минералогии РАН.

О.Г. САФОНОВ,
зав. Лабораторией литосферы ИЭМ РАН, доктор геолого-минералогических наук

ИСМАН

С 3 по 5 октября 2010 года в Университете Бургундии (г. Дижон, Франция) при поддержке Национального центра научных исследований Франции (CNRS) и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) состоялся III Российско-французский семинар по СВС и реакционным наносистемам. Данное мероприятие, по существу, продолжило традицию российско-французских семинаров по СВС (первый был проведен в 2003 году в Черноголовке, Россия; второй - в 2006 году в Вильтанезе, Франция). По предложению французской стороны III Семинар был проведен в Университете Бургундии (г. Дижон, Франция).

Участники III Российско-французского семинара по СВС и реакционным наносистемам

Встреча была посвящена актуальным вопросам синтеза материалов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Особое внимание было уделено реакциям в наносистемах, механизмы которых еще мало изучены.

Организаторами семинара с французской стороны выступили сотрудники Университета Бургундии: профессор Florence Baras, профессор Frederic Bernard, профессор Jean-Claude Niepce, с российской - академик РАН А.Г. Мержанов и д.ф.-м.н., профессор А.С. Рогачев из ИСМАНа. В работе семинара приняли участие ученые Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Национального исследовательского технологического университета "МИСиС", Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Института химии твердого тела и механохимии СО РАН и Universite de Pierre et Marie Curie, Universite de Montpellier II, Universite de Bourgogne, Universite de Limoges, Universite Paris 13 и Universite Paris 6.

Проведение семинара способствует координации сотрудничества российских и французских ученых в области СВС и реакционных наносистем, развитию новых фундаментальных научных направлений.

На семинаре обсуждались основные темы:

- СВС;
- искровое плазменное спекание (Spark Plasma Sintering process);
- феноменология и механизмы твердопламенного горения; реакции твердое–газ и фильтрационное горение;
- механизмы формирования кристаллической структуры и микроструктуры при СВС и ИПС;
- механическое активирование СВС-систем; экзотермические гетерогенные реакции наноразмерных реагентов, горение наносистем;
- динамические методы исследования СВС и ИПС (дифракция рентгеновского и синхротронного излучения и др.).

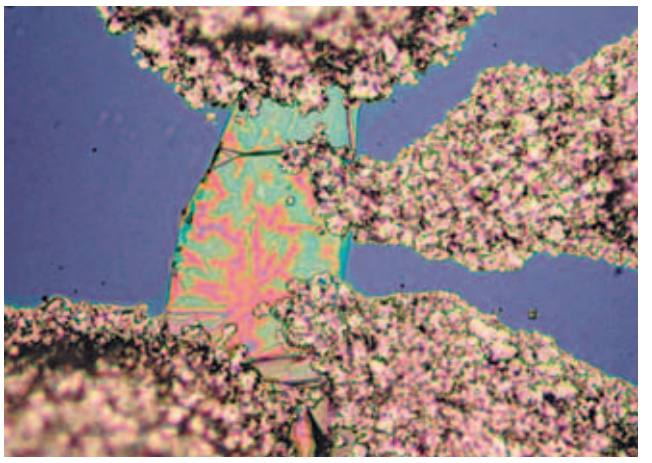
По результатам семинара было достигнуто соглашение о продолжении франко-российского сотрудничества в направлении создания совместной лаборатории или международной исследовательской группы.

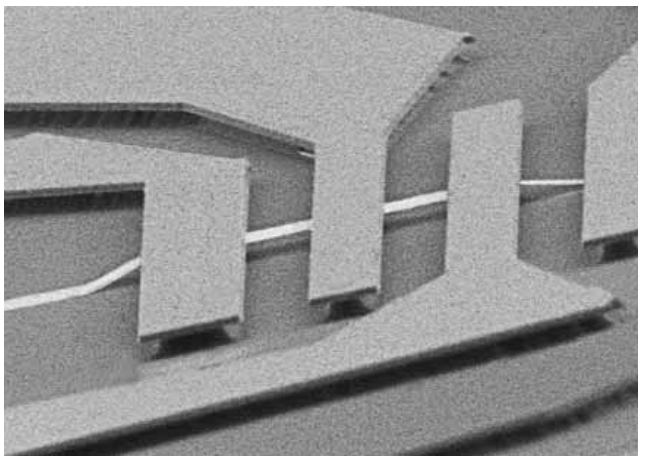
Новости из институтов НЦЧ РАН

Релятивистская квантовая механика на кончике карандаша

Публикуем статью к.ф.-м.н. Сергея Владимировича Морозова, заведующего лабораторией ИПТМ РАН, одного из ближайших соратников наших Нобелевских лауреатов. Профессор Андрей Гейм оценивал вклад Сергея Морозова в их общую работу чрезвычайно высоко - как 20-30 процентов. Этой осенью С.В. Морозов защищает докторскую диссертацию.

Если вы думаете, что название выбрано, потому что физики-теоретики любят писать карандашами, то это не так. Совсем недавно выяснилось, что, когда вы пишете карандашом, могут рождаться объекты, которые описываются законами релятивистской квантовой механики (иными словами - квантовой электродинамикой). Шесть лет назад сотрудникам Университета Манчестера и ИПТМ РАН удалось получить графен, который представляет собой всего одну атомную плоскость, отделенную от объемного кристалла графита. И способ его получения очень похож на то, как пишут карандашом: в следе от карандаша остается множество маленьких чешуек, и надо только найти в оптическом микроскопе тончайшую из них.





Слева - первый образец, прототип полуметаллического транзистора. *Справа* - подвешенный между золотыми контактами мостик из графена шириной в один микрон и толщиной в один атом!

Давно прошли времена, когда в физике можно было делать эксперименты "на коленках", но даже сейчас иногда это приносит успех. Сейчас при изготовлении образцов мы используем всю мощь микроэлектронной технологии, но первый толчок дал образец, сделанный из графитовой чешуйки, контакты к которой были проложены обычной проводящей пастой, а проводящая подложка из окисленного кремния служила для всей структуры затвором. А ведь это был прототип первого **полуметаллического транзистора**!

Открытие графена мгновенно сделало его одной из самых горячих точек современной физики. И самым удивительным оказалось даже не то, что графен является **двумерным кристаллом**, которые ранее не были известны, и считалось, что они не могут существовать в свободном состоянии. Электроны в графене подчиняются законам квантовой электродинамики, имеют нулевую массу покоя и подобны релятивистским частицам. В частности, для них справедливо известное выражение $E=mc^2$ (роль скорости света в графене играет скорость Ферми электронов, которая в 300 раз меньше скорости света). Впервые физики получили возможность изучать в твердотельной системе явления, которые рассматриваются в физике высоких энергий. Однако полной аналогии нет и здесь. Ближе всего к электронам в графене по свойствам является нейтрино. Но последние не имеют заряда и, кроме того, электроны в графене являются строго двумерной системой.

Релятивистская физика имеет дело с частицами, имеющими околосветовые скорости. Первопричиной уникальных свойств графена являются не околосветовые скорости, а симметрия кристаллической решетки. Это приводит к тому, что электроны в графене описываются уравнением Дирака, а не уравнением Шредингера, традиционного в твердотельной физике.

Вскоре после появления нового физического объекта были открыты новые физические эффекты. Первым и, может быть, самым ярким свидетельством справедливости теоретических представлений о графене стал **полуцелый**, или "релятивистский", **квантовый эффект** Холла, при котором Холловская проводимость квантуется при полуцелых значениях постоянной Клитцинга.

Другая необычная система - графен, толщиной в два атомных слоя, который принципиально отличается как от однослойного графена, так и от многослойных пленок графита. В двухслойном графене наблюдается новый тип квазичастиц, не имеющих аналогов в природе. Электроны в нем имеют ненулевую массу покоя, но наследуют элементы симметрии кристаллической решетки монослойного графена, что и определяет уникальность электронных свойств. Но теперь атомы разнесены между двумя монослоями, и можно разрушить эту симметрию, просто поместив пленку в перпендикулярное электрическое поле. В графеновом полевом транзисторе, прикладывая напряжение к затвору, можно управлять зонной структурой этого материала. И это реально использовать в оптоэлектронных устройствах при комнатной температуре - в этом материале можно изменять запрещенную зону от 0 до 0,3 эВ.

Не менее интересен графен и с практической точки зрения. Оказалось, что электроны в графене имеют подвижность при комнатной температуре почти на порядок превышающую величину подвижности в кремнии и могут двигаться в канале транзистора баллистически (без рассеяния). А это существенно для сверхвысокочастотных и малошумящих транзисторов. Причем по нашим экспериментальным оценкам достигнутая подвижность еще очень далека от верхнего предела. Учитывая то, что при работе с графеном используется традиционная планарная технология, весьма вероятно, что графен может стать базовым материалом для микроэлектроники в посткремниевую эпоху.

Можно использовать такую совокупность свойств графена, как высокая прозрачность (98%), низкое удельное сопротивление и химическая инертность. Такие прозрачные пленки могут использоваться в жидкокристаллических дисплеях, которые тогда можно делать еще и гибкими.

Когда говорят о квантовых эффектах в твердых телах, почти всегда имеют в виду очень низкие температуры. В графене многие квантовые эффекты могут "выживать" вплоть до комнатной температуры. Нам удалось продемонстрировать это на примере квантового эффекта Холла и транзистора на квантовых точках. И это не только надо учитывать, но и использовать при разработке новых элементов микроэлектроники, способных работать на новых физических принципах.

Хотя наш способ получения пока дает самые высококачественные образцы графена, для практических применений требуются другие, более продуктивные методы, позволяющие тиражировать этот материал в промышленных масштабах. В последние пару лет ситуация с технологией графена развивалась стремительно и такие методы уже продемонстрированы. Наиболее перспективными методами на сегодняшний день являются эпитаксиальный рост графена на поверхности карбида кремния и на поверхности некоторых металлических пленок, успешно развиваемые в лабораториях разных стран.

Можно еще долго продолжать рассказ об уникальных свойствах графена и перспективах его применения. Но ясно одно: графен открывает новую научную парадигму - "релятивистская" физика твердого тела - и находится только в начале своего восхождения.

С.В. МОРОЗОВ

Новости из институтов НЦЧ РАН

ИТФ им. Ландау

"Сверхмассивная черная дыра в эллиптической галактике: аккреция горячего газа с малым, но конечным угловым моментом" - так называется доклад Н.А. Иногамова и Р.А. Сюняева, который был заслушан на заседании Ученого совета 22 октября.

ИФТТ

Ученый совет ИФТТ РАН выдвинул на соискание грантов "Регионального общественного фонда содействия отечественной науке" лучших аспирантов института: Андрея Сергеевича Журавлева, Марию Геннадьевну Прокудину, Антона Александровича Фортунатова, Михаила Александровича Кузовникова, Надежду Николаевну Орлову.

ФИНЭПХФ

Большая группа сотрудников института провела всю прошлую неделю в Израиле. Наши ученые участвовали в I Масс-спектрометрическом семинаре стран Ближнего Востока и Средиземноморского бассейна. Мы вроде не относимся ни к тому, ни к другому региону, но работы, которые ведутся в лаборатории, основанной когда-то А.Ф. Додоновым, знают в научном мире. Потому и приглашают.

ИПХФ

В соответствии с Планом сотрудничества между Институтом проблем химической физики и Чен-Ганским университетом, 19 октября в Корпусе общего назначения проходил расширенный семинар отдела нанофотоники, на котором выступили гости из Китайской Республики (Тайвань), профессор Лин-Би Чанг и доцент Мин-Джер Дженг - известные специалисты в области разработок светодиодов и солнечных батарей.

Названия их сообщений: Introduction to Green Technology Research Center in Chang Gung University и Solar cell research in Chang Gung University.

Семинар, посвящённый 50-летию образования математического отдела, состоялся 22 октября в КОНе. Вступительное слово сказал чл.-корр. РАН Г.Б. Манелис. Основную программу Семинара составили следующие доклады:

- А.Н. Иванова. "Становление математического отдела и развитие его научной тематики".
- В.А. Дубовицкий. "Теория оптимального управления А.Я. Дубовицкого и А.А. Милютина".
- К.Г. Шкадинский. "Математическое моделирование задач физики горения и взрыва".
- В.А. Рубцов. "Математическое обеспечение первых вычислительных машин".

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
ПЕЧАТНЫЙ ОРГАН НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН В ЧЕРНОГОЛОВКЕ

Учредитель: Президиум НЦЧ РАН

Над выпуском работали:
В.Ф. Разумов(председатель НЦЧ РАН), М.С. Дроздов (корреспондент “ЧГ”), Г.Е. Абросимова (ИФТТ РАН), Е.В. Бовина (ИФАВ РАН), В.А. Бунин (ФГУП НТЦ “Электронтех”), Б.Л. Психа (ИПХФ РАН), Д.В. Рощупкин (ИПТМ РАН), А.М. Столин (ИСМАН), Е.С. Федотова (ФГУП ЭЗАН), А.А. Михайлов (ИТФ РАН)

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических выкладок, собственных имен, географических названий и других данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов. Перепечатка без согласования с редакцией "Научного центра" не допускается.

Наши контакты:
(496-52) 280-77
E-mail:
SCCH_gazeta@mail.ru