

*В.Т. Долгополов\**

## **Фундаментальная наука и графен**

Сон разума порождает чудовищ.  
(Испанская пословица)

Среди многочисленных бед фундаментальной науки (ФН) вообще и российской, в частности, есть одна, в которой повинно само научное сообщество. Эта беда состоит в неумении и нежелании внятно, общедоступным языком объяснять как человеку с улицы и власть предержащим, так и собственным коллегам, содержание научной работы, то есть в практически полном отсутствии популяризации. Мне хотелось бы обсудить возможности, проблемы и ошибки популяризации на примере графена, во-первых, потому что исследования этого материала близки тематике нашей лаборатории, а во-вторых, потому, что слово это у еще на слуху.

Итак, что же это такое – ФН? О чем, собственно пойдет речь? Как мне кажется, всякий исследователь, претендующий на работу в этом разделе науки, должен найти для себя приемлемое определение. Невольно вспоминается широко распространенное определение еще советских времен: «всякий работник учебного или научного заведения, занимающийся бесполезной деятельностью, работает в области фундаментальной науки.» Не удивительно, что при таком определении советская фундаментальная наука была одной из наиболее многолюдных в мире.

Однако, шутки в сторону. Мне кажется наиболее правильным следующее определение: целью и результатом фундаментальной науки является написание новых страниц учебника. Тот, кто способен найти пробелы в существующих учебниках или обнаружить возможность развития хорошо установленных представлений и работающий в этих направлениях, занимается фундаментальной наукой. При таком определении достаточно просто проследить за эффективностью работы научного сотрудника. Его результаты должны появиться вначале в научных обзорах, а затем и в учебной литературе.

К сожалению, наиболее простые разделы учебной литературы уже написаны нашими предшественниками. На нашу долю осталось то, что по каким-либо причинам не могло быть изучено ранее. Значит, экспериментальные фундаментальные исследования должны проводиться в экстремальных условиях: при очень больших энергиях, если речь идет об элементарных частицах, при очень низких, или наоборот, очень высоких температурах, в очень сильных магнитных полях, при очень больших давлениях. Само создание этих условий стоит достаточно дорого, поэтому у всякого незаинтересованного человека возникает естественный вопрос, а собственно, почему учебник нужно писать именно силами нашей страны. Пусть учебники пишут в богатых странах, а мы их прочтем и будем использовать знания, полученные даром. Подробное обсуждение ошибочности такого пути уведет нас слишком далеко от обсуждаемой темы, поэтому ограничимся только одним и не самым сильным аргументом: в стране, где нет фундаментальной науки, новые страницы учебника скоро никто не сможет прочесть и понять.

Экстремальность условий эксперимента приводит к потере зрелищности и трудностям в демонстрации современных экспериментальных установок широкой публике. В качестве примера вспомним машину времени из кинофильма «Иван Васильевич меняет профессию». Там в колбах экзотической формы кипели разноцветные жидкости, вился пар, мигали лампочки, короче, было на что посмотреть. В современной лаборатории такой зрелищности,

---

\*) <http://trv-science.ru/88N>

как правило, нет. Сверхпроводящие соленоиды спрятаны в металлические сосуды- бочки, управление ведется с компьютера, даже радиотехническое оборудование сильно уменьшилось в размере и. благодаря мультиплексированию, в числе. Потеря зрелищности эксперимента побуждает использовать в популярном изложении методов и результатов фундаментальной науки сверх упрощения и весьма неоднозначные приемы.

Одним из наиболее ярких примеров подобных методов популяризации служит история с графеном. Напомним, что графен- это плоский монослой графита, но не в составе кристалла, а , так сказать, существующий сам по себе. Такие монослои укладывают на диэлектрическую подложку ( в первых экспериментах на двуокись кремния) с тем, чтобы избежать сворачивания плоского монослоя в свиток и обеспечить возможность управления числом свободных электронов. В научном жаргоне иногда употребляется словосочетание « двуслойный графен», но большее число слоев в кристалле графита уже не позволяет отнести его к графену.

Как известно, за работы по графену двум нашим бывшим соотечественникам Гейму и Новоселову присуждена Нобелевская премия по физике, что вызвало немалый ажиотаж в отечественных средствах массовой информации. Требовалось как- то выделить главное достижение лауреатов и в ход пошла своеобразная сказка о тульском Левше. Кратко ее содержание сводится к следующему. В то время, как научные работники всего мира возились с методами высоких технологий, будущие лауреаты отщепили листы графена от монокристалла графита с помощью клеевой ленты, а затем растворили ленту жидкостью для смывки лака с ногтей. В этом и состоял их главный гениальный ход. При наличии качественного графита каждый может организовать производство графена у себя на кухне.

Сверхупрощенная версия была многократно тиражирована, причем оговорки, присутствовавшие вначале, постепенно опускались и, что уже совсем неприятно, частью российского общества была воспринята всерьез. Автору этой статьи, например, довелось принимать участие в телевизионной передаче с участием господина Петрика. Последний, по- видимому, базируясь на упоминавшейся выше версии сказки о Левше, утверждал, что идея механического расщепления графита была использована им раньше, чем нобелевскими лауреатами и, стало быть, Нобелевский комитет ошибся. Ясно, что с подобными претензиями следовало бы обращаться не на телевидение. а непосредственно в Нобелевский комитет. Однако, нас сейчас интересует другое, а именно, что было опущено популяризаторами и послужило источником заблуждений.

Работа с графеном была невозможна еще каких-то двадцать лет назад даже при наличии клеевой ленты (и других, использованных авторами, методов расщепления графита). Дело в том, что среди многочисленных чешуек, попавших на поверхность двуокиси кремния, требовалось разыскать однослойную. Для этого было необходимо пересмотреть и определить толщину у многих чешуек, сделать маркировку нужной чешуйки и приделать к ней омические контакты. Каждый из этих шагов требует методов высоких технологий. Одним из небольших, но чрезвычайно полезных шагов нобелевских лауреатов явилось обнаружение возможности оптического отбора чешуек нужной толщины. И это при толщине чешуйки примерно на три порядка меньше, чем длина волны света.

В этом месте мне кажется необходимым подчеркнуть еще одно обстоятельство, не слишком рекламируемое самими лауреатами и не очень известное общественности. Соавторами первых работ по графену, кроме Гейма и Новоселова были Морозов, Фирсов и Дубонос. Последние трое были российскими гражданами, а Фирсов с Дубоносом и работали практически не выезжая из России, так что на начальной стадии работы по графену в значительной мере базировались на усилиях наших реальных, а не только бывших соотечественников. Справедливости ради следует отметить, что в дальнейшем число соавторов еще увеличилось.

Итак, первый промежуточный итог состоит в том, что при популяризации нас всегда подстерегает опасность переупростить и ввести общество в заблуждение относительно

реальной сложности работы и уровня решаемых задач. Думаю, что именно с переупрощенным пониманием научной работы связаны призывы к студентам как можно раньше, уже на младших курсах, заняться научными изысканиями.

Упомянутая выше телевизионная дискуссия продемонстрировала автору его полную неподготовленность вести открытый спор на популярном уровне. В ходе разговора господин Петрик сообщил, что у него на складе лежат тонны графена изготовленные по его, Петрика, методике. Специалисту ошибочность этого утверждения очевидна, но как убедить в ошибочности неподготовленную телевизионную аудиторию? Как убедить зрителей, что в тоннах микрокристаллов графита, лежащих на складе, содержание графена ничтожно, даже если он там вообще есть? Если сослаться на анализы в академических институтах, в которых графена не обнаружено, то мало кто поверит. Логика простейшая: все вы там в академии заодно, одним фронтом выступаете, вот и анализы у вас такие. Требовался быстрый ответ, убедительный даже для полного профана. К своему стыду, должен сказать, что такой ответ пришел мне в голову только после телепередачи. Как мне кажется, правильно было бы оценить рыночную цену одного грамма графена. Действительно, на момент передачи пластиночка графена площадью 30 на 30 квадратных микрон не могла стоить дешевле одного доллара. Значит, грамм графена не мог стоить меньше триллиона (тысячи миллиардов) долларов. Будь на складе реальный графен туда бы стояла грандиозная очередь капиталистических акул, чтобы купить его по дешевке. А если нет очереди, значит нет и графена.

По моим наблюдениям, отсутствие умения изложить свои результаты на языке, доступном любой старушке, и особенно, защитить их в споре на том же уровне-распространенный дефект научных работников. По видимому, нужно обучать этому искусству научную молодежь с первых дней занятия реальной научной работой и стимулировать вкус к подобному занятию.

Не менее важным делом является популяризация собственных результатов среди коллег. Поток публикаций сейчас настолько велик, что статья, опубликованная даже в самом престижном журнале, рискует остаться незамеченной или, даже хуже того, может быть воспроизведена более удачливым популяризатором на несколько измененном языке или на другом, хотя и подобном, материале. Как правило, коллеги получают информацию устно: на семинарах, конференциях или в личном общении. У работающих в России в этом отношении возможности достаточно ограничены, главным образом, из-за финансовых проблем.

Для иллюстрации сказанного вернемся снова к графену. За что, собственно говоря, присуждена премия? С точки зрения фундаментальной науки он обладает совокупностью любопытных свойств. Электроны в нем представляют собой практически идеальный двумерный газ, устроенный таким образом, что запрещенная зона (область энергий, где нет свободно движущихся электронов) в нем, в отличие от типичных полупроводников, отсутствует. Зависимость энергии от момента количества движения (импульса) линейна, в то время как у свободного электрона она квадратична. В элементарной ячейке кристаллической решетки графена -того минимального блока, из которого периодическим повторением построен кристалл- два атома. Поэтому электронная плотность может быть распределена различным образом в пределах элементарной ячейки, причем распределение это при фиксированной энергии электрона зависит от его импульса. В результате, например, в графене отсутствует рассеяние электронов назад, так как оно сопряжено с перестройкой электронной плотности в элементарной ячейке. Как видим, набор свойств интересен, но среди них нет ничего, что бы вело к реальному научному прорыву.

На мой взгляд, основным мотивом для присуждения премии явилась удачная популяризация графена среди научного сообщества. Действительно, усилиями лауреатов поток научных работ по графеновой тематике приобрел размер лавины с явным преобладанием теоретических публикаций.( и это несмотря на то, что свойства графита и графена теоретически были очень подробно исследованы еще в середине прошлого века).

Нельзя сказать, что активность эта оказалась бесполезной. Ее результатом, в свою очередь, явилось предсказание нового класса материалов, уже не двумерных а вполне трехмерных, но в объеме похожих на обычный изолятор, с поверхностным графеноподобным слоем.(топологических изоляторов). Здесь еще раз, уже в качестве казуса, уместно вспомнить претензии господина Петрика. Думаю, что если бы вместо упоминавшейся выше сказки, ему были бы разъяснены масштабы проделанной работы и мотивы для присуждения премии, то и претензий никаких бы не было.

И наконец, последняя, но может быть, самая важная проблема популяризации. Финансирование фундаментальных исследований возможно только из государственных средств. Поэтому как общество в целом, так и представители государственной власти должны ясно понимать необходимость ее поддержки. К сожалению, в течение уже длительного времени научным сообществом использовался порочный метод для получения финансирования от государства. Метод состоял в обещании чуда. На памяти автора чудо власть предреждавшим обещалось от развития физики поверхности, от высокотемпературной сверхпроводимости, от фуллеренов, углеродных нанотрубок и квантовых компьютеров. Кончилось дело тем, что в подобные обещания перестали верить, а фундаментальную науку (особенно на уровне министерства науки) стали рассматривать как некий плохо работающий цех, обязанный немедленно производить нечто полезное (хоть и неизвестно, что именно), который должен работать под заказ и исправно выполнять план при использовании минимума средств.

Для улучшения работы цеха сделана попытка приглашения иностранных управляющих (в основном, эмигрировавших наших соотечественников) и другие столь же опрометчивые шаги. При этом как-то не замечается, что в России осталось хоть и небольшое, но еще достаточное, количество молодых ( в возрасте от тридцати до сорока лет) амбициозных научных сотрудников, уже имеющих известность в мире. Именно группы, сформированные вокруг таких людей могли бы послужить точками роста новой волны российской фундаментальной науки, но нужна срочная (пока они еще здесь и пока еще молоды) поддержка со стороны академии и государства. Этой группе молодых исследователей необходимо обеспечить финансовые и научные возможности на том же уровне, на который они могут рассчитывать за рубежом и уж никак не хуже приглашаемых к нам варягов. Следовательно, необходима терпеливая и постоянная разъяснительная работа среди руководителей государства. Эту работу нельзя переложить на обычных научных работников, так как общение с государственной элитой для них просто недоступно. Популяризация на таком уровне – дело руководителей академии.

Если же мы не спохватимся и не приложим усилий по каждому из направлений популяризации, то научный разум в нашей стране уснет. А что бывает при сне разума, всем известно.