



**Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном»
Научно-популярные статьи¹ призера III степени Пимонова
Владимира Витальевича (студент 6 курса, ФГАОУ ВО "Южный
федеральный университет", г.Ростов-на-Дону)**

Большие исследования маленького космоса²

Добрый день, меня зовут Пимонов Владимир. Я студент второго курса магистратуры кафедры нанотехнологии физического факультета. Область моих исследований находится на стыке физики и биологии. Моя работа основывается на теории и практике, хотя я в большей степени физик-теоретик.

Физики теоретики занимаются тем, что придумывают модели, описывающие различные явления и решают задачи, касательно них. Некто, например, работает в области исследований космоса. Я, в свою очередь, занимаюсь исследованием вирусов.

Галактики, состоящие из тысяч звёзд, имеют протяженность в сотни световых лет, а вирусы, состоящие из тысяч атомов, являются самыми маленькими и беспощадными биологическими объектами в мире. Они способны заражать людей, животных, растения и даже бактерий. Несмотря на такой большой разрыв в размерах исследуемых объектов у меня с этими людьми есть кое-что общее. Мы вместе любим смотреть в ночное небо. А я ещё и снимать его иногда.

В этом году меня командировали на конференцию в Туапсе, где я смог поснимать небо на большой выдержке. Ниже представлен один из снимков.



Рис.1

¹ *Комментарии автора:* В качестве популяризатора я занимаюсь чтением лекций и коротких докладов. Здесь приведены два текста лекций формата Science Slam. Так же мной подготовлен ряд выступлений формата лектория "Курилка Гутенберга".

² Здесь приведен текст моего выступления на научно-популярном лектории Южного федерального университета, который состоялся в ноябре 2017 года. Видеозаписи полного выступления на текущий момент нет.

Весьма примечательно, что мне удалось поймать в кадр туманность Андромеды. И если бы я смог снимать на фотокамеру не с простым объективом, а через телескоп этот снимок мог бы выглядеть примерно так.



Рис.2

Гигантская галактика с десятками тысяч, а может миллионов звёзд, вокруг которых вращаются десятки планет. Белки, составляющие оболочки вирусов состоят из десятков тысяч атомов, ядра которых окружены десятками, а иногда и сотнями электронов.

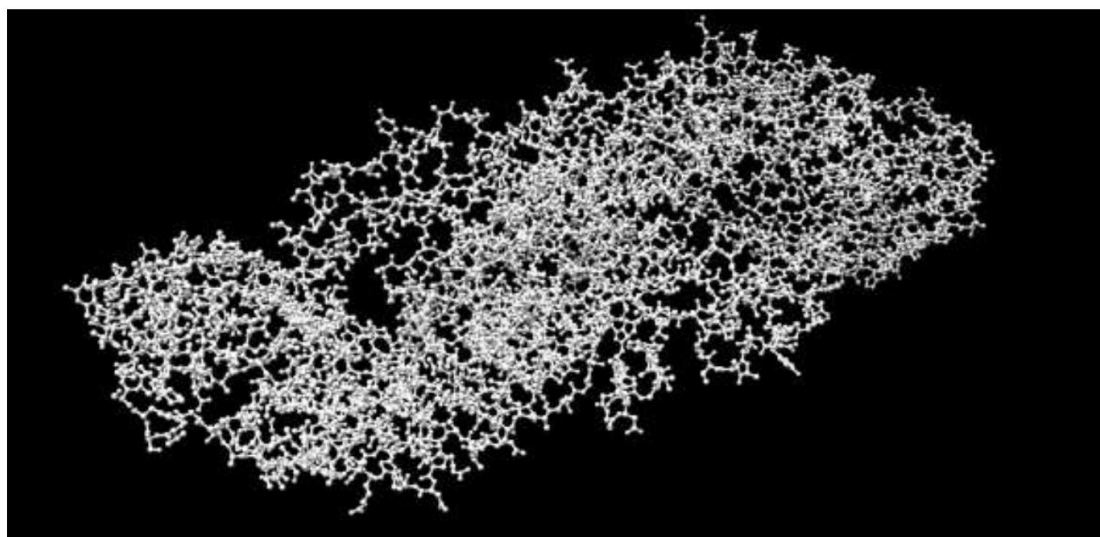


Рис.3. DOI: 10.1126/science.aaf5316

На этом слайде изображена атомарная структура двух белков, входящих в оболочку вируса Зика. Не так давно он наделал много шума в мире.

Год назад Всемирная Организация Здравоохранения признала вспышку лихорадки Зика, начавшуюся в 2015 году в Южной Америке чрезвычайным бедствием мирового масштаба.

Спешу вас успокоить в России не существует природных резервуаров этого вируса, заболевание не является смертельным, а также многочисленные исследования не нашли подтверждения того, что перенесенное заболевание может вызвать патологии в будущем.

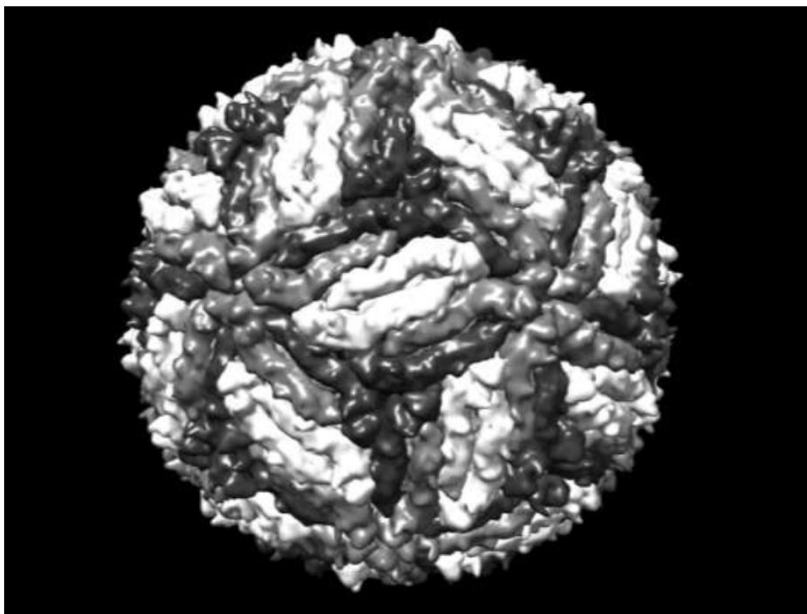


Рис.4. DOI: 10.1126/science.aaf5316

А на рисунке 4 изображена целая оболочка вируса Зика. Она состоит из 180 белковых молекул. В отличие от галактик в космосе белки в оболочках вирусов расположены строго упорядоченно.

Второй отличительной особенностью вирусов как биологических объектов является их способность к самосборке. То есть отдельные белки в растворе самостоятельно без чьей-либо помощи могут собраться в целую оболочку.

Для отдельных атомов самосборка не является чем-то необычным и известна на протяжении нескольких тысяч лет существования человечества. Самосборка вирусных оболочек была открыта чуть больше полувека назад.

Вирусы являются самыми крупными природными объектами, способными к самосборке и одновременно самыми мелкими биологическими объектами.

Будь самосборка возможна в более крупных масштабах это выглядело бы примерно так: мы засыпаем паззлы в коробку, трясем её, открываем. И не получаем никакого удовольствия от процесса сборки.

Собственно, самосборка в упорядоченные структуры роднит вирусы с кристаллами. И если дорога в ад вымощена благими намерениями, то дорога между физикой и биологией вымощена вирусами).

Впервые идея о том, что вирусы можно рассматривать как кристаллические структуры была высказана двумя американскими учёными в 1962 году. Дональд Каспар и Аарон Круг предложили геометрическую модель строения вирусных оболочек. Оболочка, согласно этой теории, могла быть представлена путём расположения белков в шестиугольной решетке особым образом, как показано на рисунке 5 и последующим вырезанием из этой решетки развёртки икосаэдра и склейки её.

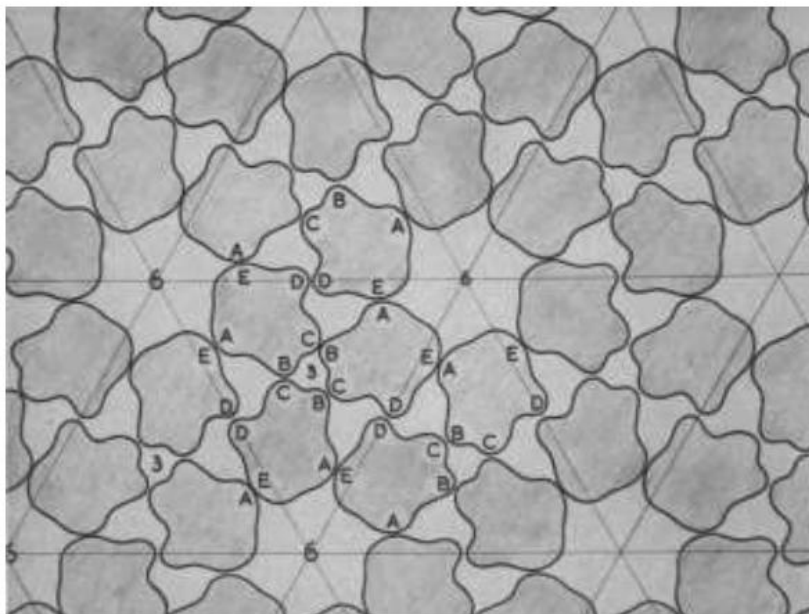


Рис.5. DOI: 10.1101/SQB.1962.027.001.005

Долгое время этот подход был единственным. Однако развитие технической базы позволило обнаружить такие вирусы, оболочки которых не укладываются в рамки классической теории. Для описания расположения белков в оболочках таких вирусов наша исследовательская группа придумала использовать мозаики. Правда не такие мозаики, как любимые детьми паззлы, а такие мозаики, которые встречаются в кристаллах и в структурах, которые называются квазикристаллами. Название последних происходит от латинского слова, означающего подобие.

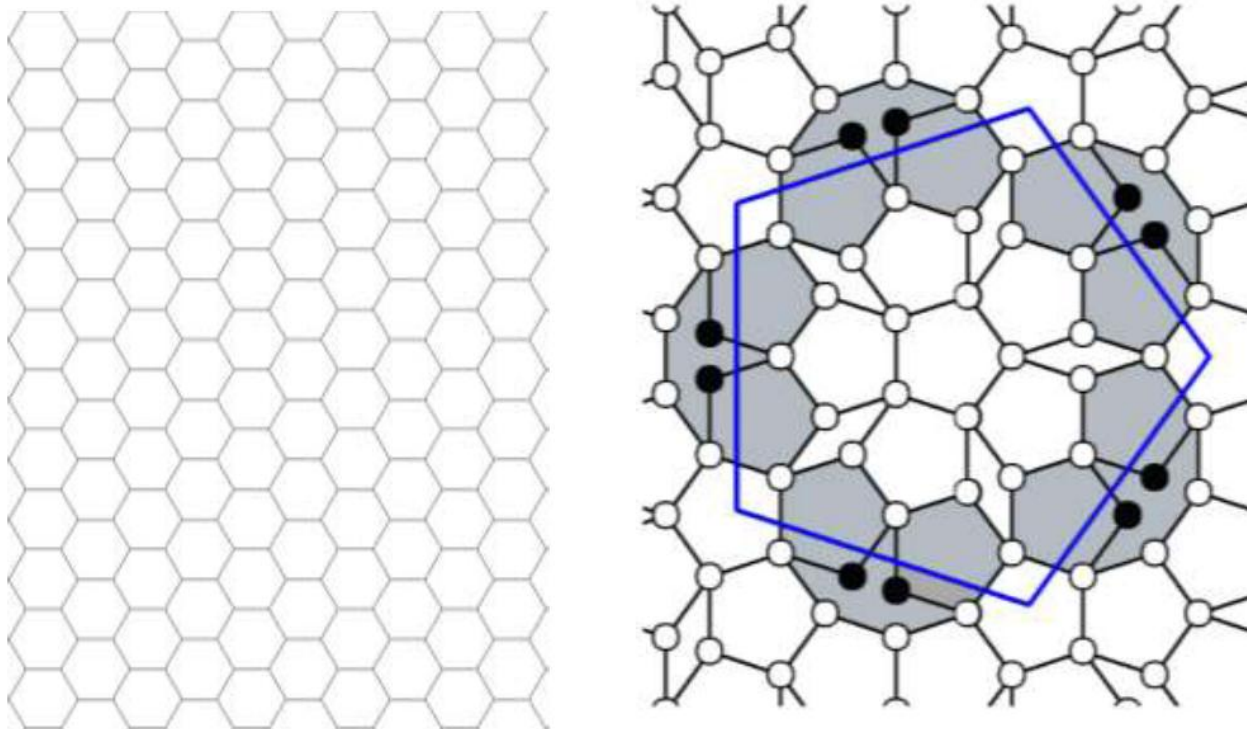


Рис.6. Кристаллическая (слева) и квазикристаллическая (слева) мозаики,
DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.038102

В отличие от первопроходцев нами было предложено сразу располагать эти мозаики на поверхности моделируемых нами вирусных оболочек. И вот здесь возникли различия в двух

использованных нами подходах. Если мы брали шестиугольную мозаику вирусная оболочка, как и в классической теории могла быть описана икосаэдром. Во втором же случае данные структуры имели форму додекаэдра.

С точки зрения физики обе эти фигуры идентичны друг другу. Но фактически у нас в руках оказались два метода описания структур вирусных оболочек.

И возник вопрос. А какой подход лучше?

Моей задачей было найти способ ответить на этот вопрос.

На протяжении последних ста лет в самом общепотребимым способом проверить теорию является сравнение её с экспериментом. Именно этим я и занялся.

Но для сравнения с экспериментом мне нужны были очень подробные снимки вирусных оболочек. Буквально, мне нужны были снимки вирусов с атомарным разрешением.

Для получения таких кадров нам нужно удерживать объект неподвижным перед камерой. Это очень сложная задача. В случае со съёмкой неба, из-за движения земли при длительной выдержке мы рискуем получить смазанное изображение.

Но если отказаться от выдержки, этот вместо снимка мы получим чёрный кадр.

В случае с детализированной съёмкой вирусов учёные сталкиваются с подобными проблемами. Однако нашлась команда учёных, предложившая просто заморозить, только не время, как можно подумать, а сами вирусы.

Нобелевскую премию по химии в 2017 году получила команда, развившая методы криоэлектронной микроскопии, позволяющей мгновенно замораживать биологические объекты и в последующем получать их снимки атомарного разрешения.

По этим снимкам удаётся воссоздать структуры с высокой детализацией, которая была нужна мне, чтобы определить центры масс каждого белка. Центр масс – это такая точка, относительно которой объект находится в равновесии. Мне нужен именно он чтобы сделать сравнение моделей с экспериментальными данными универсальным.

Белки, из которых состоит оболочка одного типа вирусов, совершенно не похожи на белки, составляющие оболочки другого типа вирусов как по составу, так и по форме. При выборе центра масс мы просто находим точку равновесия белка и проверяем насколько хорошо она совпадает с положением предсказанным теорией и нам совершенно не важна форма белка.

Например, на рисунке 7 изображены результаты нашей работы для оболочек вируса Зика. На этих сферах черными линиями обозначены мозаики: слева – кристаллическая, справа – квазикристаллическая. А цветными кругами как раз обозначены координаты центров масс.

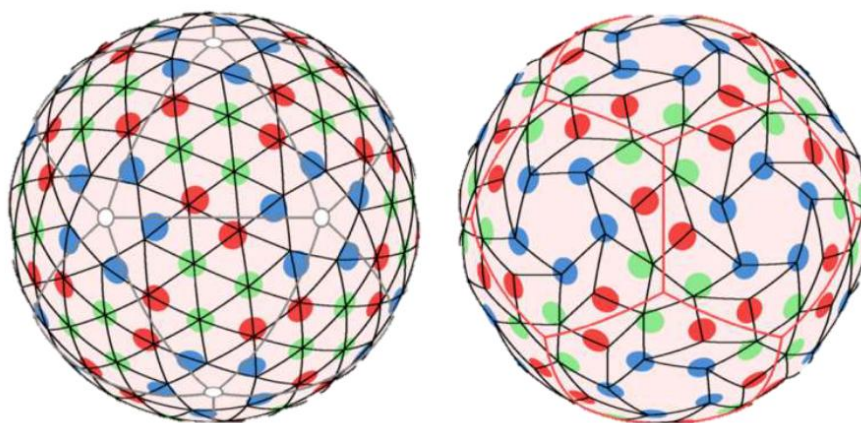


Рис.7. Сравнение экспериментально полученных данных о положениях центров масс белковых молекул, входящих в состав оболочки вируса Зика с моделями кристаллического (слева) и квазикристаллического (справа) упорядочения. DOI: 10.1088/1361-648X/aa7211

В результате сравнения теоретических данных с экспериментальными я выяснил, что часть вирусов лучше описывается одной теорией, другая часть другой.

Знание структуры вирусов позволяет лучше понимать процессы, протекающие в вирусах на протяжении их жизни, от самосборки, до заражения клетки-хозяина, и оказывать на них влияние.

С одной стороны, структурные исследования вирусов позволяют разрабатывать новые лекарственные препараты, что очень важно на фронте войны с постоянно меняющимся врагом.

В качестве примера могу привести Римантадин. Это лекарственное средство, которым лечат грипп и которое можно без труда достать в аптеке. С ним всё хорошо, кроме того, что оно не работает. В 2011 году Центр по контролю и профилактике заболеваний США опубликовал отчёт, в котором, согласно исследованию, устойчивостью к нему обладают 100% известных штаммов вирусов гриппа.

С другой стороны, знание структуры и процессов самосборки вирусов позволяет более осознанно управлять ей. Это важно, потому что вирусные наночастицы уже сегодня используются для генной терапии, которая позволяет лечить заболевания, до недавнего времени считавшиеся неизлечимыми.

Результатом моей работы и работы всей нашей команды стала не просто разработка и проверка двух теорий упорядочения протеинов в оболочках вирусов.

Мы первыми в мире попробовали сравнить теоретические представления о структурах вирусов с экспериментальными данными. Созданный нами подход универсален. С его помощью можно не только сравнивать структуры новых вирусов с существующими теориями, но также сравнивать новые предлагаемые теории с экспериментом, и даже сравнивать степень различия двух моделей.

Наноучёные – супергерои среди нас³

Добрый день, меня зовут Владимир. Областью моих научных исследований является направленный синтез углеродных нанотрубок.

Громкое название моего доклада возможно вызвало у вас логичный вопрос, что общего может быть между учёными и супергероями.

Ответ прост! Мы все пьем кофе. Супермен пьёт кофе. Если я утром не выпью кофе, то в рабочее время я сплю на ходу.

Минимальное сходство между учёными и супергероями установлено, теперь остаётся узнать в чем разница между обычными учеными, или МАКРО учеными и НАНО учёными?

Очевидно, что в размере. Но давайте попробуем узнать насколько мало нано.

Для этого мне понадобится ваша фантазия и немного помощи супермена с его кофе. Итак, рост человека из стали около 2 метров. Мой рост 1 метр 87 сантиметров. Давайте спустимся на одну ступень вниз.

И попадём в область десятков сантиметров. Размеры чашки кофе, персональных и планшетных компьютеров. Привычные в обычной жизни.

Давайте спустимся ещё на шаг вниз и подойдем на шаг ближе к приготовлению кофе.

И мы попадем в область сантиметровых размеров, размеров кофейных зёрен и кубиков сахара – того, без чего супермен не смог бы выпить свой кофе.

Однако, у нас мало времени, потому мы перейдём на ещё один шаг ближе к нано. В миллиметровые размеры. У меня нет утром времени варить кофе, потому я использую растворимый, да и вместо рафинада я использую обычный сахарный песок. К слову размеры кристалликов сахара и гранул растворимого кофе находится в миллиметровых масштабах.

Миллиметровые размеры – это лишь треть нашего пути. То есть чтобы понять насколько мало "нано" нам нужно взять тысячную долю от тысячной доли миллиметра.

Если бы у нас был костюм человека-муравья, и мы могли уменьшиться до нанометровых размеров, то расстояние в три метра, которое вы можете преодолеть за пять шагов было бы эквивалентно расстоянию от земли до луны.

Вообще говоря, взгляд на мир с пониманием наномасштабов позволяет мне с уверенностью заявить, что есть ещё кое-что, что объединяет любого человека с супергероями. Для этого любому человеку достаточно устремить взгляд в небо и выставить руки вперед, будто он это супермен, летящий на помощь страждущим.

При этом этот человек начнёт парить в воздухе. На высоте около одного нанометра над землёй.

³ Данная статья является текстом выступления на научно-популярном конкурсе Science Slam SAMARA. Прошедшем в ноябре 2017 года. Ниже приведена ссылка на само выступление.
<https://www.youtube.com/watch?v=g7wnz6LklNE&t=>

Вообще говоря, весь мир мы человек познаёт на расстоянии, даже самые близкие объятия не позволят людям приблизиться друг к другу на меньшее расстояние. Звучит довольно одиноко.

Теперь от нано перейдём к технологиям.

Чтобы понять, что это такое, сначала разберёмся с тем, чем они не являются.

Поиск в интернете позволяет найти множество примеров. Иногда ищу в интернете что-то про нанотехнологии, а там:

Наномойки;
Наноноски;
Наноаквариумы;
Нанопластыри;
Наноеда;

И сотни тысяч других «Нановещей» не имеющих к нанотехнологиям никакого отношения.

Мой командир роты говорил, что нанотехнологии в России это всё, что собрано ключом меньше чем на двадцать четыре. Он тоже был не прав. Потому что нанотехнологии это комплекс мер, позволяющих людям взаимодействовать с объектами на нано уровне.

И у нанотехнологий есть кое-что общее с японскими фигурками Нэцкэ. И это – точка зрения.



Рис.1. Фигурка нэцке

Как фигурки нэцке позволяют под разным углом увидеть разные изображения, так и нанобъекты можно получить двумя способами: "СВЕРХУ-ВНИЗ" и "СНИЗУ-ВВЕРХ", при одном большой кусок материала и измельчается его до наноразмерных масштабов, во втором – из отдельных атомов и собираем из них то, что нам нужно.

Этот подход используется при синтезе различных наноматериалов, таких как графен. Это один слой атомов углерода, упорядоченный определенным образом.

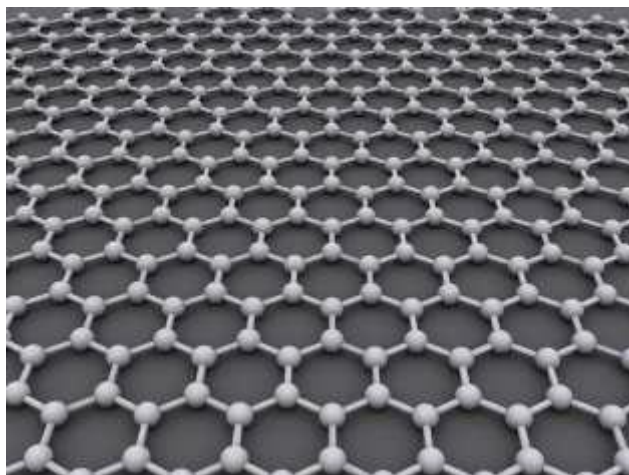


Рис.2. Модель графенового листа

За пионерские исследования в области синтеза графена в 2010 году нашим соотечественникам была вручена Нобелевская премия. Это передовой материал с десятками применений, и так считаю не только я но и небезызвестный Железный Человек!

Во втором выпуске серии комиксов ПРЕВОСХОДНЫЙ ЖЕЛЕЗНЫЙ ЧЕЛОВЕК, всем нам хорошо известный тони старк заменил забрало шлема своего костюма на один слой графена, достаточно тонкий, чтобы оставаться прозрачным, но тем не менее, способный остановить пулю. В целом это не столь фантастичная идея, как может показаться с первого взгляда).

Чтобы сделать наш графен мы можем заменить безликие атомы углерода лисами и получим лисий.

Но это только графен, или в нашем случае назовем его лисий.

Чтобы получить нанотрубки из него нужно его свернуть. И, как вы могли уже догадаться, сделать это можно множеством разных способов.

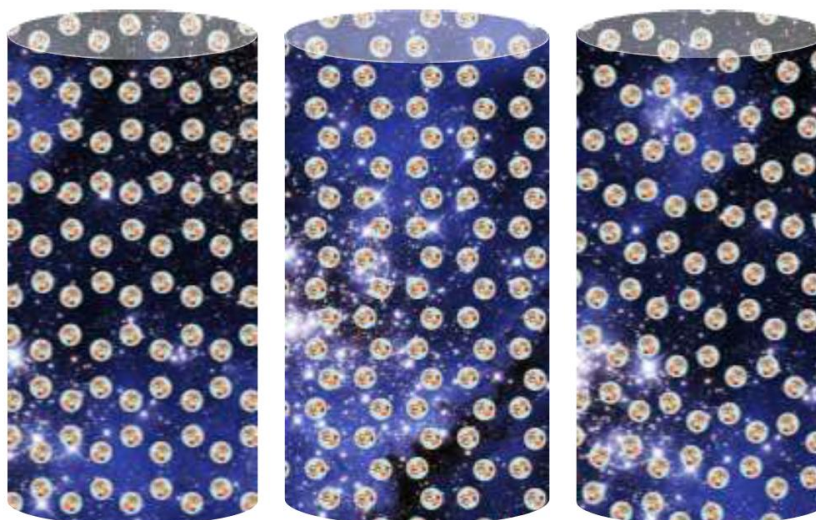


Рис.3. Лисевые нанотрубки. Слева типа «зигзаг», в центре – «кресло», справа – хиральные нанотрубки.

И мы получим при этом разные нанотрубки. Отличаться эти нанотрубки будут своей хиральностью, от греческого "hiros" – рука, то есть отсутствием симметрии относительно отражения. Выделяют два класса трубок хиральные и ахиральные.

В свою очередь ахиральные трубки делятся на нанотрубки типа Кресло и типа зигзаг.

Но таким образом нанотрубки конечно же никто не делает, слишком дорого и сложно тратить и без того полезный графен на то, чтобы сворачивать из него трубки. Их собирают из отдельных атомов.

Область моих исследований состоит в получении нанотрубок методом химического осаждения из газовой фазы.

За сложным названием кроется простая идея. Мы берём большую стеклянную трубку, помещаем туда подложку, на которую нанесён катализатор. В случае, если нам нужно привлечь лис, пусть это будут всякие вкусняшки. После этого мы продуваем газообразные реагенты через трубку. Обратите внимание, что в качестве реагентов выступают не только интересующие нас лисы. Нагреваем. И ждем, пока лисы не сформируют интересующую нас структуру вокруг частиц катализаторов.

Но за этой простой идеей кроется масса трудностей.

Если представить, что нанотрубки это место работы, или университет до которого вам нужно добраться из дома, то методы их получения, это сотни тысяч путей, которые вы можете выбрать для того, чтобы попасть на учебу или в офис.

Изменяя температуру, давление, состав реагентов и катализаторов мы можем менять свойства конечных нанотрубок.

И во всём этом многообразии дорог кроются те, которые позволят получить нам такие, нанотрубки какие мы хотим. Однако сегодня синтез нанотрубок больше похож на заказ одежды в интернет-магазинах. Мы получаем трубки, но их длина, ширина и хиральность нам не известны.

Но если на нашем пути стоит столько сложностей, вполне закономерен вопрос. А нужны ли нам трубки?

Ответ на него кроется в свойствах трубок. Они обладают высокой прочностью и химической стойкостью, уникальными электро-, теплопроводными и оптическими свойствами.

Их применение уже сегодня позволяет создавать более прочные смеси такие как бетоны, пластмассы, резины и стёкла. А ведь оно основано только на механических свойствах нанотрубок.

В будущем с их помощью можно будет создавать сверхтонкие гаджеты со сверхпродолжительными сроками работы, искусственные мышцы и протезы обратной связью, способные заменить потерянные конечности.

Именно поэтому я занимаюсь наукой.

Супергерои вроде Доктора Стрейнджа силой мысли мог останавливать пули, строить дороги из камней и метать ножи. У меня нет таких способностей, но я каждый день силой своей мысли строю мост, соединяющий мечты и реальность.