



# НАНОТЕХНОЛОГИИ в сфере ЗОС

# ЛЕКЦИЯ № 1

## *ВВЕДЕНИЕ*

*История развития нанотехнологий и  
наноматериалов*

В России, как и во всем мире,  
нанотехнологии (НТ) являются  
приоритетным направлением  
развития науки и техники.

Нанотехнологии станут основой грядущей  
промышленной революции.

Нанотехнология позволяет осуществлять манипуляции с веществом в нанометровом масштабе (1 нм =  $10^{-9}$  м, одна миллиардная часть метра), что означает возможность управления процессами на атомарном и молекулярном уровне.

Нанотехнологии объединяют в себе самые разнообразные достижения из множества сфер знания и относятся к промежуточным областям науки с широким кругом междисциплинарных связей, объединяя понятия и подходы многих научных дисциплин.

# Некоторые коммерческие товары этого типа уже получили широкое распространение

- головки магнитных дисков с покрытием нанометровой толщины
  - наноструктурные катализаторы
  - косметические товары с использованием наночастиц
  - нанофильтры и т.п.
- Полученные в настоящее время конкретные результаты в области НТ обещают оказать самое серьезное воздействие, как на жизнь отдельных людей, так и на развитие всего мирового сообщества.

В связи с этим очевидна и необходимость параллельного изучения возможных негативных последствий применения нанотехнологий и разработки санитарно-гигиенического нормирования, метрологического обеспечения, средств коллективной и индивидуальной защиты, технологических, организационных, административных мероприятий, направленных на снижение (исключение) их отрицательного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Термин нанотехнология является относительно новым, однако устройства и структуры нанометровых размеров не новы.

Примеры:

- моллюск морское ушко
- цветное стекло, содержащее наночастицы металлов
- фотография









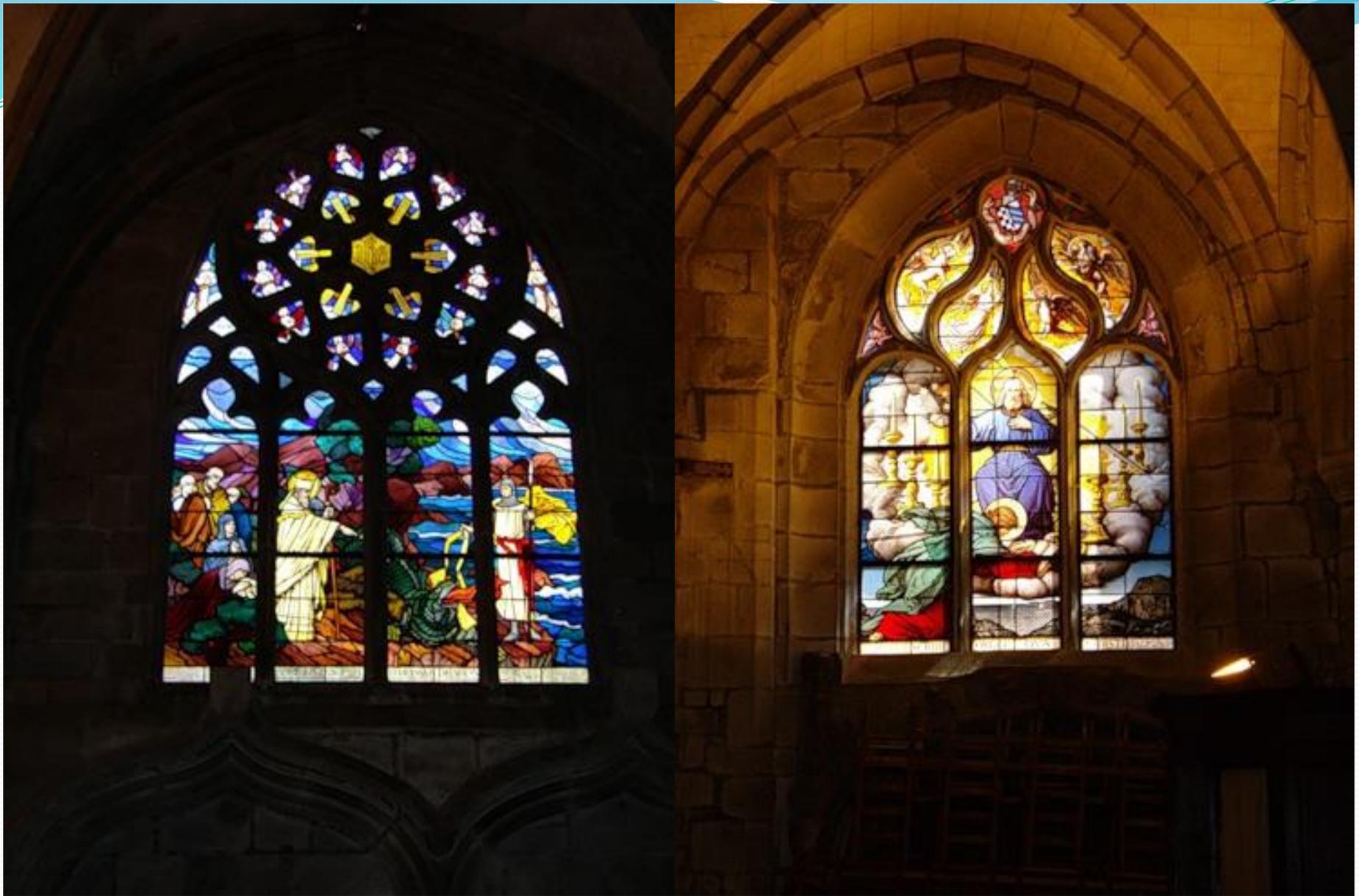
Выращивает очень прочную, переливающуюся изнутри раковину, склеивая прочные наночастички мела особой смесью белков с углеводами. Трещины, появляющиеся снаружи, не могут распространяться в раковине из-за наноструктурированных кирпичиков. Раковины являются природной демонстрацией того, что структуры, сформированные из наночастиц, могут быть намного прочнее материала, однородного в объеме.

Есть сведения, что в четвертом веке нашей эры римские стекловары делали цветное стекло, содержащее наночастицы металлов. Изделие этой эпохи, называемое чашей Ликурга, находится в Британском Музее. Чаша, изображающая смерть короля Ликурга, сделана из стекла на основе натровой извести, содержащего наночастицы серебра и золота. Цвет чаши меняется от зеленого до темно-красного при помещении в нее источника света. Огромное разнообразие прекрасных цветных витражей в средневековых храмах объясняется присутствием металлических наночастиц в стекле.



Кубок Ликурга, IV в н.э.







# Фотография

- технология, развитая в XVIII—XIX вв., основывается на образовании наночастиц серебра под действием света.
- История фотографии начинается с 1839 года. Именно в этом году ( точнее 19 августа 1839 года) Ф.Д.Араго, выступив перед совместным заседанием Парижской Академии наук и Академии Изящных Искусств, познакомил присутствующих с сущностью дагерротипии, и тем самым положил начало одному из величайших открытий 19 века.

- Хотя светочувствительность определенных материалов была известна очень давно, получить изображение окружающего нас мира и уберечь его от действия света удалось только Жозефу Нисефору Ньепсу и Луи Жаку Манде Дагеру, изобретателям современной фотографии.
- Фотопленка — это эмульсия галогенида серебра, например, бромида серебра в желатине, нанесенная на основу из прозрачного ацетата целлюлозы.
- Свет разлагает галогенид серебра с образованием наночастиц чистого серебра, которые и являются пикселями изображения.

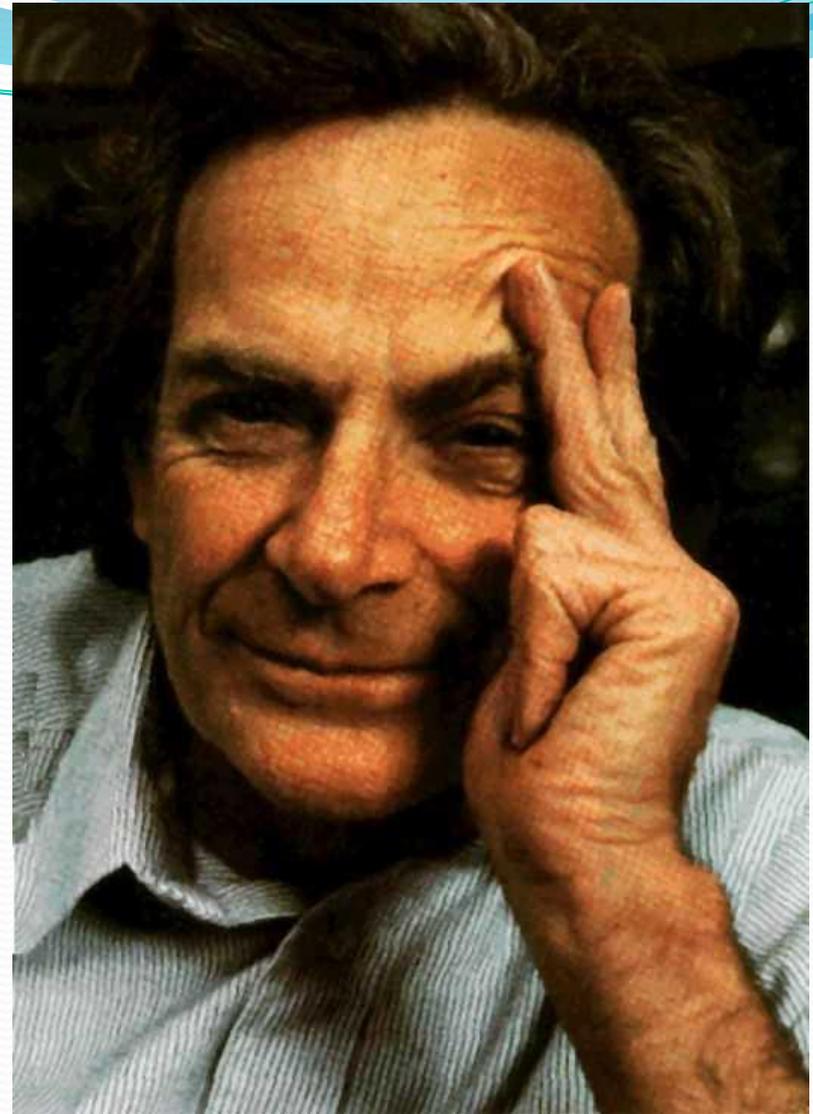


«Вид из окна на Ле-Грас» (1826 год), снята и проявлена французским фотографом Joseph Nicéphore Niépce. Он назвал этот процесс гелиографией (солнечный рисунок). Только процесс экспозиции занял около 8 часов.

"Один из первых дагерротипов, зафиксировавших людей. Несмотря на 10-минутную выдержку, человек, стоящий на углу улицы около чистильщика ботинок, оставался неподвижен и попал на снимок. 1839 год"



**Ричард Фейнман**  
- лауреат Нобелевской  
премии в 1965 году за  
создание теории квантовой  
электродинамики,  
**предсказал появление**  
**нанотехнологий.**



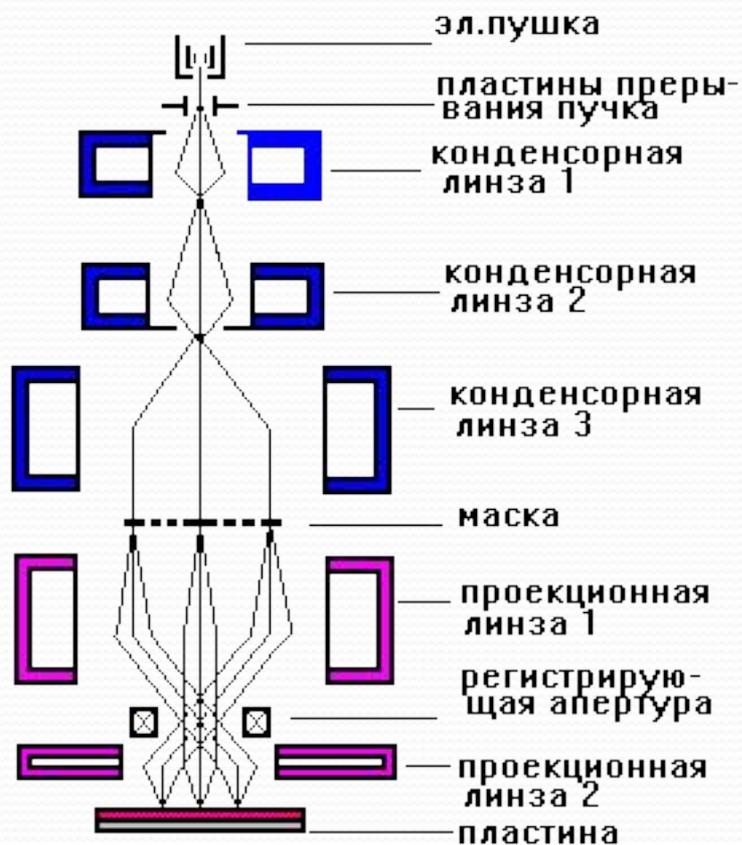
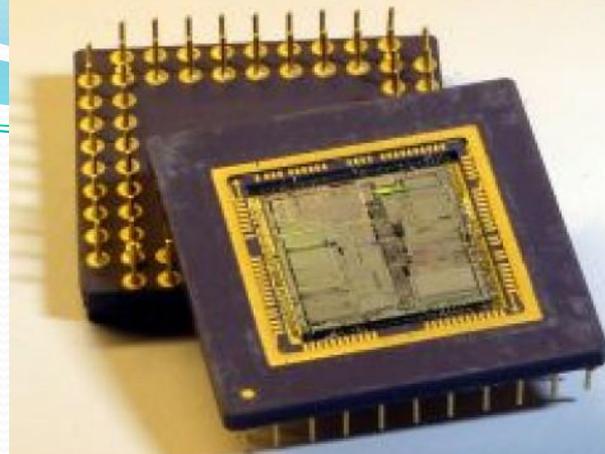
**В 1960 году на собрании Американского Физического Общества он прочитал пророческую лекцию под названием «Там внизу еще очень много места», где фантазировал на тему вероятности создания и потенциальных возможностей наноразмерных материалов.**

**Работы:**

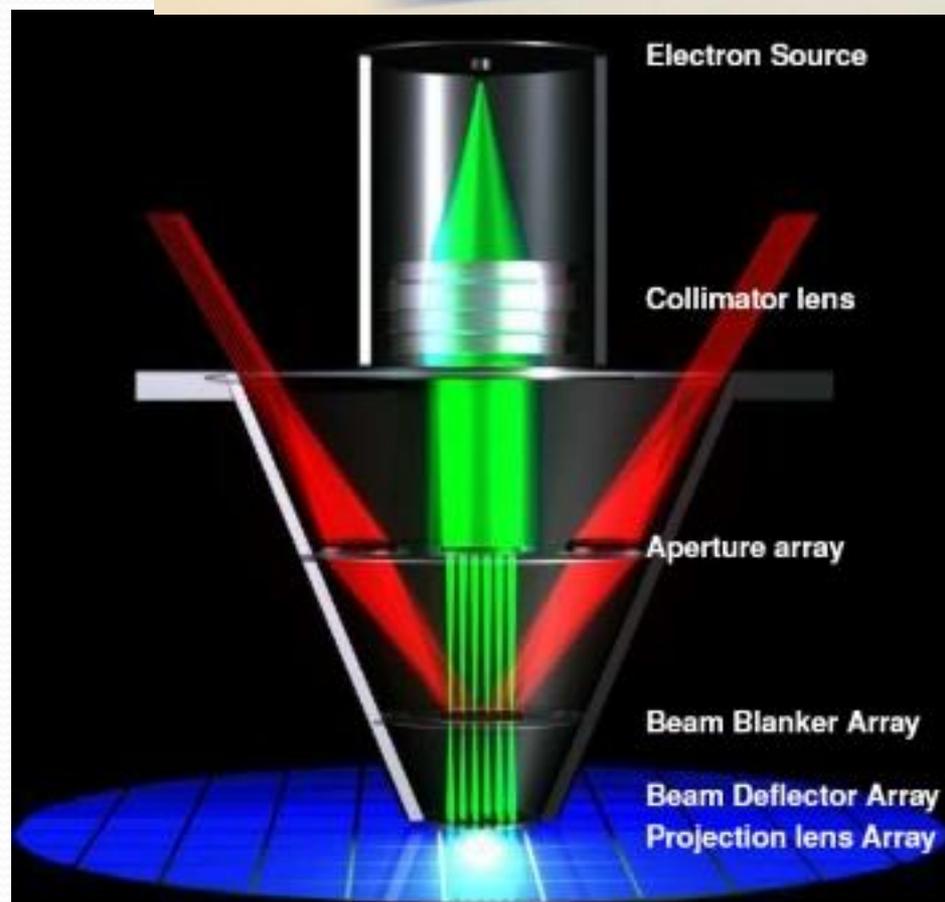
**новая формулировка квантовой механики, эксперименты с жидким гелием, теория слабых взаимодействий и кварк-глюонная картина строения вещества...**

# Фейнман предсказал

электроннолучевую литографию,  
используемую сегодня для  
изготовления кремниевых чипов

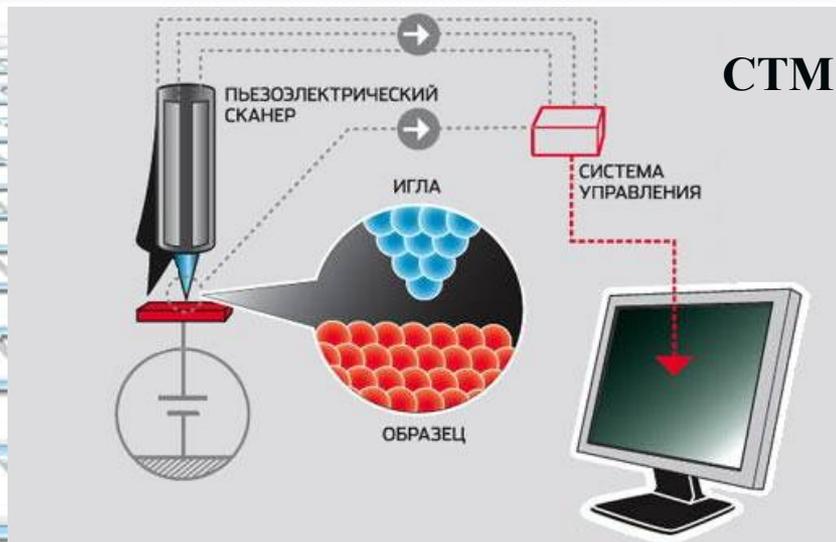
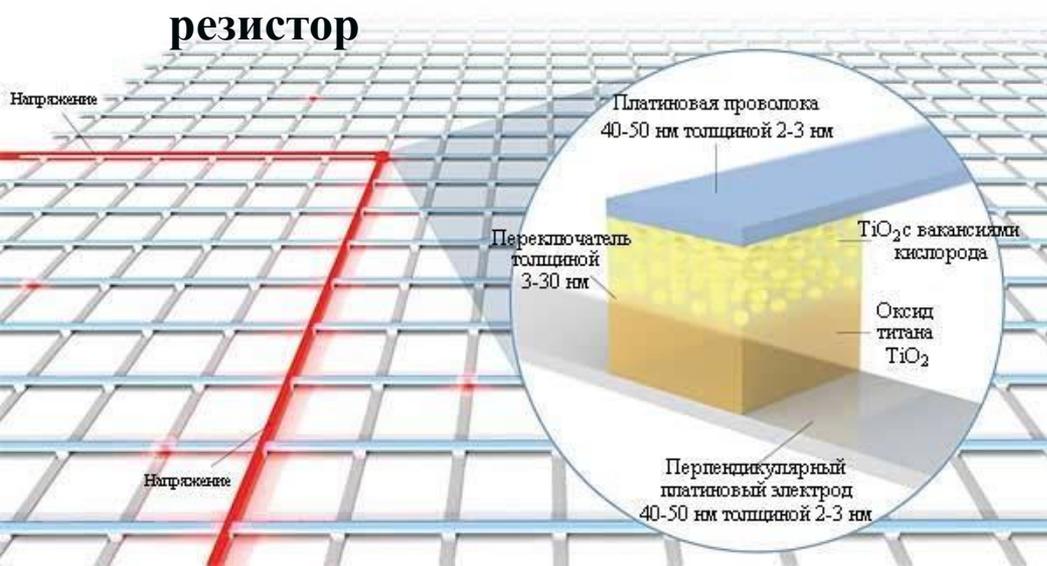


Пустовая Л.Е.



# Фейнман предсказал

- манипулирование отдельными атомами для создания новых малых структур с очень разными свойствами, что было реализовано посредством сканирующего туннельного микроскопа (СТМ)
- создание электрических цепей нанометровых масштабов для использования их в более мощных компьютерах

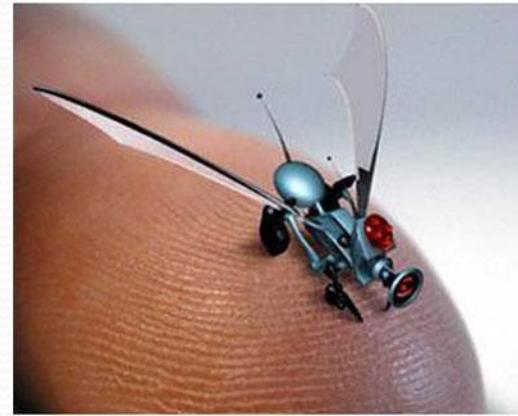


Множество фейнмановских измышлений стало реальностью, однако его идеи не нашли отклика у ученых того времени. Сейчас среди исследователей в области нанотехнологии лекция Фейнмана является легендарной: «она была столь провидческой, что не доходила до людей, пока до нее не дошла технология».

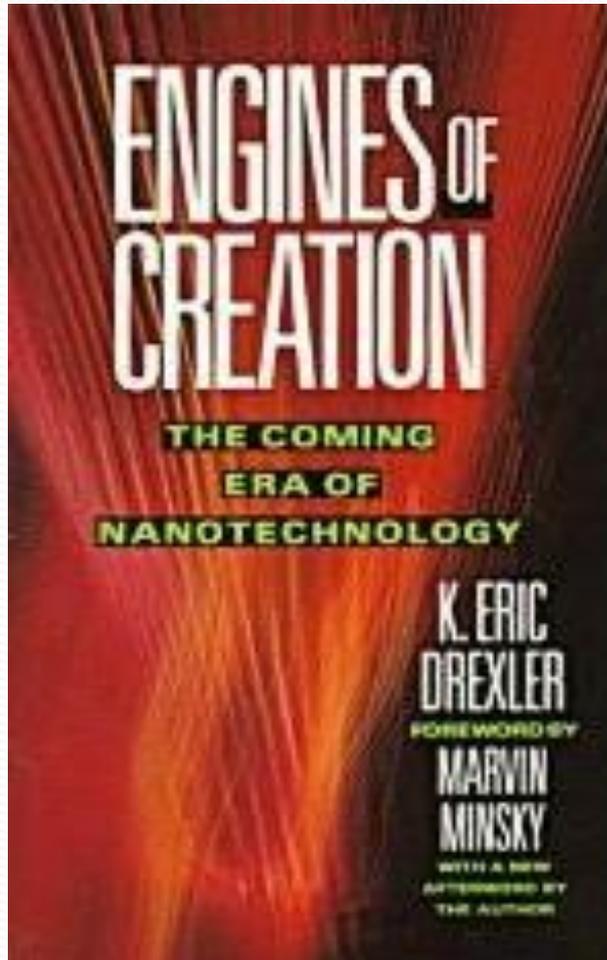


Фейнман предположил, что возможно перемещать атомы отдельно, механически, при помощи манипулятора соответствующих размеров, который он предложил делать следующим способом.

Необходимо построить механизм, создававший бы свою копию, только на порядок меньшую. Созданный меньший механизм должен опять создать свою копию, опять на порядок меньшую и так до тех пор, пока размеры механизма не будут соизмеримы с размерами порядка одного атома. При этом необходимо будет делать изменения в устройстве этого механизма, так как силы гравитации, действующие в макромире будут оказывать все меньшее влияние, а силы межмолекулярных взаимодействий и Ван-дер-Ваальсовы силы будут все больше влиять на работу механизма.



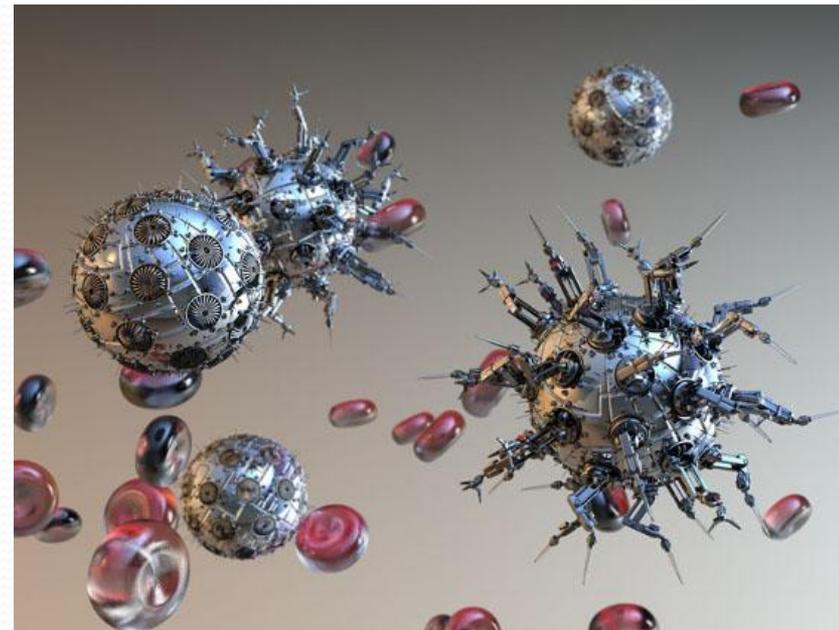
# Эрик К. Дрекслер "Машины создания: грядёт эра нанотехнологии"



- Последний этап - полученный механизм соберёт свою копию из отдельных атомов. Принципиально число таких копий неограниченно, можно будет за короткое время создать любое число таких машин. Эти машины смогут таким же способом, поатомной сборкой собирать макровещи. Это позволит сделать вещи на порядок дешевле - таким роботам (нанороботам) нужно будет дать только необходимое количество молекул и энергию, и написать программу для сборки необходимых предметов. До сих пор никто не смог опровергнуть эту возможность, но и никому пока не удалось создать такие механизмы.

- Впервые термин "нанотехнология" употребил Норио Танигути в 1974 году. Он назвал этим термином производство изделий размеров порядка нанометров. В 1980-х годах этот термин использовал Эрик К. Дрекслер, особенно в своей книге "Машины создания: грядёт эра нанотехнологии" ("Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology"), которая вышла в 1986 году. Этим термином он называл новую область науки, которую он исследовал в своей докторской диссертации в Массачусетском Технологическом Институте (МТИ). Результаты своих исследований он впоследствии опубликовал в книге "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation". Главную роль в его исследованиях играли математические расчёты, поскольку с их помощью до сих пор можно проанализировать предположительные свойства и разработать устройства размеров порядка нанометров.

- В основном сейчас рассматривается возможность механического манипулирования молекулами и создание самовоспроизводящихся манипуляторов для этих целей.
- Это позволит многократно удешевить любые существующие продукты и создать принципиально новые, решить все существующие экологические проблемы. Также такие манипуляторы имеют огромный медицинский потенциал: они способны ремонтировать повреждённые клетки человека, что приводит фактически к реальному техническому бессмертию человека.



# Исторические этапы развития НТ

- 1905 год. Швейцарский физик А. Эйнштейн опубликовал работу, в которой доказывал, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нанометр.
- 1931 г. – Кнолл и Руска создали электронный микроскоп, который в первые позволил исследовать нанообъекты;
- 1956 г. - Ухлир сообщил о первом наблюдении пористого кремния;
- 1957 г. - Ральф Ландоер, работавшего в на IBM, были идеи о наномасштабной электронике.
- 1959 год. Американский физик Ричард Фейнман впервые опубликовал работу, в которой оценивались перспективы миниатюризации.
- 1968 г. – А. Чо, Д. Артур из компании BELL, разработали теоретические основы нанообработки поверхности;

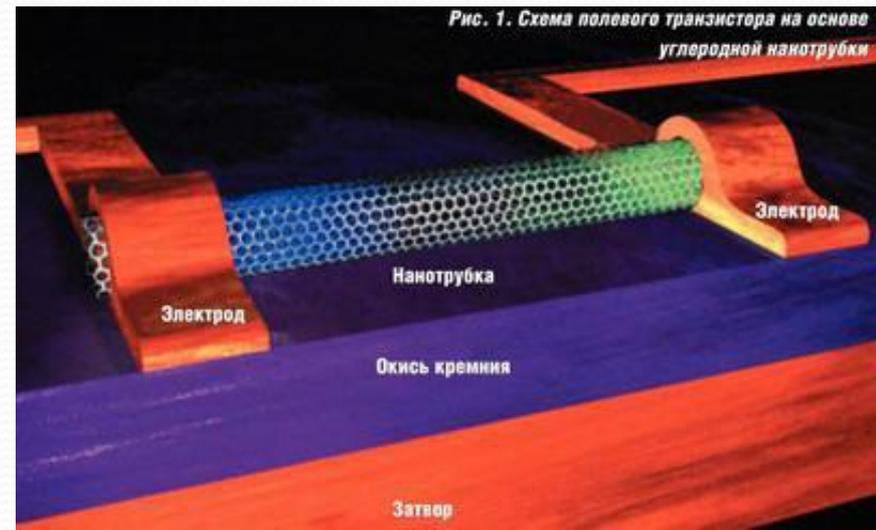
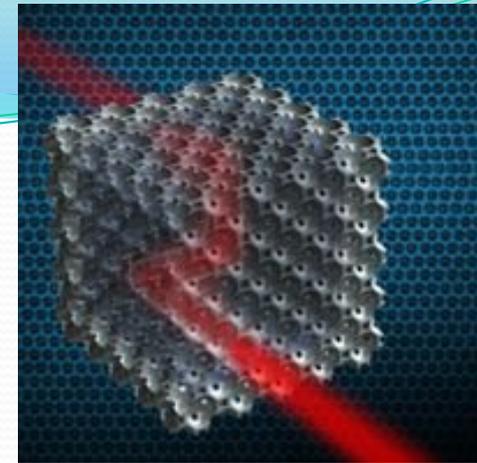
- 1974 г. – Н. Танигучи ввел в научный оборот слово «нанотехника», предложив называть так объекты размером менее 1 микрона. Греческое слово "нанос" означает примерно "старичок";
- 1978 г. магические числа кластеров натрия при масс-спектропии в натриевых пучках
- В 80-х г.г. Т.А. Фултон и Г.Дж. Долан из Bell Laboratories создали первый одноэлектронный транзистор и наблюдали кулоновскую блокаду.
- 1981 г. – Г. Биннинг, Г. Рорер создали сканирующий туннельный микроскоп – прибор, позволяющий осуществляющий воздействие на вещество на атомарном уровне (1986 году им была вручена Нобелевская премия).
- в 1981 году был реализован способ получения малых металлических кластеров, использующий высокоэнергетичный сфокусированный лазерный луч для создания горячей плазмы при испарении металла.

Изобретение сканирующего  
туннельного микроскопа (СТМ) и  
атомно-силового микроскопа (АСМ)  
дало новые важные  
средства наблюдения, изучения и  
атомного манипулирования в  
нанообъектах.

- 1985 год. Американский физики Роберт Керл, Хэрольд Крото и Ричард Смэйли создали технологию, позволяющую точно измерять предметы, диаметром в один нанометр.
- 1985 год - был открыт фуллерен  $C_{60}$
- 1986 год. Нанотехнология стала известна широкой публике. Американский футуролог Эрк Дрекслер опубликовал книгу, в которой предсказывал, что нанотехнология в скором времени начнет активно развиваться.
- В 1987 году Б.Дж. ван Вис и Н. ван Хутен из Нидерландов наблюдали ступени на вольтамперных характеристиках точечных контактов. Это были первые наблюдения квантования проводимости.
- 1989 год. Дональд Эйглер, сотрудник компании ИВМ, выложил название своей фирмы атомами ксенона.

# В 90-х годах

- первый трехмерно периодический фотонный кристалл с совершенной щелью был изготовлен Яблоновичем
- Ижима получил углеродные нанотрубки
- в фуллеренах  $C_{60}$  были открыты сверхпроводимость и ферромагнетизм
- начаты попытки создания молекулярных переключателей и измерения электропроводности отдельных молекул
- продемонстрирован полевой транзистор на углеродной нанотрубке.



- Также в этом десятилетии были получены многослойные материалы с чередующимися магнитными и немагнитными слоями, демонстрирующие удивительные свойства гигантского магнетосопротивления.

Эти материалы со слоями нанометровой толщины имеют важное применение для создания новых запоминающих устройств на магнитной основе.

1998 год. Голландский физик Сеез Деккер создал транзистор на основе нанотехнологий.

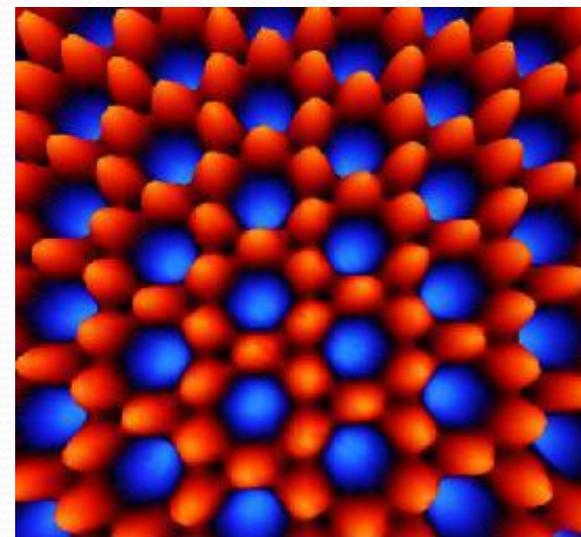
1999 год. Американские физики Джеймс Тур и Марк Рид определили, что отдельная молекула способна вести себя также, как молекулярные цепочки.

Интенсифицировалось изучение процессов самосборки молекул на металлической поверхности.

**Самосборкой называется самопроизвольное образование связей между молекулами и металлической подложкой с образованием упорядоченных структур молекул на ее поверхности.**

Процесс получения нового материала проходит при температуре 500 К; после нагревания органическое вещество образует на поверхности двумерную «сеть» с гексагональными ячейками нанометровых размеров. Взаимодействие двумерного электронного газа меди с этой сетью приводит к захвату электронов в ячейки с образованием т.н. квантовых точек.

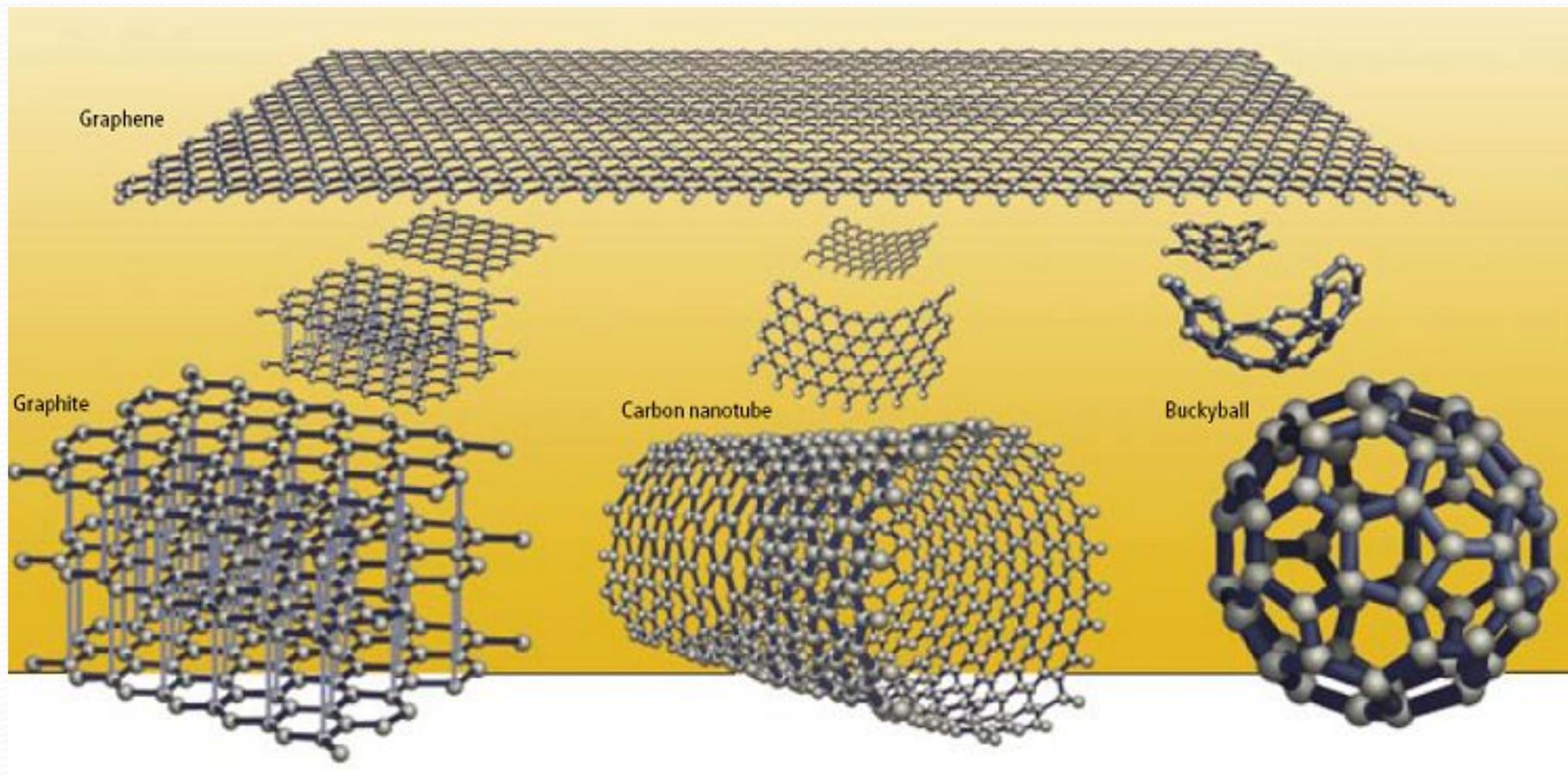
При этом наблюдается формирование электронной зонной структуры. Варьируя параметры (высоту и диаметр ячеек) создаваемой сети, можно изменять характеристики материала. Можно заполнять ячейки разными молекулами, что должно позволить управлять теми свойствами материала, которые зависят от электронной структуры (проводимостью, отражательной способностью).



# 2000-е

- 2004 –открытие графена, Нобелевская премия - 2010





Появление необычных, уникальных свойств наноструктурированных материалов обусловлено следующим:

1. В нанобъектах увеличивается число атомов, находящихся на поверхности, к числу атомов в объеме, вследствие чего растет влияние сил поверхностного взаимодействия и границ раздела на свойства вещества, появляются размерные эффекты.

## Соотношение между числом атомов на поверхности и в объеме для наночастиц Au

<b>n</b>	<b>d, нм</b>	<b>N</b>	<b>N<sub>s</sub></b>	<b>N<sub>s</sub>/N, %</b>
1	0,29	1	1	100
2	0,86	13	12	92,3
3	1,44	55	42	76,4
4	2,01	147	92	62,6
5	2,59	309	162	52,4
10	5,47	2,87*10 <sup>3</sup>	812	28,3
18	10,08	1,79*10 <sup>4</sup>	2,89*10 <sup>3</sup>	16,1
25	14,11	4,09*10 <sup>4</sup>	5,76*10 <sup>3</sup>	11,7
50	28,51	4,04*10 <sup>5</sup>	2,40*10 <sup>4</sup>	5,9
100	57,31	3,28*10 <sup>6</sup>	9,80*10 <sup>4</sup>	3,0
150	86,11	1,11*10 <sup>7</sup>	2,22*10 <sup>5</sup>	2,0
180	103,39	1,93*10 <sup>7</sup>	3,20*10 <sup>5</sup>	1,7
200	114,94	2,65*10 <sup>7</sup>	3,96*10 <sup>5</sup>	1,5

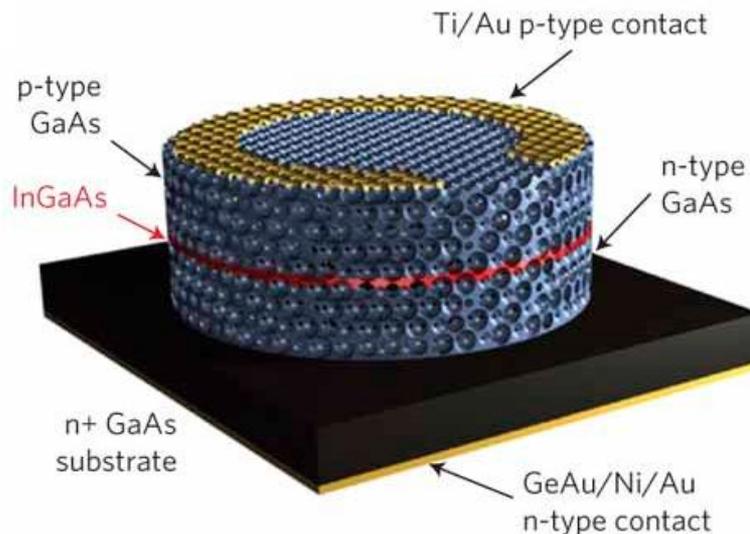
- 2. При переходе вещества в наносостояние появляются размерные эффекты, которые возникают когда размер объекта становится сопоставим с каким-то параметром вещества, оказывающим значительное влияние на его свойства (длина свободного пробега заряженных частиц вещества, диффузная длина, диаметр траекторий скольжения дислокаций в кристаллических структурах).
- Например, электросопротивление вещества возникает в результате рассеяния электронов проводимости на колеблющихся атомах или примесях. Оно характеризуется длиной свободного пробега, то есть средним расстоянием, пролетаемым электроном между двумя отклонениями от прямолинейной траектории.

- 3. При переходе вещества в наносостояние появляются квантоворазмерные эффекты (квантово-механические), которые возникают когда размер объекта становится сопоставим с таким параметром вещества как длина волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{m * v} = \frac{h}{\sqrt{2m * E}}$$

- где  $h=6.625*10^{-34}$  Дж\*с – постоянная Планка;
- $m$ ,  $v$ ,  $E$  – эффективная масса, скорость и кинетическая энергия электрона, соответственно.

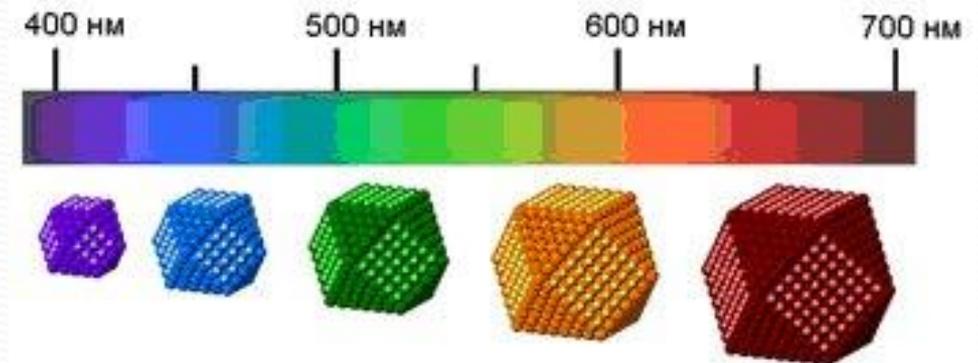
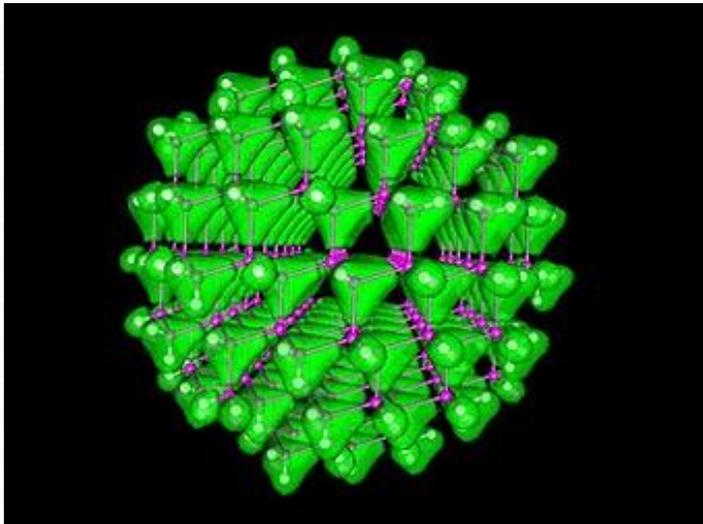
- Путем введения эффективной массы  $m$  учитывается влияние атомов кристаллической структуры на движение электрона. В металлах эффективная масса электрона мало отличается от его массы покоя ( $m \approx m_0 = 9,1 * 10^{-31}$  кг), но в полупроводниках этот параметр может изменяться в достаточно широких пределах (например, для Si  $m = 0.92 m_0$ , а для GaAs -  $m = 0.07 m_0$ ).

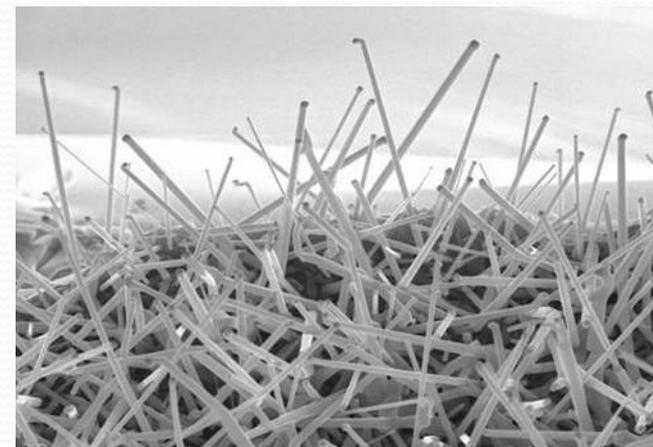
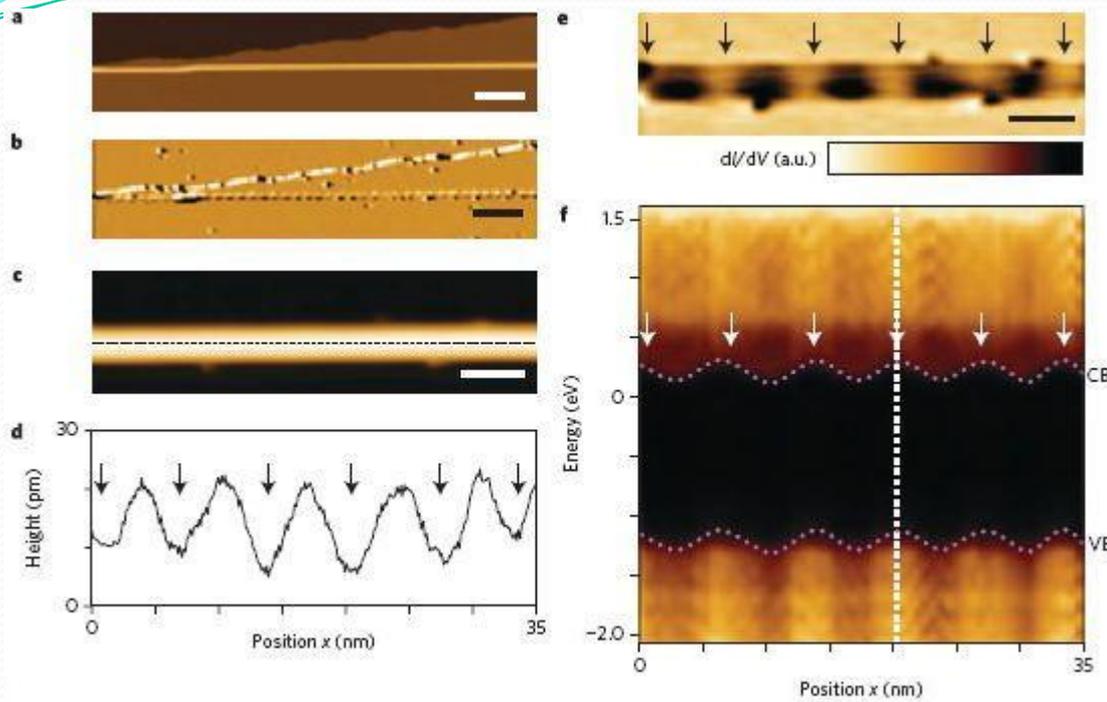


- Помимо эффективной массы, электроны, движущиеся в металлах и полупроводниках, существенно отличаются по энергии. Для металлов электронный газ является вырожденным при температурах ниже температуры плавления, и в переносе заряда участвуют только электроны с энергиями, близкими к уровню Ферми ( $E \approx 5$  эВ). Для полупроводников при комнатной температуре  $E \approx 0,026$  эВ.
- В результате для металлов получим  $\lambda \approx 0,055$  нм, т.е. значение близкое к постоянной кристаллической решетки. Поэтому в случае металлов квантоворазмерные эффекты могут проявляться лишь для чрезвычайно малых объектов. Для полупроводников же  $\lambda$  может достигать десятков нанометров, например, для Si она равна 8 нм, а для GaAs – 30 нм. Вследствие этого наноустройства, действие которых основано на квантовых эффектах, создаются обычно на полупроводниковых структурах.

- Для анализа квантоворазмерных эффектов используют параметр называемый наноразмерностью.
- Размерность наноструктур определяется числом измерений, в которых размеры рассматриваемого объекта лежат вне нанодиапазона и в которых свойства, связанные с размерными эффектами.
- **Классификация нанообъектов по размерности:**
- **3D-объекты** – объекты микро- и макродиапазонов (объемные материалы);
- **2D-объекты** – нанопленки;
- **1D-объекты** – нановолокна, нанотрубки;
- **0D-объекты** – наночастицы, нанокристаллы, квантовые точки.

Квантовые точки имеют нанометровые размеры по всем трем измерениям, лежат в основе лазеров на квантовых точках, использующихся сейчас для чтения компакт-дисков (CD).

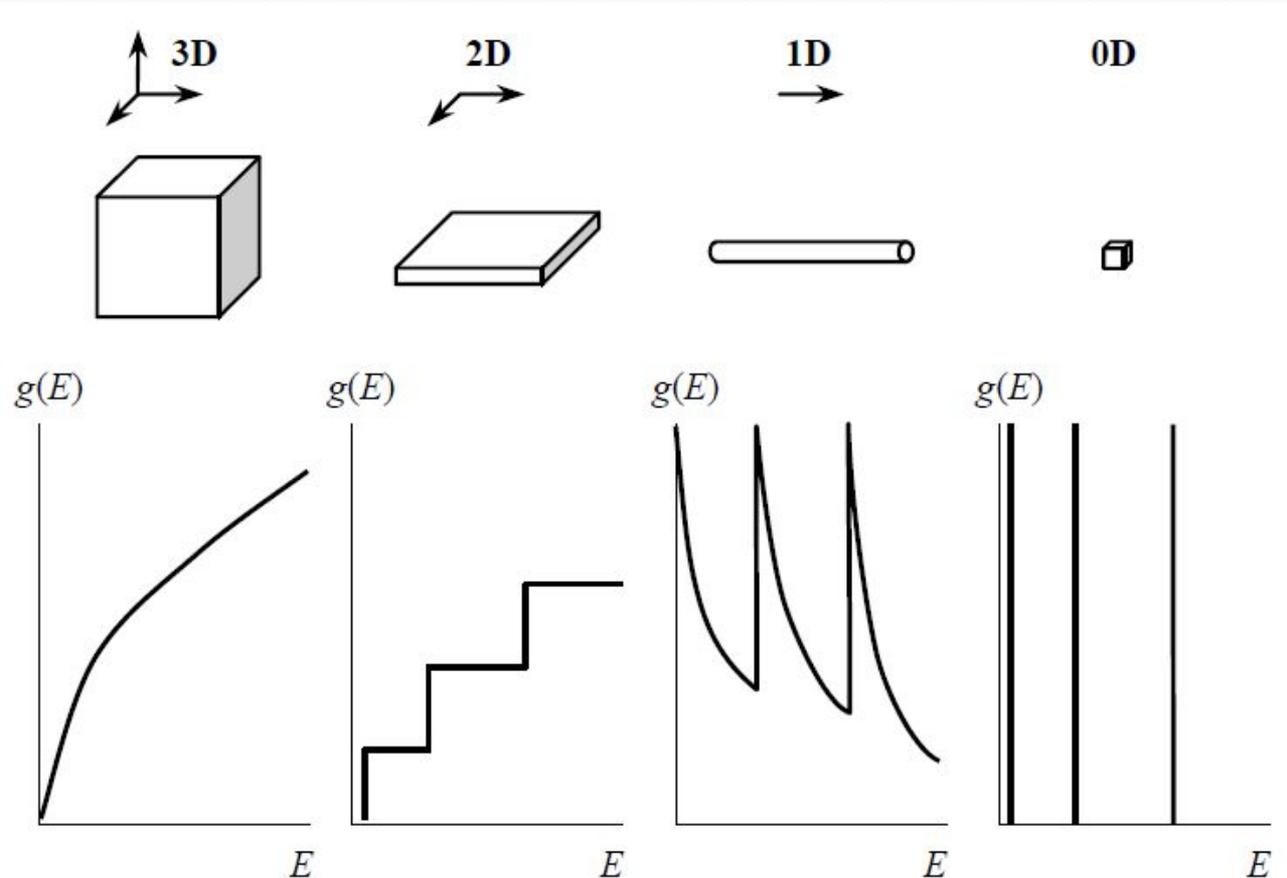




## КВАНТОВЫЙ КОЛОДЕЦ

## НАНОПРОВОЛОКА

О влиянии квантоворазмерных эффектов на свойства нанобъектов судят по распределению плотности электронных состояний  $g(E)$ , т.е. по зависимости числа квантовых состояний, приходящихся на единичный энергетический интервал от энергии электронов для объектов различной размерности.

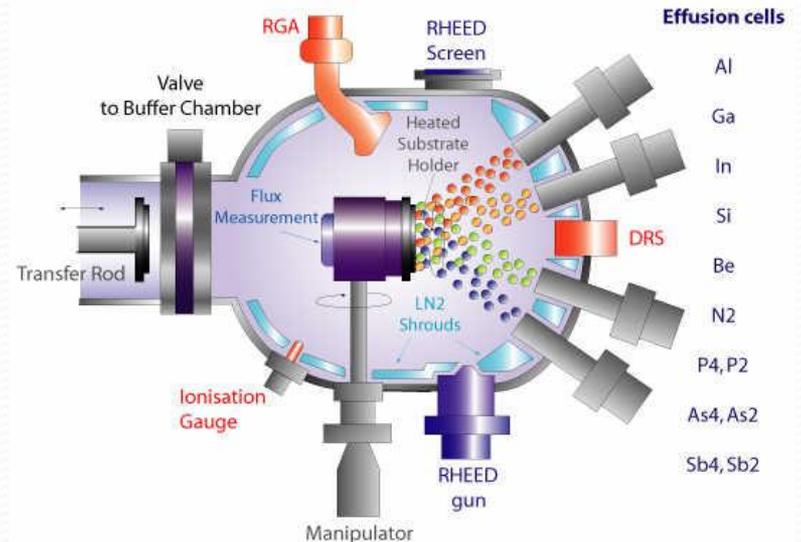
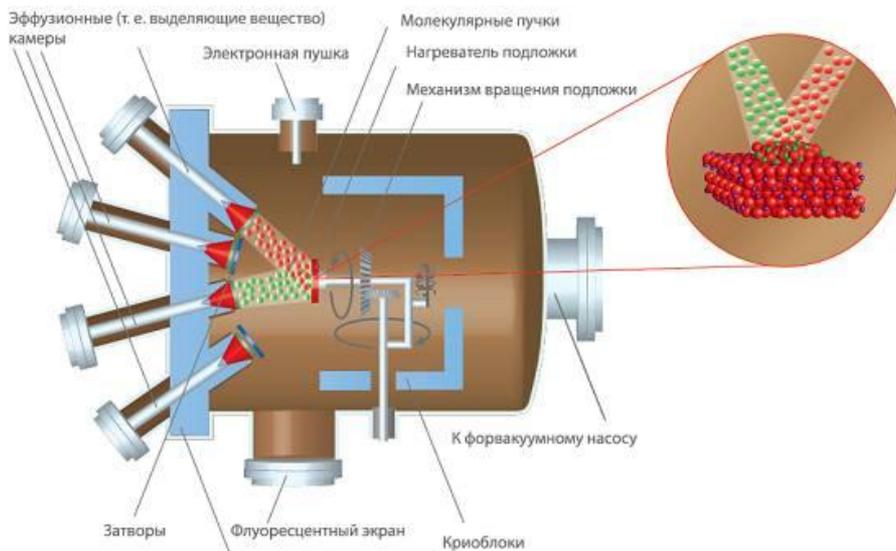


На рисунке приведены зависимости  $g(E)$  для объектов различной размерности. В 3D-объекте электроны могут свободно перемещаться во всех трех измерениях. Если рассматривать пленку, толщина которой соизмерима с длиной волны де Бройля  $\lambda$  (2D-объект), то в этом случае электроны смогут свободно перемещаться только в плоскости пленки, а в третьем измерении их движение будет ограничено потенциальным барьером, высота которого определяется разностью между работой выхода и энергией теплового движения электронов. Для полупроводников работа выхода лежит в диапазоне 1–6 эВ. Эта величина велика по сравнению с указывавшейся выше энергией теплового движения электронов ( $\sim 0,026$  эВ). Таким образом, в направлении, перпендикулярном плоскости пленки, электроны окажутся в глубокой потенциальной яме, и энергия их движения в этом измерении будет квантоваться в сочетании с непрерывными энергетическими спектрами электронов в направлениях, лежащих в плоскости пленки, что дает ступенчатую зависимость  $g(E)$ . Исходя из этого, 2D-объект принято называть *квантовой ямой (quantum well)*.

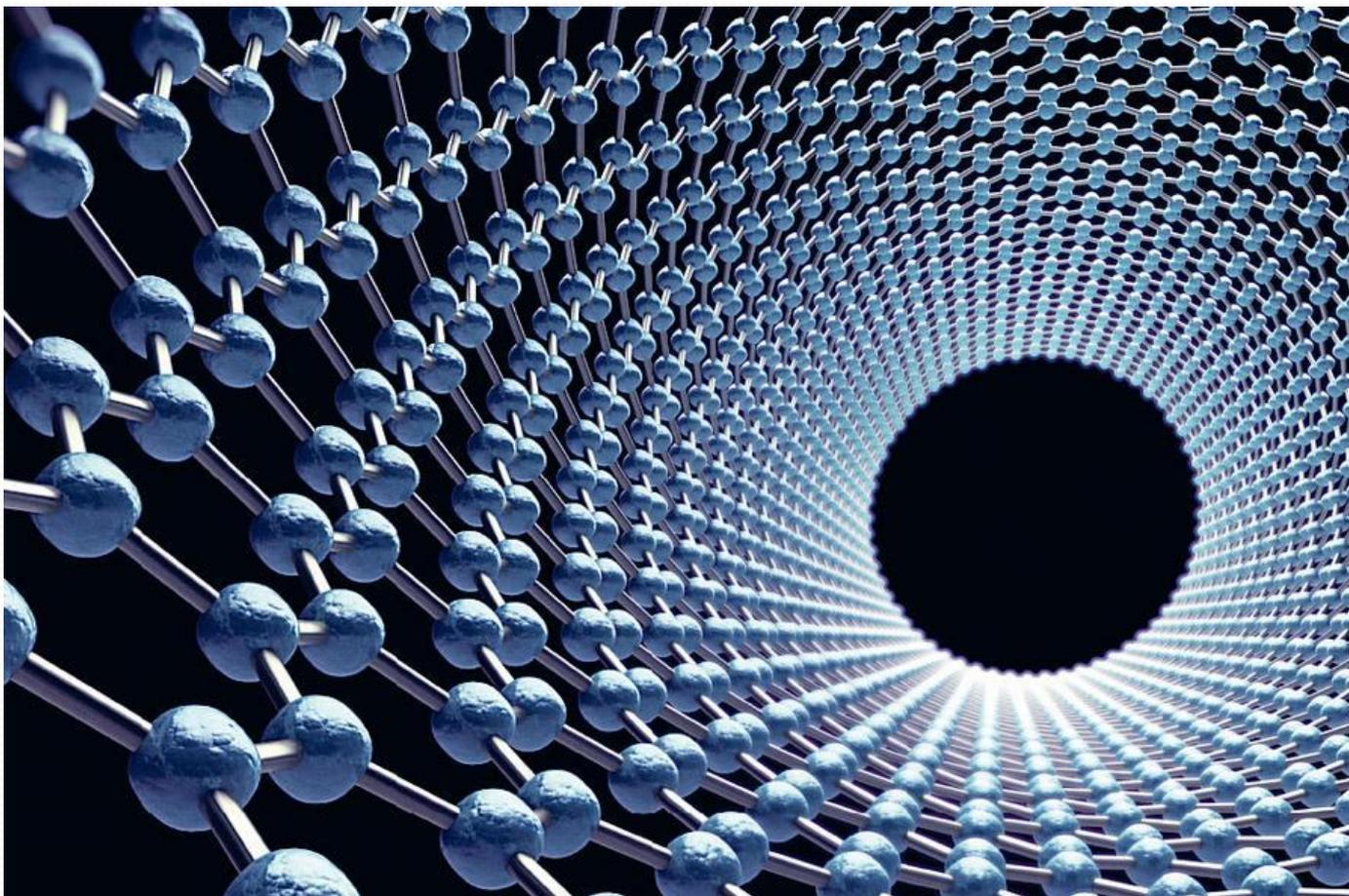
Если наложить квантовое ограничение на движение электронов еще в одном измерении, то получим 1D-объект, который принято называть *квантовой проволокой* (*quantum wire*). В этом случае зависимость  $g(E)$  представляется совокупностью достаточно узких пиков.

Если и в третьем измерении размер объекта будет близок к длине волны де Бройля, то он превратится в *квантовую точку* (*quantum dot*) с наноразмерностью 0D, в которой, подобно отдельным атомам, электроны могут иметь только дискретный набор энергетических состояний. Благодаря этому на основе квантовых точек могут с успехом создаваться лазеры и различные элементы наноэлектроники. Типичные размеры полупроводниковых квантовых точек составляют 5–15 нм, а количество содержащихся в них атомов измеряется единицами–десятками тысяч, но разработаны технологии получения и более крупных квантовых точек.

Следует отметить, что уже сейчас полупроводниковые квантовые точки наиболее эффективно создаются по технологии «снизу–вверх» в виде самоорганизующихся структур, которые возникают при осаждении атомов или молекул полупроводникового материала на поверхность другого материала с более широкой запрещенной зоной (рис.). Контролируемое осаждение частиц на подложку осуществляется с помощью одного из методов, объединяемых названием *молекулярно-лучевая эпитаксия*.

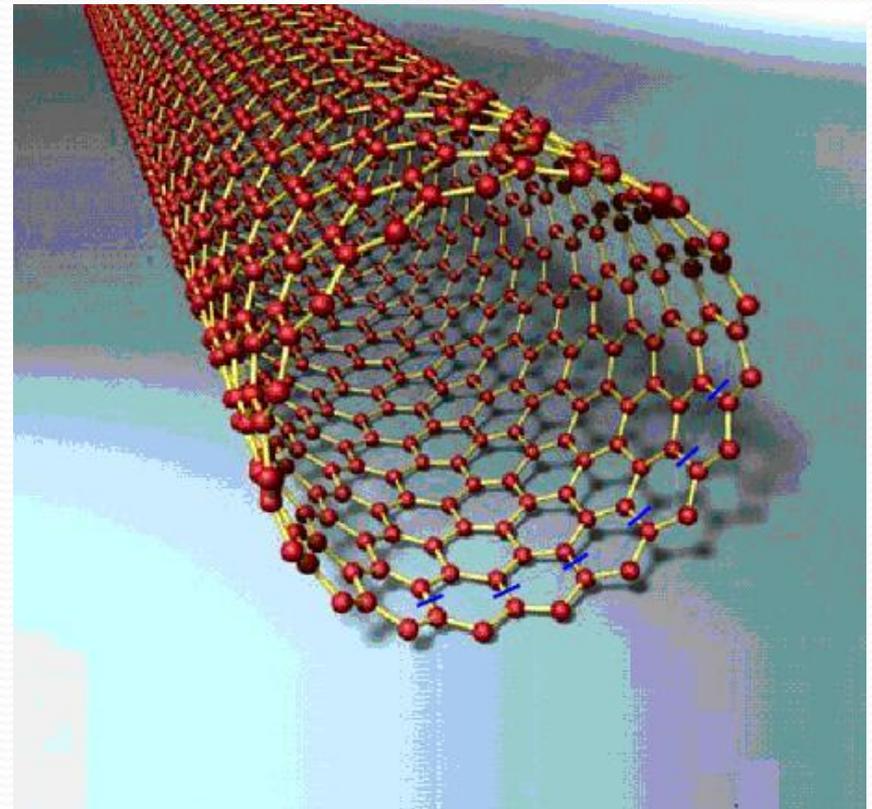


# 10 материалов, которые поменяют мир



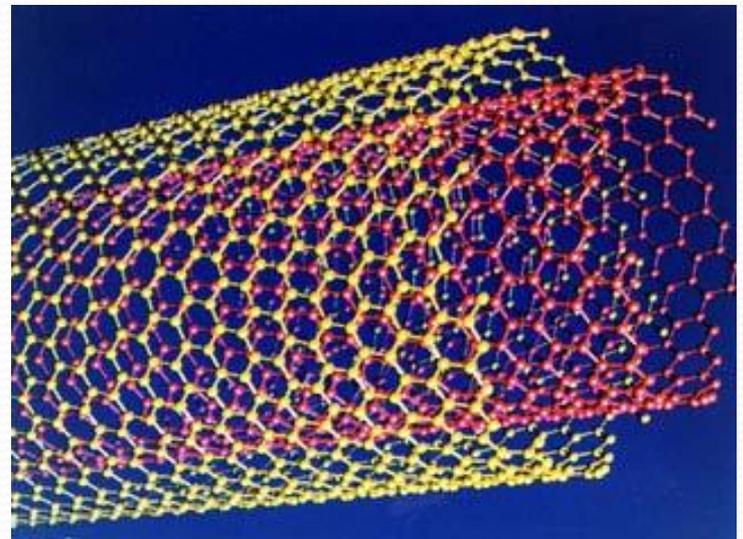
# 1. Углеродные нанотрубки: разорвать невозможно

- Трубка, собранная из атомов углерода. Длина трубки теоретически ничем не ограничена, хотя на практике вырастить их длиннее 20 сантиметров пока никому не удалось. Но и это очень много по сравнению с масштабом атома ( $10^{-10}$  м).



# Применение

- Нанотрубки — очень прочные. Вся трубка, по сути, является одной молекулой, и разорвать ее крайне сложно. Расчеты показывают, что нить из многослойных нанотрубок толщиной в миллиметр могла бы удерживать груз до 15 тонн. Обещают, что когда-нибудь они позволят построить лифт в космос.



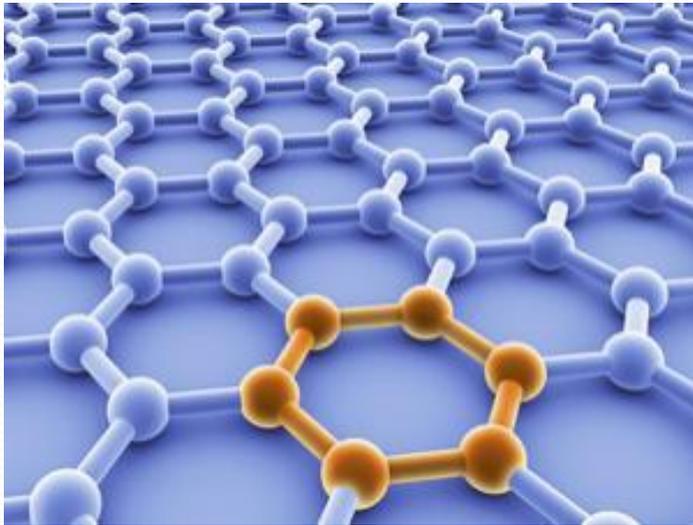
- Теплопроводность нанотрубок вдоль оси почти в десять раз выше, чем у меди. Но при этом в поперечном направлении они задерживают тепло так же, как кирпич или бетон. Еще из этих трубок можно делать аккумуляторы, фильтры для воды, иглы для внутриклеточных инъекций, емкости для хранения водорода и так далее. Если бы будущее имело герб, его стоило бы украсить венками из нанотрубок.

# В настоящее время

- Пока нанотрубки проще найти в лабораториях, чем в коммерческих продуктах. Однако уже появились композитные материалы с их использованием, и, по заявлениям производителей, они прочнее обычных на несколько десятков процентов. Из таких материалов производят детали для спортивных велосипедов и корпуса яхт.

# 2. Графен: нобелевский углерод

- Нобелевскую премию дали русским ученым Гейму и Новоселову.



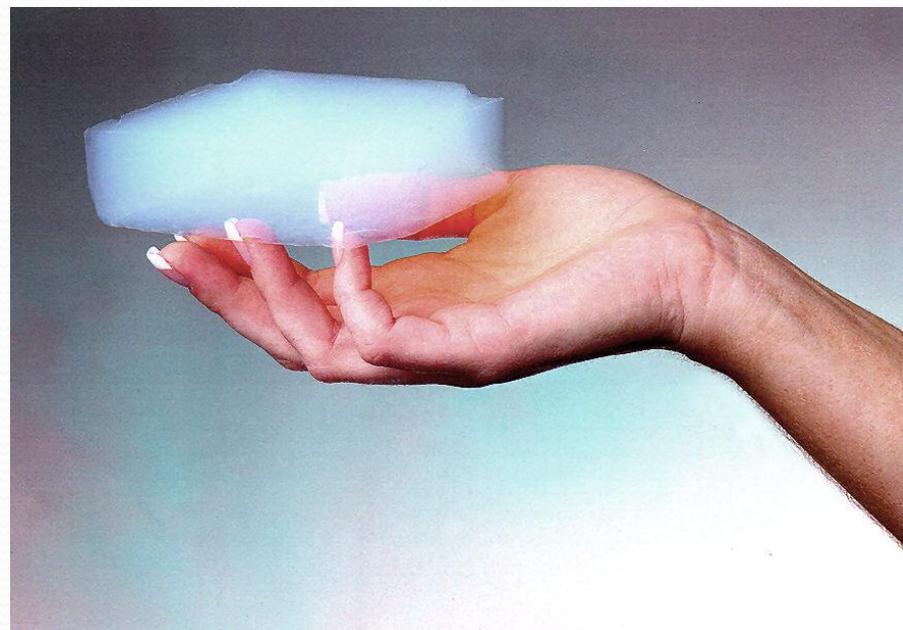
- **Графен** — это плоский лист из атомов углерода, первый из открытых двумерных кристаллов, возможность существования которых долгое время вызывала сомнения. Такие кристаллы не могут вырасти из расплава: их скрутит и разорвет тепловыми колебаниями. Но зато плоский лист графена вполне реально оторвать от графита. Причем обыкновенным скотчем, как это и сделали нобелевские лауреаты.

# Применение

- Великолепные электрические свойства делают его альтернативой кремниевым полупроводникам.
- Он исключительно прочен на разрыв, так что конструкторам космического лифта будет из чего выбирать. Кроме того, графен обладает прекрасной теплопроводностью и практически прозрачен. Все это открывает путь к созданию гаджетов будущего — например, контактных линз, на которые можно передавать изображение.
- Есть и совсем неожиданные разработки. В авторитетнейшем журнале Science был описан такой эксперимент: по одну сторону от графеновой мембраны помещали водку, а далее мембрана пропускала через себя только воду, оставляя с другой стороны крепчайший с каждым часом спирт.
- На рынке реальных изделий на основе графена пока нет.

# 03. Аэрогель: облепченная материя

- **Аэрогели** (от лат. aer — воздух и gelatus — замороженный) — класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной.
- Молекулярная губка из диоксида кремния, углерода или иного вещества, очень-очень пористая — микроскопические пустоты могут составлять до 99% ее объема. Плотность аэрогеля — всего несколько килограммов на кубометр, то есть он лишь в 1,5–2 раза тяжелее воздуха и в 300–500 раз легче воды.



- Несмотря на свою воздушность, аэрогель весьма прочен: небольшой, со спичечный коробок, кусочек выдерживает на себе кирпич.
- Распространены аэрогели на основе аморфного диоксида кремния, глинозёмов, а также оксидов хрома и олова.

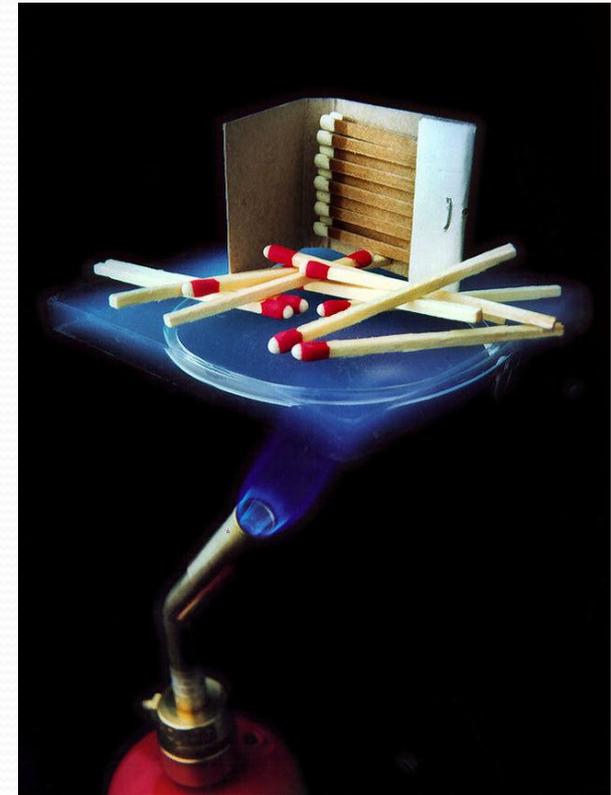


# Структура

- Аэрогели относятся к классу мезопористых материалов, в которых полости занимают не менее 50 % объёма. Как правило, этот процент достигает 90—99, а плотность составляет от 1 до 150 кг/м<sup>3</sup>. По структуре аэрогели представляют собой древовидную сеть из объединённых в кластеры наночастиц размером 2—5 нм и пор размерами до 100 нм.

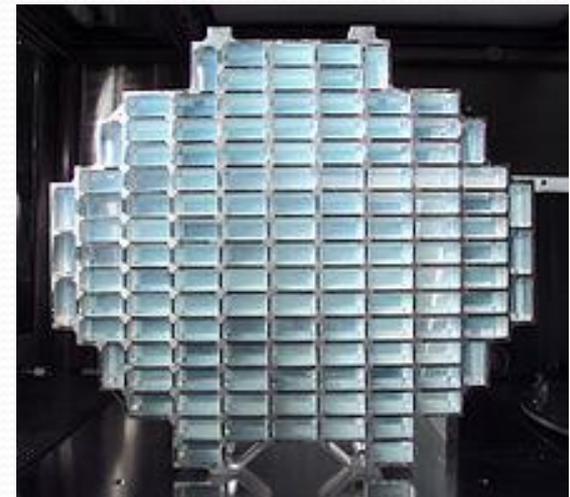
# Применение

- Это едва ли не лучший материал для теплоизоляции в мире: легкий, достаточно прочный, не поддающийся коррозии и гниению, не горящий в огне и, само собой, не тонущий в воде. Аэрогель может радикально сократить потери тепла зданиями или, напротив, снизить расходы на кондиционирование воздуха и работу морозильных установок. На основе углеродного аэрогеля можно создавать суперконденсаторы, сочетающие высокую емкость с возможностью выдавать сильный ток при разрядке.



# В настоящее время

- Аэрогель стоит безумно дорого и потому пока применяется в основном для космических нужд. Речь идет не только о теплоизоляции марсоходов или скафандров — этот материал использовался как ловушка для рассеянных в космическом пространстве пылинок: панели из аэрогеля были установлены на американском аппарате Stardust.

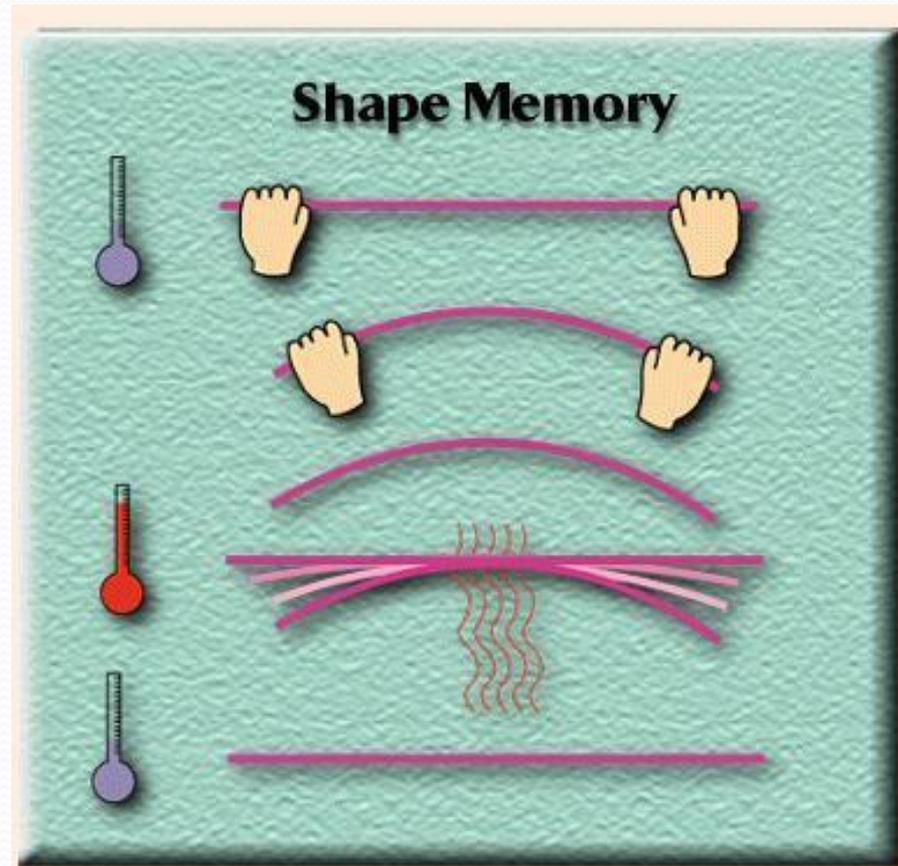


- Впрочем, если плитки из аэрогеля не должны быть аккуратными, его стоимость резко падает. Сегодня уже делают куртки с его использованием, причем по вполне доступным ценам (порядка 300 долларов).
- В зависимости от размера и формы образца, цена составляет от \$25 (фрагменты) до \$125 (кусочек, помещающийся на ладони).



# 04. Сплавы с эффектом памяти: вернуть былую форму

- Некоторые металлы демонстрируют странное свойство: их можно изогнуть, и они сохраняют эту форму, как и полагается пластичному веществу, но только если их не нагревать. Стоит это сделать, как деталь сама восстанавливает первоначальную конфигурацию. Эффект памяти был обнаружен еще до Второй мировой войны, с тех пор его научились применять во многих областях.



# Применение



- Практически любые предметы, которые должны менять свою форму без вмешательства человека: от протезов до автомобилей.
- **В настоящее время**
- Эти материалы используются во множестве разных изделий, включая самые оригинальные: еще в 1990-х годах был построен первый робот, ноги которого передвигаются именно благодаря эффекту памяти. Сегодня речь идет о том, чтобы сделать эту технологию еще лучше и дешевле.

# 05. Высокотемпературные сверхпроводники: не терять электричество

- При температурах близких к абсолютному нулю некоторые металлы становятся сверхпроводниками, то есть электричество проходит через них безо всякого сопротивления. В последние десятилетия ученым удалось создать материалы, которые становятся сверхпроводниками при высоких температурах. «Высокие» — понятие относительное и означает в данном случае «выше температуры жидкого азота  $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$ ». Но и это уже прогресс.



- Разработки с применением эффекта сверхпроводимости, особо актуального для наших протяженных территорий. Мы продолжаем терять гигантские объемы энергии при передаче ее по территории страны, гигантские объемы.
- Вместо нагромождения проводов можно использовать тонюсенькую сверхпроводящую проволоку, погруженную в охлаждающее вещество. Для этого хватит небольшой трубы и не нужна будет полоса отчуждения в сотню метров шириной.
- Также сверхпроводники позволяют строить мощные электромагниты, которые нужны в томографах и для манипуляций с плазмой в термоядерных реакторах. Если сверхпроводники окажутся еще и не слишком дорогими, их можно будет использовать в экспрессах на магнитной подвеске.
- **В настоящее время**
- Рекорд пока составляет  $-163$  °С, исследования продвигаются медленно, полноценной теории нет до сих пор. Более того, никто не знает и того, возможны ли в принципе сверхпроводники, работающие при комнатной температуре.

# 6. Стекло с добавками: лазер для всех

- Добавление редкоземельных элементов (например, европия) позволяет превратить обычное стекло в активную среду лазера — материал, в котором свет не затухает, а, напротив, усиливается.

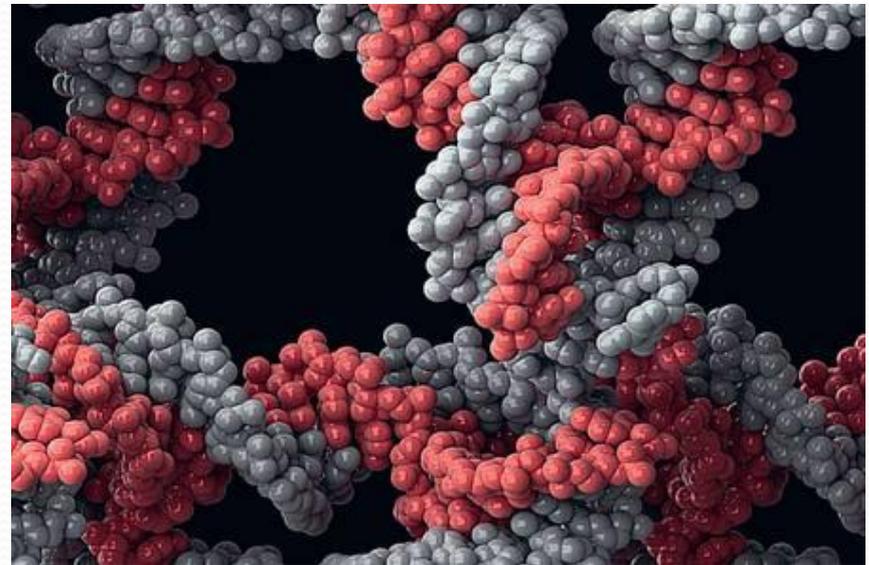


# Применение

- Мощные и доступные лазеры, которые можно будет использовать где угодно: хоть при передаче информации, хоть при сварке металла, хоть для термоядерной реакции. Сейчас ученые подбирают все новые добавки, усиливающие нужный эффект.
- **В настоящее время**
- Стекла с добавками используют при передаче сигналов по оптоволокну. Каждый бит текста с новостного сайта, каждое перемещение героя в онлайн-игре и каждая нота в музыкальном клипе на ютубе — все это преодолело сотни и тысячи километров стеклянных волокон благодаря атомам редкоземельных элементов.
- Кстати, в 2010 году одним из лауреатов Государственной премии РФ стал Валентин Гапонцев — физик и самый богатый завкафедрой в России. В начале 1990-х годов Гапонцев разработал и довел до производства лазеры, главный элемент которых представляет оптоволокну с особыми добавками.

# 7. ДНК-листы: коробочка с белковым замком

- ДНК известна прежде всего как носитель наследственной информации. Но нити ДНК можно слеплять друг с другом в плоский лист. И тогда получится **новый материал с уникальными свойствами.**



# Применение

- Например, из ДНК можно собрать микроскопическую коробочку для доставки лекарств в нужный орган или для охоты за вирусами и раковыми клетками. У этой коробочки будет крышка с замком из молекулы белка, который отпирается, получив нужный химический сигнал.
- **В настоящее время**
- Уже сформировалось целое направление на стыке материаловедения, нанотехнологий и биологии — ДНК-оригами. Самый свежий пример — разработка Массачусетского технологического института, сотрудники которого собрали «коробку», в которую положили другую знаменитую молекулу, РНК. В такой упаковке она может быть перенесена кровотоком в нужное место без риска быть разрушенной по дороге.

# 8. Метаматериалы: скроить шапку-невидимку

- Есть материалы, для которых не очень важно, из чего они сделаны. Их свойства определяет не химический состав, а структура. **Метаматериалы** — это двух- или трехмерные решетки сложной формы. Они могут обладать отрицательным коэффициентом преломления, этот эффект предсказал еще в 60-х годах советский физик Виктор Веселый.

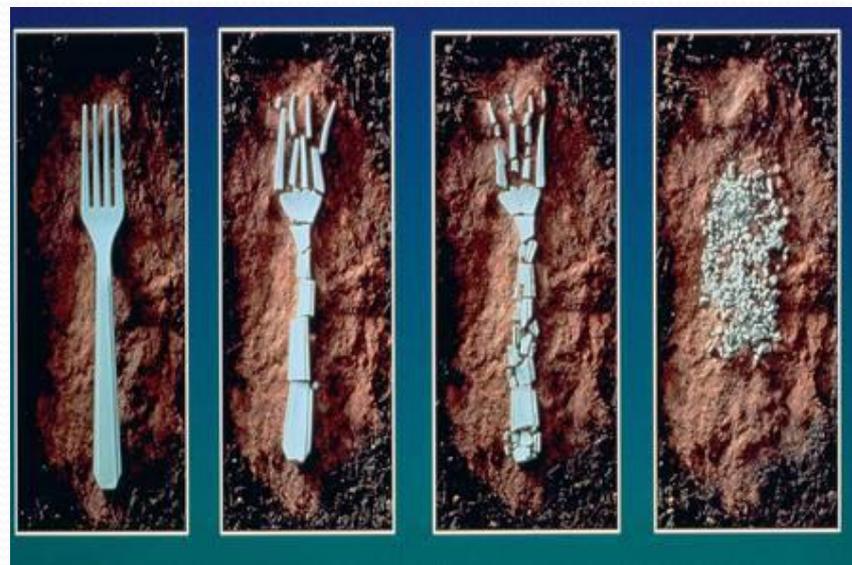


# Применение

- Именно из метаматериалов уже не первый год предлагают делать шапки-невидимки, скрывающие любой объект: световые волны, подчиняясь внутренней структуре метаматериала, будут огибать его со всех сторон. Британский физик сэр Джон Пендри обещал, что вот-вот появится материал, способный сделать невидимым целый танк.
- **В настоящее время**
- Прогнозы сбываются чуть медленнее, чем хотелось бы. Полноценная шапка-невидимка пока не сшита, достигнута лишь невидимость в микроволновом диапазоне излучения. Но борьба за невидимость дает свои результаты, иногда самые неожиданные. Например, по аналогии с системой отрицательного преломления света создается комплекс защиты от сейсмических волн. Только вместо отдельных атомов — вкопанные в землю резиновые блоки.

## 9. Саморазлагающиеся материалы: как сделать жизнь короткой

- Материалы, которые под действием солнечного света или микроорганизмов быстро разлагаются на безвредные компоненты.



# Применение

- Все, что не требует долговечности: пакеты, упаковочную пленку, рекламные плакаты, мешки для мусора, бутылки, то есть все, что годами лежит на наших газонах и плавает в водоемах.
- Есть все основания полагать, что лет через десять обычные пакеты в супермаркетах продавать перестанут, на кассе покупателю предложат только пакет, который через несколько недель расплывется на мелкие клочья.
- **В настоящее время**
- Биodeградируемый пластик уже вышел на рынок. Вопрос только в том, как добиться сочетания низкой стоимости, чистоты производства и удобства для потребителя.

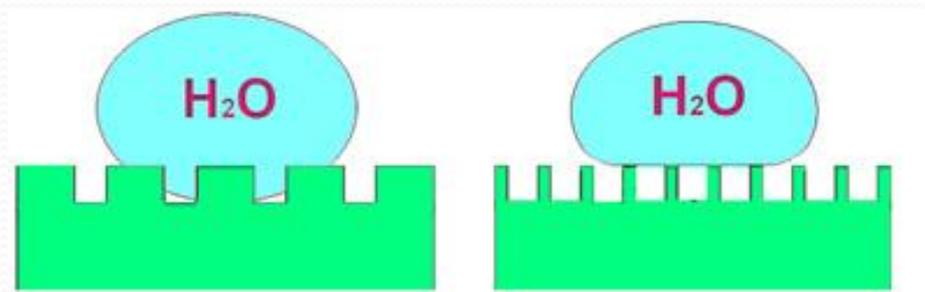
# 10. Гидрофобные поверхности: украсть идею у лотоса



- Лист лотоса способен отталкивать воду. Этот эффект проявляется в том, что при контакте с таким материалом капля воды принимает форму, близкую к шарообразной, и при небольшом наклоне материала по отношению к горизонту капля с поверхности скатывается, захватывая при движении все загрязнения поверхности...



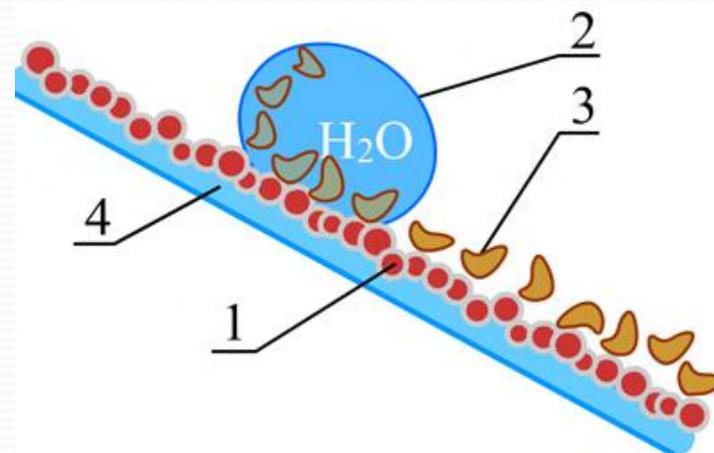
- Хотя эффект лотоса в природе наблюдался давно, систематическое исследование этого явления учеными началось не более десяти лет назад, а получать самые разные материалы, обладающие супергидрофобностью, стало возможным лишь в связи с получением наноматериалов и развитием нано- и микротехнологий».



# Применение

- Очки, бинокли, ветровые стекла, лабораторную посуду, корпуса мобильных телефонов или даже одежду — хорошо иметь ткань, которая и не мокнет, и не пачкается. Более того, на гидрофобных ступеньках не накапливается влага и, следовательно, не образуется наледь. Дворникам и врачам-травматологам зимой работы может поубавиться.
- Очень важное направление применения супергидрофобности в электроэнергетике — борьба с налипанием снега и льда на электрические провода.

- 1 – нанопокрытие
- 2 – капля воды
- 3 – загрязнение
- 4 – поверхность.



## В настоящее время

- В марте 2012 года компания General Electric объявила о том, что создала прототип покрытия, текстура которого на микроуровне повторяет фактуру лепестков лотоса. Такие материалы предназначены для авиации, где борьба с наледью более чем актуальна. О сроках выхода на рынок, впрочем, не сообщается: сначала надо решить ряд проблем, связанных с долговечностью материала.

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ**

