

Лекция 2. Методы и оборудование для исследования наноструктур и наноматериалов.

Часть 1. Зондовые методы микроскопии и спектроскопии.

- Для исследования качественного и количественного состава объектов на **молекулярном уровне** главным образом используется спектральный анализ.
- В основе спектрального анализа лежит способность молекул взаимодействовать с различными видами излучения: электромагнитных и акустических волн, распределения по массам и энергиям элементарных частиц и др.
- В эмиссионном и абсорбционном методах анализа состав определяется по спектрам **испускания или поглощения**, а масс-спектрометрический анализ осуществляется **по спектрам масс атомарных или молекулярных ионов**.
- Для изучения нанообъектов используются те же «классические» методы, что и в химии, биологии и физике. Однако чтобы **«увидеть»** своими глазами наночастицы потребовалось создать принципиально новые приборы и оборудование

Сканирующая зондовая

микроскопия

- Сканирующие зондовые микроскопы стали первыми устройствами, с помощью которых стало возможным наблюдать за нанообъектами и передвигать их.
- Существует несколько видов сканирующих зондовых микроскопов – это **атомно-силовой микроскоп** (АМС) и работающий по аналогичному принципу **сканирующий туннельный микроскоп** (СТМ). Существуют и другие разновидности сканирующих микроскопов: **электро-силовой** (ЭСМ), **магнитно-силовой** (МСМ), **ближнепольный оптический** (БОМ)

«Если бы, — говорит, — был лучше мелкоскоп, который в пять миллионов увеличивает, так вы изволили бы, — говорит, — увидеть, что на каждой подковинке мастерово имя выставлено: какой русский мастер ту подковину подковал»

Н.С.Лесков
Сказ «Левша»



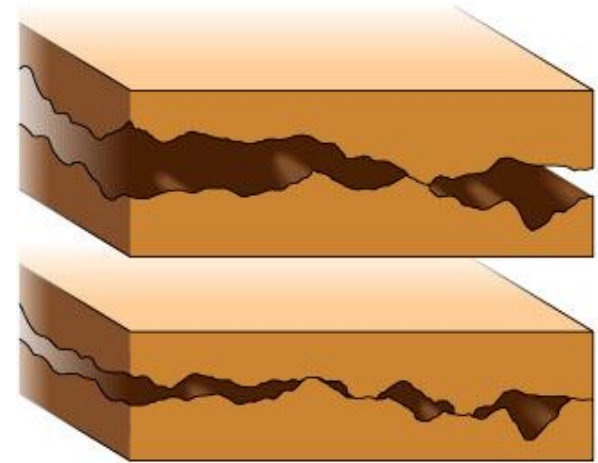
Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) один из самых мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела.

Сканирующие микроскопы

- Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) первый из семейства зондовых микроскопов - был изобретен в 1981 году Гердом Биннигом и Генрихом Рорером, которые предложили достаточно простой и весьма эффективный способ исследования поверхности с высочайшим разрешением вплоть до атомарного.
- За эти исследования этим швейцарским ученым в 1986 г. была присуждена Нобелевская премия.
- Создание атомно-силового микроскопа, способного чувствовать силы притяжения и отталкивания, возникающие между отдельными атомами, дало возможность, наконец, разглядеть и манипулировать нанообъектами.
- **Современные электронные и атомно-силовые микроскопы обеспечивают увеличение в 5 000 000 раз**

Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов.

При скольжении трущихся поверхностей микронеровности задевают друг за друга, и в точках соприкосновения противостоящие друг другу атомы **сцепляются**. При дальнейшем относительном движении тел эти сцепки рвутся, и **возникают колебания** атомов, подобные тем, какие происходят при отпуске растянутой пружины. Со временем эти колебания затухают, а их **энергия превращается в тепло**, растекаяющееся по обоим телам. В случае скольжения мягких тел возможно также разрушение микронеровностей и в этом случае механическая энергия расходуется на разрушение атомарных связей.



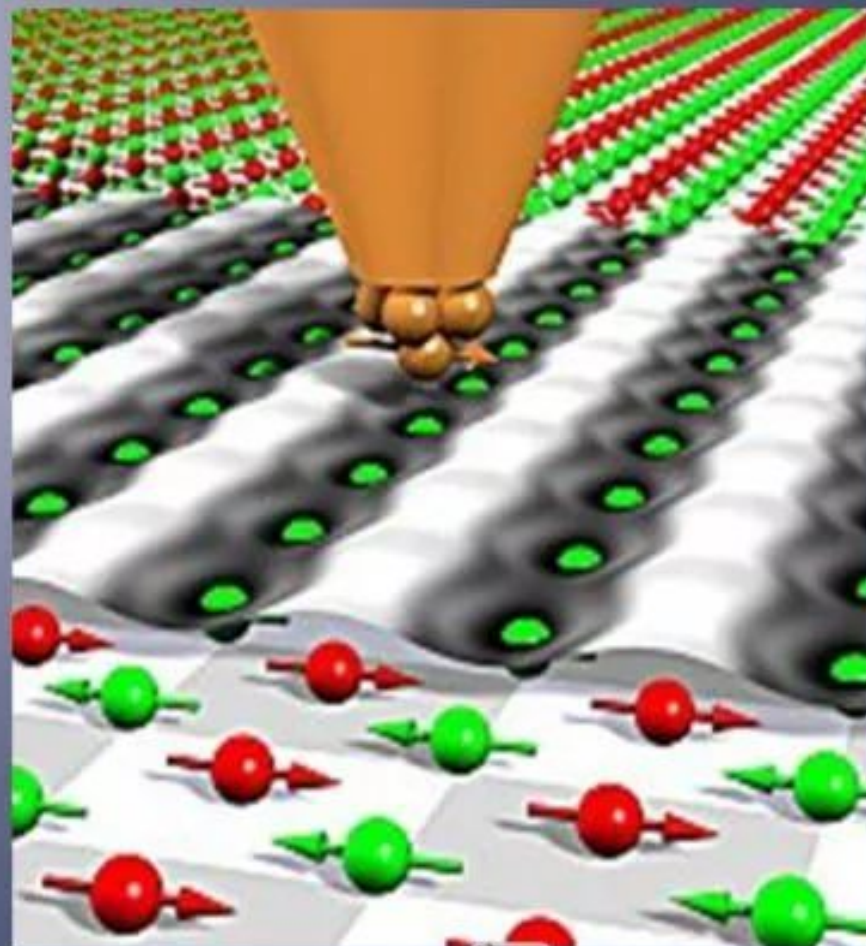
Схематическое изображение места контакта скользящих поверхностей при малой (верх) и большой (низ) сжимающей их силе.

Принцип работы зондовых микроскопов.

- В сканирующих зондовых микроскопах исследование микрорельефа поверхности и ее локальных свойств проводится с помощью специальным образом подготовленных зондов (игл).
- Рабочая часть таких зондов (острие иглы) имеет размеры порядка десяти нанометров.
- Характерное расстояние между зондом и поверхностью образцов в зондовых микроскопах по порядку величин составляет 0,1 – 10 нм.
- Данный параметр может быть использован для организации системы обратной связи, контролирующей расстояние между зондом и образцом.
- **Взаимодействие зонда с поверхностью однозначно зависит от расстояния зонд – образец.**

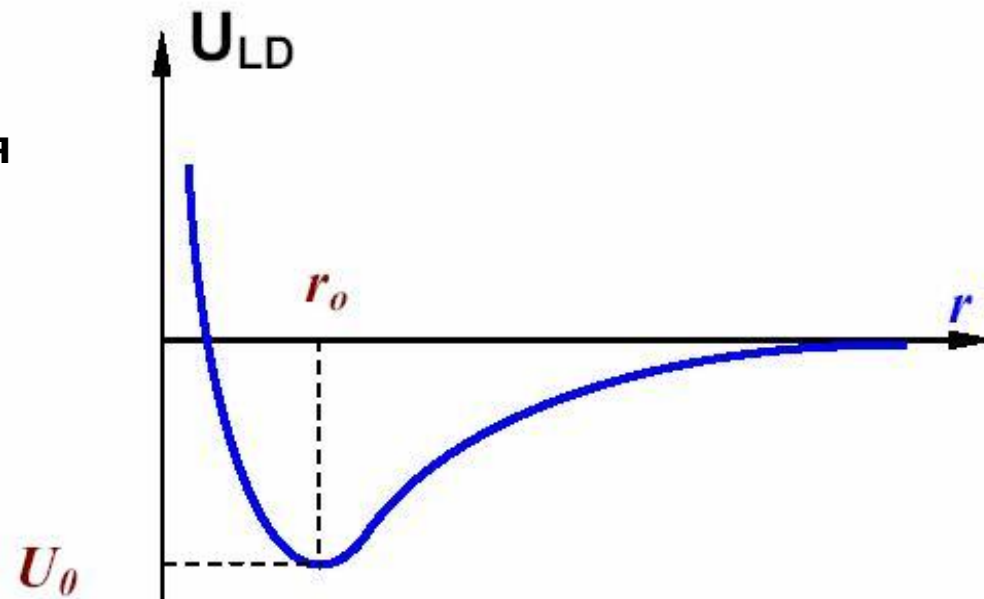
Сканирующие зондовые микроскопы

- Общей чертой всех сканирующих зондовых микроскопов является способ получения информации о свойствах исследуемой поверхности. Микроскопический зонд сближается с поверхностью до установления между зондом и образцом баланса взаимодействий определенной природы, после чего осуществляется сканирование.



Качественный вид взаимодействия «зонд — образец»

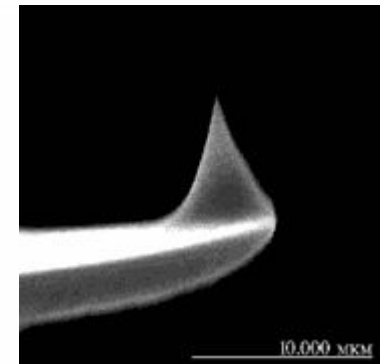
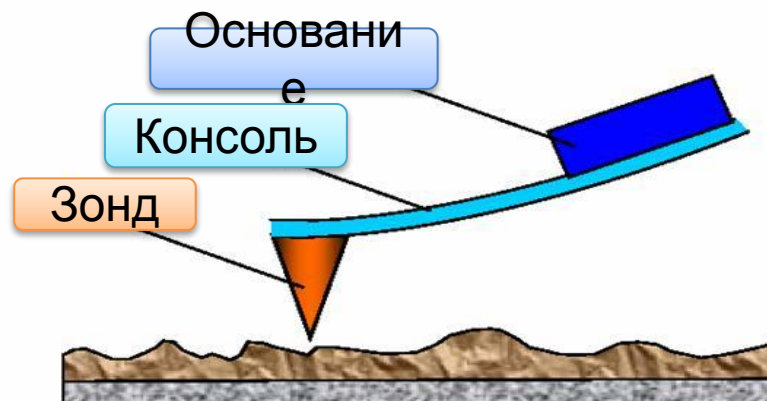
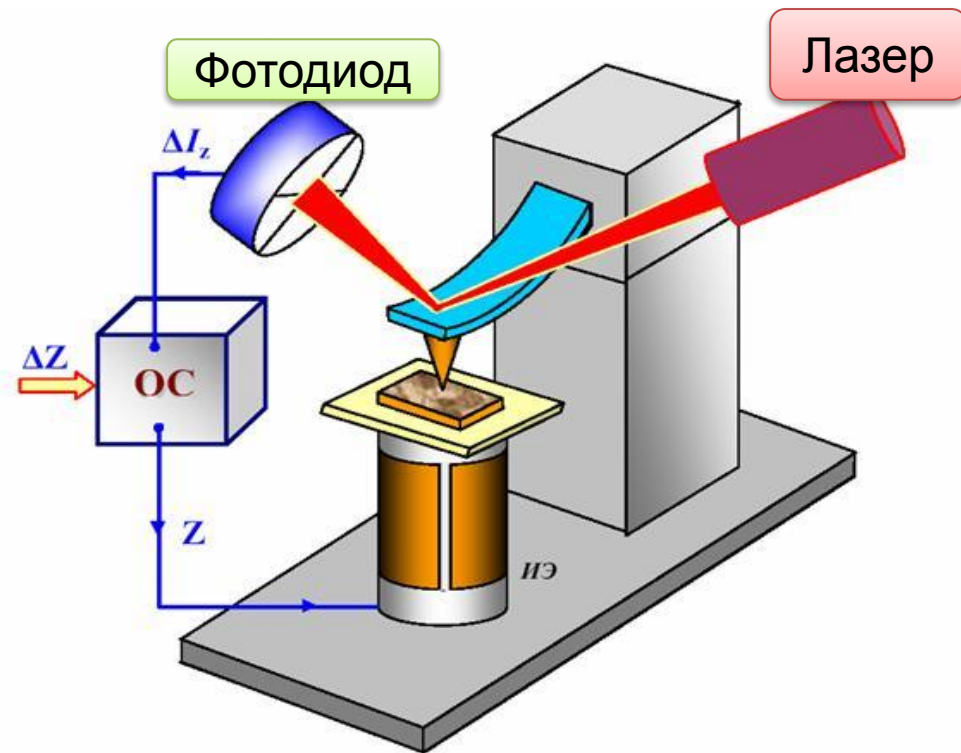
Потенциальная
энергия
взаимодействия
атомов



Сила, действующая на зонд со стороны поверхности имеет как нормальную к поверхности, так и латеральную (лежащую в плоскости поверхности образца) составляющую. Реальное взаимодействие зонда с образцом имеет весьма сложный характер, однако основные черты данного взаимодействия сохраняются: зонд испытывает притяжение со стороны образца на больших расстояниях и отталкивание — на малых.

Схема атомно-силового микр

На расстоянии около одного ангстрема между атомами образца и атомом зонда (кантилевера) возникают силы отталкивания, а на больших расстояниях - силы притяжения. Идея устройства очень проста - кантилевер, перемещаясь относительно поверхности и реагируя на силовое взаимодействие, регистрирует ее рельеф.



Принцип работы зондовых микроскопов.

- Получение изображений рельефа поверхности в атомно-силовых микроскопах обеспечивается путем регистрации малых изгибов упругой консоли зондового датчика.
- Для этой цели широко используют оптические методы.
- В качестве источника излучения обычно используются полупроводниковые лазеры, а в качестве позиционно-чувствительных фотоприемников применяются полупроводниковые фотодиоды.
- Оптическая система атомно-силового микроскопа юстируется таким образом, чтобы излучение полупроводникового лазера фокусировалось на консоли зондового датчика, а отраженный пучок попадал в центр фоточувствительной области фотоприемника

Типы зондовых микроскопов.

- Современные сканирующие микроскопы основаны на принципах
- **атомно-силового,**
- **магнитно-силового**
- **и электро-силового взаимодействия зонда с поверхностью.**
- Вид этого взаимодействия и определяет типы зондовых микроскопов.

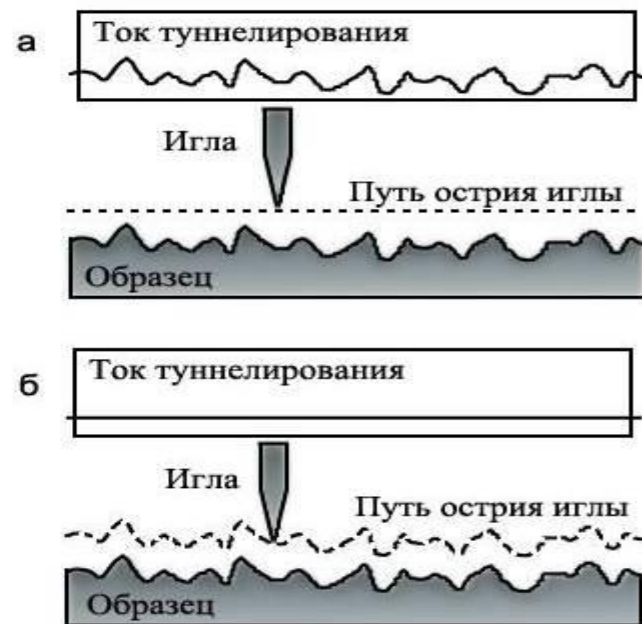
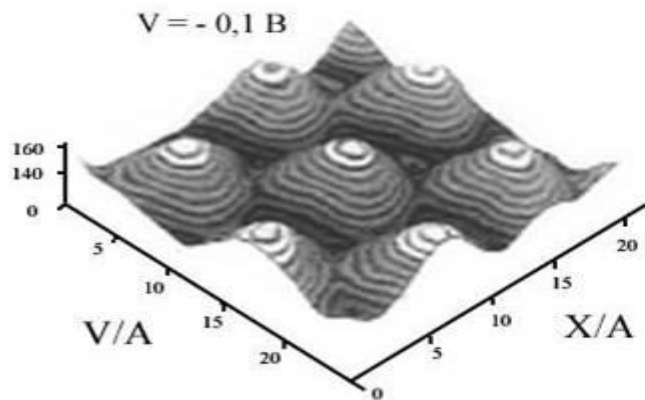
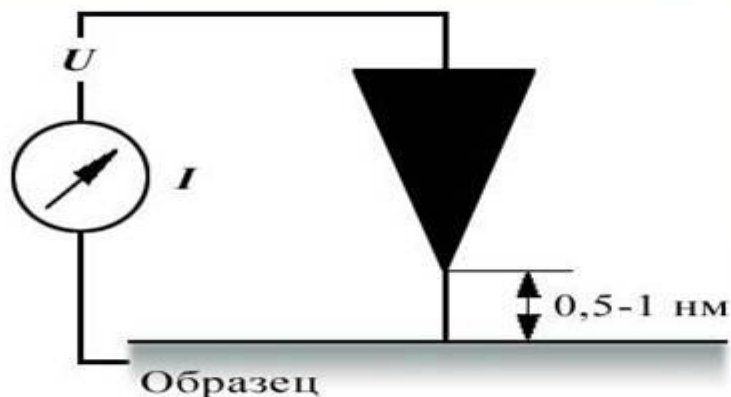
Принцип работы туннельного микроскопа.

- Работа туннельного микроскопа основана на использовании квантово-механического «туннельного эффекта».
- Суть этого эффекта состоит в том, что электрический ток между острой металлической иглой и поверхностью, расположенной на расстоянии около 1 нм, начинает зависеть от этого расстояния – чем меньше расстояние, тем больше ток.
- Измеряя этот ток и поддерживая его постоянным, можно сохранять постоянным и расстояние между иглой и поверхностью.
- Зонд микроскопа сканирует поверхность перемещаясь вдоль нее, прочёскивая последовательность близко расположенных параллельных линий.

Сканирующий туннельный микроскоп

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) был создан в 1982 г. сотрудниками исследовательского отдела фирмы ИВМ Г. Бинингом и

Х. Ререром.

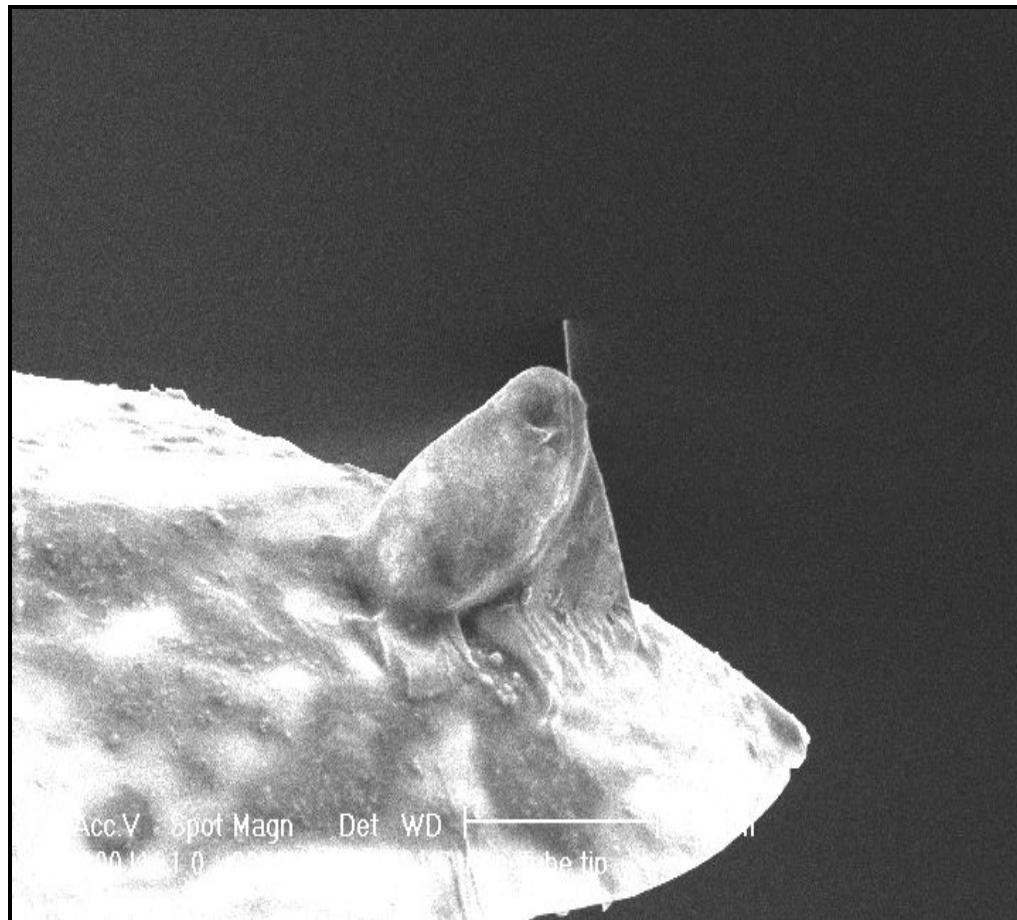


Главный недостаток сканирующего туннельного микроскопа состоит в том, что он позволяет изучать рельеф только проводящих поверхностей металлов или полупроводников.

Принцип работы атомно-силового микроскопа.

- Атомно-силовая микроскопия основана на силовом взаимодействии атомов. Этим она принципиально отличается от туннельного микроскопа, в основе которого лежит туннельный электронный эффект.
- Атомно-силовая микроскопия использует принцип измерения неровностей поверхности.
- Заостренный пирамидальный наконечник, присоединенный к кронштейну (кантилеверу), движется по поверхности изучаемого объекта, формируя трехмерное изображение на экране регистрирующего устройства.
- Кронштейн, на котором располагается наконечник, состоит из двух слоев – золотого зеркала и слоя силикона.
- Двухмерное изображение на плоскости регистрируется за счет отсчета расстояния, пройденного кантилевером (кронштейном), а третье измерение (глубина или высота) формируется за счет отражения лазерного луча и фиксации полученных значений фотодиодом.

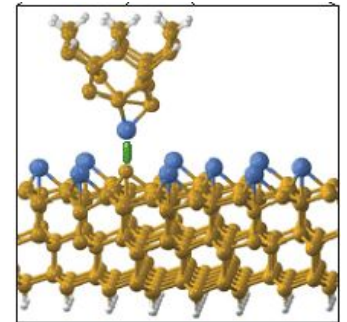
**Зонд
атомно –
силового
микроскопа
из
углеродных
нанотрубок**



Атомно-силовая микроскопия

- Атомно-силовая микроскопия имеет некоторые преимущества перед методом сканирующей электронной микроскопии.
- При сканирующей электронной микроскопии изображение объекта формируется за счет детектирования отраженных электронов, а это требует, чтобы поверхность изучаемого образца была бы электропроводной. Для создания такой электропроводной поверхности на нее напыляют тонкий слой металла. Такое напыление иногда приводит к маскировке некоторых структур клеточной оболочки и убивает сами клетки.
- При использовании атомно-силового микроскопа покрытие образца слоем металла не требуется, что дает возможность наблюдения живых клеток. При этом разрешающая способность атомно-силового микроскопа не уступает традиционной сканирующей электронной микроскопии.

Возможности атомно-силовой микроскопии



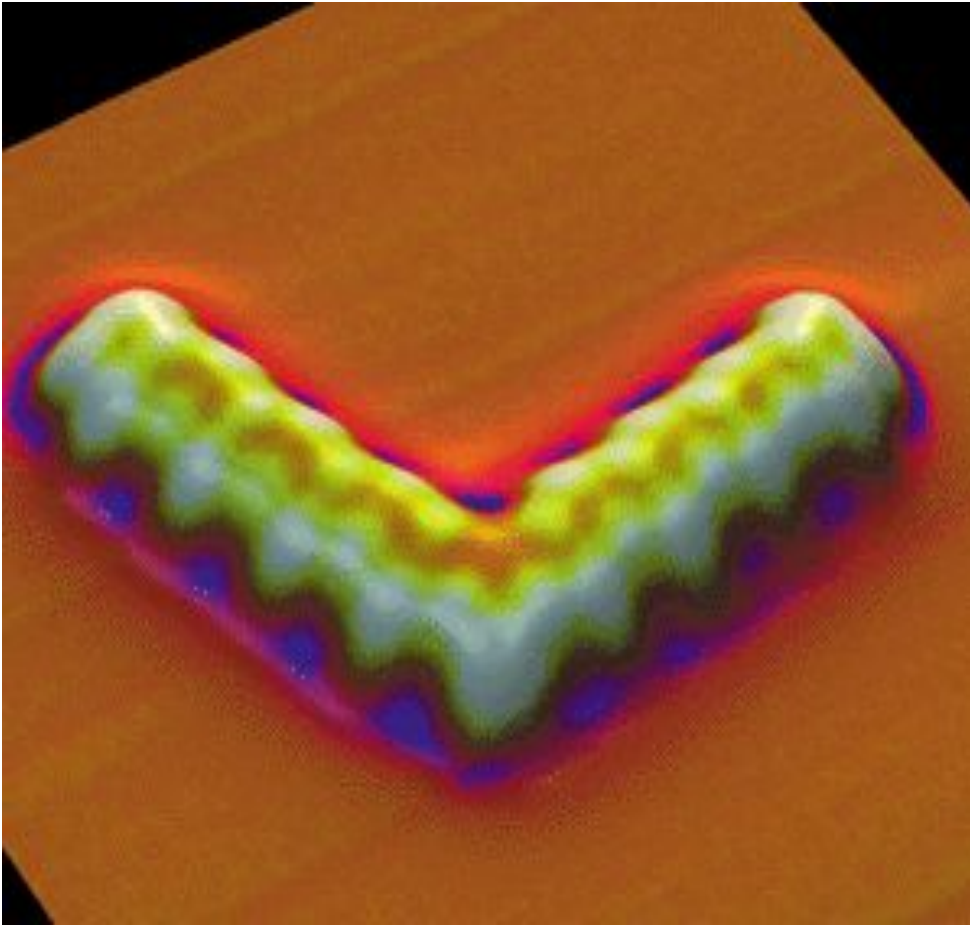
Игла АСМ
сканирует
поверхность.

- Атомно-силовой микроскоп можно использовать также для детектирования молекулярных структур для этих целей использовался нанодатчик с иммобилизованной на поверхности кантилевера антиоксидантным ферментом

Если на вершукше наконечника атомно-силового микроскопа разместить блокаторы кальциевых каналов, то можно установить расположение индивидуальных кальциевых каналов на поверхности клетки по выраженному отклонению сигнала, регистрируемого в этих точках.

Атомно-силовой микроскоп можно использовать и для направленной доставки лекарственных препаратов не только в отдельную клетку, но и в определенный внутриклеточный компартмент.

Сборка молекул из отдельных деталей



Эта молекула, из 18 атомов цезия и 18 атомов йода была собрана путем последовательного присоединения отдельных атомов в атомно-силовом микроскопе

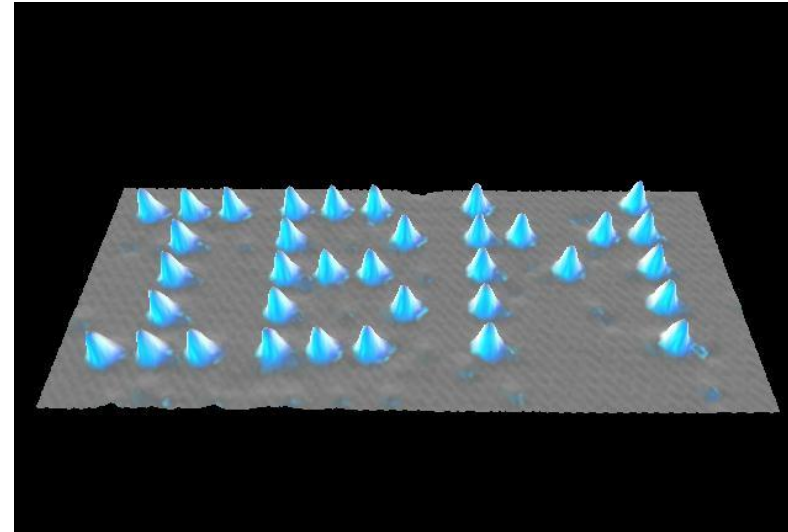
Часть 2. Наноинструменты наноустройства.

- Наноинструментами принято называть устройства, предназначенные для манипуляций с нанообъектами - наночастицами, молекулами и отдельными атомами.
- В настоящее время активно исследуется широкий спектр наноинструментов и разрабатываются новые перспективные устройства нанометрового диапазона. На протяжении нескольких последних лет ведутся не только лабораторно-экспериментальные работы, но и получены практические результаты, свидетельствующие о перспективах ближайшего применения наноинструментов в передовых медицинских биотехнологиях.

Наноинструменты.

С помощью сканирующего микроскопа можно не только увидеть отдельные атомы, но и также избирательно воздействовать на них, в частности, перемещать атомы по поверхности.

Например, если напряжение между иглой сканирующего туннельного микроскопа и поверхностью образца сделать в несколько больше, чем надо для изучения этой поверхности, то ближайший к ней атом образца превращается в ион и закрепляется на игле. После этого слегка переместив иглу и изменив напряжение, можно заставить этот атом вернуться обратно на поверхность образца. Таким образом, можно манипулировать атомами и создавать новые наноструктуры.

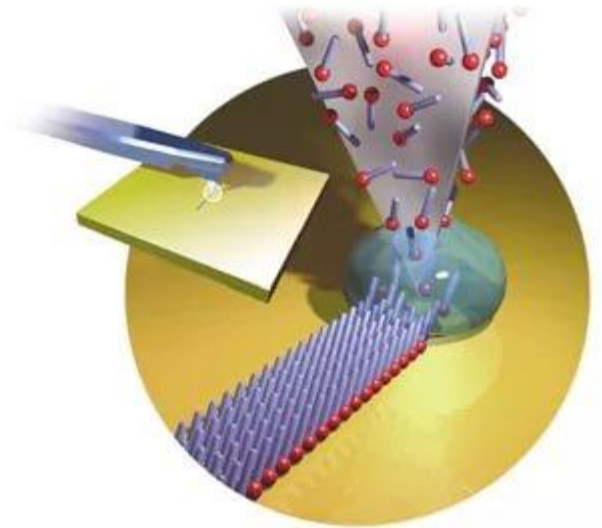


Сложенное из 35 атомов
ксенона на пластинке из
никеля название компании
IBM.

С помощью зондового микроскопа можно не только двигать атомы, но и создавать предпосылки для их самоорганизации

На металлической пластине находится капля воды, содержащая ионы поверхностно-активного вещества, а зонд микроскопа может способствовать такой ориентации этих молекул, при которой их углеводородные фрагменты будут обращены от пластины. В результате, можно построить на металлической пластине моно слой этих молекул.

Этот способ создания монослоя молекул на поверхности металла называют «перьевой



Молекулы тиола с фиолетовыми углеводородными хвостами, выстраиваются в монослой у кончика зонда.

Наноинструменты и наноустройства в биологии и медицине.

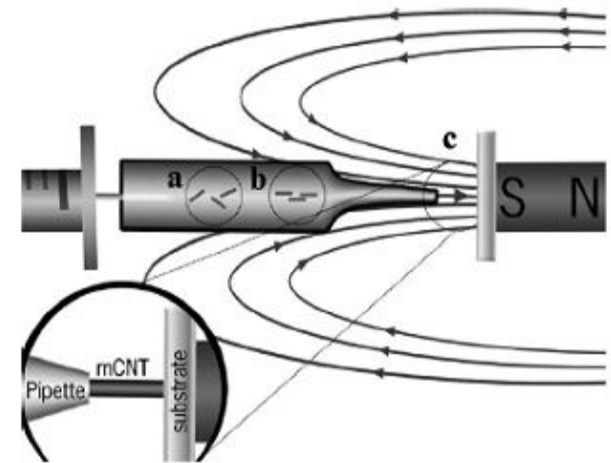
- **Наноинструменты** в биологии и медицине – это молекулы или супрамолекулярные структуры, размер которых не превышает 150-200 нм, позволяющие визуализировать, детектировать и корректировать изменения и нарушения *in situ* биологических структур и их фрагментов.
- Более сложное строения имеют **наноустройства**, размер которых не превышает 3-4 мкм. Наноустройства характеризуются относительной автономностью своего функционирования и обладают гораздо большей избирательностью. Они предназначены для материального изменения определенного субстрата, могут обеспечивать многоэтапный процесс и работать как внешние агенты.

Наноинструменты для внутриклеточных манипуляций на основе углеродных нанотрубок.

- **Наноигла** предназначена для исследования внутриклеточных процессов, а также доставки дозированных порций различных молекул (флуоресцентные квантовые точки, ДНК, РНК). Зонд атомно-силового микроскопа с прикрепленной многослойной углеродной нанотрубкой позволяет проникать внутрь клеток без существенного повреждения мембраны.

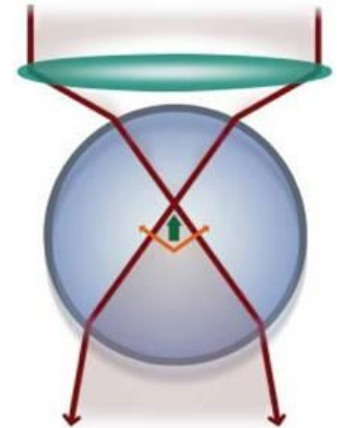
Наноигла

- Одно из подобных устройств разработано и продемонстрировано недавно группой исследователей из Drexel Univ., Philadelphia (США).
- Авторы использовали многослойные углеродные нанотрубки диаметром около 200 нм и длиной до 60 мкм.
- Внутренняя полость нанотрубки заполнялась ферромагнитной жидкостью, содержащую частицы оксида железа диаметром ~ 10 нм. Суспензию, содержащую углеродные нанотрубки, с помощью шприца вводили в обычную стеклянную пипетку. Под действием внешнего магнитного поля нанотрубки ориентируются вдоль оси пипетки, вызывая их движение в направлении отверстия. Тонкая стеклянная прослойка, помещенная между магнитной проволокой и пипеткой, смачивалась жидкостью, находящейся внутри пипетки, что способствовало выходу углеродных нанотрубок из отверстия пипетки, при этом нанотрубка образовывала тонкий наконечник пипетки.



Нанопинцет

- **Лазерный (или оптический) пинцет** представляет из себя устройство, использующее сфокусированный луч лазера для передвижения микроскопических объектов. Вблизи точки фокусировки лазерного луча свет тянет к фокусу всё, что находится вокруг.
- Исследователи из Гарвардского университета еще в 1999 году сконструировали первый нанопинцет общего назначения, использующий пару электрически управляемых **углеродных нанотрубок**. Нанопинцет предназначен для захвата и перемещение клеток без их повреждений.



Оптический
(лазерный)

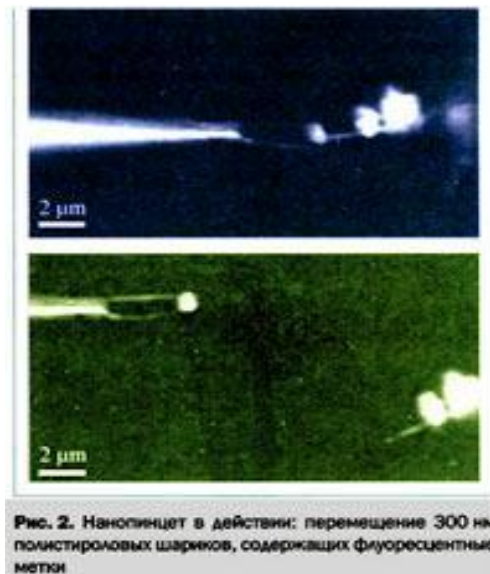


Рис. 2. Нанопинцет в действии: перемещение 300 нм полистироловых шариков, содержащих флуоресцентные метки

Наноинструмент для оценки деградации суставов.

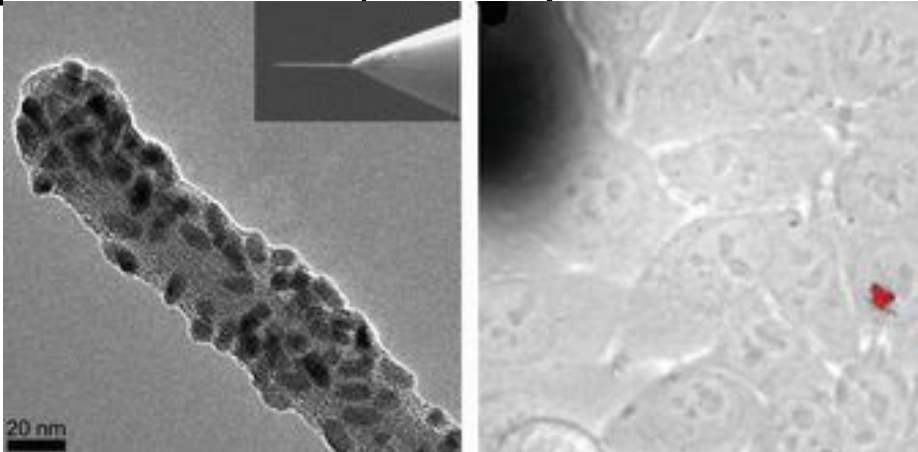
- Методика ранней диагностики заболеваний суставов с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа разработана в клиниках Швейцарии. Для проведения диагностики нанометровый зонд атомно-силового микроскопа (датчик с иглой) вводят в колено и изучают характеристики хрящевой ткани и определяют степень изношенности суставного хряща.
- В качестве модели для отработки этого метода диагностики был использован крошечный суставной хрящ мыши, который претерпевал изменения по мере взросления грызуна. Благодаря этому врачи научились отслеживать изменения, происходящие в суставах человека, еще до проявления симптомов остеоартрита.

Нанопипетка (наношприц).

- Японские ученые во главе с профессором [Тошио Фукудой](#) (Toshio Fukuda) из университета Нагойи для создания нанопипетки использовали органическую нанотрубку длиной 10 мкм, внутренним и внешним диаметрами 50 и 400 нм, соответственно.
- Трубку закрепляли в обычной стеклянной микропипетке с внутренним диаметром 1,8 мкм, а оставшееся между трубками пространство заполняли смолой, затвердевающей под действием света.
- Дозировать объем подаваемой через пипетку жидкости планируется с помощью прикладываемого к нанотрубке электрического напряжения — по расчетам ученых, им удастся добиться точности порядка фемтолитра, т. е. 10^{-15} л.
- У подобных нанопипеток есть большой потенциал использования в медицине, так как их рабочие объемы позволяют проводить операции буквально с отдельными клетками (объем 1 клетки примерно 1000 фемтолитров), вводя либо извлекая крошечные количества вещества, саму клетку при этом не повреждая.

Нанопипетка (наношприц).

Ученым из Калифорнийского Университета (*University of California*) и Национальной Лаборатории Беркли (*Berkeley National Laboratory*) удалось создать наноинструмент с точным пространственным позиционированием, способным доставлять внутрь клетки дозированные порции различных молекул и фрагментов ДНК. Они представили «иголку» на основе углеродной нанотрубки, способную протыкать клеточную мембрану без ее повреждения даже при повторной «инъекции» через полчаса.



Наноигла с нанесенными квантовыми точками, покрытыми стрептавидином. Флуоресценция квантовых точек внутри клетки.

Наношприц.

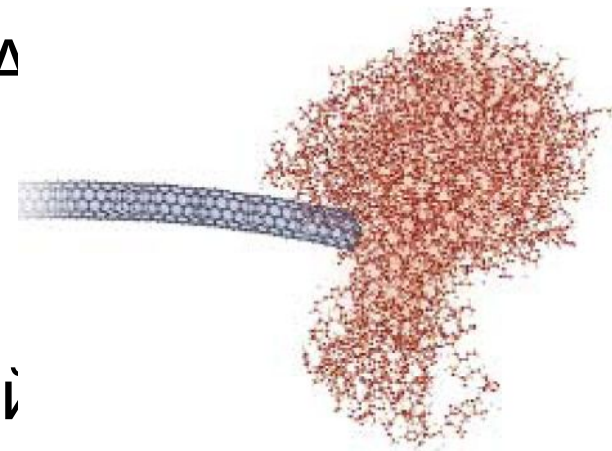
- Оригинальный механизм работы наношприца был предложен учеными на кафедре биоинженерии биологического факультета МГУ ([Шайтан К.В.](#), [Турлей Е.В.](#), [Кирпичников М.П.](#)). Эта методика основана способности молекул полипептида за счет тепловых флуктуаций самопроизвольно упаковывается внутрь нанотрубки в конформации, близкой к альфа-спирали. При внешнем воздействии эти молекулы могут распадаться или резко увеличиваться в объеме выталкивая содержимое нанотрубки, т.е система работает как нанопушка или наношприц.

Нановесы.

- Современные лабораторные ультрамикровесы способны производить взвешивания до 0.1 нанограмма (10^{-10} г), а это в разы превышает вес наночастиц. Одной из основных проблем взвешивания микрочастиц является колоссальное влияние посторонних внешних факторов (температура, влажность, вибрация, потоки воздуха, силы Ван-дер-Вальса, броуновское движение и т.д.).
- **С увеличением точности и чувствительности весов значимость посторонних факторов только увеличивается.**

Нановесы на основе углеродной нанотрубки.

- Для работы с наночастицами сотрудниками Технологического института штата Джорджия (США) были созданы специальные нановесы.
- Эти весы состоят из тонкого кантилевера - нанотрубки длиной около 4 микрон. На рисунке изображена процедура взвешивания вируса, масса которого равна 22 фемтограммам (1 фг = 10^{-15} г).



Пластинчатые нановесы.

- В 2009 году французские и американские ученые создали пластинчатые микровесы для измерения веса наночастиц. Конструкция этих весов состоит из ультратонкой металлической пластины, установленной на нескольких электродах.
- Принцип действия пластинчатых нановесов основан на том, что при приближении взвешиваемой молекулы пластина начинает вибрировать. Интенсивность вибрации воспринимается и измеряется электродами, которые соединены с компьютером.
- Особенностью оборудования стала быстрота и точность измерений. Практические испытания проводились на измерении массы иммуноглобулинов.

Нанороботы.

В самом общем смысле, разница между понятиями «машина» и “живой организм” заключается в «искусственном» и «естественном», соответственно, их происхождении. Нанотехнологии показали возможность создания искусственных аналогов живых систем, управления естественными процессами и создания на основе живых объектов искусственных устройств, способных работать *in vivo*.

Нанороботы в биологии и медицине.

- Медики планируют использовать нанороботы для экстренной доставки лекарственных препаратов непосредственно в инфицированную ткань и внутрь клетки через ее цитоплазму.
- Нанороботы смогут проникать внутрь тканей организма, это позволит бороться также с генетическими нарушениями.
- Другие медицинские нанороботы конструируются для точной диагностики и мониторинга заболеваний, сбора данных о человеческом организме.

Нанороботы в биологии и медицине.

- Уже несколько десятков лет предпринимаются настойчивые попытки построить микро- и нанороботы для медицинского применения.
- В 2002 году Ишияма (Ishiyama K) с сотрудниками из университета Тохоку (Tohoku University) разработали миниатюрные вращающиеся винты с магнитным приводом, предназначенные для передвижения по венам и доставке лекарственных препаратов в инфицированные ткани и опухоли с целью их термической деструкции.
- В 2003 году группа исследователей из Монреаля, создали микроробот содержащий ферромагнитные частицы и работающий с использованием переменных магнитных полей МРТ.
- В 2005 году исследователи под руководством Брэда Нельсона в швейцарском Федеральном институте технологии в Цюрихе развили эту технологию и построили микроробот. (~ 200 микрон) для инъекции в тело через шприц. Микроробот Нельсона успешно маневрировал в водной среде, используя внешнюю энергию магнитных полей.
- Группа Гордона в Университете Манитоба (Канада) также предложила магнитоуправляемые «цитоботы» и «кариоботы» для проведения беспроводных внутриклеточных и

Нанороботы в кровеносной системе.

- Основная функция наноробота – передвижение по кровеносной системе человека.
- Для целенаправленного перемещения наноробот должен иметь соответствующую **навигационную систему**, состоящую из несколько типов различных сенсоров для мониторинга окружающей среды, навигации, коммуникации и работы с отдельными молекулами. Также нанороботу необходима мощная **транспортная система**, доставляющая отдельные атомы и молекулы из хранилищ к наноманипуляторам, и обратно. Для работы с пораженными структурами устройство необходимо оборудовать набором **наноманипуляторов**. Материал, из которого следует изготовить наноробот должен быть **биосовместим** с человеческим организмом, а для успешного функционирования необходимо **наличие приемо - передаточных устройств**, позволяющих нанороботам связываться друг с другом.

Нанороботы в кровеносной системе.

- Типичное медицинское наноустройство будет представлять собой работа микронного (мкм) размера, собранного из наночастей. Эти части будут варьироваться от 1 до 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), и будут должны составлять работоспособную машину, размерами около 0.5-3 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$) в диаметре. **Три микрона - максимальный размер для медицинских нанороботов кровотока, т.к. это минимальный размер капилляров.**

Нанороботы в кровеносной системе.

- Типичная наномедицинская обработка (например, очистка от бактериальной или вирусной инфекции) будет состоять из инъекции нескольких кубических сантиметров нанороботов микронного размера.
- Терапевтическая доза может включать от 1 до 10 триллионов отдельных нанороботов.
- Каждый наноробот будет размерами от 0.5 мкм до 3 мкм в диаметре. Тело взрослого человека имеет объем крови $\sim 5400 \text{ см}^3$, поэтому добавление дозы нанороботов объема $\sim 3 \text{ см}^3$ практически несущественно.

Хирургические нанороботы

- Хирургические нанороботы можно вводить в организм через сосудистую систему или на концах катетеров в различные сосуды и другие полости в организме человека. Хирургический наноробот действует внутри человеческого тела и сможет выполнять различные функции, такие как поиск патологии, а также диагностирование и коррекция различных повреждений.
- Управление таким хирургическим нанороботом может осуществляться бортовым компьютером с использованием ультразвуковых сигналов.
- На сегодняшний день уже имеются определенные практические достижения в использовании хирургических нанороботов в клеточной нанохирургии. Например, микропипетка диаметром менее 1 мкм была использована для полного обрезания дендритов из одиночных нейронов без повреждения жизнеспособности клеток.

Основные принципы изготовления медицинских нанороботов.

- По прогнозам ученых к 2020 годам следует ожидать появление промышленных нанороботов на основе жестких алмазоидных материалов. Эти нанороботы будут обладать полностью автономными подсистемами, включая бортовые датчики и молекулярные компьютеры, двигатели, манипуляторы, а также источники питания.
- Создание комплексных нанороботных систем потребует особых технологий основанных на **позиционной самосборке**. Это технология будет включать в себя сбор и размещение молекулярных частей, перемещение их по контролируемым траекториям подобно движению роботов, которые производят автомобили на автомобильных сборочных линиях.
- Механосинтез с использованием атомов кремния был впервые выполнен в 2003 году (Oyabu N, Custance O, Yi I,

Питание нанороботов.

- Для для питания наноробота предлагается использовать как собственное тело пациента, так и силы за пределами этого тела.
- Наноробот с установленными электродами может сформировать батарею на основе электролитов, найденных в крови. Наноробот мог бы нести небольшой запас химических веществ, которые станут источником топлива в соприкосновении с кровью.

Питание нанороботов.

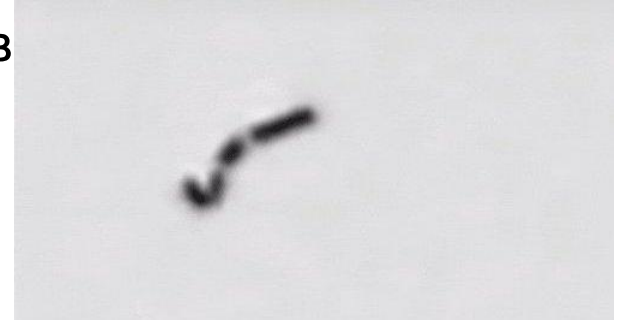
- Внешние источники питания включают системы, когда нанороботы либо связаны с источником питания особым проводом, либо контролируются беспроводном режиме. В первом случае система потребует провода между наноботом и источником питания. Провод должен быть достаточно прочным, но также без проблем проходить сквозь тело человека, не нанося повреждений. Доставка энергии может осуществляться либо с помощью электричества, либо оптическим путем. Оптические системы передают свет через оптоволокно, а он затем преобразуется в электричество на борту робота.
- Внешние системы, которые не используют провода, могли бы полагаться на микроволны, ультразвуковые сигналы или магнитные поля.

Передвижение нанороботов.

- Нанороботам для активного движения по кровотоку необходимо некое средство передвижения в теле пациента, при этом двигательная установка должна быть относительно мощная для своих размеров.
- Израильские ученые создали микроробота, который всего несколько миллиметров в длину и использует маленькие придатки для захвата и ползания по кровеносным сосудам. Ученые манипулируют его конечностями, создавая магнитное поле за пределами тела пациента.

Передвижение нанороботов.

Специалистами Калифорнийского университета в Сан-Диего уже созданы миниатюрные нанороботы функционирующие под управлением внешнего магнитного поля. Эти нанороботы уже способны выполнять ряд достаточно сложных работ, включая [доставку лекарственных препаратов](#) к месту назначения, проведение микрохирургических операций. Эти нанороботы состоят из золотых и никелевых сегментов, скрепленных друг с другом серебряными перемычками. Для управления этими роботами используется внешний электромагнит, поле которого воздействует на сегменты из никеля, единственный магнитный материал в конструкции этого наноробота. Переменное магнитное поле определенной формы, генерируемое магнитом, заставляет тело робота изгибаться, совершая колебательные движения, напоминающие движения тела рыбы в воде.



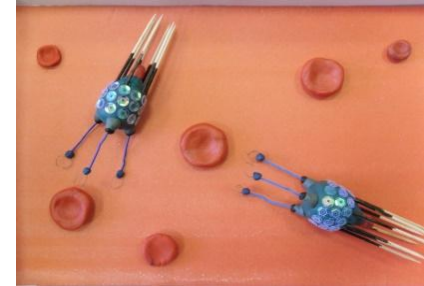
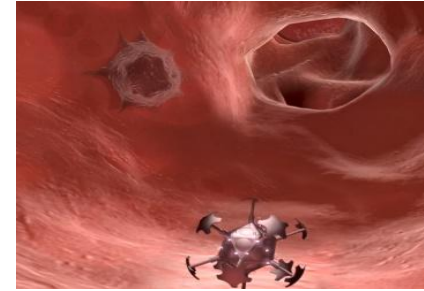
Наноробот разработанный группой Джинксинга Ли (Jinxing Li) (Университет Сан-Диего).

Перспективным направлением использования нанороботов является проект «Робокровь» (Roboblood).

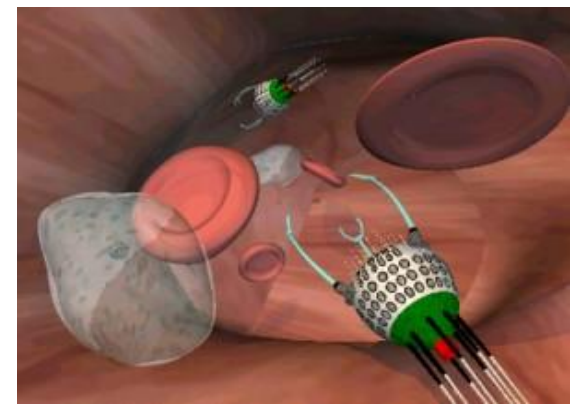
- Эта разработка профессора Р. Фрайтаса (Калифорния) представляет собой комплекс медицинских нанороботов, способных жить и функционировать в человеческом теле, выполняя самые разнообразные функции крови, включая циркуляцию дыхательных газов, глюкозы, гормонов, отходов, клеточных компонентов, процесс деления цитоплазмы.
- “Робокровь”, включающая около 500 триллионов микроскопических нанороботов общим весом примерно 2 кг, потребляет 30200 Ватт энергии в зависимости от рода человеческой деятельности.
- Система соответствует форме кровеносных сосудов и может служить полной заменой естественной кровеносной системе. Иными словами нанороботы образуют кровеносную систему и функционируют в ней.
- Подразумевается, что эти нанороботы будут сделаны из биосовместимого материала, а биологическое питание будут получать из глюкозы и кислорода. Преимущества, которые дает роботизированная кровь - это борьба с болезнетворными микробами, и регулярная “чистка” и укрепление сосудов, предотвращающая болезни типа атеросклероза, варикозного расширения вен и т. д., автоматическое лечение поврежденных клеток и даже замена больных генов здоровыми

Навигация нанороботов.

- Одна из проблем, стоящих на пути запуска микророботов — отсутствие навигационной системы, которая могла бы точно провести их по кровеносной системе в цели. Пока медицинские нанороботы не могут сами определять пути перемещения в живом теле. Необходимо кардинально усовершенствовать методы их ориентации и направления к месту назначения.
- Используя магнитно-резонансную томографию (МРТ), врачи могли бы определять местонахождение наноробота и отслеживать его, обнаруживая его магнитное поле. Ученые из Политехнической школы Монреаля несколько лет назад показали, что смогли бы обнаружить, отследить, управлять и даже передвигать наноробота с использованием МРТ. Они проверили свои выводы, маневрируя небольшим количеством малых магнитных частиц в артериях свиньи, используя специальное программное обеспечение на устройстве МРТ. Другие методы обнаружения нанороботов включают использование радиоактивных меток, рентгеновских лучей, радиоволн, микроволн или тепла.



Недавно был создан первый наноробот



- Группе исследователей, которые представляют Университет имени Джона Хопкинса, удалось сконструировать первый наноробот, который смог пройти первоначальные лабораторные эксперименты.
- Уникальность данной разработки заключается в возможности применять ее в лечебных целях в человеческом теле. Величина устройства в диаметре менее 0,1 миллиметра.
- Нанороботу удастся беспрепятственно попадать в тело человека, и затем, руководствуясь как индикатором возникающими биохимическими сигналами клеток, противостоять росту злокачественных опухолей.
- Дизайн наноробота весьма необычен — у разработки имеется тело и 3 пары своеобразных конечностей, заканчивающихся клешнями. Благодаря им нанороботу удастся оказывать действие на частицы тканей человеческого организма.
- Уникальный аппарат не нуждается в источнике дополнительного питания, он способен заряжаться благодаря тепловым, биохимическим и магнитным волнам. Этот наноробот способен проникать в живую ткань и разыскивать в ней определенные клетки, заданные программой.

Современное состояние наноробототехники

- Современная наноробототехника еще не настолько развита, чтобы реально выполнять какие-либо медицинские операции в теле человека, однако она позволяет ставить задачи для построения более совершенных наноустройств и нанобиороботов.
- Первым применением наноустройств в медицине станет, без сомнения, мониторинг состояния пациента. Это будет заключаться в составлении структурной модели тела человека, в которой учтено расположение каждой клетки путем (это особенно важно для изучения процессов, проходящих в коре головного мозга), картографирования сердечно-сосудистой системы, слежения за работой нервной системы, управления различными имплантатами и протезами, которые к тому времени войдут в повседневную медицинскую практику.

Литература.

- [Лекция «Применение нанотехнологий в медицине»](http://nano.msu.ru/education/courses/basics/materials), академик РАН и РАМН, профессор В.А. Ткачук [<http://nano.msu.ru/education/courses/basics/materials>].
- Papazoglou E.S., Parthasarathy A. BioNanotechnology. Synthesis lectures on biomedical engineering #7 // Ed. by J.D. Enderle. – USA: Morgan & Claypool Publishers' series, 2007.
- Springer Handbook of Nanotechnology, 2nd edition // Ed. by B. Bhushan. – USA: Springer Science and Business Media, 2007.
- Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения – 2008. Сборник под редакцией П.П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2008.
- Robert A. Freitas Jr., Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 1999; <http://www.nanomedicine.com/>
- Нанотехнологии в биологии и медицине. Под редакцией чл.-корр. РАН, проф. Е.В. Шляхто. С-Пб. 2009, 320 с.
- Nogawa K., Tagawa Y., Nakajima M. et al. “Nanopipette with a Lipid Nanotube as Nanochannel” – 7th IEEE International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO 2007), Hong Kong, August 2-5, 2007.



**Спасибо за
внимание**