О нанотехнологиях и роли биологических знаний в их развитии

Щеголев Сергей Юрьевич
доктор химических наук, профессор

Директор Учреждения Российской академии наук Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов (ИБФРМ) РАН

Профессор кафедры органической и биоорганической химии Саратовского госуниверситета

Учреждение Российской академии наук Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, г. Саратов

Здание 4206 кв. м., хоз. сооружения 525 кв. м., на участке земли 1,31 га.

Основан в 1980 г.

Организатор и бессменный директор с 1980 по 2007 годы – Заслуженный деятель науки РФ, д.б.н., профессор **В.В. Игнатов**, лидер научной школы, получившей статус одной из **ведущих научных школ** страны.

С января 2008 г. директором ИБФРМ РАН избран и утвержден сроком на 5 лет д.х.н. профессор **С. Ю. Щеголев**.

110 человек (82 штатные единицы), **59** научных сотрудников, **докторов наук – 17** (около 30%), **кандидатов наук** – **33** (более половины). Средний возраст докторов наук на начало 2009 г. составляет **51 год**, а кандидатов наук – **41 год**.

Фундаментальные исследования растительно-микробных и иных симбиотических систем и биотехнологические разработки на их основе

Основные научные направления ИБФРМ РАН

- ***Изучение молекулярно-генетических механизмов взаимодействия растений и микроорганизмов. Анализ генетической регуляции процессов, вли-яющих на формирование и функционирование ризоценозов, исследова-ние обмена генетической информацией и метаболитами между парт-нерами.***
- *Выяснение роли белков системы цитоскелета в адаптивных и коммуникационных реакциях клеток растений и микроорганизмов. Изучение структуры и функций гликополимеров и оценка их значения в формировании растительно-микробных симбиозов.*
- *Анализ углевод-связывающих белков и гликопротеинов, выяснение их роли в процессах жизнедеятельности и коммуникации бактерий, растений и грибов.*
- *Исследование растительно-микробных сообществ в условиях техногенного загрязнения окружающей среды. Разработка биотехнологий защиты и восстановления природных и хозяйственных объектов.*
- *Развитие методологии физико-химического, биохимического и иммунохимического анализа симбиотических и иных живых систем.*

Структура института

Научно-исследовательские подразделения

Лаборатория биохимии

Лаборатория генетики микроорганизмов

Лаборатория физиологии растительной клетки

Лаборатория физиологии микроорганизмов

Лаборатория микробиологии

Лаборатория иммунохимии

Лаборатория экологической биотехнологии

Лаборатория биоинженерии

Лаборатория нанобиотехнологии (*2003 г.*)

Лаборатория физико-химических методов исследования

Сервисные службы

Коллекция микроорганизмов

Виварий

Библиотека

Локальная компьютерная сеть с выходом в Интернет

Учебно-научные и общественные структуры

Учебно-научный центр физико-химической биологии

- *базовая кафедра биохимии и биофизики* (биологический факультет);
- *кафедра органической и биоорганической химии* (химический факультет);
- *базовая кафедра биофизики* (факультет нелинейных процессов).

Аспирантура (*биохим., биофиз., микробиол., биоорган. хим., биотехнол.*)

Диссертационный совет (*биохим., микробиол., биотехнол.*)

Региональные отделения Российских обществ *микробиологов, биохимиков и физиологов растений*

Два типа определений, отражающих **основные тенденции** в понимании и развитии нанонауки.

Ричард Фейнман, Нобелевская премия, по физике,1965 г.

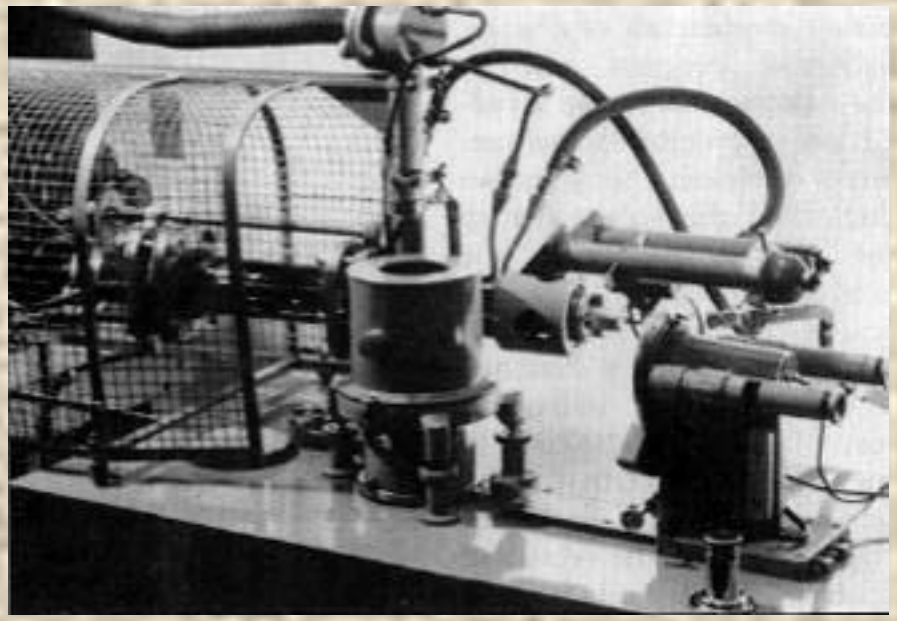
«Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики» . Лекция на собрании Американского физического общества, **декабрь 1959 г.**

… При переходе к изучению самых маленьких объектов предлагаемого типа ... (составленных из **нескольких атомов**) мы сталкиваемся со многими разнообразными явлениями, создающими новые возможности. Поведение отдельных атомов подчиняется законам квантовой механики и не имеет аналогов в макроскопическом масштабе, поэтому «внизу» мы будем постоянно наблюдать **новые закономерности и эффекты**, предполагающие новые варианты использования ...

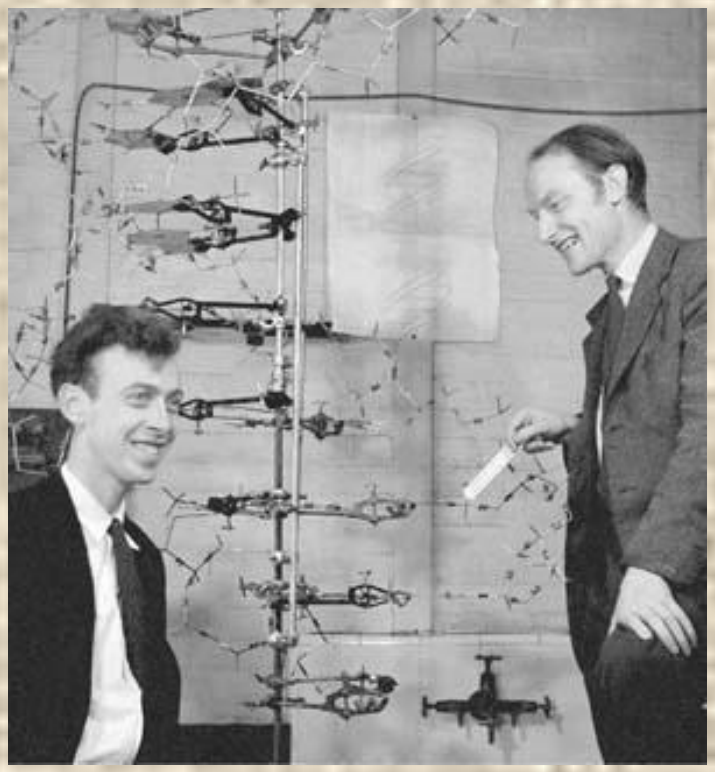
… Известные нам принципы физики **не запрещают** создавать объекты «атом за атомом». **Манипуляция атомами**, в принципе, вполне реальна и не нарушает никаких законов природы. ... Развитие техники манипуляции на атомарном уровне (а я убежден, что этого нам просто не избежать) позволит решить многие проблемы **химии и биологии** …

Получение соединений с **атомарной точностью** обеспечивает **генная и белковая инженерия** (в пределах биохимии и биоорганической химии), ещё не развитые в 1959 году.

2008 г. – 55 лет открытию **структуры молекулы ДНК** (*Nature*, 1953 г.)



Крик и Уотсон, Нобелевская премия по физиологии и медицине, 1962 г. (совместно с *Уилкинзом* – руководителем экспериментальных исследований ДНК методом рентгеноструктурного анализа).



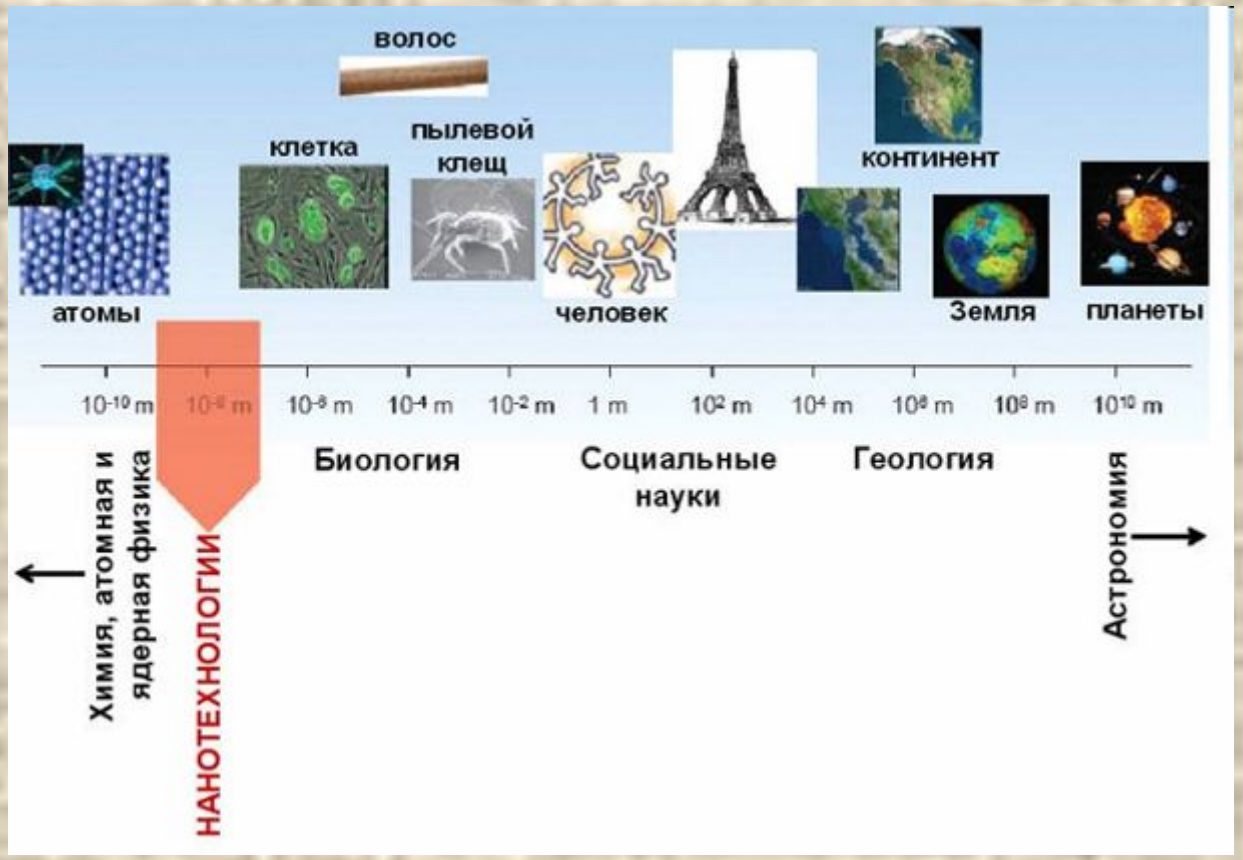
Розалин Франклин

Два набора ключевых слов – **два направления развития нанонауки**:

1) новые закономерности и эффекты;
2) манипуляция атомами и молекулами.

… Внизу (т.е., «внизу или внутри пространства», если угодно) располагается **поразительно сложный мир малых форм**, и когда-нибудь (**например, в 2000 г**.) люди будут удивляться тому, что до 1960 г. никто не относился серьезно к исследованиям этого мира …

По вполне конкретным физическим причинам диапазон от, примерно, ***1 нм*** (около 10 атомов) до ***100 нм*** (молекулярные и надмолекулярные структуры из 10^7-10^8 атомов).



Термин «нанотехнология» введен *Норио Танигути* (1974) для обозначения методов получения и изучения объектов размером менее 1 микрона.

Во-первых, нанотехнологии трактуются как « … совокупность процессов, направленных на создание материалов, устройств и технических систем, **функционирование которых определяется наноструктурой** – упорядоченными фрагментами размером от 1 до 100 нм» (*Третьяков*, 2008).

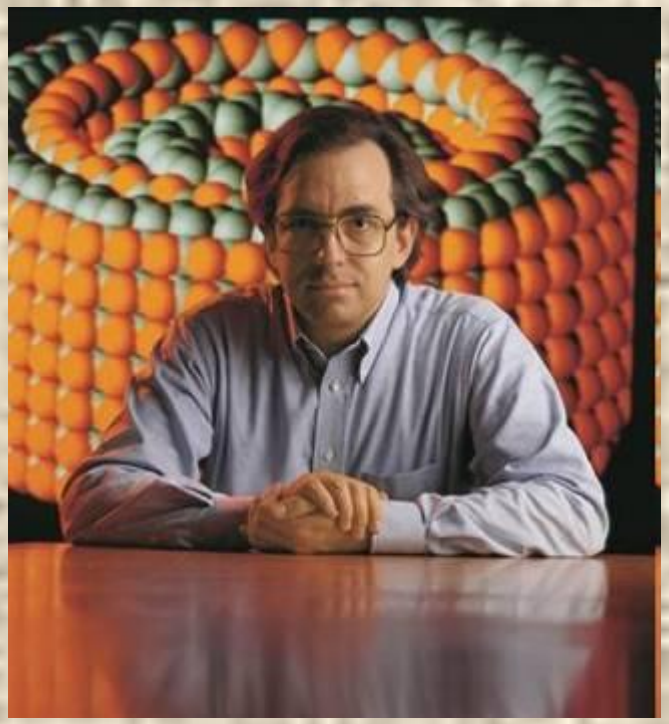
Переход в нанометровый диапазон либо **«сверху вниз»** (измельчение, дробление, фотолитография и др.), либо **«снизу вверх»** (химический и биохимический синтез, атомная и молекулярная сборка и самосборка, создание нанокомпозитов и т.д.).

Во-вторых, нанотехнологии понимаются как « … технологии **манипулирования веществом на уровне атомов и молекул** с целью получения продуктов с наперед заданной структурой» (*Рыбалкина*, 2005).

«Машины создания: грядущая эра нанотехно-логии» (1986)

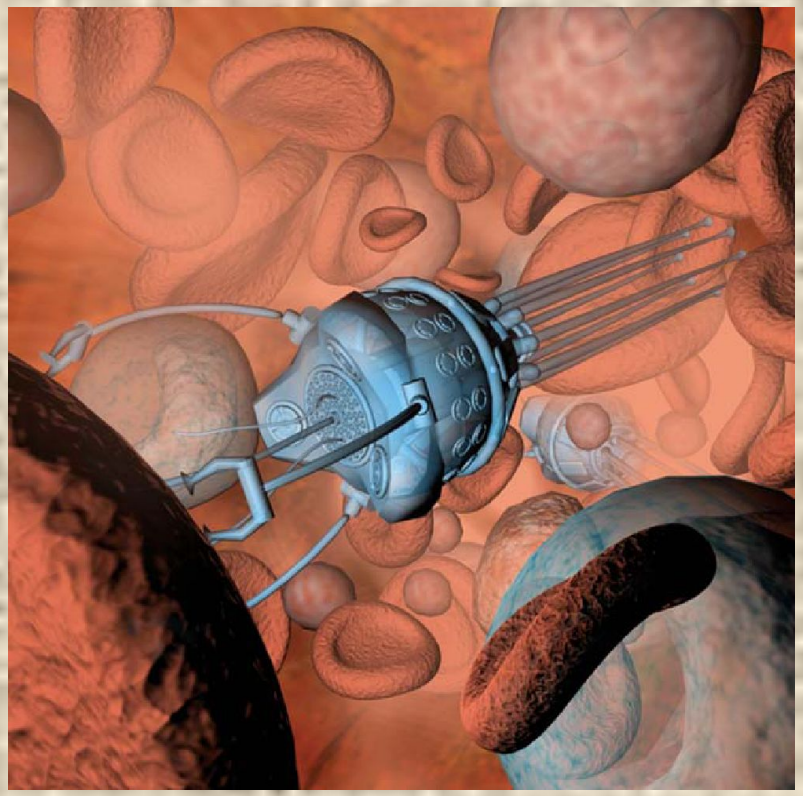
… Уголь и алмазы, песок и чипы компьютера, рак и здоровая ткань – на всём протяжении истории, в зависимости от **упорядочения атомов**, возникало дешевое или драгоценное, больное или здоровое …

… При всех наших успехах в упорядочении атомов мы всё ещё используем примитивные методы упорядочения. При нашей имеющейся технологии мы всё ещё вынуждены манипулировать **большими, плохо управляемыми** группами атомов …



Эрик Дрекслер

Наноробот (ассемблер) – молекулярная машина субмикронного размера, способная к саморепликации, которая может быть **запрограммирована строить** практически любую молекулярную структуру или устройство из более простых химических строительных блоков.



Футуристическое изображение наноробота в кровеносной системе. *М. Рыбалкина*, 2005.

Дорожная карта нанотехнологии, декабрь 2007 (Nanotechnology Roadmap) – прогноз на ближайшие десятилетия. Проблемы создания и развития **производств с атомарной точностью.**

Foresight Nanotech Institute (Нанотехнологический **институт предвидения)**. Ведущие ученые из самых крупных нанотехнологических центров США.

Около 200 страниц, перспективы развития нанотехнологий по 39 направлениям. Прилагается сборник мини-обзоров научных достижений по каждому из них.

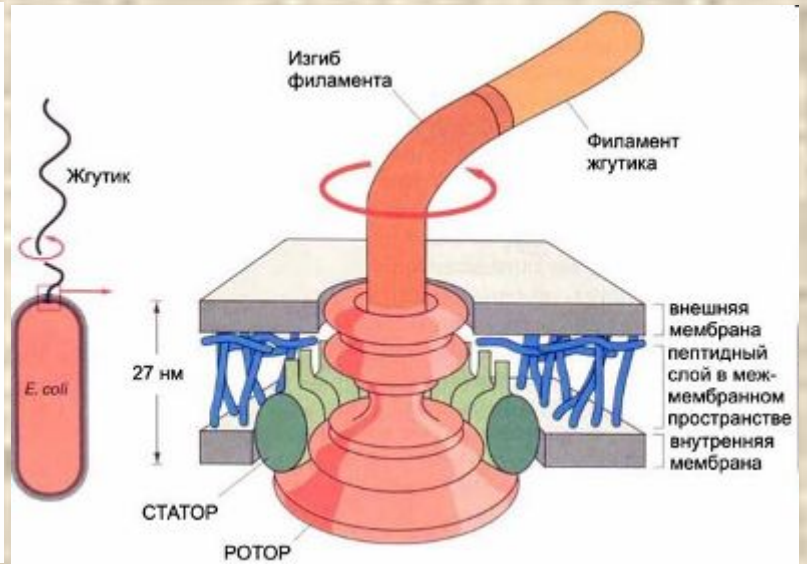
Сочетание двух взаимодополняющих подходов: **биотехнологического** и **зондового**.

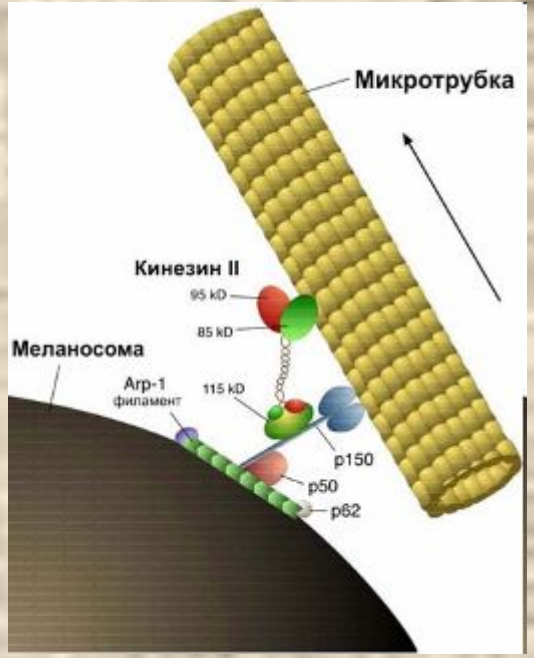
Зондовый подход предполагает дальнейшее развитие технологий **физического манипулирования атомами и молекулами**, осуществляемого пока только в лабораторных экспериментах.

Познание механизмов создания структур с атомарной точностью, уже действующих в живой природе, **природные наномашины**: рибосомы, ферменты, вирусы и т.п.

Р. Фейнман (1959): «**Чудеса биологических систем**»:

... Несмотря на то, что сами биологические системы (имеются в виду биоклетки) очень малы, они могут осуществлять весьма разнообразные и очень активные действия … Представьте себе возможности, которые открываются в случае изготовления микроскопических объектов, способных выполнять такие действия! …





АТФ-синтаза – синтез/гидролиз АТФ, трансмембранный перенос протонов. Нобелевская премия, 1997 (*Скоу, Бойер и Уолкер*)

Флагеллярный мотор бактериального жгутика. Градиент протонов или ионов натрия. Модель работы – *Глаголев, Скулачев* (1978) .

Движение молекулы **кинезина** с меланосомой вдоль микротрубочки.

Система трансляции в матричном **синтезе белка на рибосомах**.

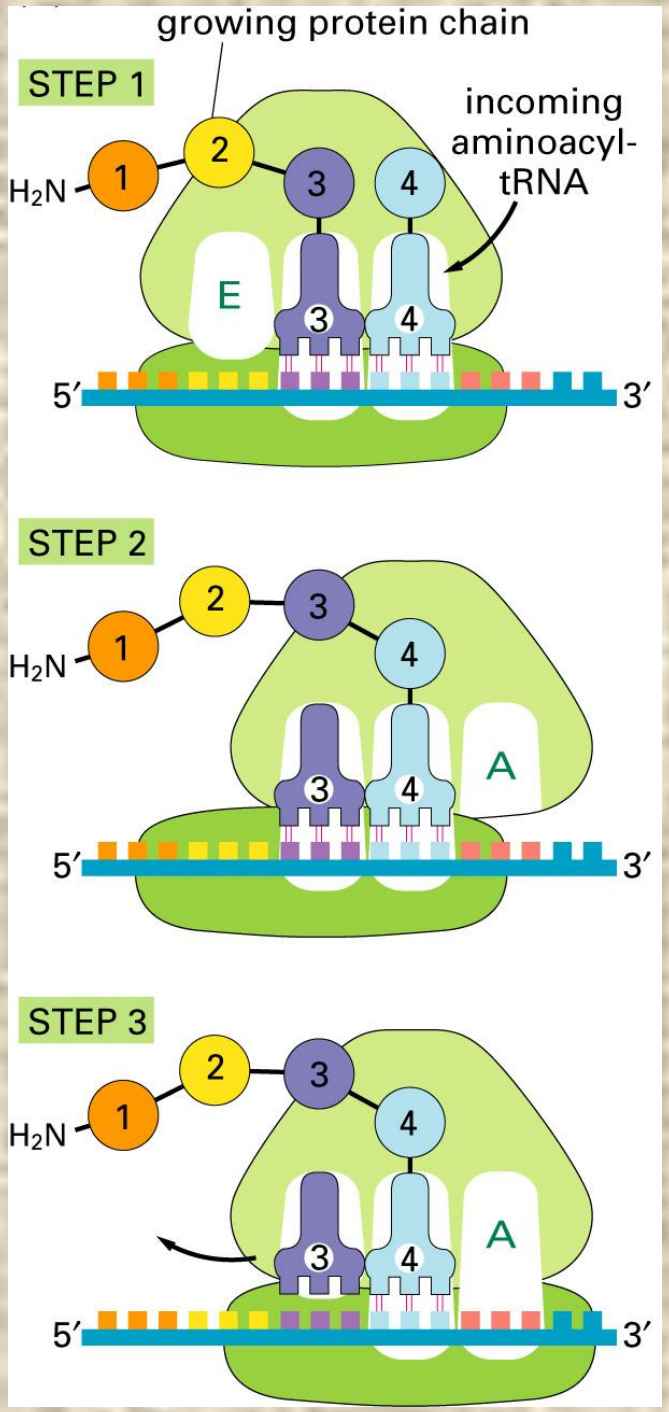
В прогнозах развития производств материалов с атомарной точностью надежды возлагаются на создание **рибосомоподобных** наноустройств.

Нерибосомный синтез: НРС-синтаза, низшие грибы, бактерии.

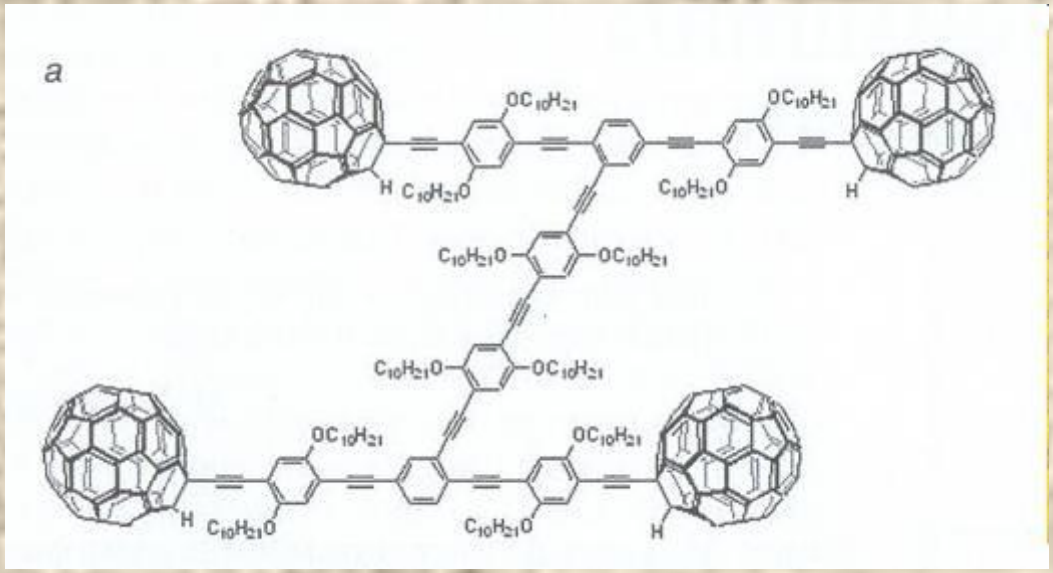
Устойчивость к внешним воздействиям, прочность, термостойкость и другие **потребительские характеристики** природных соединений весьма **ограничены**.

Непосредственное использование механизмов **атомарно точного биосинтеза** природных соединений в промышленных технологиях с использованием **широкого спектра элементов периодической системы** пока практически невозможно.

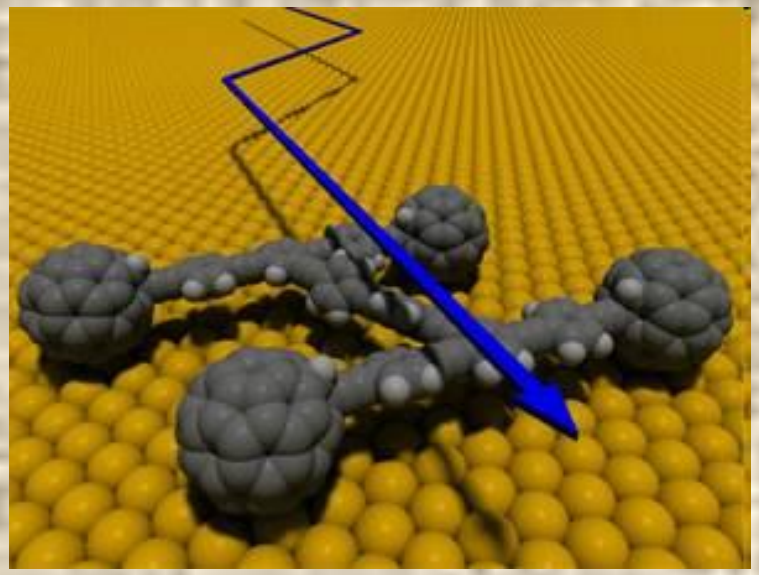
Экстраполяция и приспособление молекулярно-биологических знаний к объектам **неживой природы** с целью получения разнообразных материалов с новыми полезными свойствами. **Биомиметика.**



Специалистами из Университета Райса (Хьюстон, США) в 2005 г. изготовлен **наноавтомобиль** размером 4 нм.



Химическая формула молекулярного наномобиля из примерно **300 атомов**.



Графическая реконструкция движения наномобиля **на поверхности золота** при нагревании системы до 200° С.

Замена фуллеренов на молекулы *p*-карборанов (содержат атомы С, Н и В) с установкой лопастного **наноактюатора** обеспечила передвижение наноавтомобиля под действием **светового излучения** длиной волны 365 нм.

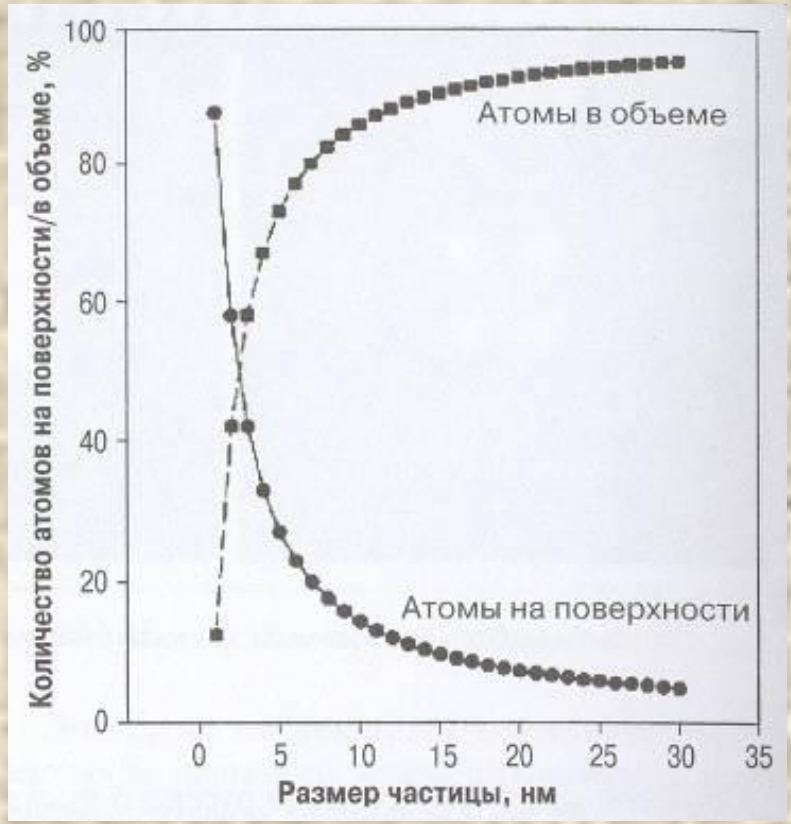
Джеймс Тур: … В конечном счете нам хотелось бы научиться **перемещать** нанообъекты и производить **работы** в молекулярном масштабе, и подобные наномобили могут послужить отличными испытательными образцами для этих целей ...

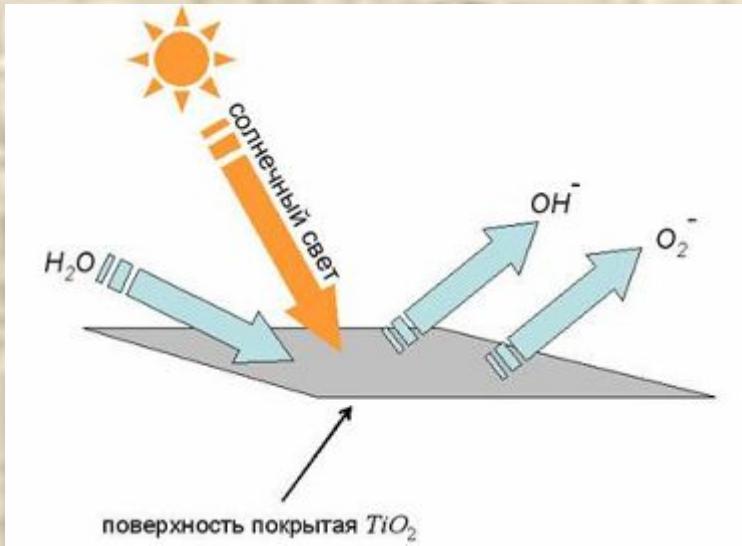
Наибольшее число **реальных достижений** отмечается в изучении **новых свойств и эффектов**, связанных со **структурированием** вещества на уровне образований нанометрового диапазона.

Два физико-химических фактора, определяющих уникальные свойства нанообъектов:

Во-первых, в существенно возрастает соотношение **поверхности и объема** наночастиц.

Увеличение доли поверхностных атомов **усиливает взаимодействие** ноноструктур с окружающей средой и, в частности, радикально ускоряет каталитические процессы.





Наночастицы **диоксида титана** высокоэффективно разлагают воду под действием солнечного света.

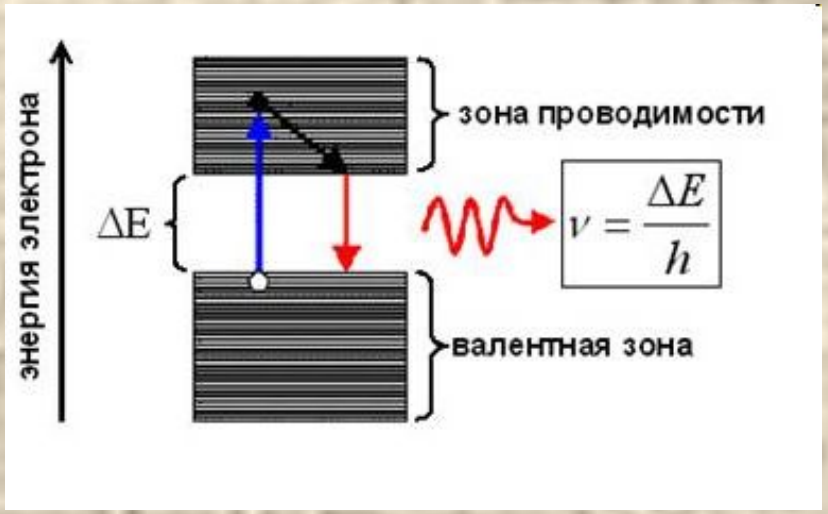
Существенно понижается **температура плавления** для металлических наночастиц (более чем на 500° для золота).

Во-вторых, в области размеров структурных элементов вещества (наночас-тиц, нанокластеров и т.п.), соизмеримых с **радиусом корреляции** того или иного характерного физического явления, начинают проявляться **квантово-размерные эффекты** (*Фейнман*, 1959).

Длина свободного пробега электрона, размер магнитного домена, размер зародыша новой фазы и т.п.

Пример – **квантовые точки** (quantum dots), характерный корреляционный параметр – радиус **экситона Бора** - зоны **коллективного возбуждения** электронов в полупроводниковом материале, из которого изготавливаются квантовые точки.

Флуоресцирующие суспензии наночастиц CdTe 2-5 нм (размер имеет значение!).

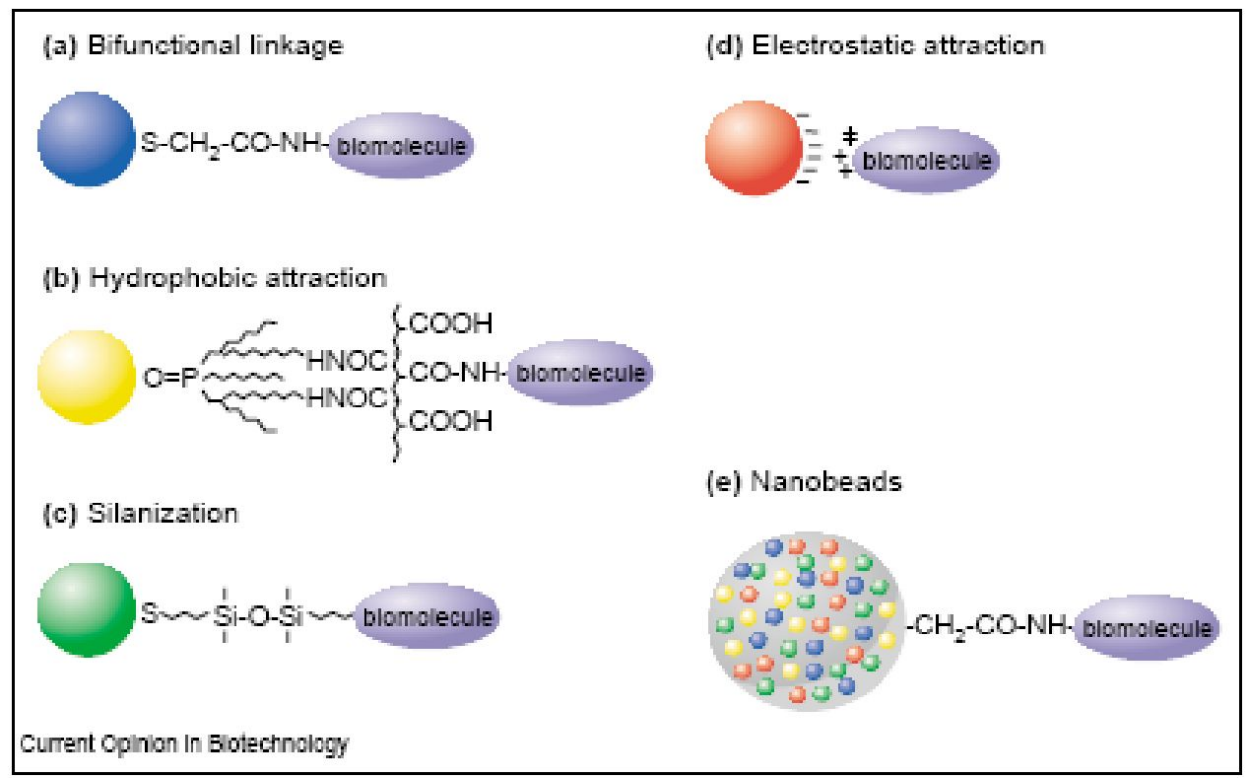


При изменении **размера** наночастиц меняется «зазор» между зонами, обеспечивая настройку **длины волны** флуоресценции «искусственного атома».

Функционализация наночастиц – получение устойчивых суспензий их конъюгатов с биоспецифическими молекулами-зондами, **узнающими** те или иные биологические структуры.

(a) использование лиганда типа меркаптоуксусной кислоты (**бифункциональное связывание**);

(b) покрытие три-н-октилфосфин оксидом для связи через модифицированный полимер акриловой кислоты (**гидрофобное притяжение**);



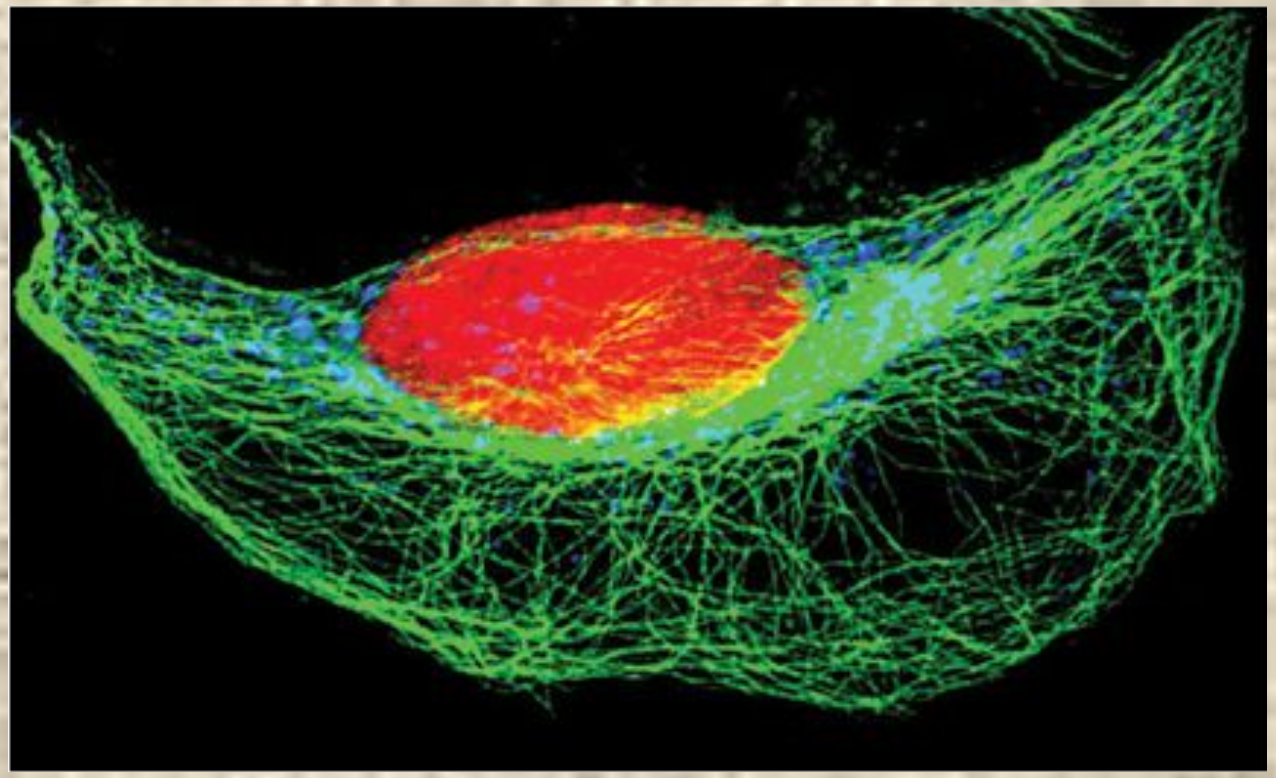
(c) солюбилизация и биоконъюгация с использованием меркаптосиланового соединения (**силанизация**);

(d) присоединение посредством **электростатических взаимодействий**;

(e) – **включение** квантовых пятен в микрошарики и наношарики.

С единичной частицей диаметром 4 нм могут быть конъюгированы **от 2-х до 5-и** белковых молекул и **50 или более** малых молекул (таких, как олигонуклеотиды или пептиды).

Пример использования квантовых точек для **цитохимического выявления клеточных органелл**: ядра (красный), аппарата Гольджи (желтый), микротрубочек (зеленый).



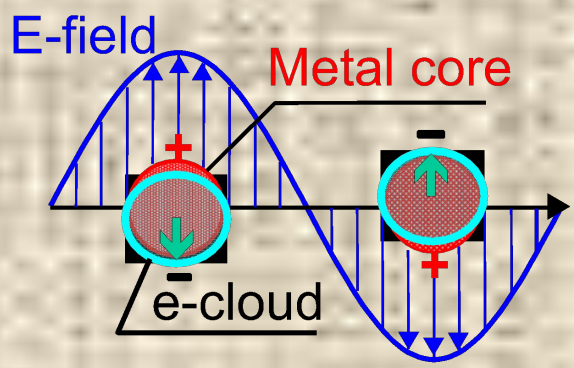
Близкие по природе и свойствам – **полупроводниковые гетероструктуры**.

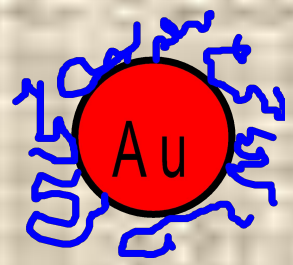
За их исследования и внедрение в электронику, создание технологии микрочипов Нобелевская премия 2000 г. присуждена *Алферову, Кремеру и Килби*.

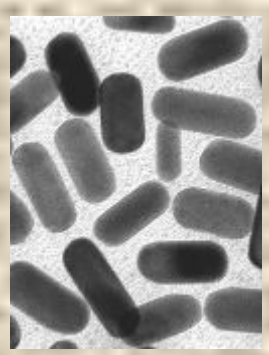
Главное ограничение квантовых точек – **токсичность** материалов (соли или слоистые образования на основе тяжёлых металлов), что существенно осложняет их использование в опытах ***in vivo***.

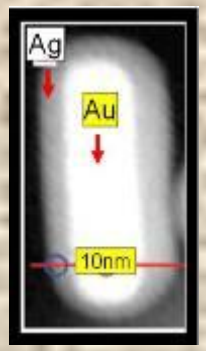
Лучшую **биосовместимость** имеют наночастицы благородных металлов (в особенности, **золота**), для которых характерен, **поверхностный плазмонный резонанс.**

Коллективные колебания свободных электронов в металлах, радиус корреляции которых также оказывается в нанометровых пределах.

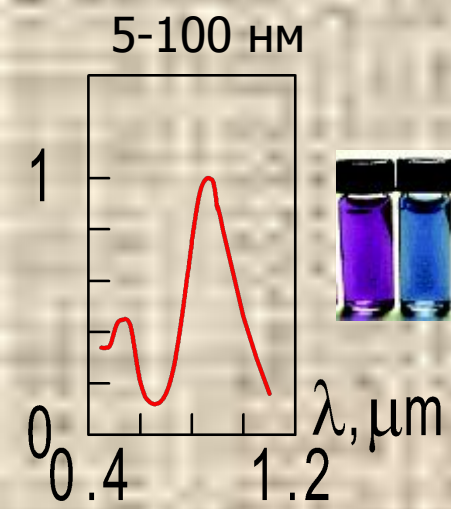








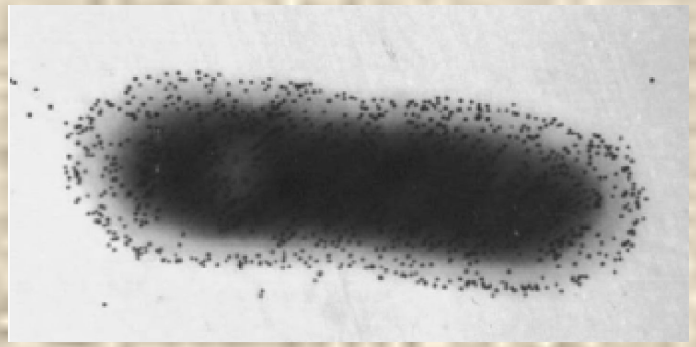
В ИБФРМ РАН разработаны **фундаментальные принципы нанотехнологии** плазмонно-резонансных структур (золотых наносфер, наностержней и нанооболочек), функционализованных молекулярными зондами (антителами, лектинами, ферментами, олигонуклеотидами и т.п., **www.ibppm. saratov.ru/katalog.html**



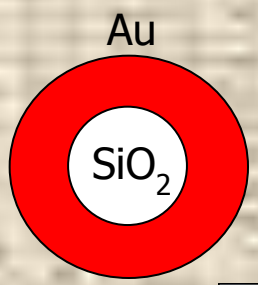
Развиты методы **настройки резонанса** золотых наночастиц за счет изменения их **размера, формы и структуры**.

Используются в методах электронной и световой микроскопии, гомофазном и твердофазном иммуноанализе, иммунохроматографии и т.п.

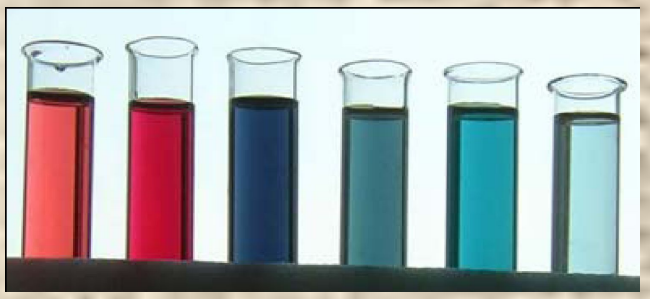
Области применения: биодиагностика и биосенсорика, визуализация и фототерапия рака и др.



Бактериальная клетка *Azospirillum brasilense*, **меченная** конъюгатом золота (15 нм) со штаммоспецифичными антителами (**электронная микроскопия**).

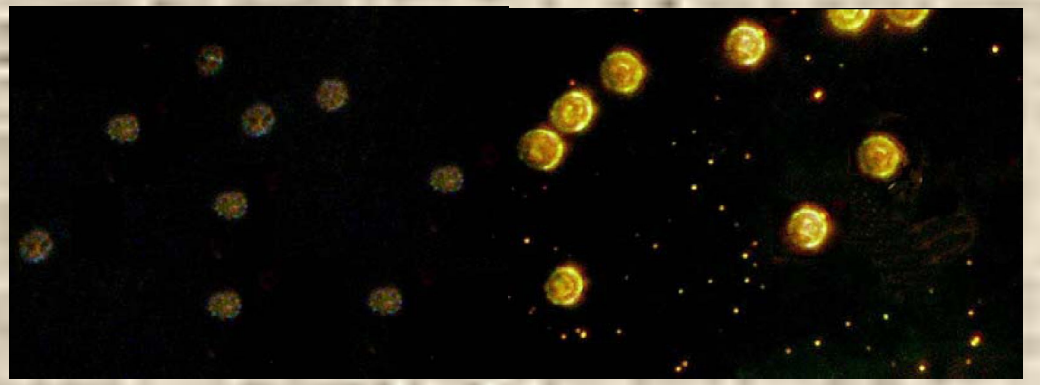


Диаметр **SiO_2 ядра** 50-100 нм, толщина **Au оболочки** 15-50 нм.



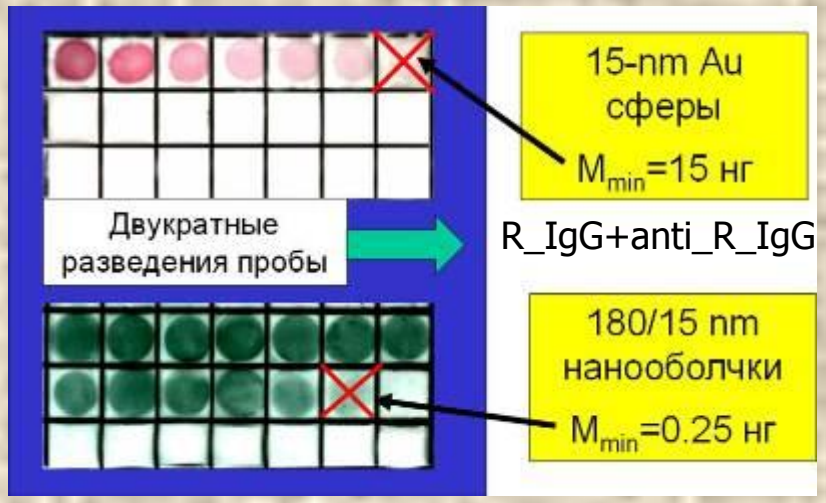
Настройка плазмонных резонансов **выбором параметров** нанооболочек.

Визуализация биоспецифических взаимодействий на поверхности клеток в **темнопольной микроскопии**.



Нативные эритроциты человека (*слева*) и те же клетки, **декорированные нанооболочками** SiO_2/Au (*справа*), диаметр ядра 70 нм, толщина оболочки 15 нм.

Резонансное рассеяние *нанооболочек* более чем на порядок **превышает** рассеяние золотых *наносфер*.



Впервые обнаружены **адъювантные свойства** коллоидного золота, что может быть использовано для **получения антител** *in vivo* против слабо иммуногенных антигенов (гаптенов), **создания вакцин** нового поколения и т.п.

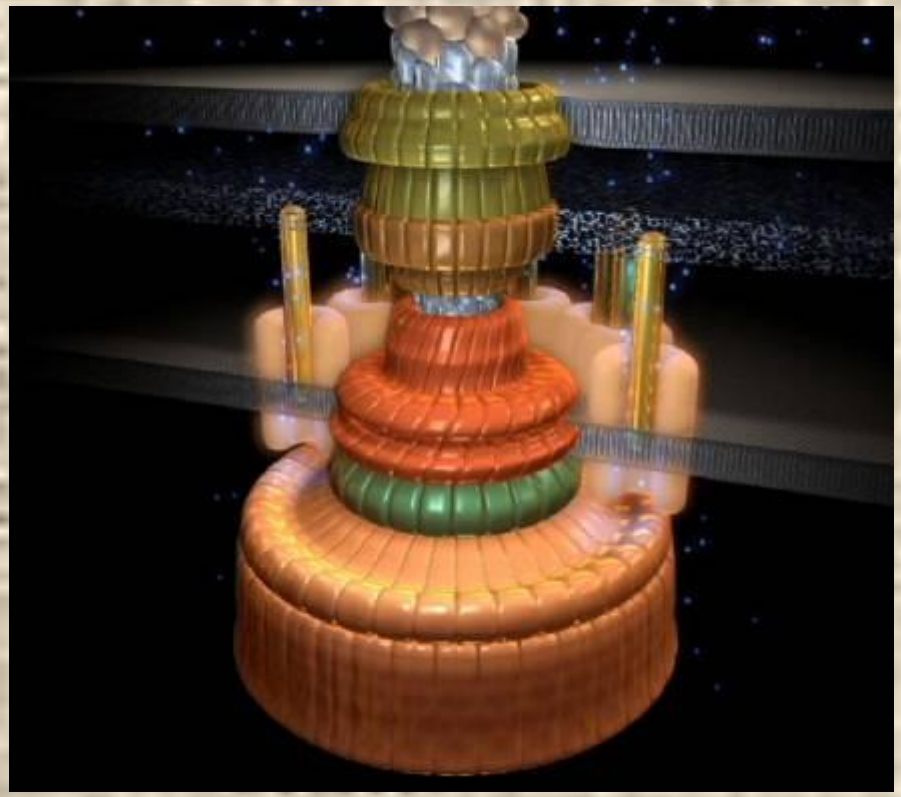
Золотые наночастицы обеспечивают **локальное поглощение** света и выделение тепла в области спектральной прозрачности биотканей, что делает возможным применение наночастиц золота для **фототерапии**, основанной на **адресном фототермолизе меток**.

Данные работы проводятся на животных с **привитыми опухолями** совместно с ФГУП НИОПИК (Москва), Московским онкологическим институтом им. П.А. Герцена, Саратовским медицинским и классическим госуниверситетами.

Проводятся исследования размерных эффектов в биораспределении частиц по органам животных, важные с точки зрения вопросов **безопасности нанобиотехнологий**.

Селективный нагрев нанооболочек ИК-лазером применяется для развития метода **современной тканевой инженерии** (совместно с ИПЛИТ РАН, проф. *Баграташвили* с сотр.). Золотые нанооболочки оказались более перспективными термосенсибилизаторами по сравнению с наночастицами углерода, ранее применявшимися для создания **трехмерных имплантантов**.

Катрин Хайес (2004): … Нанотехнологии … **не содержат** практически никаких **новых** теоретических знаний, однако **совместное рассмотрение** результатов из различных областей естественных наук в сочетании с применением самых **современных приборов** дает **синергетический эффект** и приводит к тому, что наука выходит на новый междисциплинарный уровень …



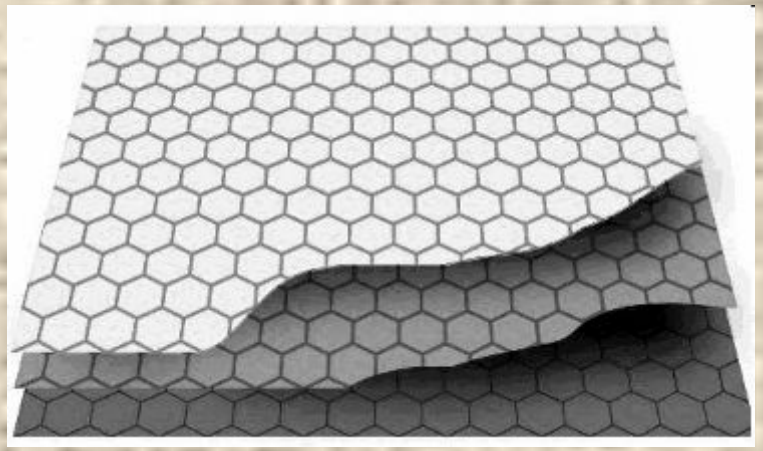
Модель наномотора бактериального жгутика.

Традиционный химический, а также биохимический и генноинженерный (и им подобный) **синтез** – важнейшие инструменты нанотехнологий.

Роланд Хоффман (Нобелевский лауреат): … Я рад тому, что для **химии** люди нашли **новое название**, и теперь у них появился стимул изучать то, что они не желали учить в школе …

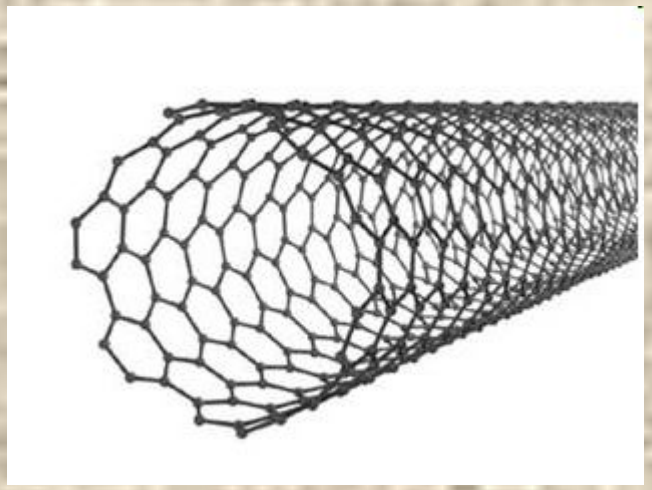
Наноструктурированные углеродсодержащие соединения

Графен - мономолекулярный решеточный слой, составленный из атомов углерода. Совокупность не связанных ковалентно слоев образует **графит**.

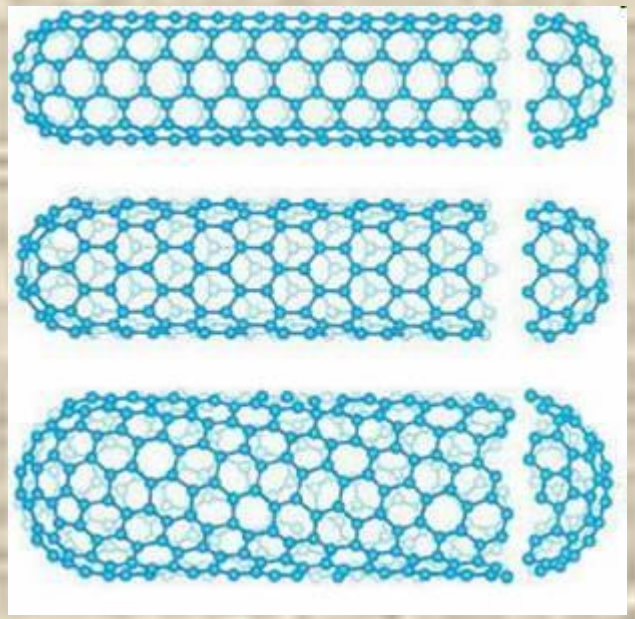


Листы графена, свернутые в цилиндр, образуют **углеродные нанотрубки (***Сумио Иидзима*, 1991). Диаметр: 0,4-100 нм; длина: 1-100 мкм.

В зависимости от **угла закручивания**, нанотрубки могут обладать высокой, как у **металлов**, проводимостью, либо приобретают свойства **полупроводников**.



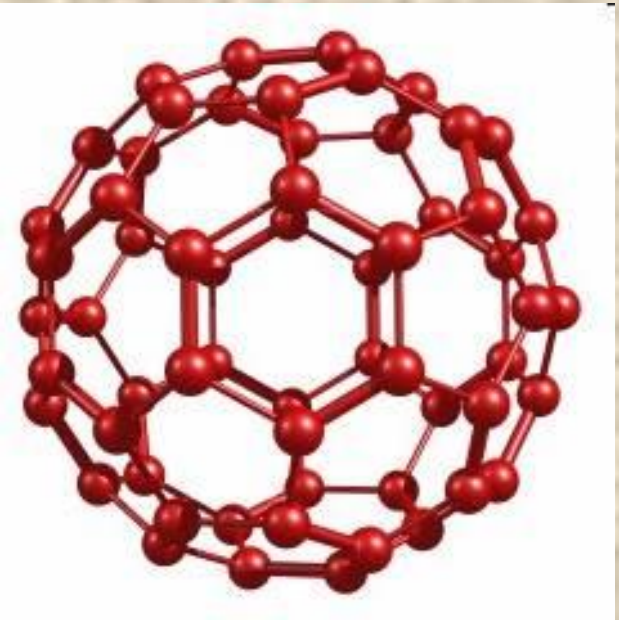
Однослойная нанотрубка



Двухслойная, прямая и спиральная нанотрубки.

При относительно малой плотности **прочность** однослойной нанотрубки **на порядок выше**, чем у стали. Многие иные **полезные свойства**.

Новое аллотропное состояние углерода - **фуллерены** (1985). Также могут рассматриваться как производные графена. Авторы – *Керл, Крото и Смолли*, Нобелевская премия, 1996 г.

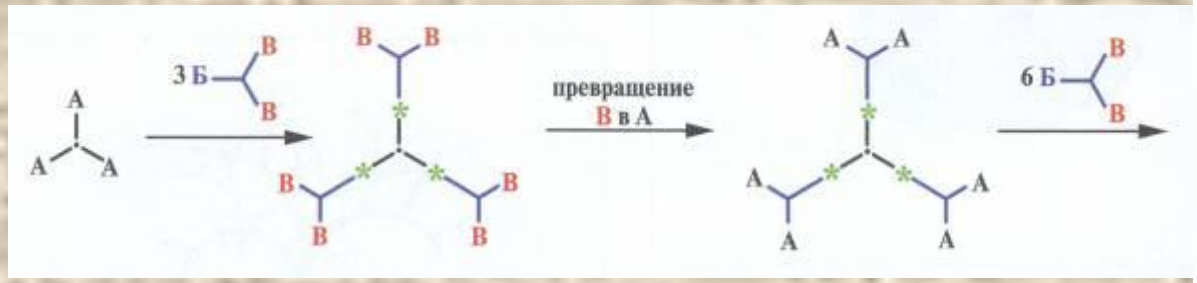


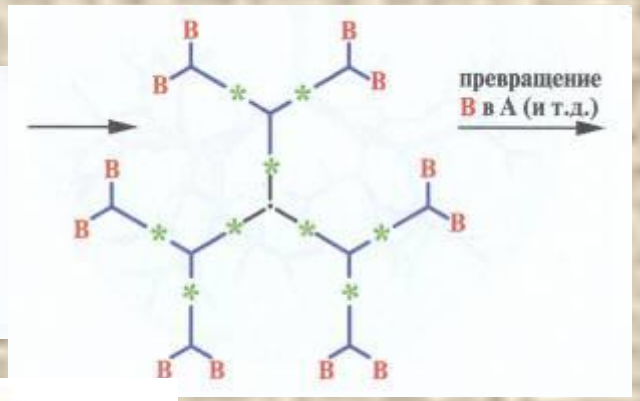
Схематическое изображение фуллерена C_{60}. Диаметр 1 нм. **Символ** нанотехнологий.

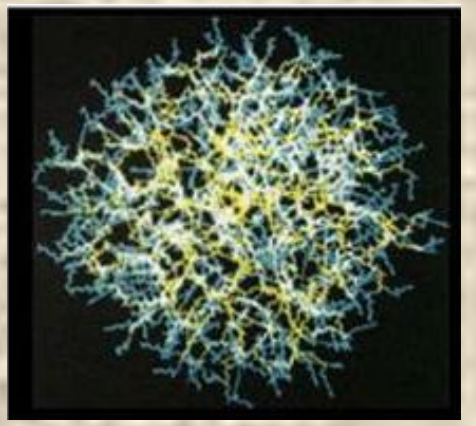
Музей «Биосфера», архитектор *Бакминстер Фуллер*, г. Монреаль, Канада.

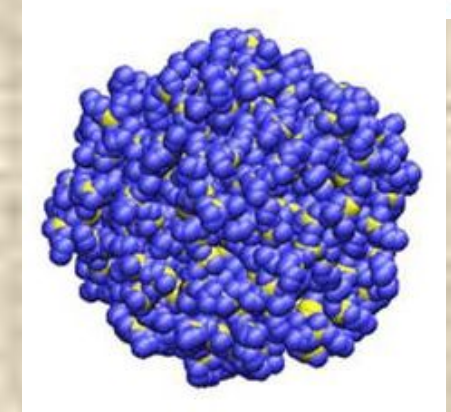
Обладают целым рядом ценных **оптических, электрических, механических** и иных свойств. Представляют интерес для наноэлектроники, техники, медицины (адресная доставка лекарств и др.). Рассматриваются как основа для синтеза искусственных алмазов, как элементы квантовых компьютеров и т.д.

Дендримеры – древообразные полимерные наноструктуры размером от 1 до 10 нм. Образуются при соединении молекул, обладающих ветвящимся строением.









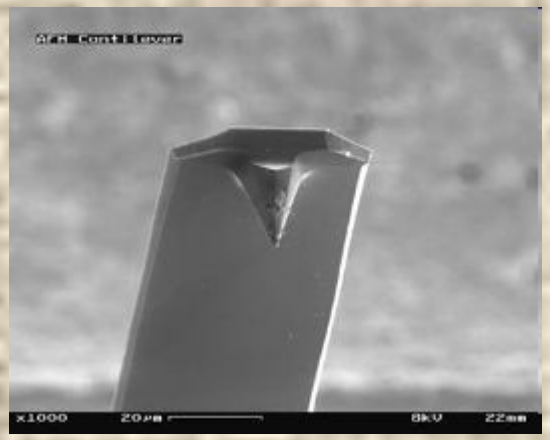
В процессе роста не происходит соединения растущих ветвей, а также исключены взаимодействия молекул друг с другом.

Дендример, синтезированнный в растворе, содержащем лекарственный препарат, становится **нанокапсулой** с оптимальным размером для **адресной доставки** данного лекарственного препарата к органам и тканям.

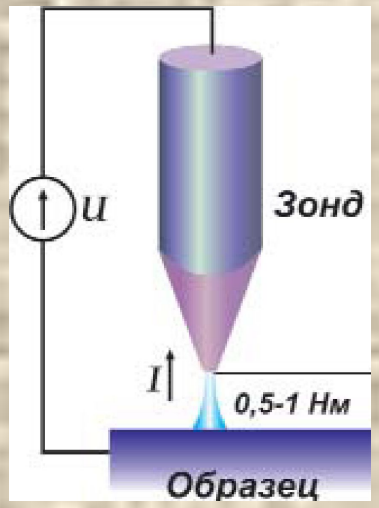
Дендримерные метки на основе гадолиния и магния используются в качестве контраста для **ЯМР томографии**, позволяя следить за миграцией в организме введенных **стволовых клеток**.

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ): *туннельный и атомно-силовой* – главные инструменты нанотехнологий.

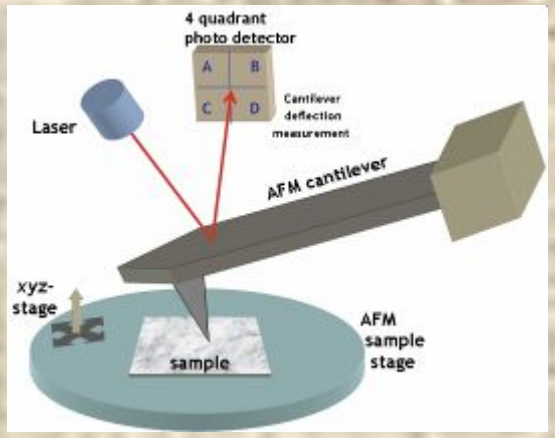
Основной элемент зондовых микроскопов – **кантилевер** сканирует поверхность с **атомарным разрешением**.



Кантилевер с **атомно-острой** иглой-зондом.



Принцип работы сканирующего **туннельного** микроскопа (СТМ).

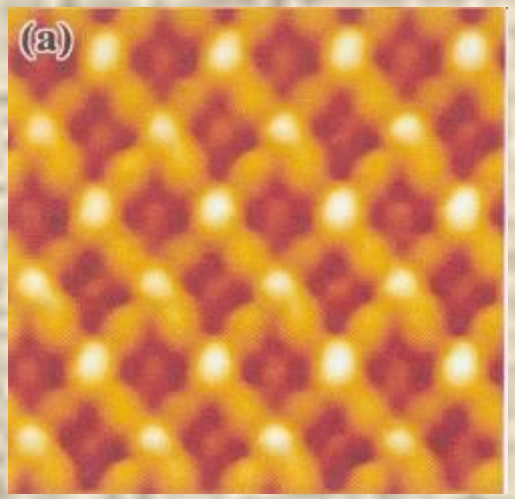


Общая схема работы сканирующего **зондового** микроскопа.

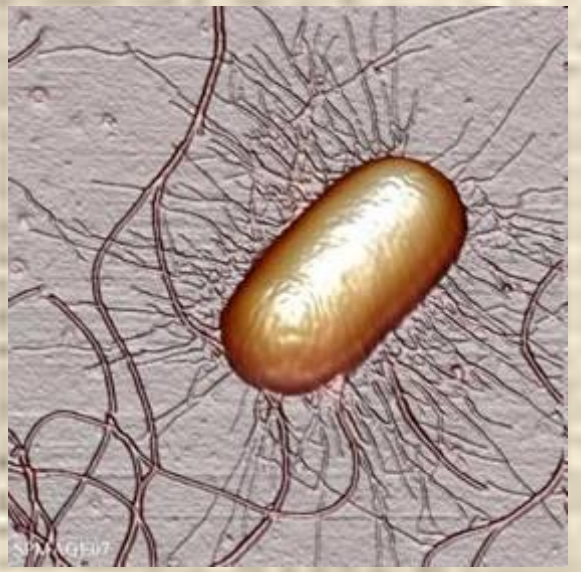
Используется туннельный эффект (**волновые свойства** электрона) – протекание тока через **диэлектрическое препятствие** между зондом и поверхностью исследуемого **проводящего** образца на расстоянии менее 0,5 нм. Нобелевская премия 1986 г. за разработку туннельного микроскопа (*Бинниг и Рорер,* IBM).

С **атомно-силовым** микроскопом (АСМ) исследуются как проводящие, так и **не проводящие** вещества (в том числе, **биообъекты**). Баланс ван-дер-ваальсовых и электростатических сил взаимодействия между зондом и поверхностью образца на малых расстояниях (порядка ангстрема).

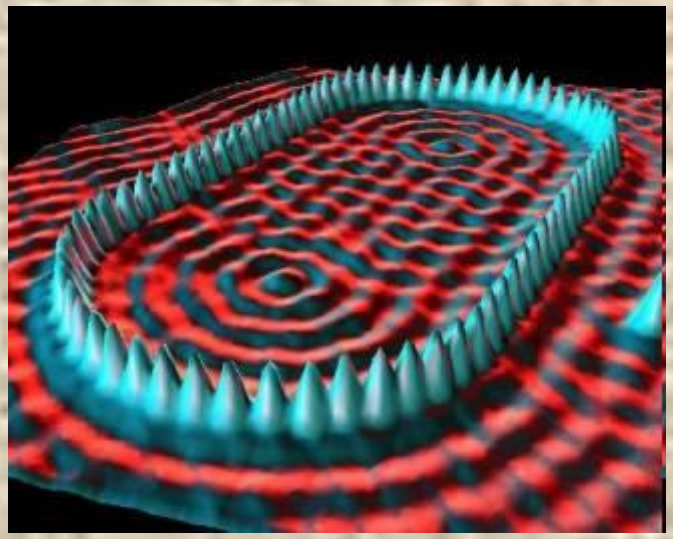
СЗМ обеспечивают **визуализацию** нанообъектов с разрешением в доли ангстрема (наблюдение расположения **единичных атомов**), а также **механическое манипулирование** атомами и молекулами.



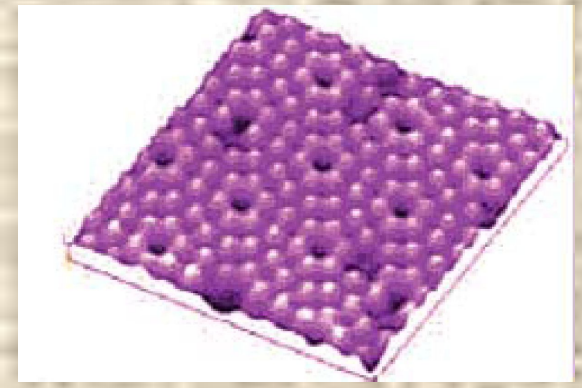
АСМ-изображение поверхности Ge/Si.



АСМ-изображение клетки *Escherichia coli*, длиной 1,9 мкм, шириной 1 мкм. Толщина жгутиков 30 нм.



Квантовый загон (co*rr*al) из атомов железа, собранный на поверхности меди с использованием СТМ (IBM, 2007) (коралл – co*r*al).



СТМ-изображение поверхности кремния.

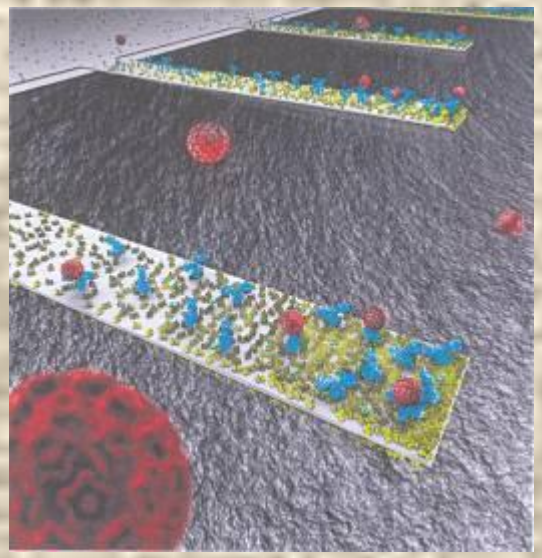
Название компании IBM, сложенное ее сотрудниками из атомов ксенона на пластинке из никеля с помощью СЗМ.

Нанобиотехнологии (наномедицина, нанофармакология, нанобиосенсоры).

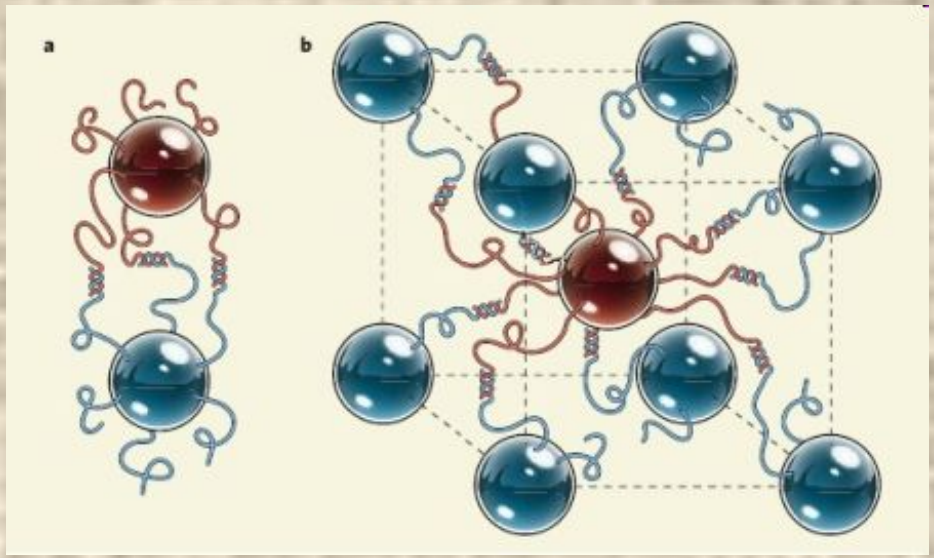
Основные направления:

1. решение традиционных (и не традиционных) медико-биологических задач с использованием природных **наноструктур** и искусственно созданных **нанообъектов**;
2. создание новых технологий получения продуктов с **заданной наноструктурой и свойствами** с использованием механизмов, действующих в живой природе.

Общая тенденция – последовательная реализация **ближайшей** (использование уникальных свойств нанообъектов) и более **отдаленной** (разработка технологий получения соединений с атомарной точностью) перспектив развития нанонауки.

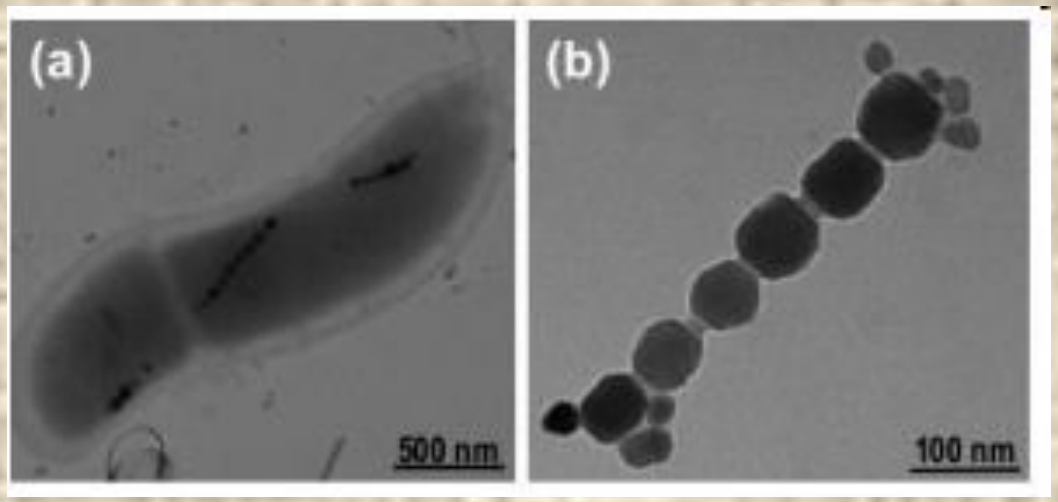


Матрица из резонансных кантиливеров (наночип) для одновременного определения **многих антигенов**.



Золотые 10 нм частицы собираются на комплементарных ДНК-лесах в наноструктуру с **кристаллической симметрией** (*Nature*, 2007).

Акад. *К.Г. Скрябин*, 2009. 5-й Московский Международный конгресс «Биотехнология».



Клетки магнетотактильных бактерий *Magnetospi-rillum magneticum* **синтезируют частицы маг-нетита** Fe_3O_4 с размером, зависящим от усло-вий культивирования бактерий.

Магнитные свойства наночастиц **существенно** зависят от их **размера**. Трудности получения механическими и химическими методами.

Применяются для **диагностики и терапии** различных заболеваний.

Определены нуклеотидные **последовательности генов** *M. magneticum*, ответственных за синтез наночастиц и разрабатывается технология их производства.

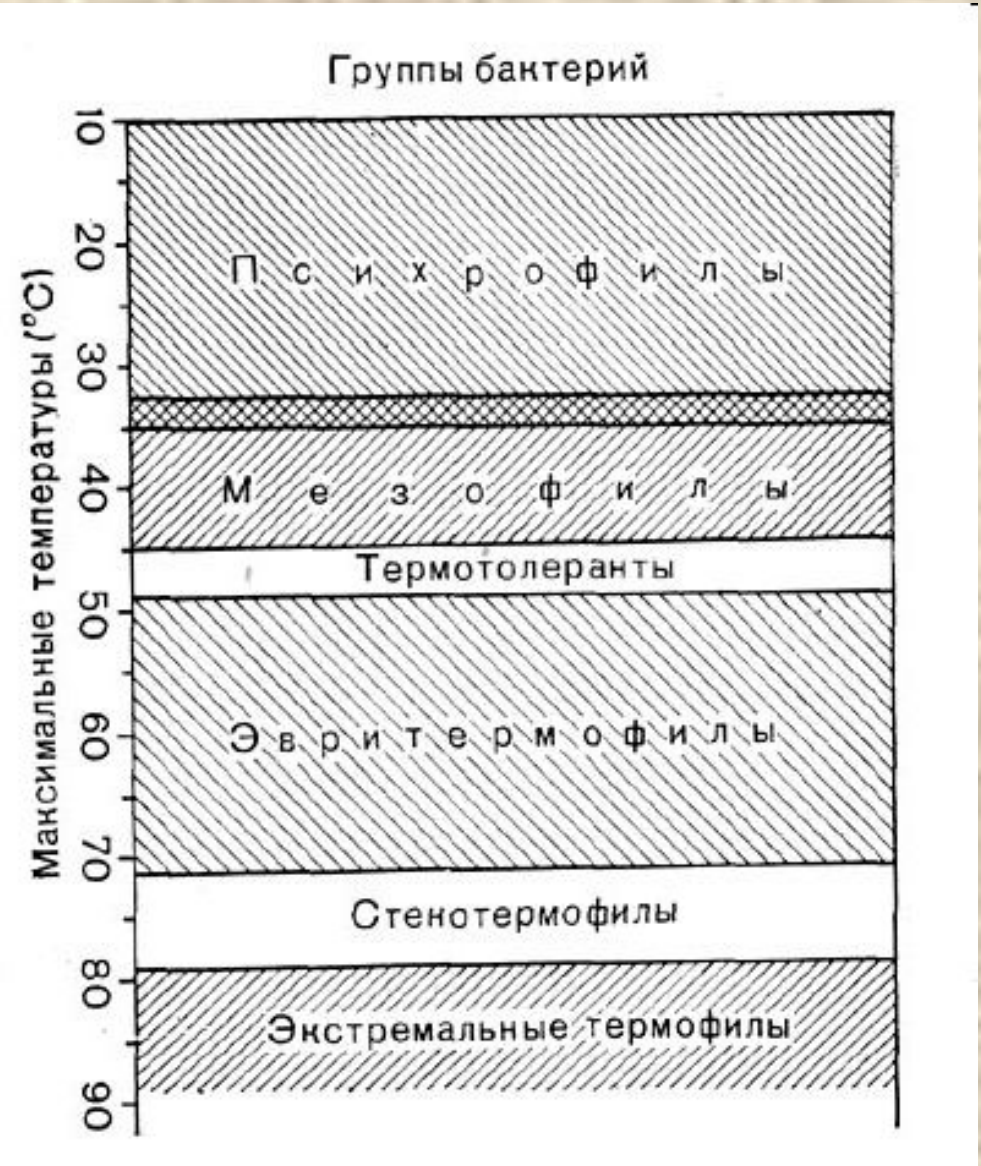
Увеличение производительности и уменьшение стоимости технологий геномного секвенирования с **уменьшением размеров** детектирующих устройств.

Геном человека ($3.4 \cdot 10^9$ нуклеотидов):

2001 г., 10^6 нм (электрофорез) – **3 млрд. долл.**, годы работы.

2008-2012 г., 10 нм (**наночипы**) – **1000 долл.**, ближайшая перспектива – **6 геномов человека в неделю** (Центр «Биоинженерия» совместно с Курчатовским научным центром РАН).

Термофильные микроорганизмы



Коллекция Института микробиологии РАН.

Центр «Биоинжененерия». **Расшифровка полных геномов** штаммов термофильных бактерий (*Скрябин*, 2008).

Общая схема : **расшифровка генома** – наработка белка – кристаллизация – **структура**. Курчатовский Центр синхротронного излучения (РСА- НСА-анализ).

Выяснение **молекулярно-генетических и структурных факторов**, определяющих термостабильность ферментных и иных молекулярных систем термофилов.

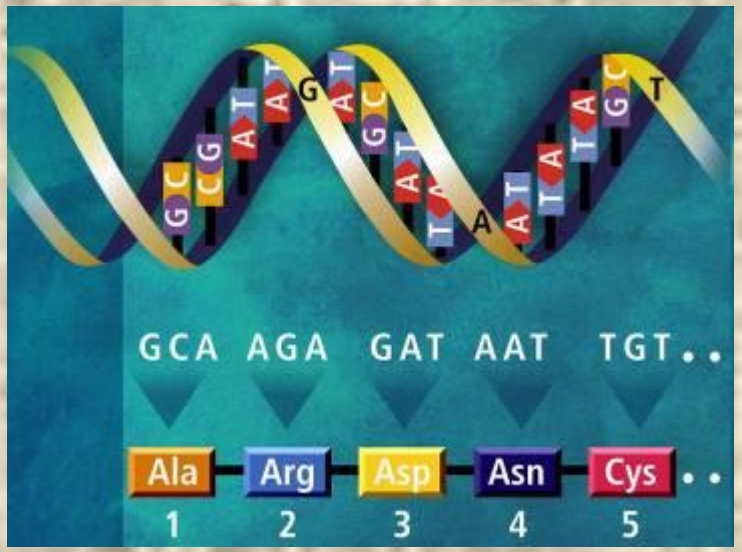
Имеются примеры успешной **замены** сложных химических технологий на **биотехнологии** с использованием микроорганизмов с измененными (**рукотворными**) генетическими программами.

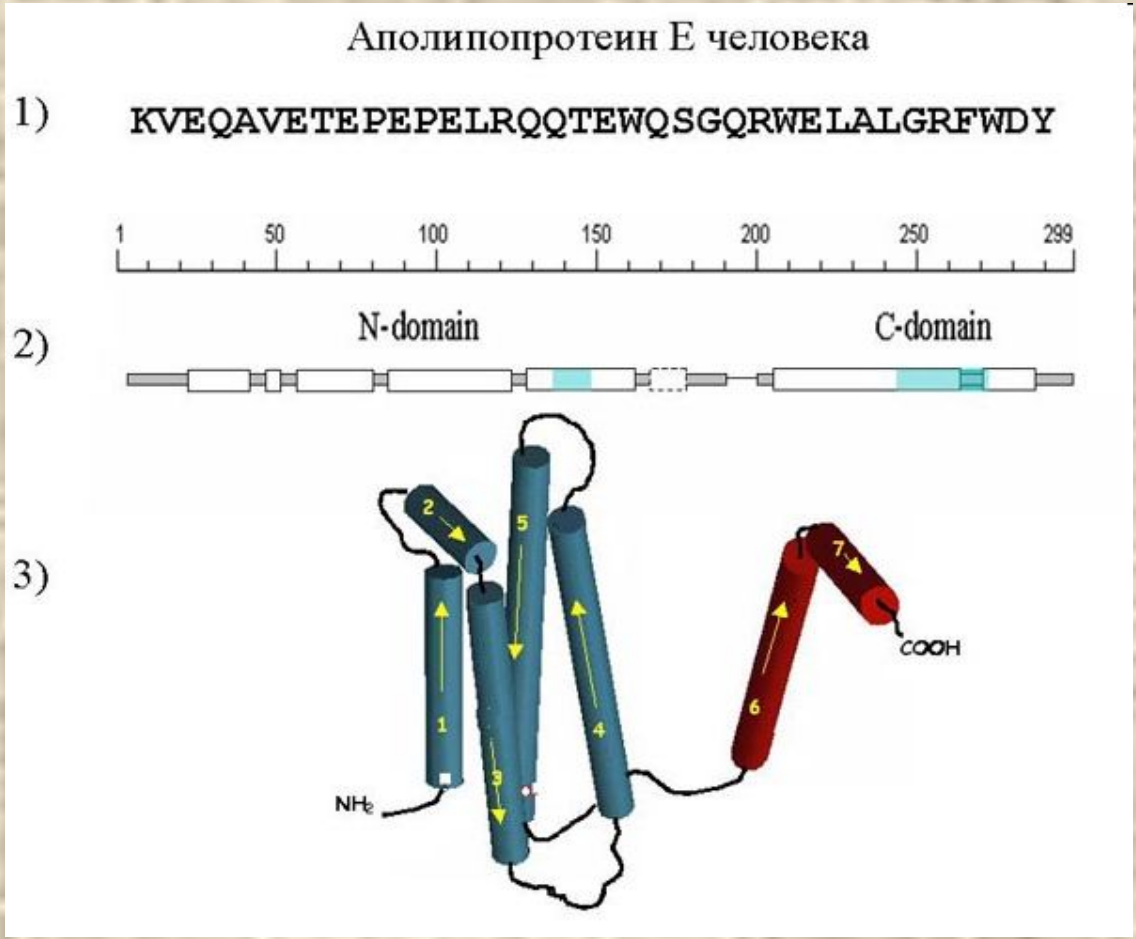
ЗАО «Биоамид» (г. Саратов). Биокатализатор для **производства акриламида**. http://www.bioamid.ru

Биоинформатика (вычислительная биология) – совокупность математических методов и алгоритмов, применяемых для исследований структуры и функций биомакромолекул с использованием **информационных баз данных** геномики и протеомики, **биология *in silico***.

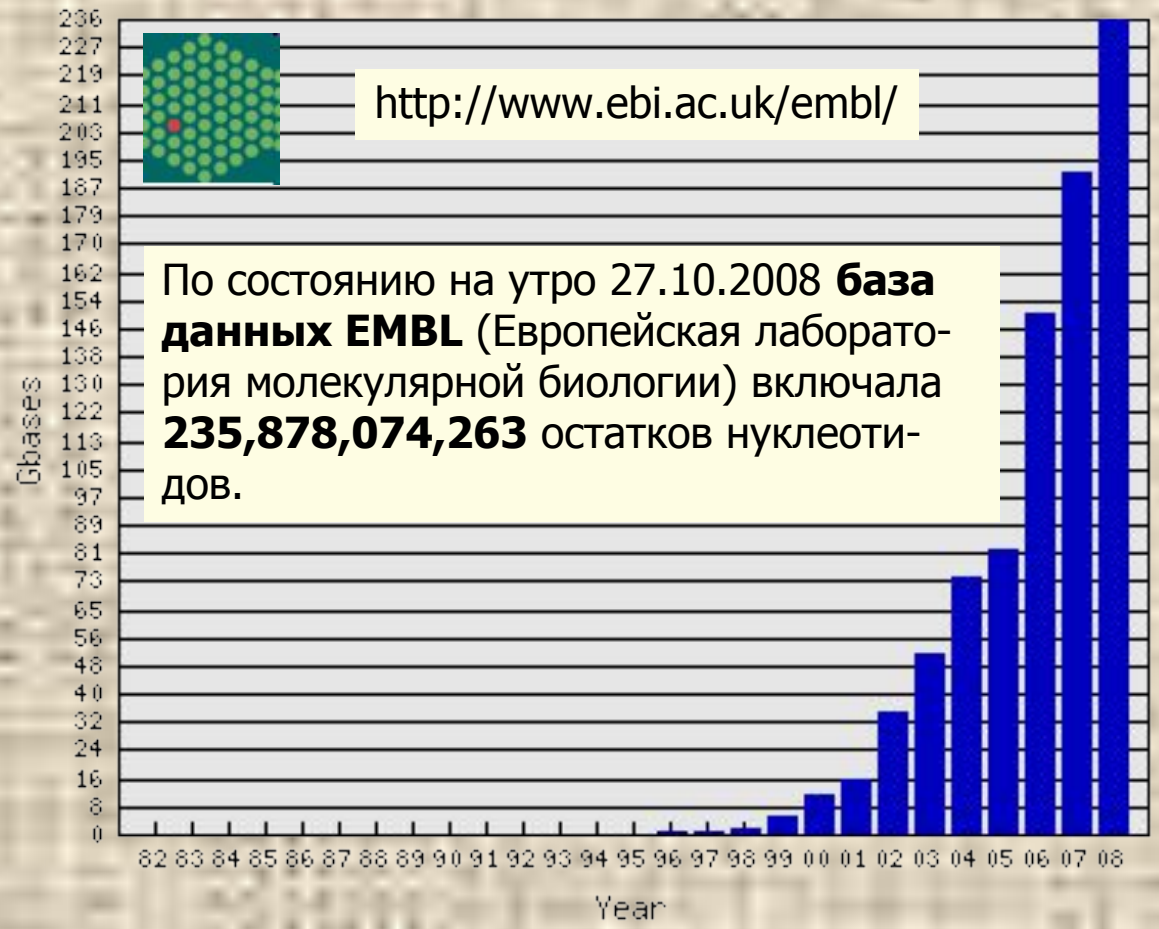
Геномика – раздел молекулярной генетики, посвященный изучению **полных наборов генов** различных организмов, сформировавшийся в ходе реализации проектов по **секвенированию** геномов (1980-1990 годы).

Протеомика – раздел молекулярной биологии, посвященный изучению **полных наборов белков** (протеомов) различных организмов и их взаимодействий в живых системах.





Базы данных генетических и белковых последовательностей в совокупности с результатами анализа структур белков, полученными методами **РС- и НС-кристаллографии и ЯМР-спектрометрии** (в **растворах** биополимеров !).



Число генов порядка 3000 (бактерии) и 30000 (человек).

Количество вариантов анализируемых биологических эффектов, практически **недостижимо** в реальном эксперименте.

Основные задачи **вычислительной геномики**:

изучение геномов, поиск кодирующих белки участков и регуляторных последовательностей;

анализ и предсказание **структуры и функций белков** по результатам сиквенса кодирующих генов или непосредственно белкового сиквенса;

анализ и предсказание **взаимодействий** молекул белка друг с другом и иными молекулами (в т.ч. **лекарствами**);

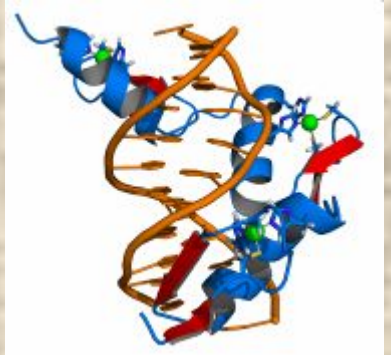
генетический анализ и моделирование **процессов эволюции**, построение филогенетических деревьев.

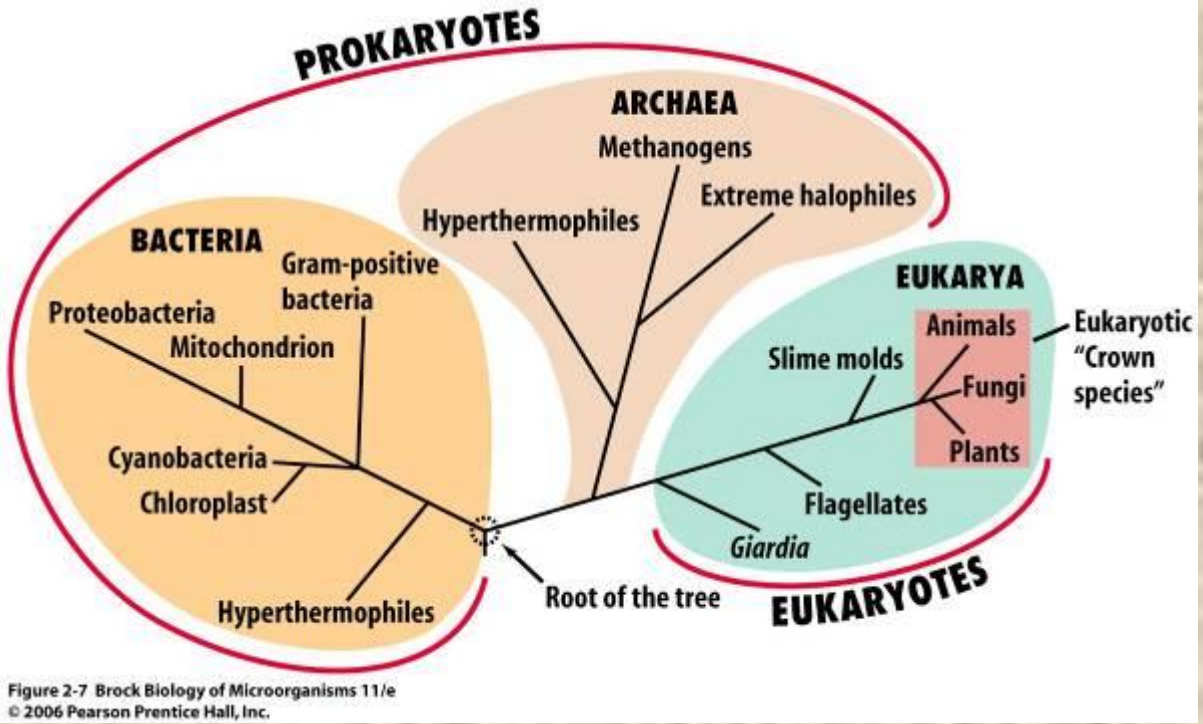
Сравнительный анализ результатов сиквенса исследуемого белка с уже имеющимися в компьютерных базах данными для **похожих** (по молекулярному тексту) белков с **известной структурой**.

```
AAB24882        TYHMCQFHCRYVNNHSGEKLYECNERSKAFSCPSHLQCHKRRQIGEKTHEHNQCGKAFPT 60
AAB24881        --------------------YECNQCGKAFAQHSSLKCHYRTHIGEKPYECNQCGKAFSK 40
                                     ****: .***:  * *:** * :****.:* *******..

AAB24882        PSHLQYHERTHTGEKPYECHQCGQAFKKCSLLQRHKRTHTGEKPYE-CNQCGKAFAQ- 116
AAB24881        HSHLQCHKRTHTGEKPYECNQCGKAFSQHGLLQRHKRTHTGEKPYMNVINMVKPLHNS 98
                 **** *:***********:***:**.: .***************    :  *.: :
```

Результат **компьютерного выравнивания** последовательностей двух цинкфингерных (ДНК-связывающих) белков.





Анализ **молекулярных последовательностей** ДНК, РНК и белков дает наиболее четкое доказательство **взаимосвязей** между биологическими видами.

Дерево жизни, построенное по результатам секвенирования **рибосомальной РНК**.

«Нанобиотехнология и наномедицина», дополнение к проекту **Национальной доктрины развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий.**

Подготовлено к заседанию Координационного совета по развитию нанотехнологий при Комитете **Совета Федерации** по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии, **декабрь 2006 г.**

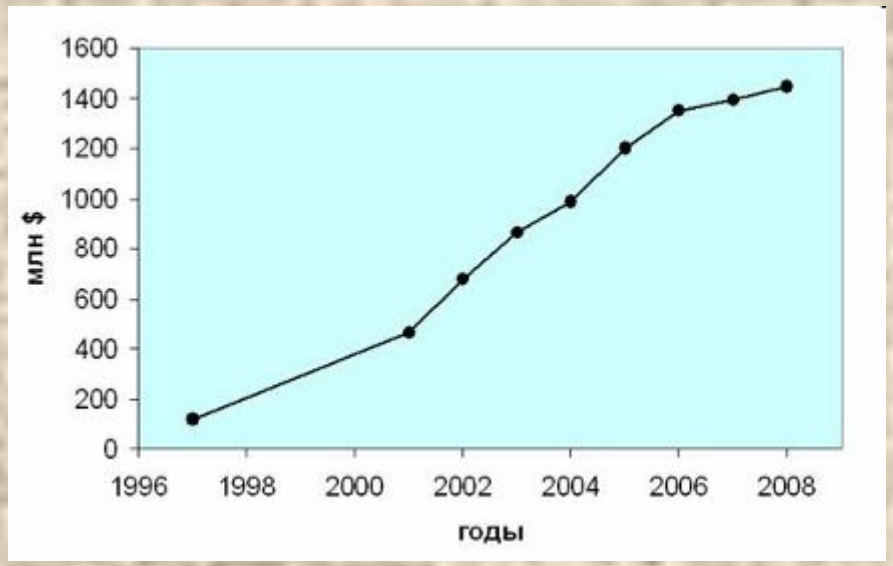
Составитель акад. *А.И. Арчаков*, директор НИИ биомедицинской химии РАМН.

Определены **основные приоритеты** развития нанобиотехнологии и наномедицины по следующим направлениям работ:

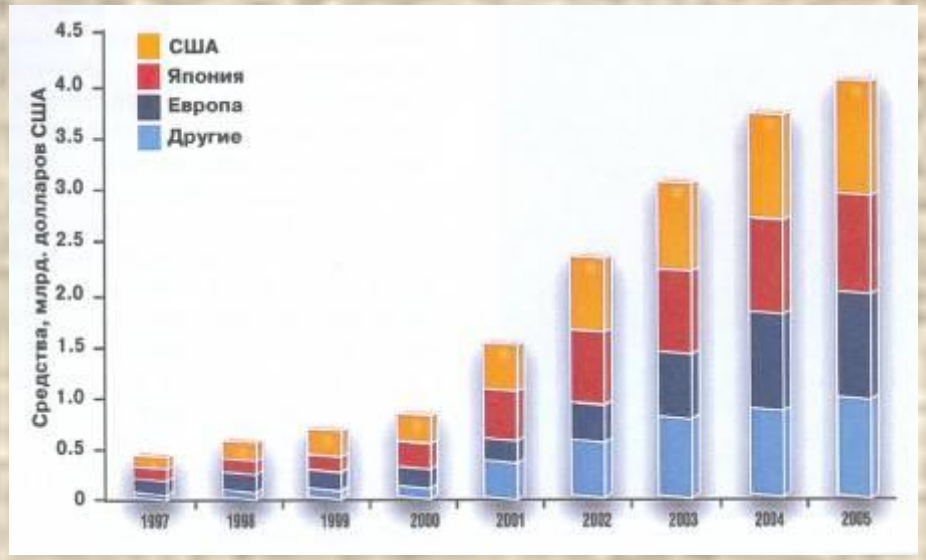
1. **биологические наночипы** для диагностики соматических и инфекционных заболеваний, в том числе для видовой идентификации возбудителей особо опасных инфекций и токсинов;
2. **наночастицы как лекарственные препараты** нового поколения, а также как контейнеры для **адресной доставки** лекарств в клетки-мишени;
3. **медицинские нанороботы**, способные устранять дефекты в организме больного человека путем управляемых нанохирургических вмешательств;
4. **молекулярные детекторы** для секвенирования генома на основе неорганических нанопор (увеличение **скорости считывания** нуклеотидных последовательностей в сотни тысяч раз);
5. **саморазмножающиеся геномы**, применимые в области биотехнологии и медицины с целью производства лекарств, проведения фармакологического скрининга и моделирования патологических процессов (теоретическая база для конструирования искусственных геномов создана в рамках исследований в области **биоинформатики** и системной биологии);
6. **биосовместимые наноматериалы** широкого спектра применения (в том числе для создания **искусственных органов**, принципиально новых типов перевязочных материалов с антимикробной, противовирусной и противовоспалительной активностью).

Инвестиции в нанонауку.

«**Когда деньги есть, то идей полна голова, а когда денег нет, то идея одна – где бы занять**» (*А.С. Макаренко*, «Педагогическая поэма»).



Годовые затраты из **госбюджета США** на развитие нанотехнологий. *National Na-notechnology Initiative*, 2000.



Затраты **разных стран** на исследования по нанотехнологиям.

Ожидаемый объем инвестиций в нанотехнологии в период **с 2006 по 2010 гг.**: *Япония* (**6 млрд.** долларов), *США* (**5,6 млрд.** долларов), страны *Евросоюза* (**4,6 млрд.** долларов).

С 2009 по 2011 годы Россия планирует инвестировать в развитие нанотехнологий около **8 млрд. долларов**. В 2007 г. была создана «Российская корпорация нанотехнологий» (**РосНаноТех**). До конца 2008 года ею запланировано инвестировать в нанотехнологические проекты около 0,6 млрд. долларов.

Нанонаука есть изучение новых свойств, эффектов и явлений, связанных с переходом к рассмотрению вещества в **нанометровых измерениях** и решением проблем получения с атомарной точностью соединений с **заданной структурой**.

«Нанотехнологии произведут такую же революцию в **манипулировании материей**, какую произвели компьютеры в **манипулировании информацией**» (*Ральф Меркле*).

Благодарю за терпение и снисхождение !