

Основы физики наноструктур

Что такое НАНО?

НАНО (греч.) – «гном», карлик



НАНО – одна миллиардная часть метра

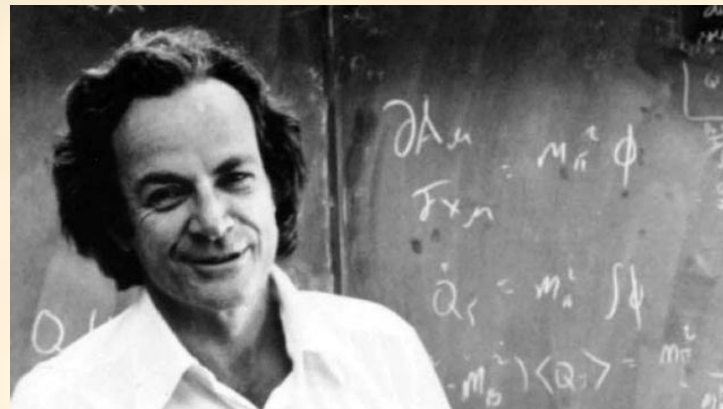
$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

История термина

«There's Plenty of Room at The Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics»

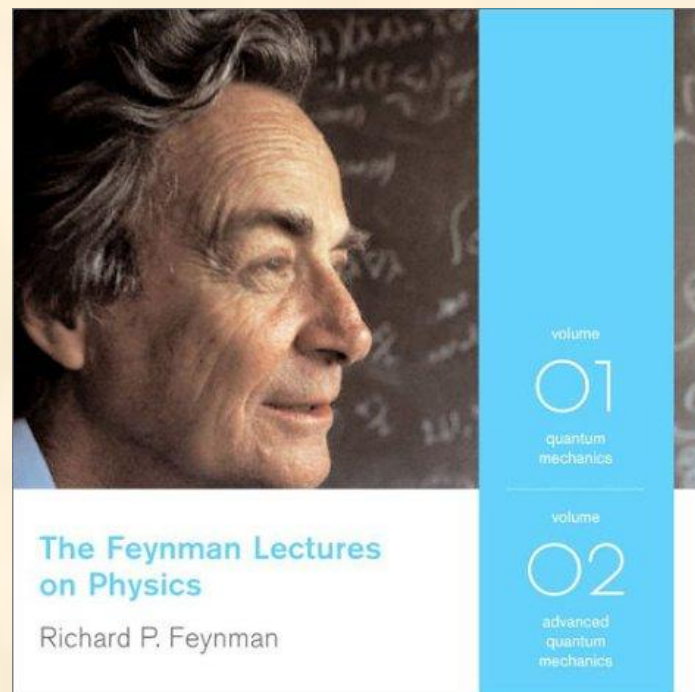
*(«Там внизу много места: приглашение
в новый мир физики»)*

Речь, произнесённая на рождественском обеде
Американского физического общества
29 декабря 1959 года.



**Ричард Фейнман
(1918-1988)**

«Мне хочется обсудить одну малоизученную область физики, которая представляется весьма важной и перспективной и может найти множество ценных технических применений... 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 серьёзно к исследованиям этого мира»



Лекции Фейнмана, записанные вначале на магнитофон, а затем «переведенные» на «письменный английский» профессорами М.Сэндсом и Р.Лейтоном, не похожи ни на один известный курс.

Они отличаются оригинальным методом изложения, в котором отразилась яркая научная индивидуальность автора, его точка зрения на пути обучения студентов физике, его умение заразить читателей интересом к науке.

«Дедушка нанотехнологий»

В декабре 1959 г. Р. Фейнман из своих личных средств учредил две премии по \$1000 за практическое осуществление двух задач «управления строением вещества в интервале очень малых размеров», которые казались ему осуществимыми только в отдалённом будущем:

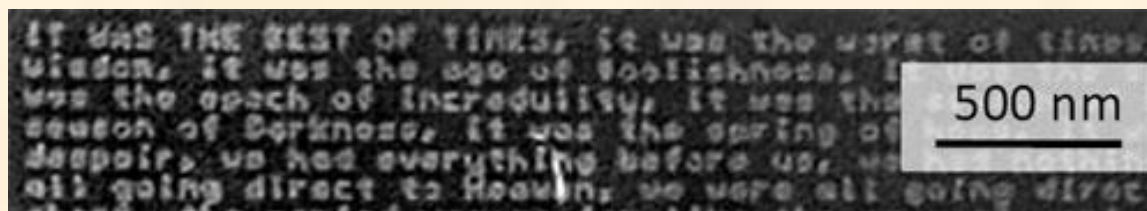
- Сделать работающий электромотор, размещающийся в кубе со стороной 1/64 дюйма ($\approx 0.4 \text{ mm}$)
- «Разместить Британскую Энциклопедию на булавочной головке», то есть, записать текст шрифтом, уменьшенным в 25 000 раз.

Менее чем через год, **первую премию Фейнмана** получил физик МакЛеллан (McLellan) из Университета Калифорнии. Работая во время обеденных перерывов, и используя обычный микроскоп, инструменты часовщика и зубочистки, за 2,5 месяца он собрал электромотор из 13 частей, массой 250 микрограмм и со скоростью вращения 2000 об/мин.



«Дедушка нанотехнологий»

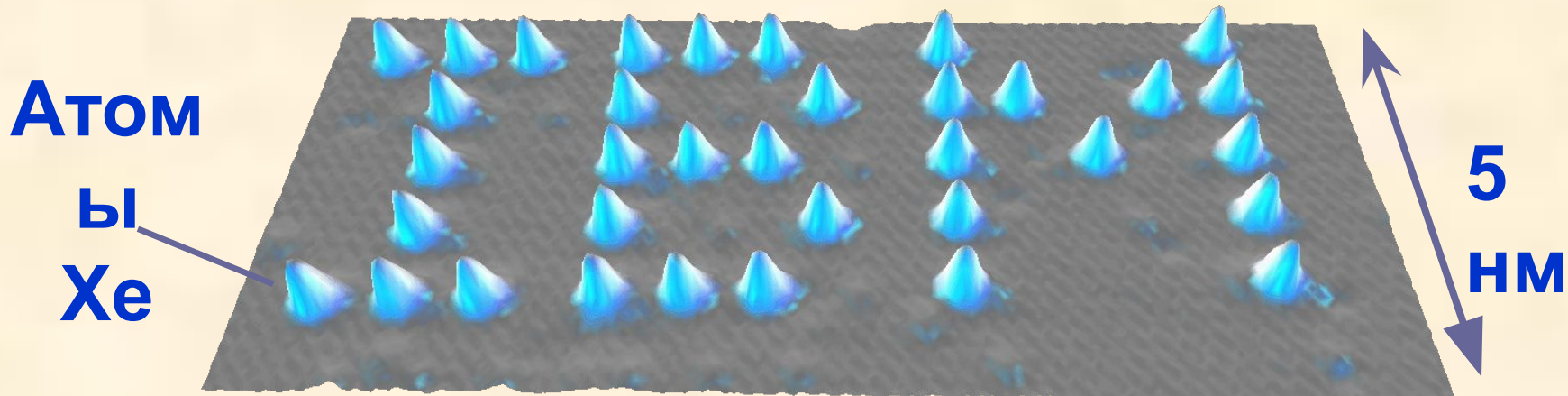
В 1985 году вторую премию получил Томас Ньюман из Университета Стэнфорда за требовавшееся уменьшение размеров печатного шрифта.



Первая страница романа Ч. Диккенса «Повесть о двух городах»
(запись электронным пучком)

«Дедушка нанотехнологий»

«И наконец, рискну предложить еще одну идею (рассчитанную, возможно, лишь на очень далекое будущее), которая мне представляется исключительно интересной. Речь идет о возможности располагать атомы в требуемом порядке — именно атомы, самые мелкие строительные детали нашего мира!»
(Фейнман, 1959 год)



D.M. Eigler, E.K. Schweizer. **Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope.** *Nature* 344, 524-526 (1990).

«Нанотехнология» - это производственная высокоточная технология получения структур с очень маленькими размерами, т.е. в основе этой технологии лежат высокая точность и размеры порядка 1 нм (нанометр, 10^{-9} м) в длину (статья «Об основных принципах нанотехнологий», 1974 год).

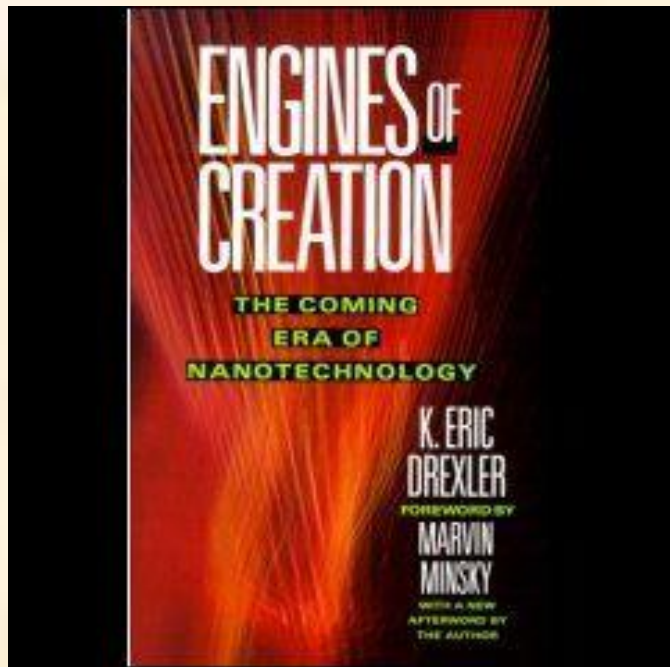


Норио
Танигучи

Свой термин Танигучи относил прежде всего к допускам обработки макроскопических объектов и материалов. По сути, в его трактовке нанотехнологии сводились к доведению до молекулярного совершенства существующих принципов механической обработки материалов.

Эрик Дрекслер (Eric Drexler)

Первая книга по
нанотехнологиям (1986 г.)



Машины создания: грядущая эра нанотехнологии

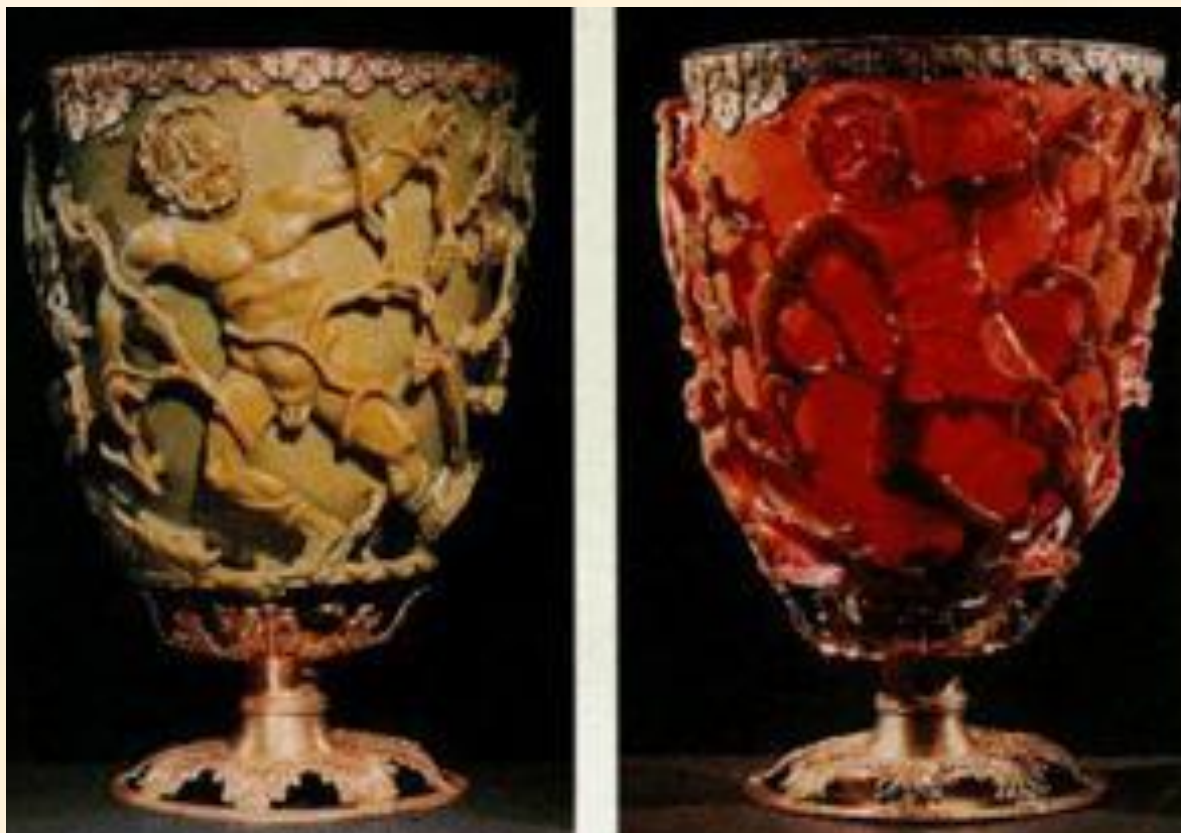
1955 г.р.

В 1991 году Эрик Дрекслер защитил первую в истории диссертацию (PhD), по нанотехнологиям

Э.Декслер: *Нанороботы, запрограммированные на самопроизводство, способны поглотить всю существующую биомассу и материю, превратив её в «серую слизь»*

Р.Смолли: *Наноробот, способный мультиплицироваться со скоростью 1 млн. атомов в секунду, нужно 20 млн. лет, чтобы накопить несколько десятков грамм продуктов саморазмножения при огромных энергетических затратах*

Нанотехнологии в древности



**“Кубок Ликурга”
изготовлен
римлянами
В 4 веке н.э.**

**Кубок меняет цвет при освещении изнутри.
Этот эффект создают наночастицы золота и серебра
размером порядка 70 нм..**

Нанотехнологии в Средние века



Яркие витражи (начиная с 6-го века) создавались не с помощью красок, а с помощью наночастиц благородных металлов, обеспечивающих яркость и долговечность

Дамасская сталь (около 1000 г н.э.)

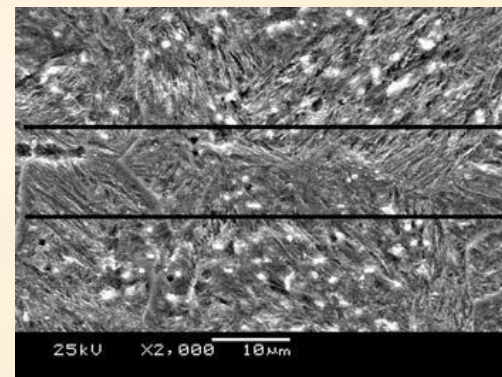
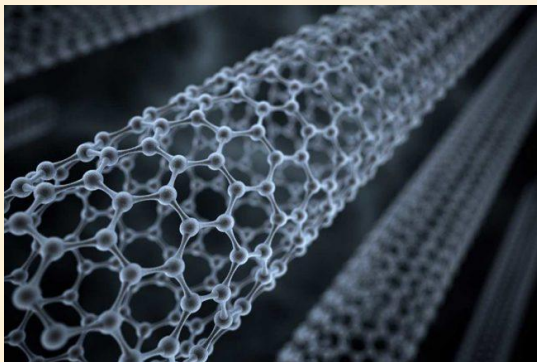
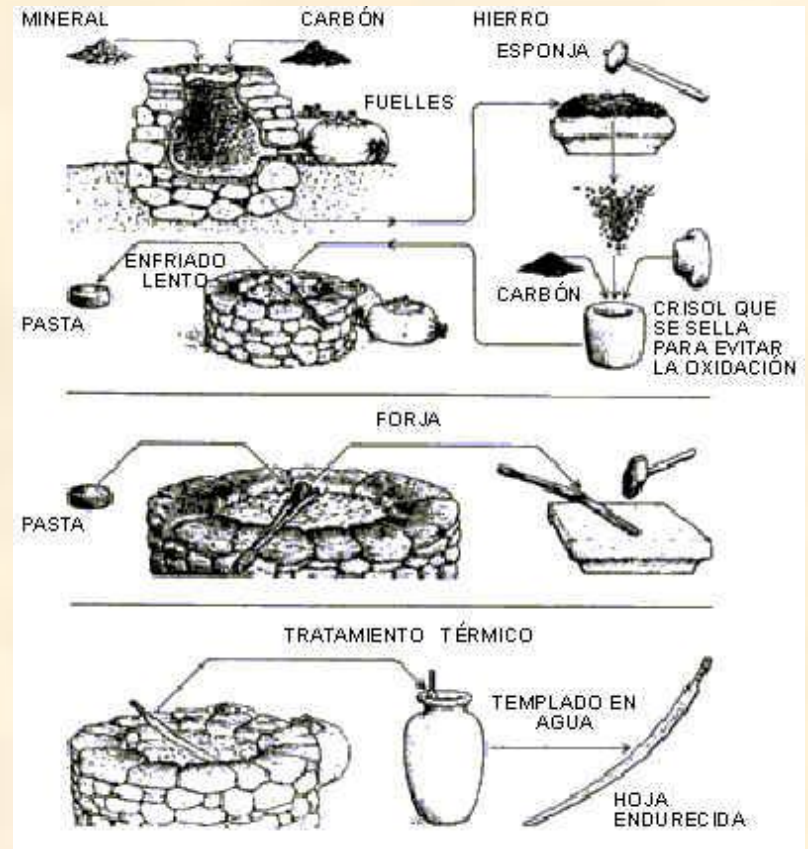


Knifemaker - J. Nelson - J.O.

Image - Chuck Ward Photography

**Дамасская сталь содержит
углеродные нанотрубки**

Reibold M., et al. Nature **444** 286 (2006)



Picture 1

Нанокolloиды

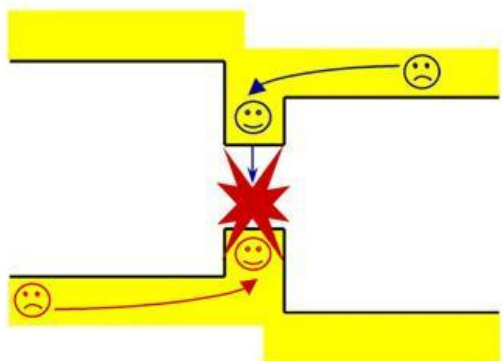


Все цвета радуги можно получить при рассеянии света нанокolloидами с различными размерами частиц.

Впервые обнаружил Майкл Фарадей в 1857 году.

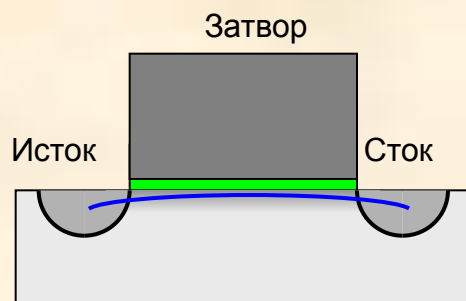
Нанотехнологии в компьютере

Quantum Well Laser



Квантовая
ямка
6 нм

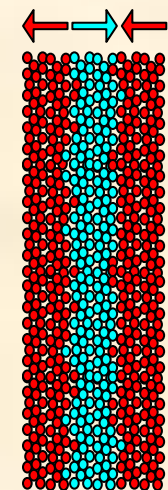
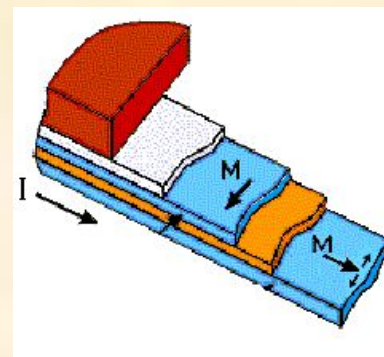
Транзистор



Оксидный
слой
4 нм

Жесткий диск

Сенсор
Среда



Чувствительный
слой
5 нм

Магнитные
зерна
10 нм

Биологические объекты

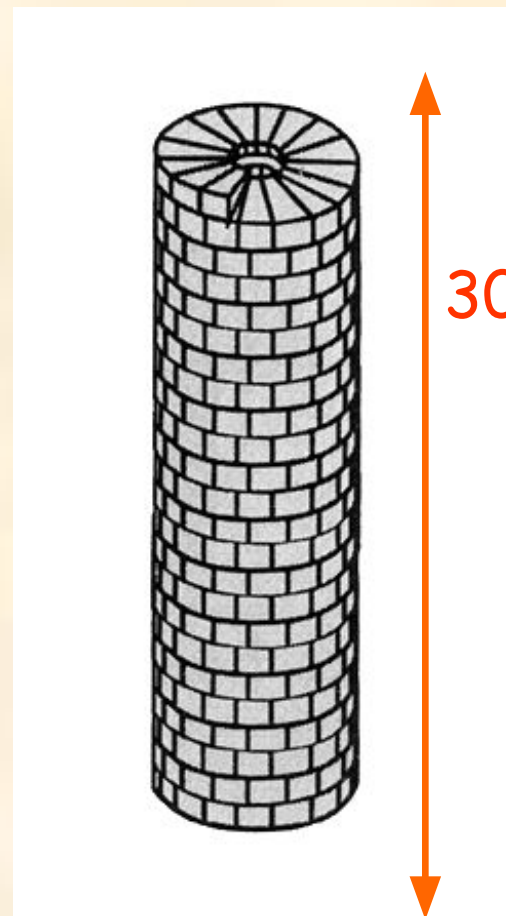
ДНК



3,4 нм

2 нм

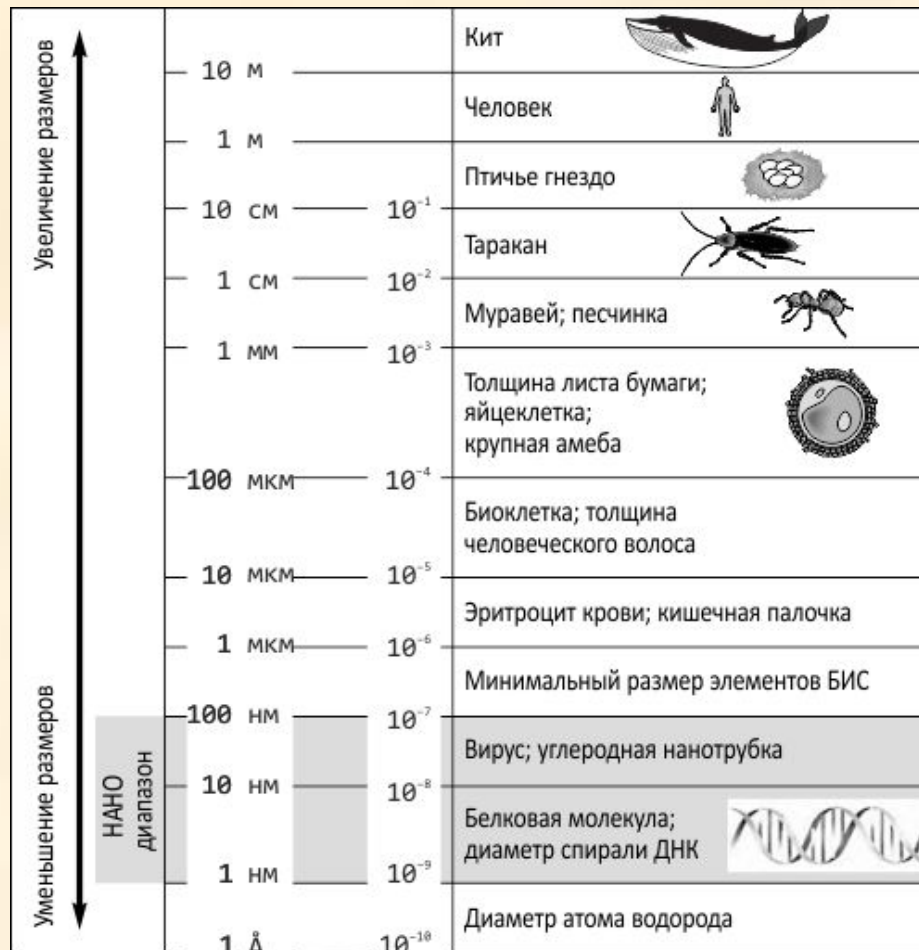
Вирус



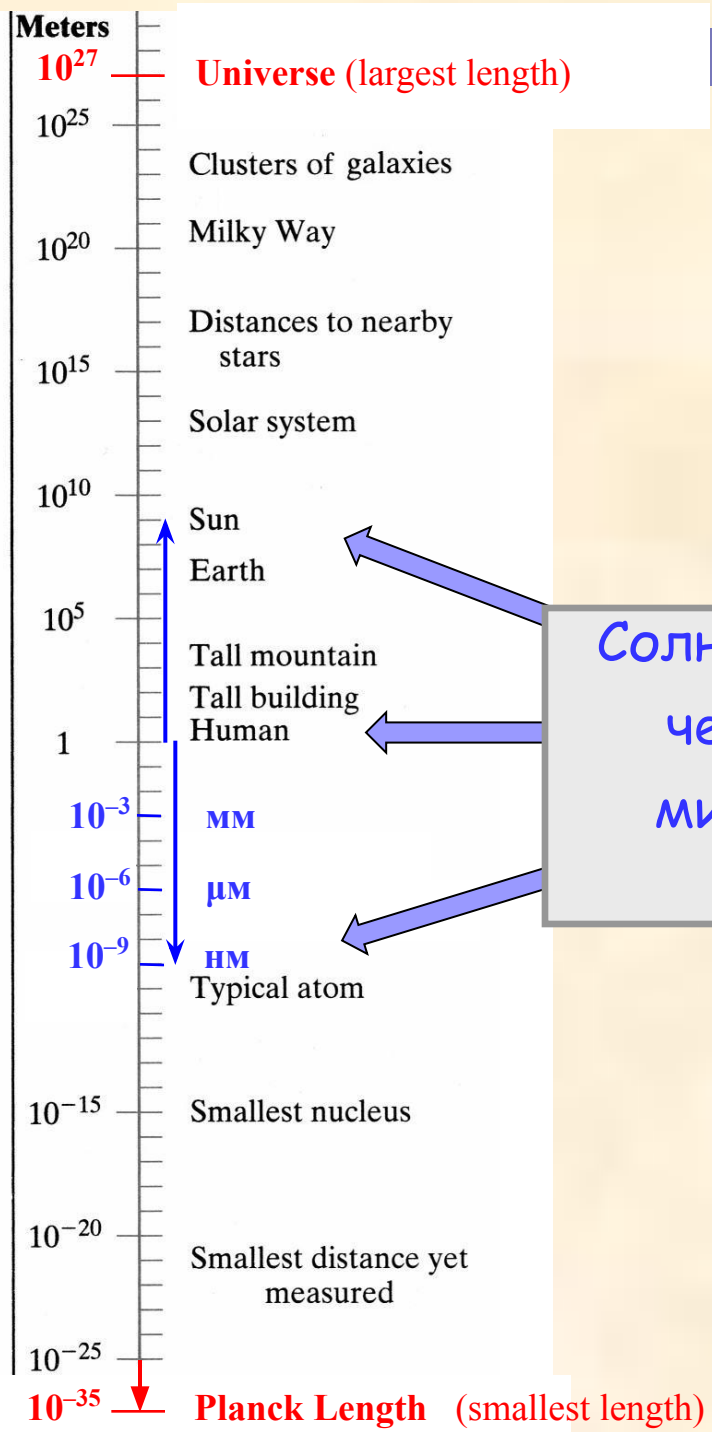
300 нм

18 нм

Нанообъекты в окружающем мире

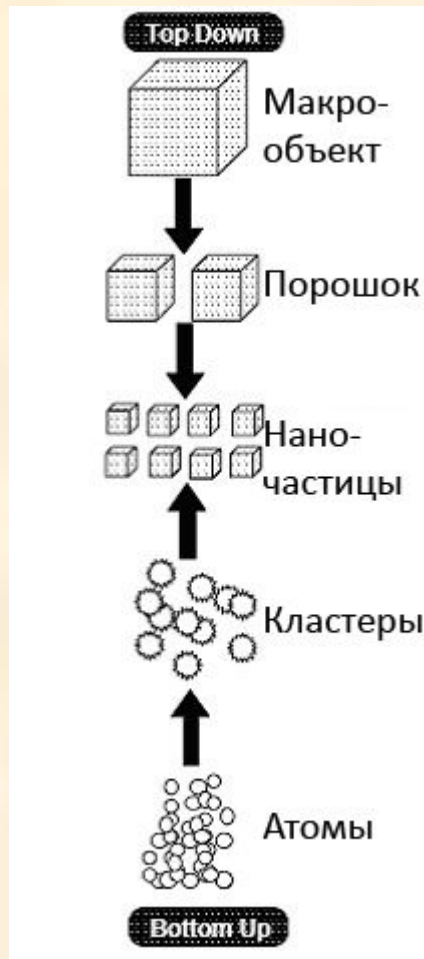


Из книги Наоя Кобаяси «Введение в нанотехнологию»



Солнце в миллиард раз больше чем человек, а нанометр в миллиард раз меньше, чем человек

Схема построения наноструктур «сверху-вниз» и «снизу-вверх»



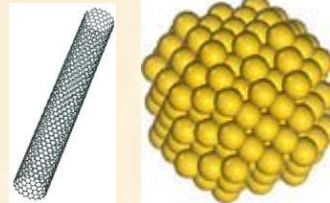
Какие объекты могут считаться наноструктурами?

- ✓ Размер меньше 100 нм по одному измерению
- ✓ Появление новых свойств по сравнению с объёмными объектами, сделанными из того же материала
- ✓ Наличие квантовых эффектов
- ✓ Наличие коллективных эффектов
- ✓ Самоорганизация и самосборка

Микро

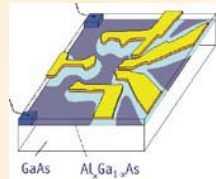
Ядра
Атомы
Малые
молекулы

Нано



Макро

Жидкости
Кристаллы
Стекла

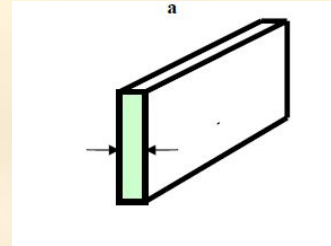


Классификация наноструктур по размерности

Движение электронов ограничено в:

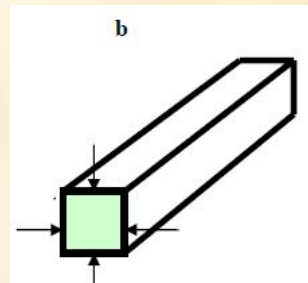
1 направлении: Квантовые ямы (Quantum well) и тонкие пленки

«Двумерные электроны»



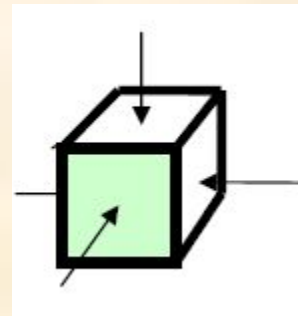
2 направления: Квантовые проволоки (Quantum wire)

«Одномерные электроны»



3 направления: Квантовые точки (Quantum dot)

«Нульмерные электроны»



Изображения (слева направо) квантовой нити, квантовой точки CdS в SiO₂, квантовой точки InAs в GaAs, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа

