Основы физики наноструктур

Что такое НАНО?

НАНО (греч.)– «гном», карлик

НАНО – одна миллиардная часть метра

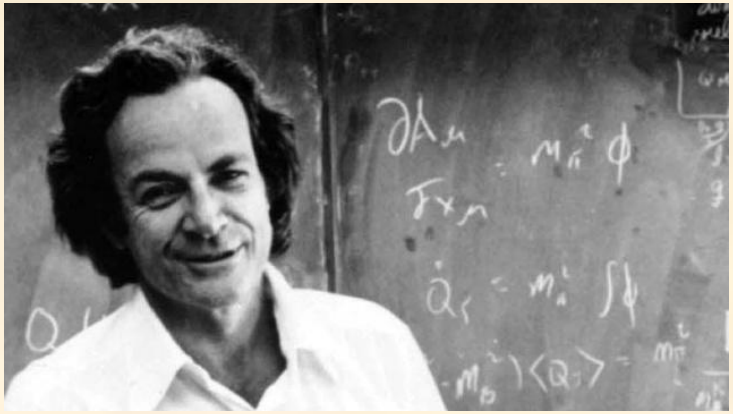
$$1\ \text{нм} = 10^{-9}\ \text{м}$$

История термина

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

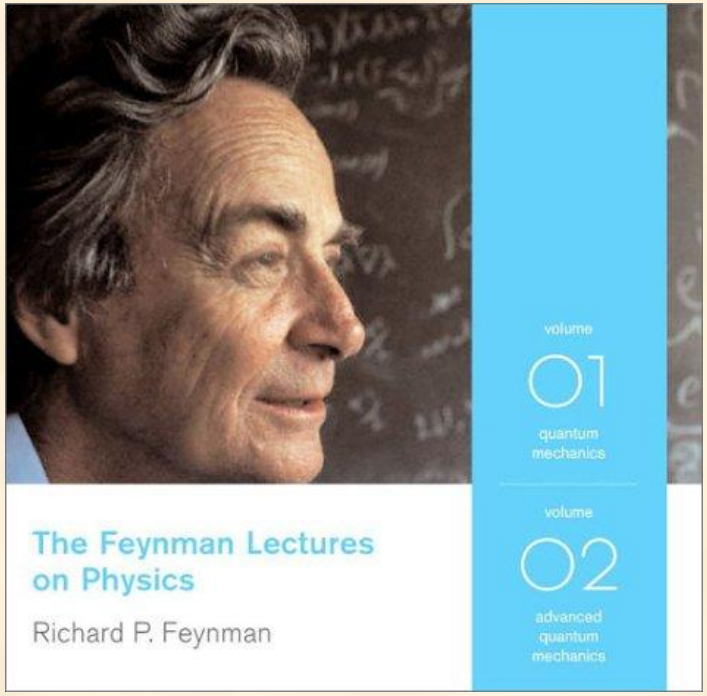
(*«Там внизу много места: приглашение в новый мир физики»*)

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.

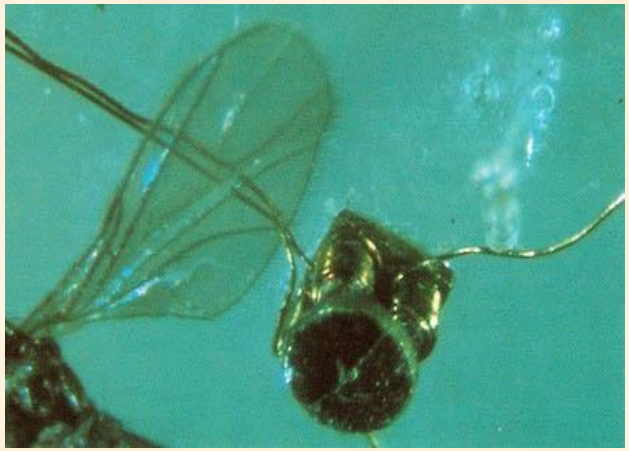
Они отличаются оригинальным методом изложения, в котором отразилась яркая научная индивидуальность автора, его точка зрения на пути обучения студентов физике, его умение заразить читателей интересом к науке.

«Дедушка нанотехнологий»

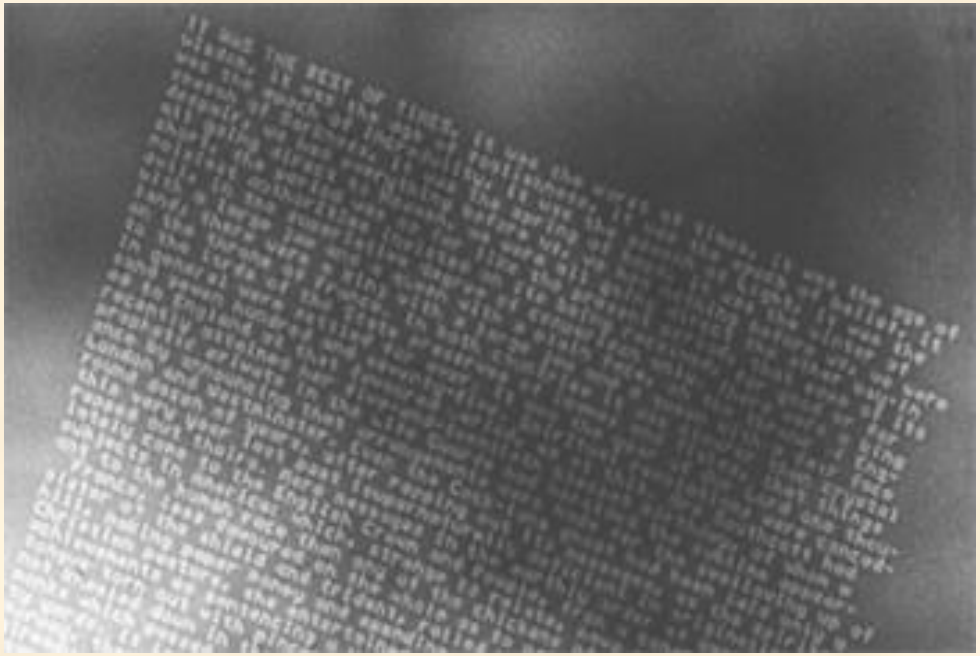
В декабре 1959 г. Р. Фейнман из своих личных средств учредил две премии по $1000 за практическое осуществление двух задач «управления строением вещества в интервале очень малых размеров», которые казались ему осуществимыми только в отдалённом будущем:

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

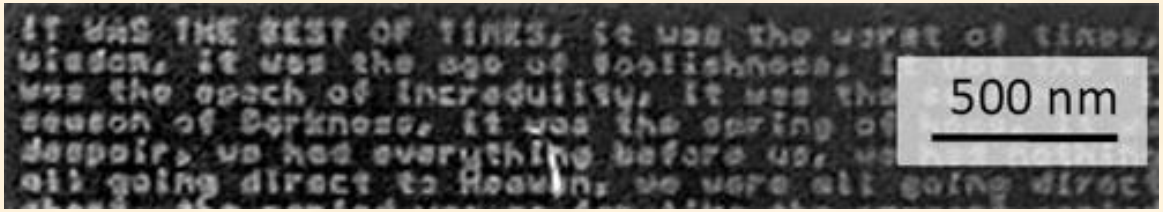
Менее чем через год, ***первую премию Фейнмана*** получил физик МакЛеллан (McLellan) из Университета Калифорнии. Работая во время обеденных перерывов, и используя обычный микроскоп, инструменты часовщика и зубочистки, за 2,5 месяца он собрал электромотор из 13 частей, массой 250 микрограмм и со скоростью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



«Дедушка нанотехнологий»



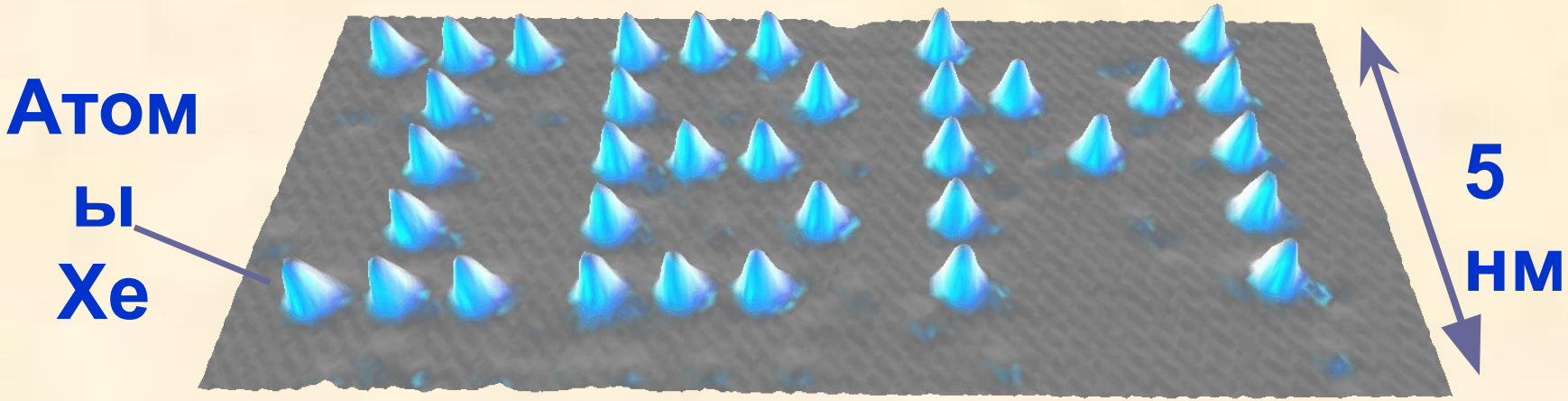
В 1985 году вторую премию получил Томас Ньюман из Университета Стэнфорда за требовавшееся уменьшение размеров печатного шрифта.



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).

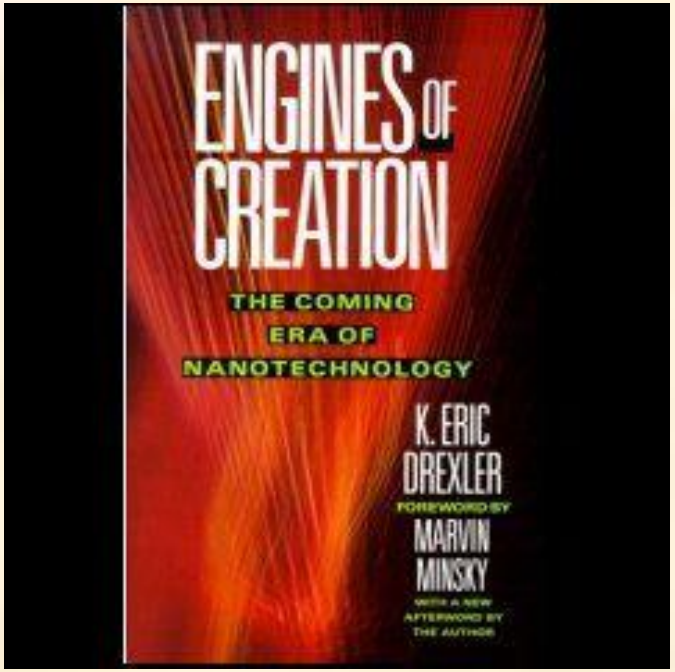
«*Нанотехнология*» - это производственная высокоточная технология получения структур с очень маленькими размерами, т.е. в основе этой технологии лежат высокая точность и размеры порядка 1 нм (нанометр, 10^{-9} м) в длину *(статья «Об основных принципах нанотехнологий»,1974 год).*

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

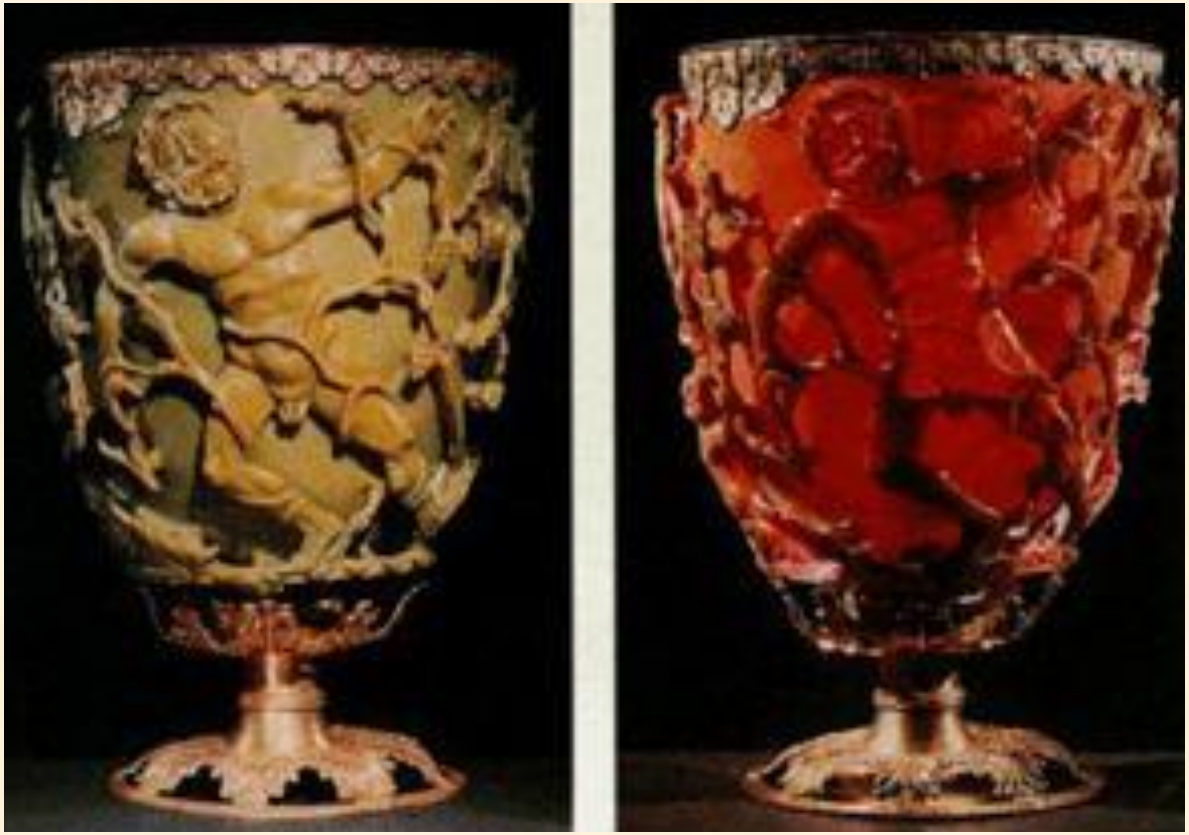
1955 г.р.

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



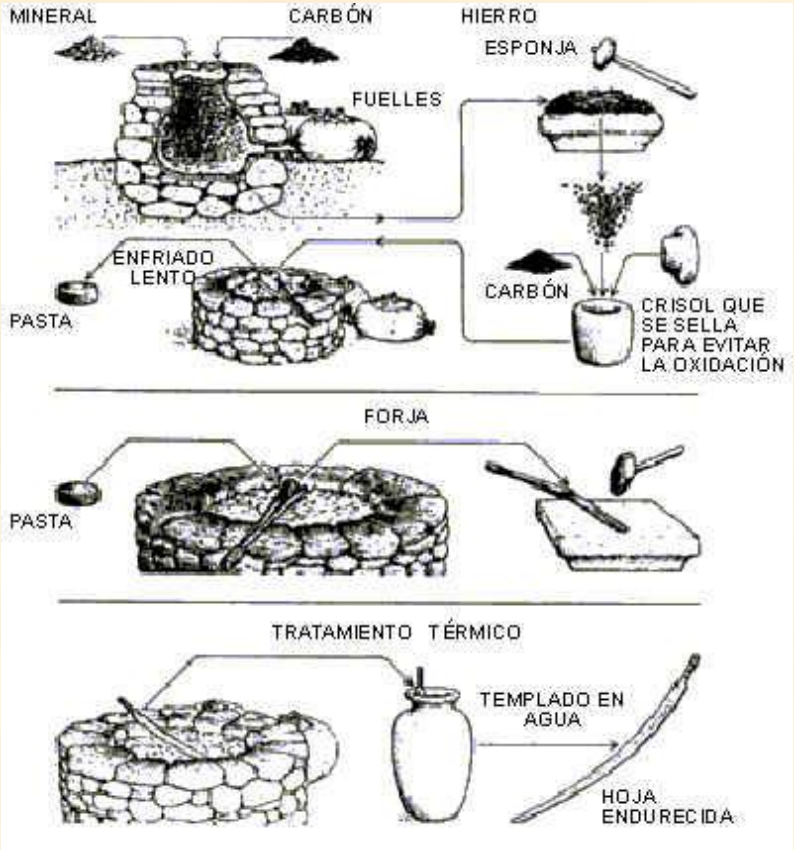
“Кубок Ликурга” изготовлен римлянами В 4 веке н.э.

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

Нанотехнологии в Средние века

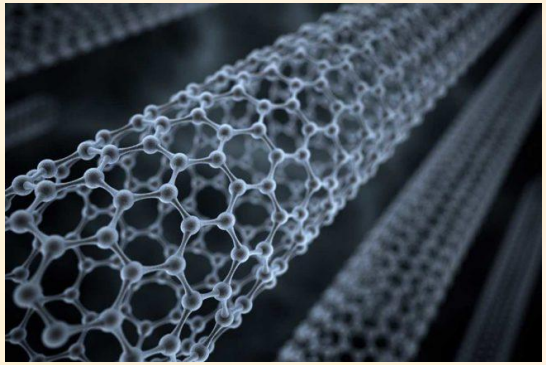
Яркие витражи (начиная с 6-го века) создавались не с помощью красок, а с помощью наночастиц благородных металлов, обеспечивающих яркость и долговечность

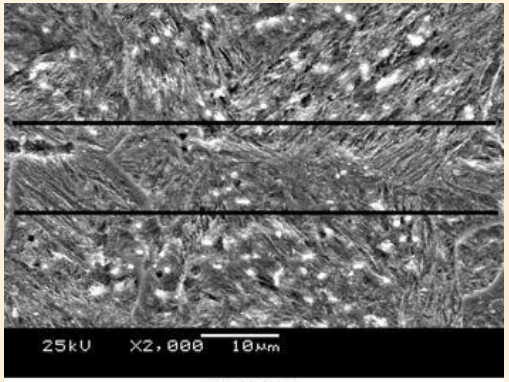
Дамасская сталь (около 1000 г н.э.)



Дамасская сталь содержит
углеродные нанотрубки

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





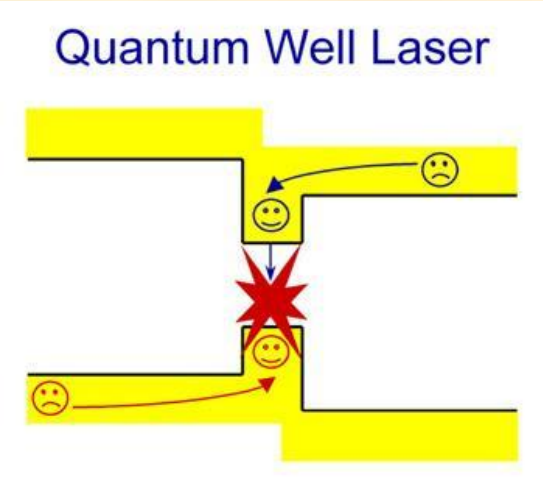
Picture 1

Наноколлоиды

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

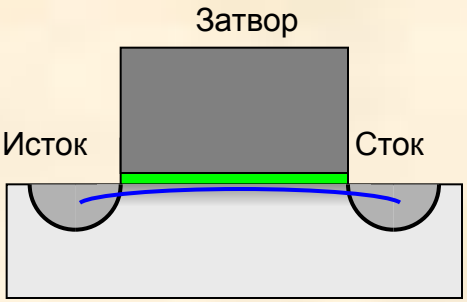
Впервые обнаружил Майкл Фарадей в 1857 году.

Нанотехнологии в компьютере



Квантовая яма 6 нм

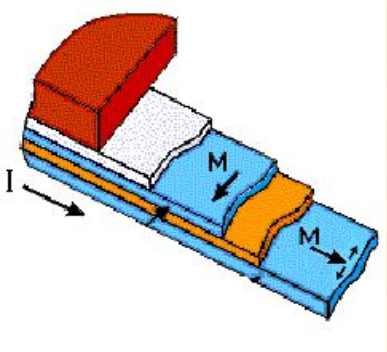
Транзистор



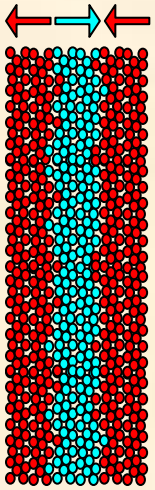
Оксидный слой 4 нм

Жесткий диск

Сенсор



Среда

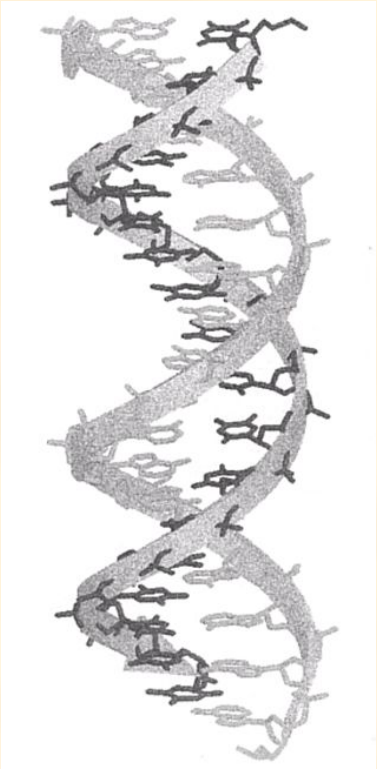


Ферритовый слой 5 нм

Магнитные зерна 10 нм

Биологические объекты

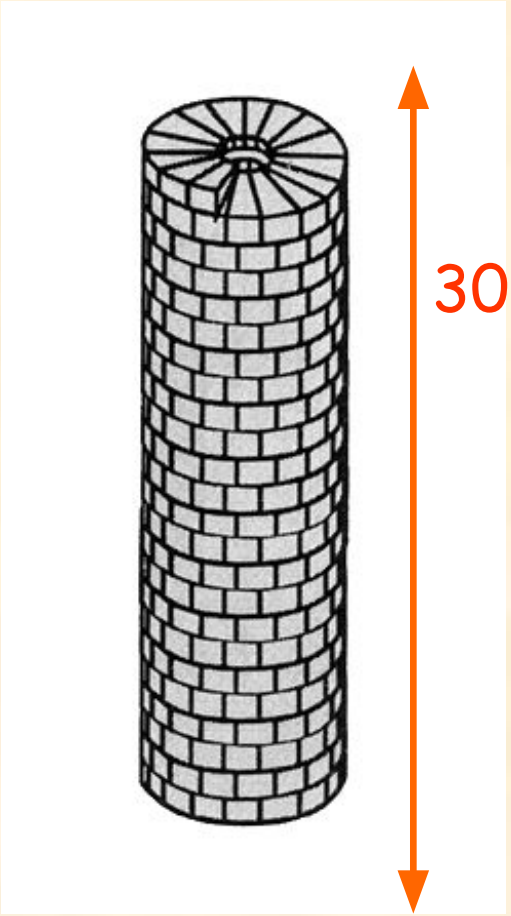
ДНК



3,4 нм

2 нм

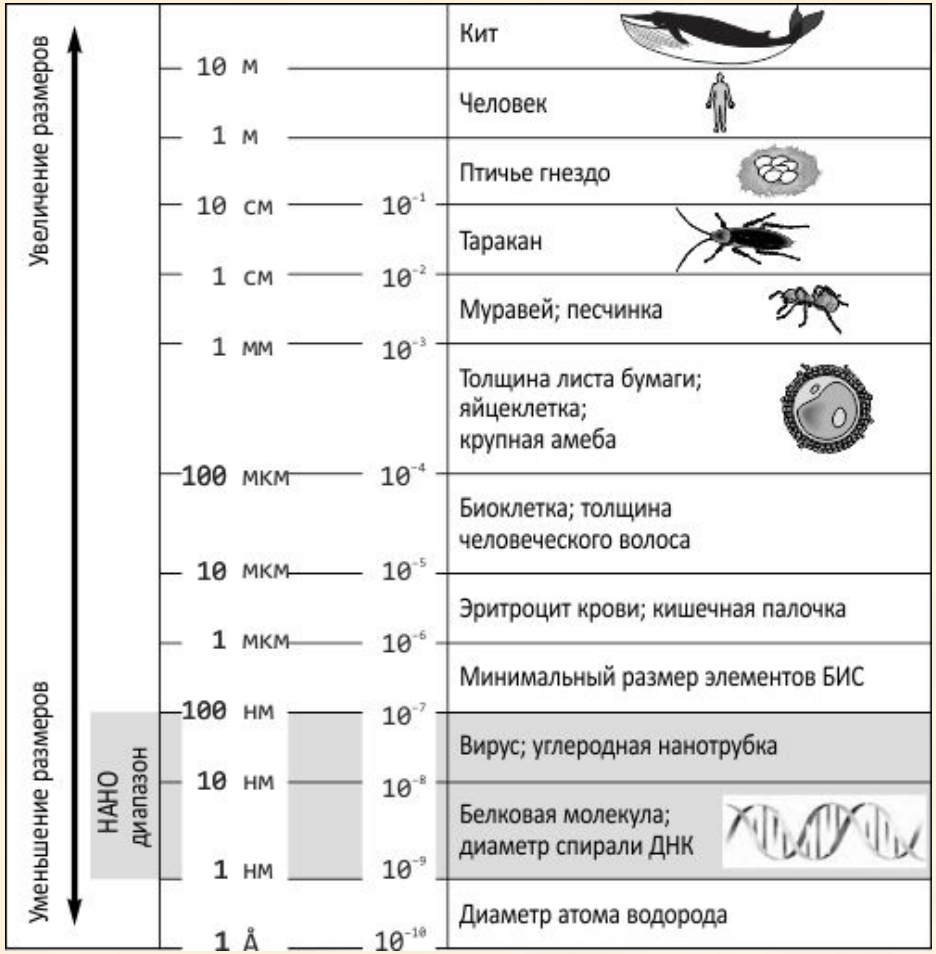
Вирус



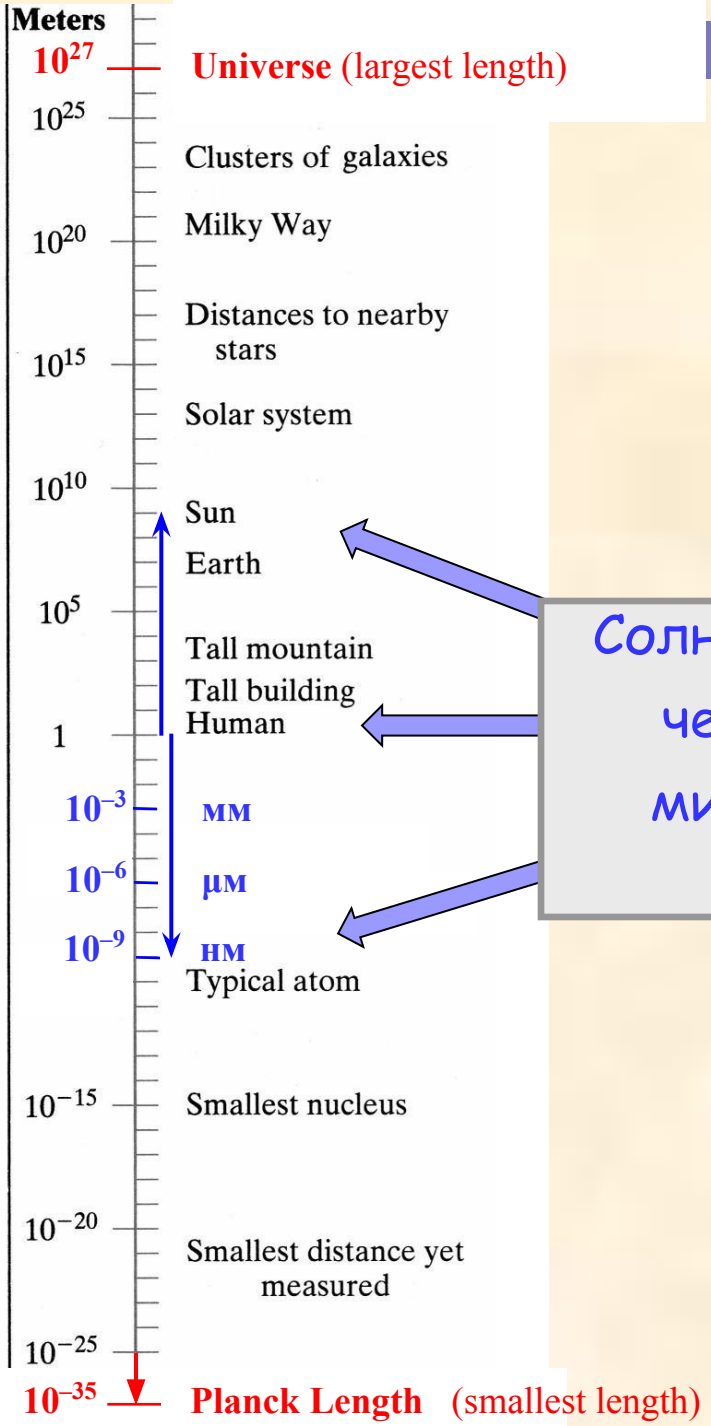
300 нм

18 нм

Нанообъекты в окружающем мире

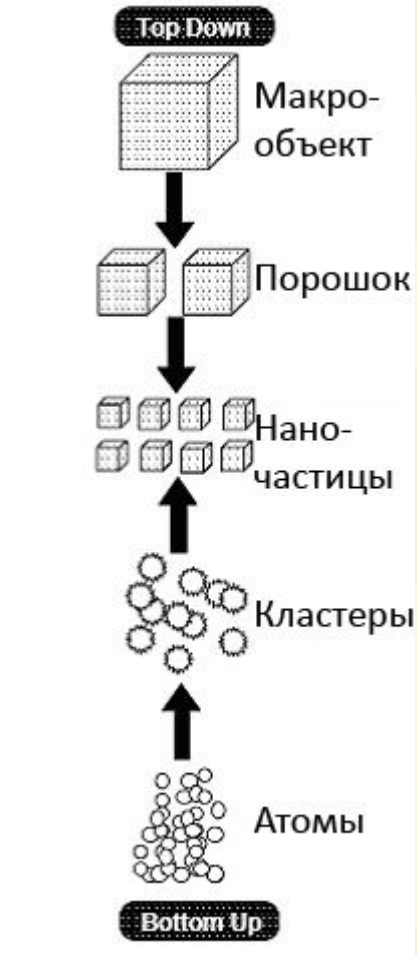


Из книги Наоя Кобаяси «Введение в нанотехнологию»



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

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

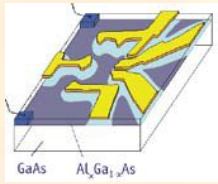


Какие объекты могут считаться наноструктурами?

- ✔ 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 **Нано** **Макро**

Ядра
Атомы
Малые молекулы



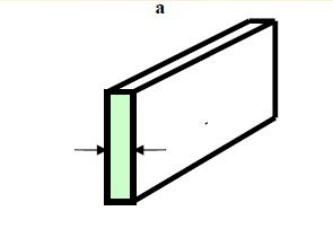
Жидкости
Кристаллы
Стекла

Классификация наноструктур по размерности

Движение электронов ограничено в:

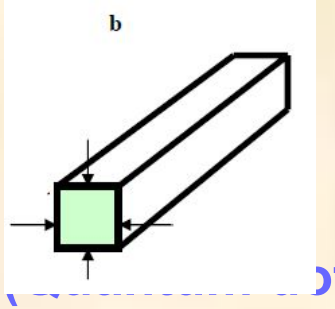
1 направлении: **Квантовые ямы (Quantum well) и тонкие пленки**

«Двумерные электроны»



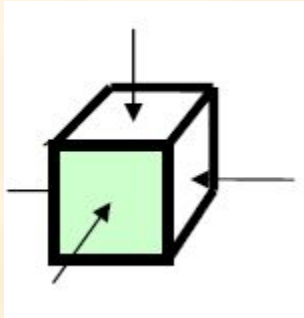
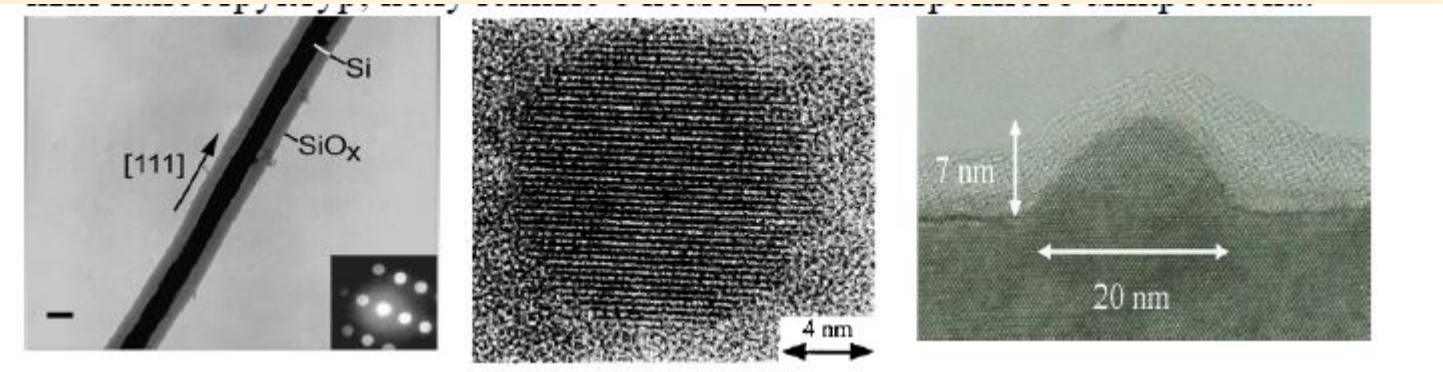
2 направлениях: **Квантовые проволоки (Quantum wire)**

«Одномерные электроны»



3 направлениях: **Квантовые точки (Quantum dot)**

«Нульмерные электроны»



Изображения (слева направо) квантовой нити, квантовой точки CdS в SiO_2, квантовой точки InAs в GaAs, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа