

Нanomатериалы и приборы на их основе



План лекций (24 часа)

1. Введение
2. Строение и свойства твёрдых тел
3. Физика наномира
4. Методы изготовления нанообъектов
5. Методы микроскопии наноструктур
6. Введение в физику полупроводников
7. Наноразмерные полупроводники
8. Неорганические непроводящие наноматериалы
9. Магнитные наноматериалы и устройства
10. Наноразмерные формы углерода и их применение
11. Фотонные кристаллы
12. Плазмонные нанотехнологии в оптике

Основная литература:

1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы. Учебник-монография под ред. Р. Келсалла, А. Хамли, М. Геогегана. Долгопрудный: «Интеллект», 2011. 528 с.

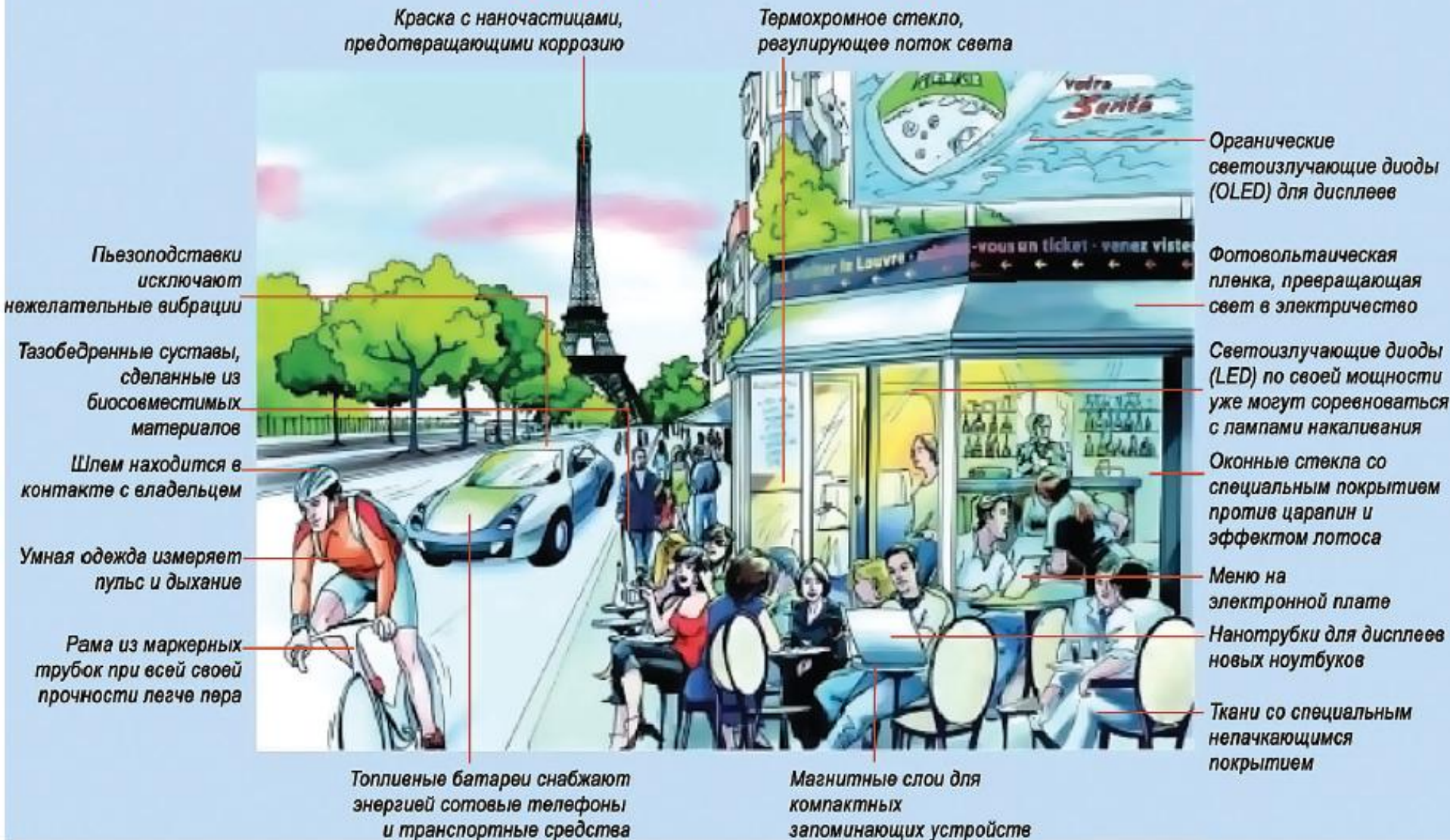
Дополнительная литература:

2. Дж.М. Мартинес-Дуарт и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. М.: «Техносфера», 2007.
3. Нанотехнологии. Азбука для всех. Под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: «Физматлит», 2009.
4. А.А. Елисеев, А.В. Лукашин. Функциональные наноматериалы. М.: «Физматлит», 2010.
5. Ткачев С. В., Губин С. П. Графен и родственные наноформы углерода. М.: Ленанд, 2015.

Наноматериалы и приборы на их основе



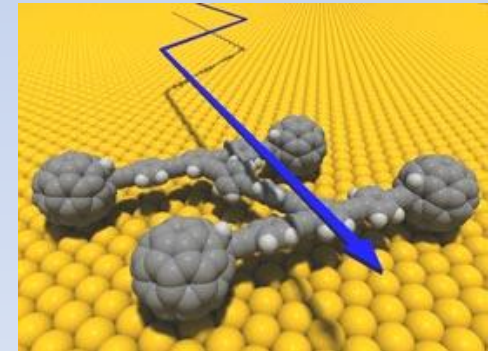
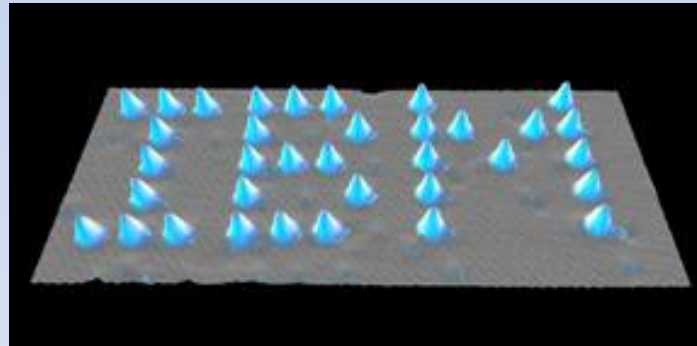
Нанотехнологии в будущей повседневной жизни



1. Введение



- Область масштабов наномира
- Специфика наномира
- Многообразие объектов наномира
- Нульмерные, одномерные и двумерные нанобъекты
- История предмета
- Место нанотехнологий в настоящее время и в будущем





$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

Нanomатериалы – это материалы, функциональные свойства которых определяются наноуровнем их структуры (1-100 нм).



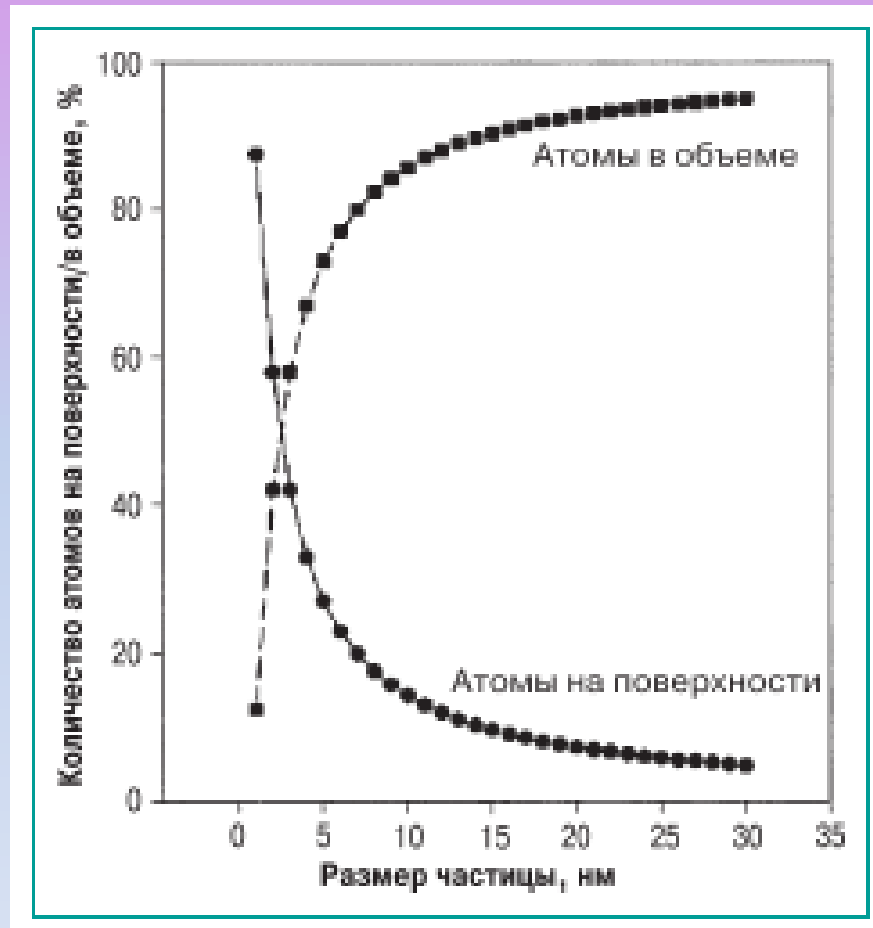
Особенности нанообъектов, определяющие специфику их свойств:

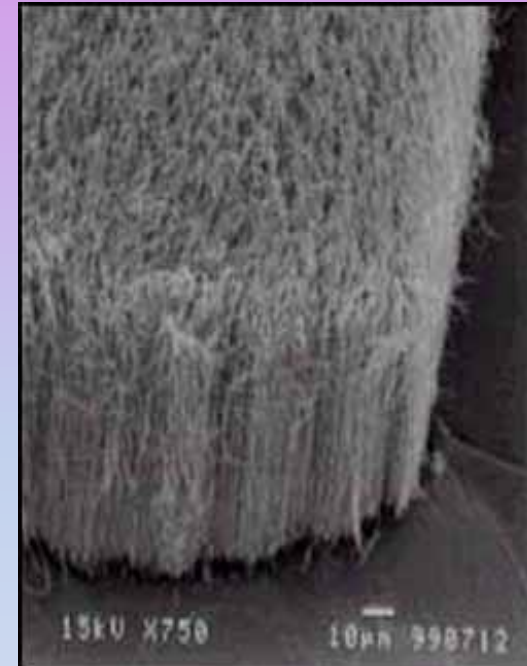
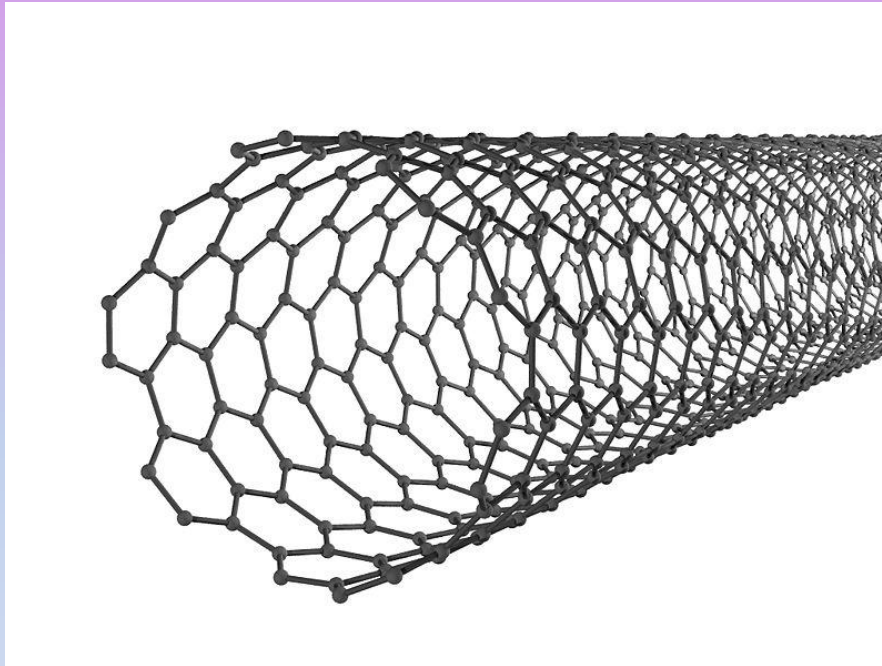
- большая роль поверхности,
- высокая химическая активность,
- высокое совершенство структуры,
- высокая радиационная стойкость,
- уникальные механические свойства,
- квантоворазмерные эффекты,
- многообразие форм наноструктур.



Вклад поверхности:

$$\frac{N_{\text{пов.}}}{N_{\text{об.}}} \propto \frac{1}{D}$$





Углеродные нанотрубки: небывалая прочность в сочетании с легкостью, гибкостью и эластичностью.

Квантоворазмерные эффекты



Длина волны электрона

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m^* v}$$

$1 \text{ нм} < L \leq 5 \text{ нм}$ – нанокластеры (< 1000 ат.) – $L < \lambda$

$10 \text{ нм} < L < 100 \text{ нм}$ – наночастицы (10^4 - 10^8 ат.) - $L > \lambda$ или нет?

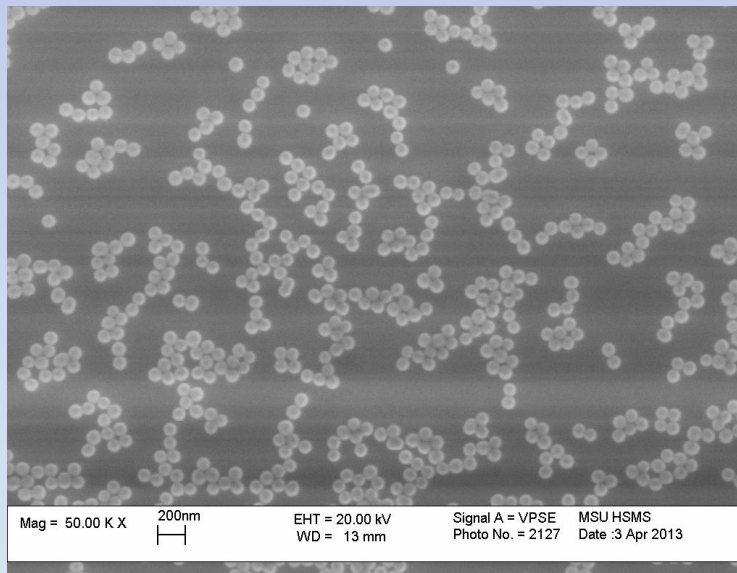
Размерность нанообъектов



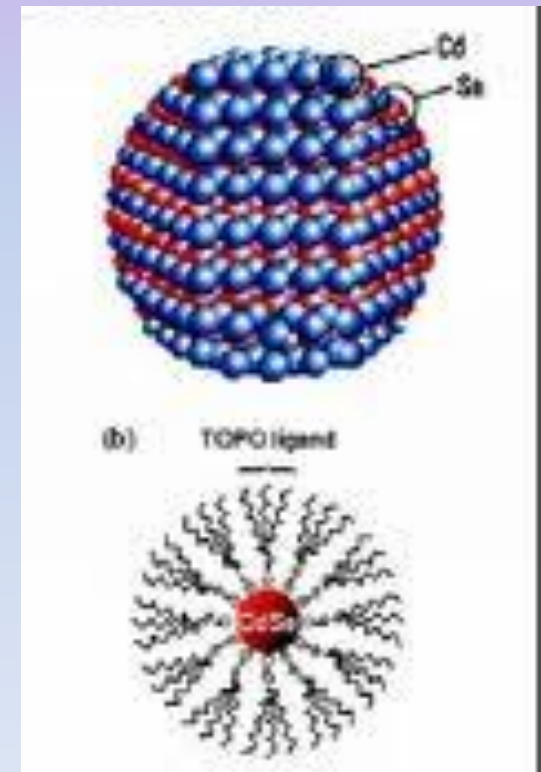
$$0D: \lambda > L_x, L_y, L_z$$

Полупроводниковые
квантовые точки

Коллоидные частицы



$d = 84 \text{ nm}$



Размерность нанообъектов

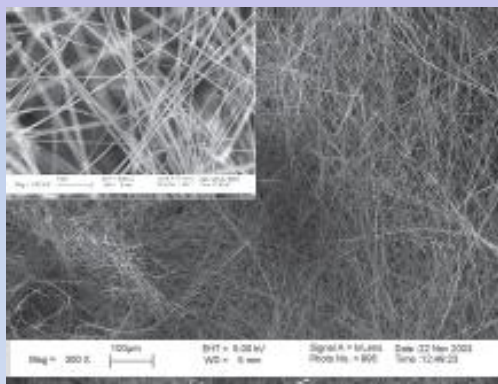


$$1D: \lambda > L_x, L_y \text{ и } L_z \gg L_x, L_y$$

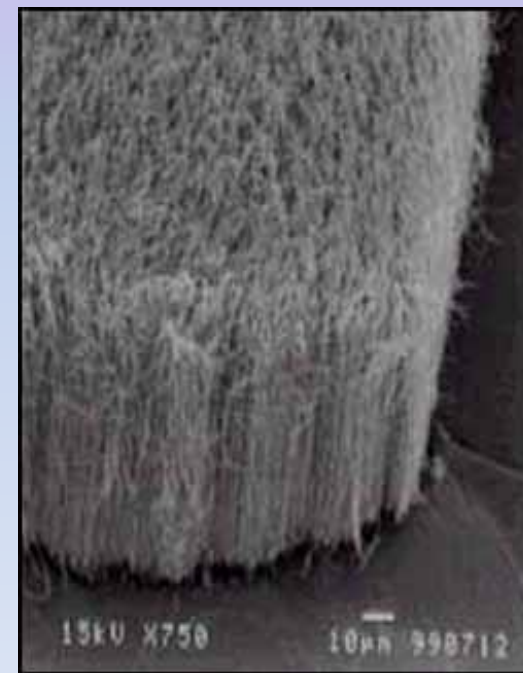
Нановолокна



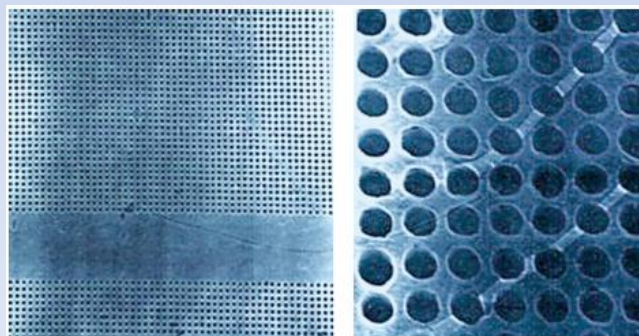
Нанонити (вискеры)



Нанотрубки



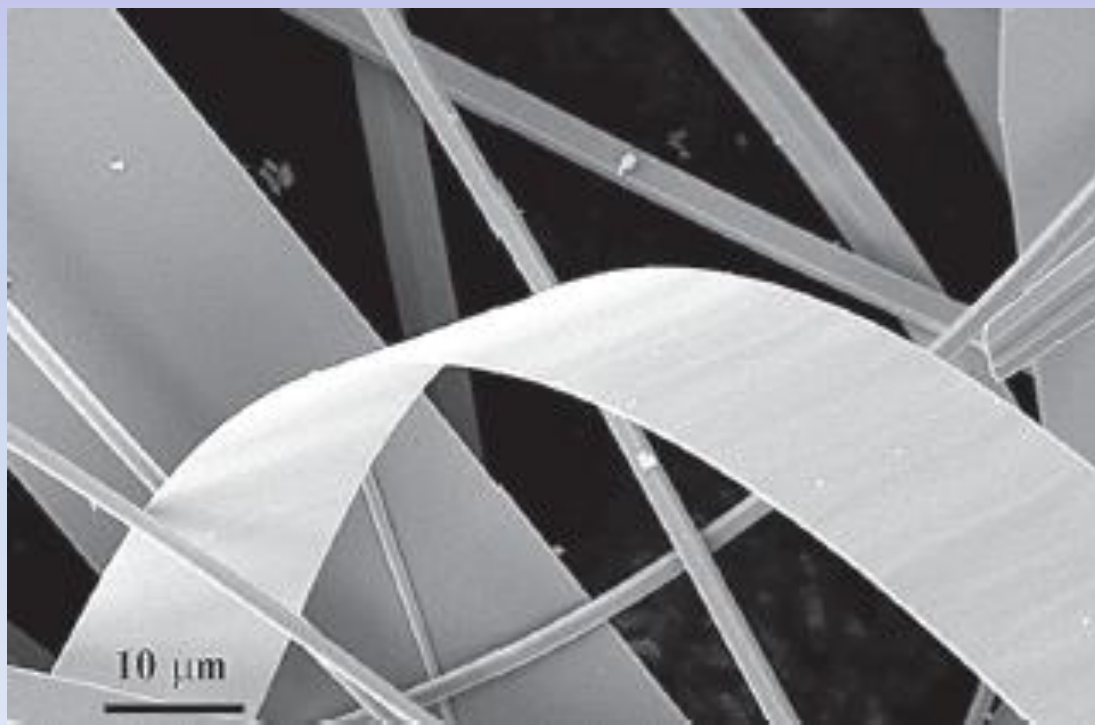
Каналы в нано-
мембранах
($d = 300 \text{ нм}$)





$$2D: \lambda > L_x \text{ и } L_y, L_z \gg L_x$$

Наноленты (SnO_2)

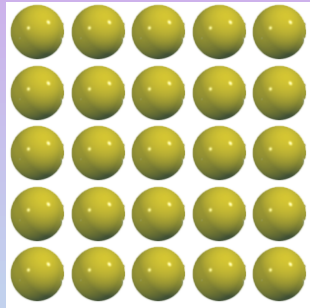




1D

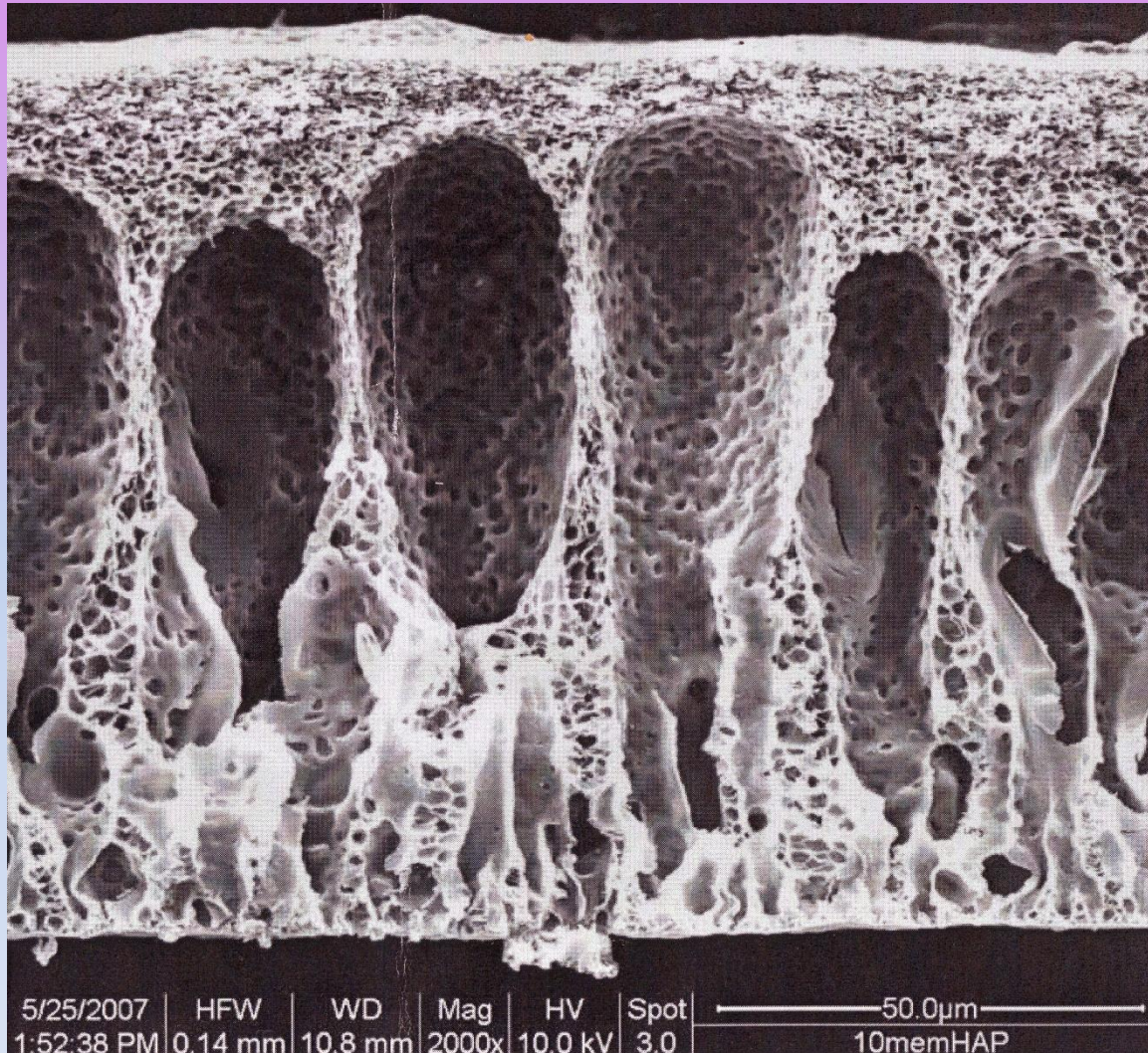


2D

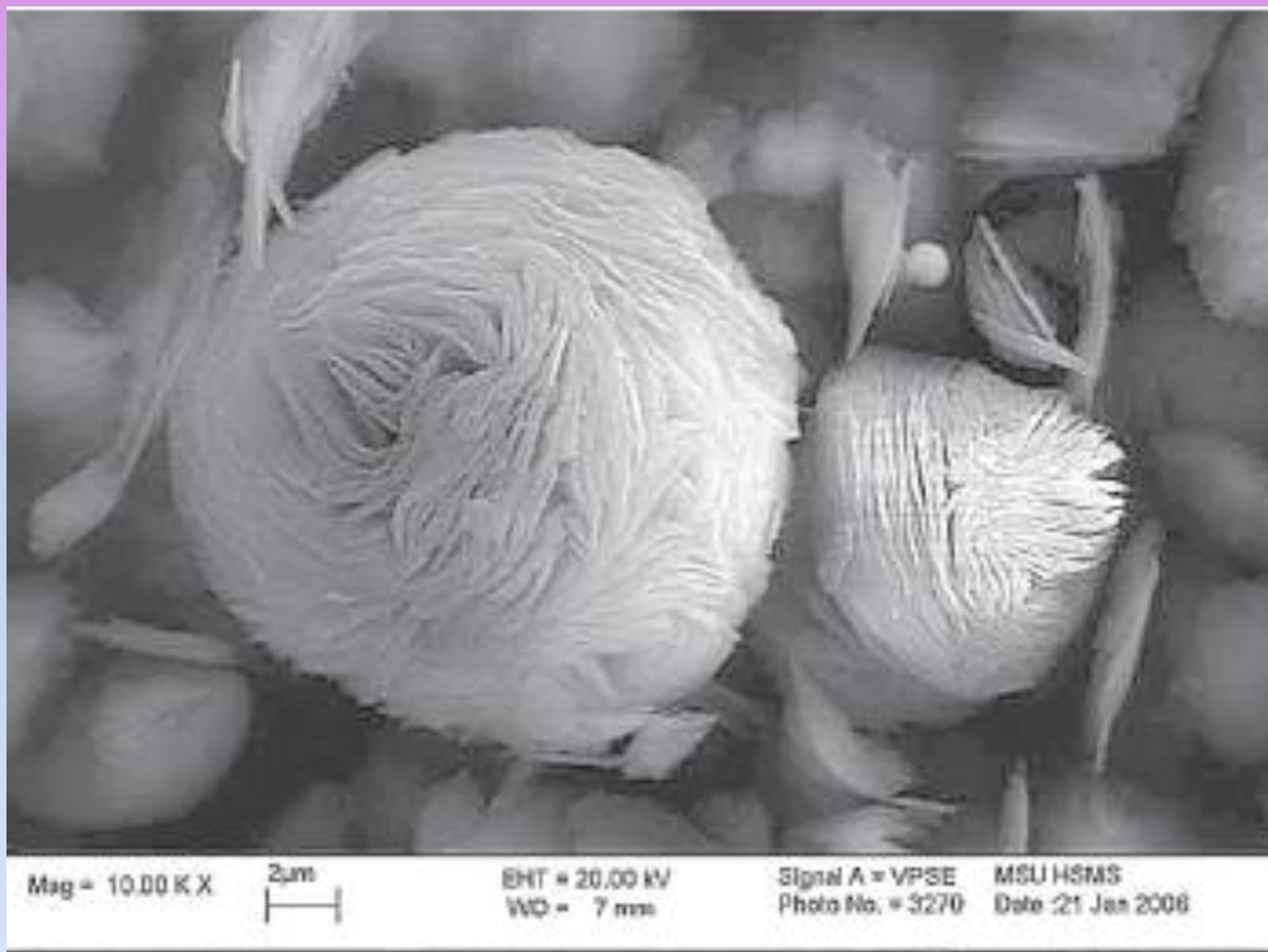


3D

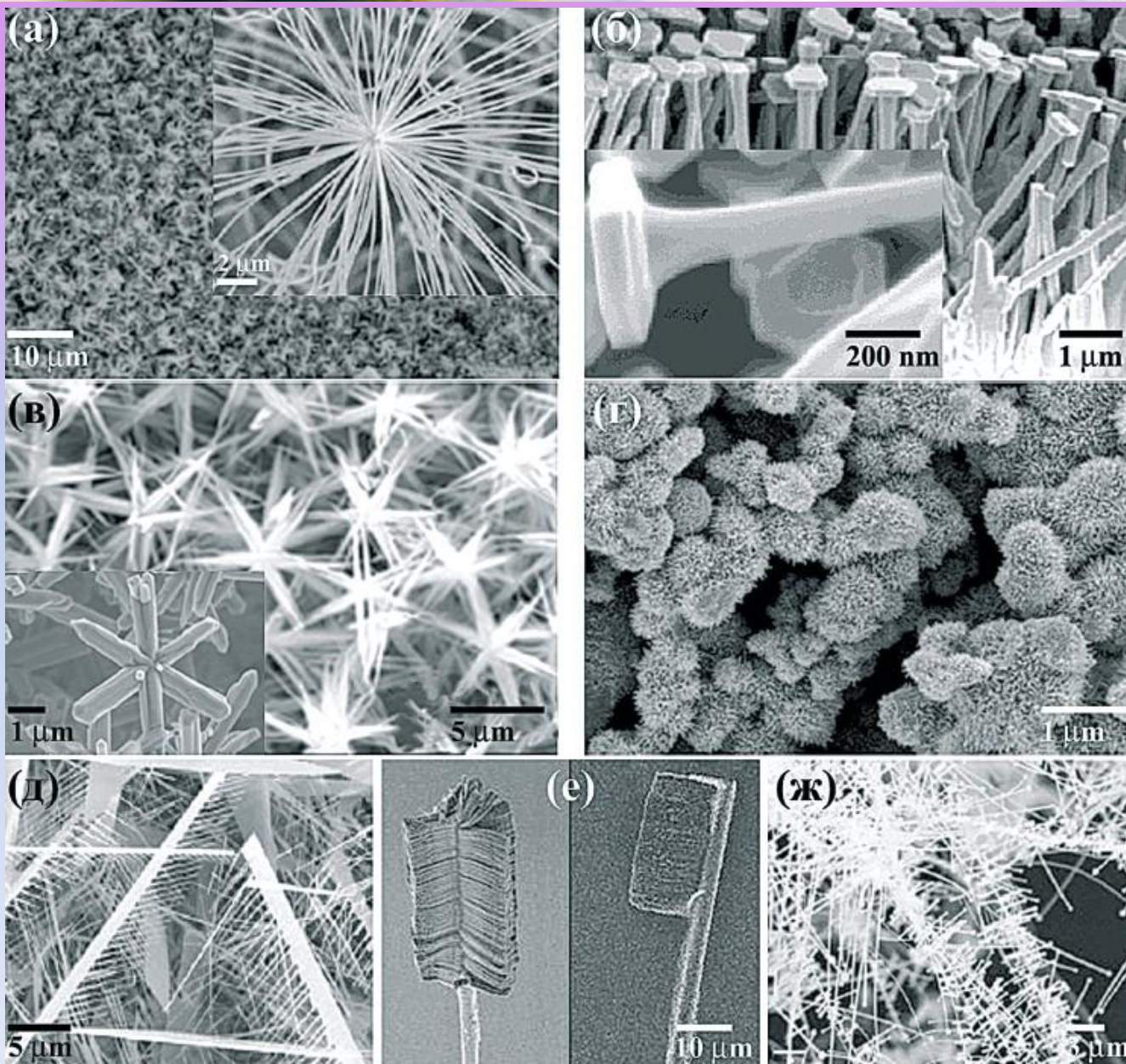




Структура кости



Нанороза из гидроксида магния



а – SiO_2 ;
б – ZnO ;
в – MnO_2 ;
г – VOOH ;
д – ZnO ;
е – C ;
ж – $\text{Mg}(\text{Co})\text{O}$.



Чаша из стекла с коллоидными частицами золота и серебра (Рим, IV век).



Освещение снаружи.



Освещение изнутри.

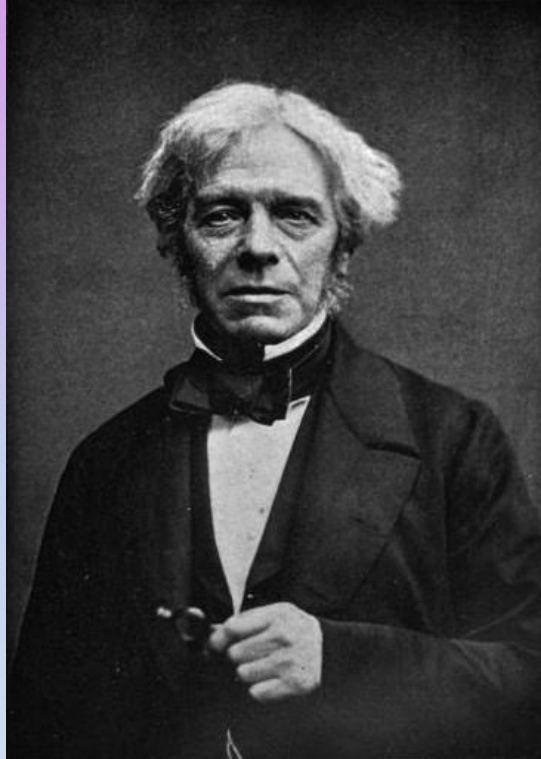


Окно в соборе Парижской Богоматери, 1250.



Дамасская сталь, XIII-XVIII вв.

История нанотехнологий



**М. Фарадей, 1857:
коллоидное золото.**



**Р. Зигмонди, 1925:
Нобелевская премия по химии за
установление гетерогенной природы
коллоидных растворов.**



Т. Сведберг, 1926:
Нобелевская премия за работы в области дисперсных систем и разработку методов ультрацентрифугирования.



И. Лэнгмюр, 1932:
Нобелевская премия за открытия и исследования в области химии поверхностных явлений.



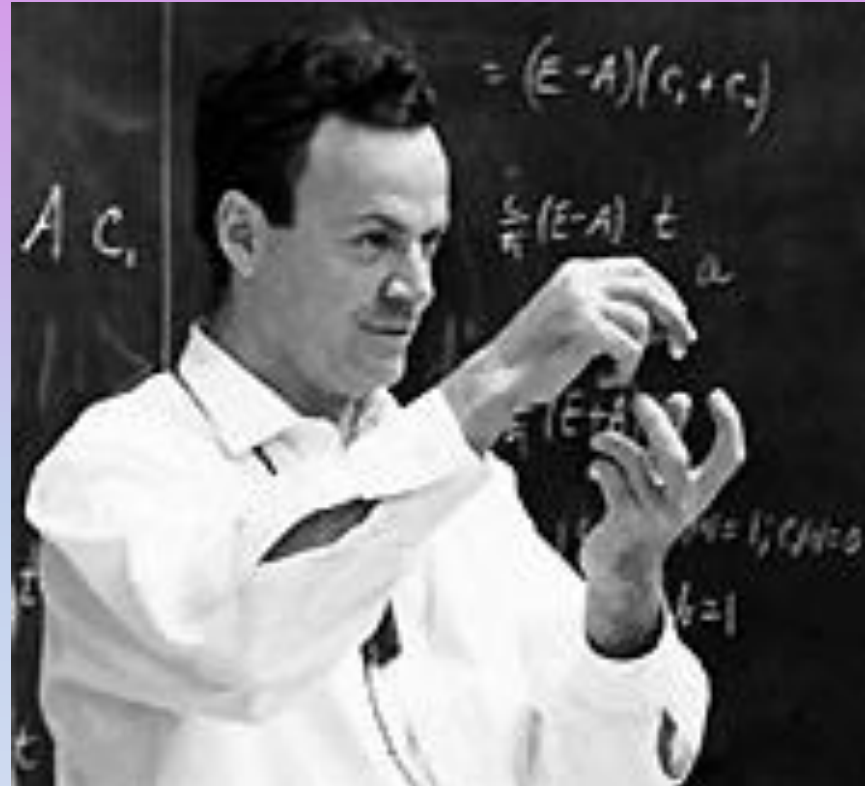
Г.А. Гамов, 1930-е:
Теоретическое
предсказание туннельного
эффекта.



Л. Эсаки, 1958:
изготовил первый
туннельный диод
(Нобелевская премия
1973 года).



Л.В. Радушкевич, В.М. Лукьянович, Журнал физической химии, 1952, т. 26, 88-95.



Р. Фейнман, 1959:

**первая лекция по технологии и конструированию в атомном масштабе
«Там, внизу, много места» (“There’s Plenty of Room at the Bottom”).**



А. Екимов, 1981:

открытие полупроводниковых квантовых точек в матрице из стекла
(<http://www.nano.gov/timeline>).

Л. Брюс, 1985:

открытие коллоидных полупроводниковых квантовых точек.



Коллоидные растворы квантовых точек CdSe разного размера.

История нанотехнологий



Эрнст Руска
(Ruska, Ernst)
ФРГ, Fritz-Haber Institute
(1906–1988)



Герд Бинниг
(Binnig, Gerd)
ФРГ, IBM Zurich Research
Laboratory (p. 1947)



Генрих Рорер
(Rohrer, Heinrich)
Швейцария, IBM Zurich Research
Laboratory (p. 1933)

Э. Руска, 1986:
Нобелевская премия по физике за создание электронного микроскопа.

Г. Бинниг, Г. Рорер, 1986:
Нобелевская премия по физике за создание сканирующего туннельного микроскопа.



Eli Yablonovitch

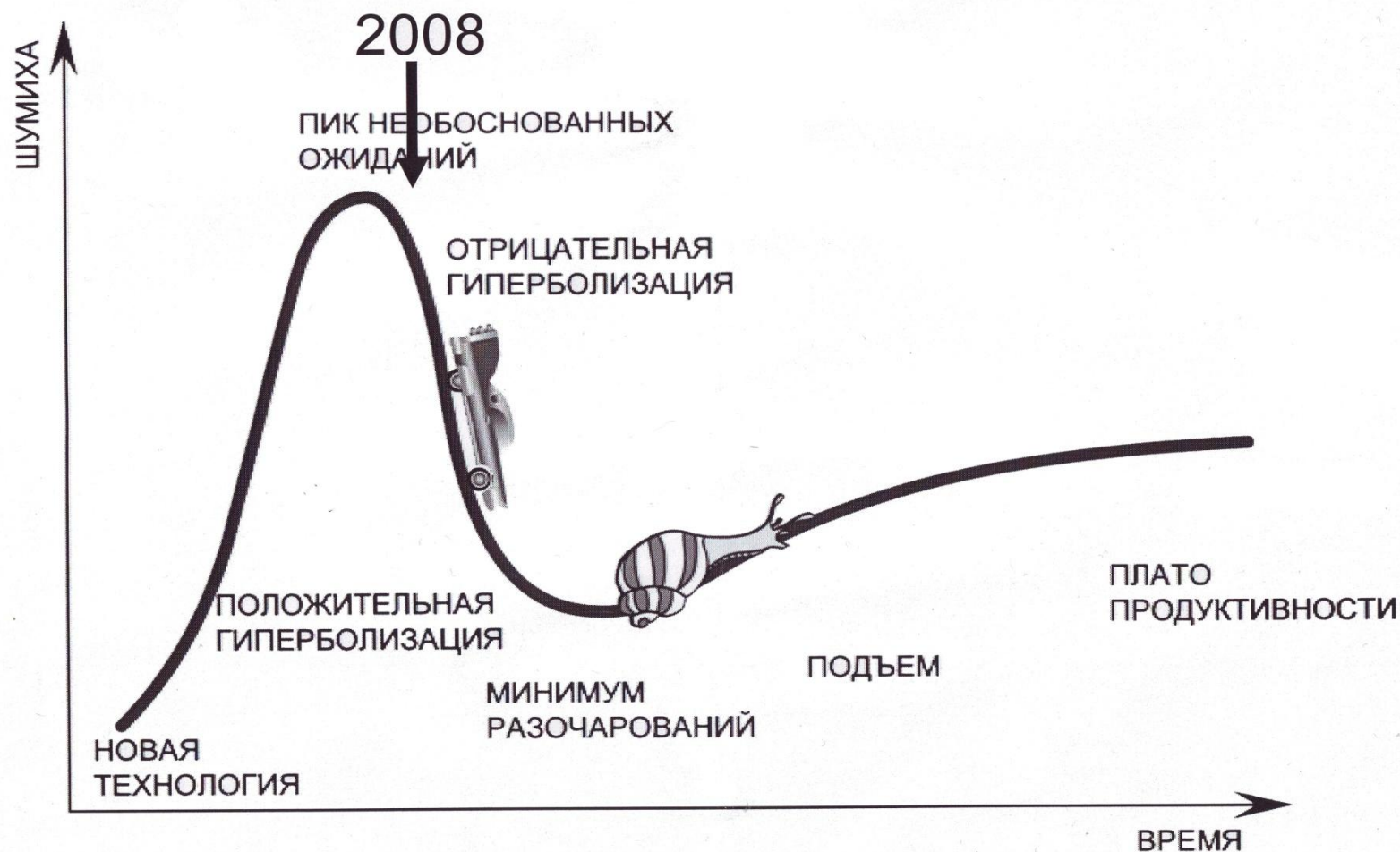


Sajeev John

1987: работы Э. Яблоновича и С. Джона положили начало направлению оптики фотонных кристаллов.



Нанотехнологии и общество





Причины нанобума:

- появление современных методов диагностики наноразмерных объектов;
- осознание того, что наноматериалы обладают специфическими магнитными, электрическими, оптическими и другими свойствами, связанными с проявлением квантовых эффектов;
- осознание того, что они открывают путь к миниатюризации технических устройств и огромной экономии ресурсов.

Основные направления применения:

электроника, фотоника, медицина, энерго- и ресурсосберегающие технологии, конструкционные материалы.



Закон Мура (“Electronics”, 1965).

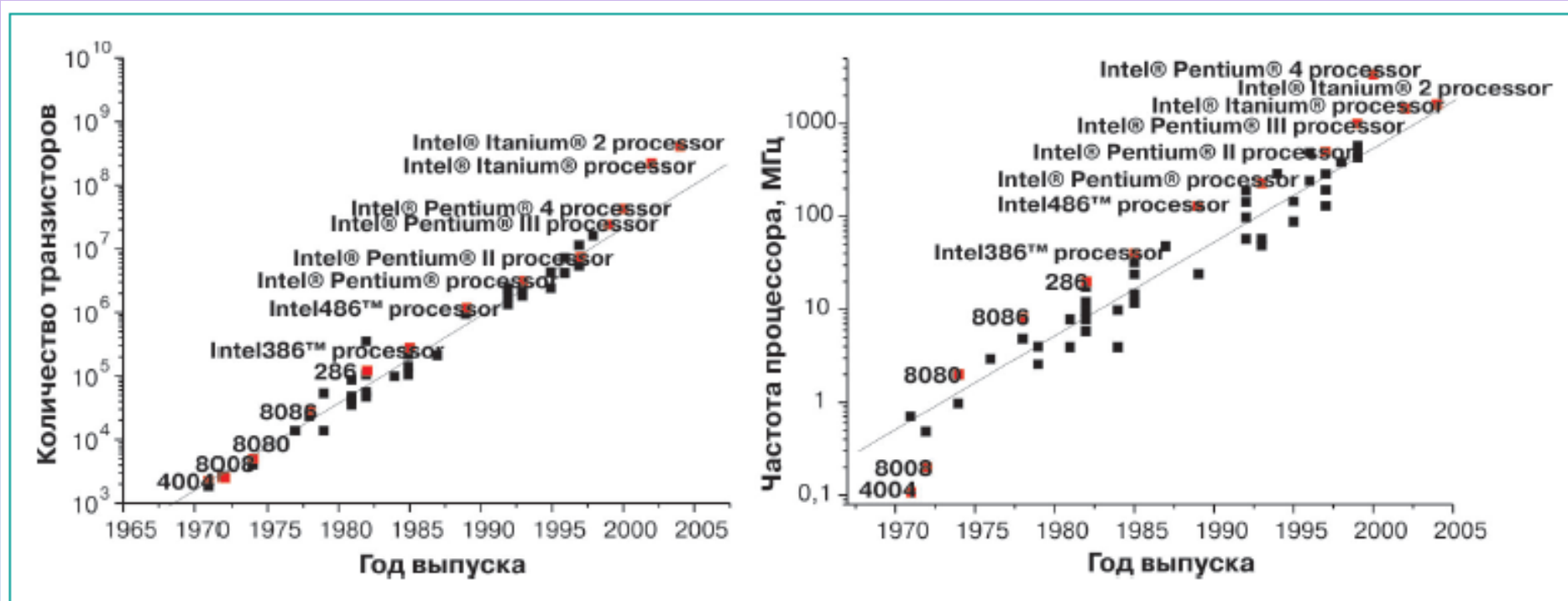
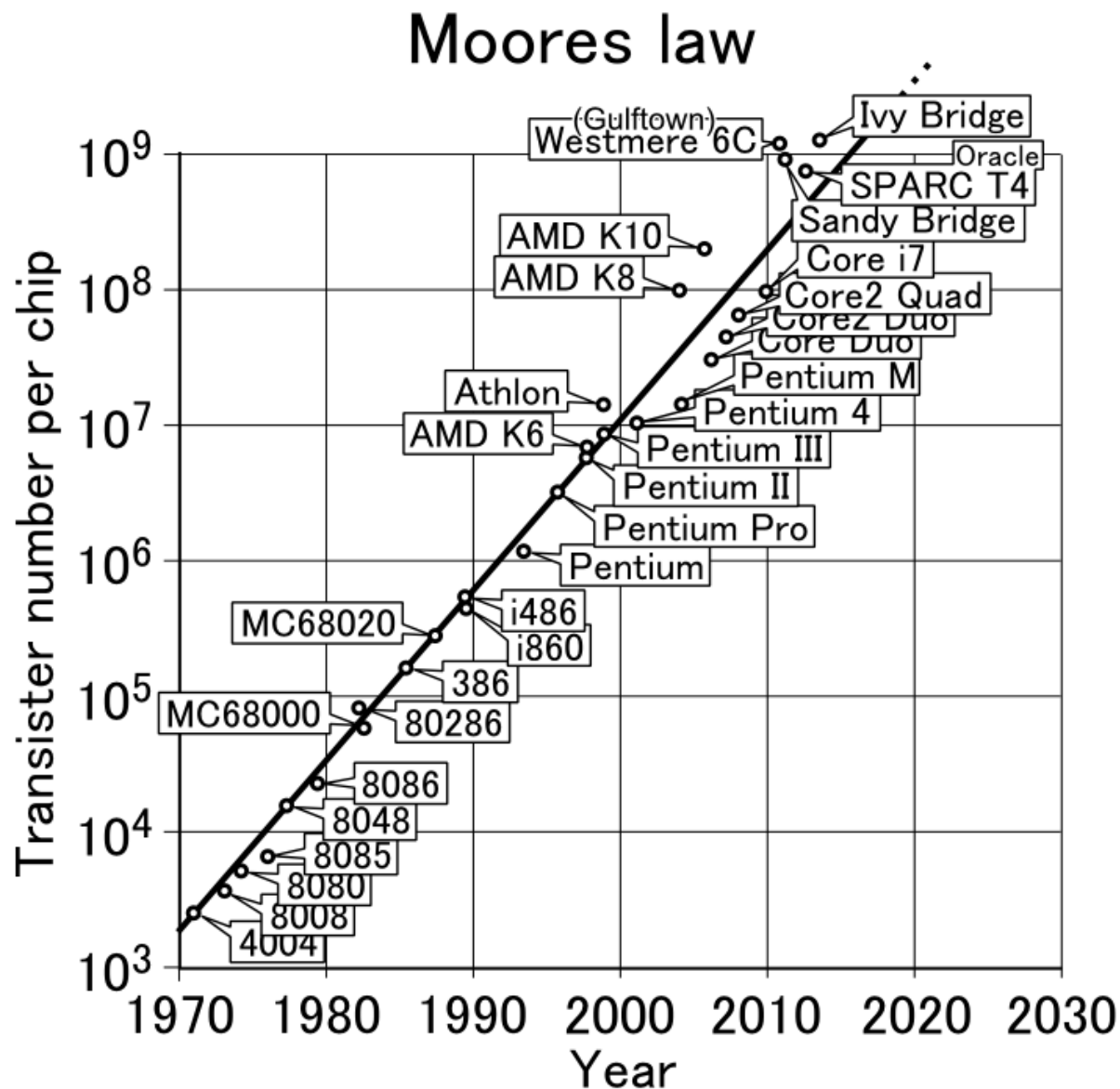
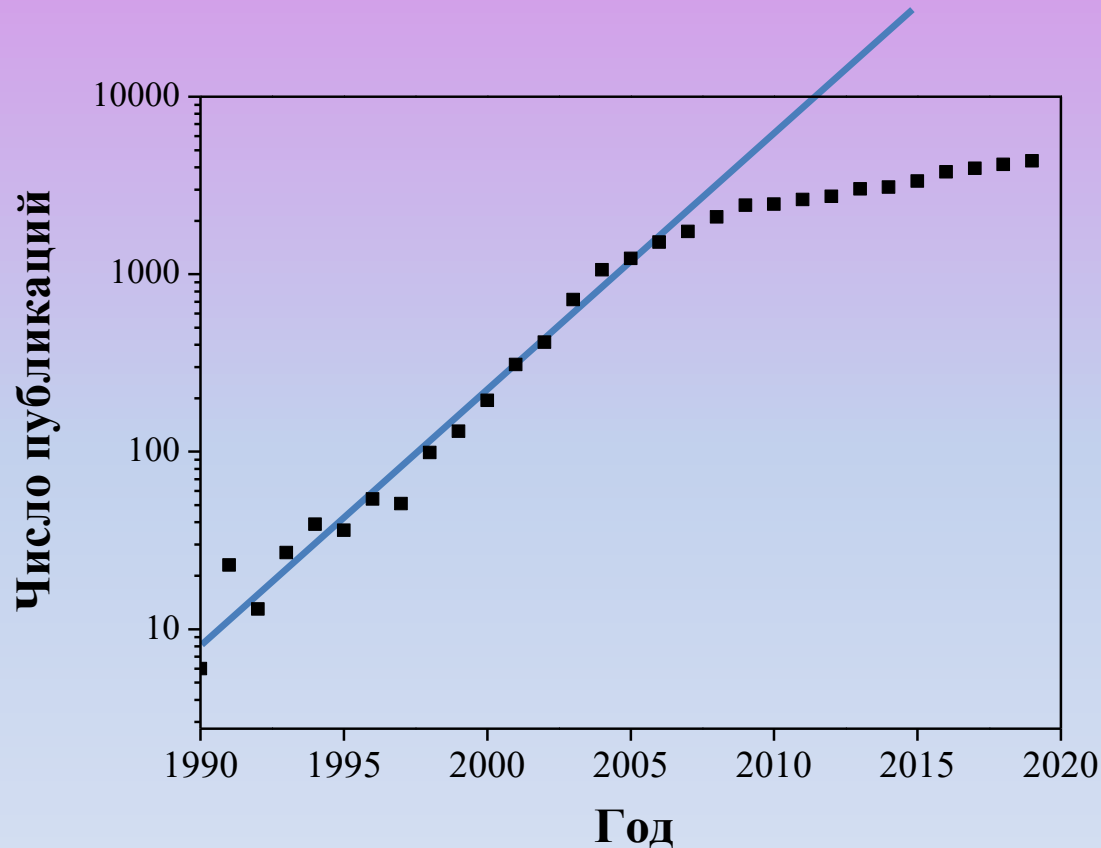


Рис. 1. Темпы увеличения плотности транзисторов и частоты процессоров Intel

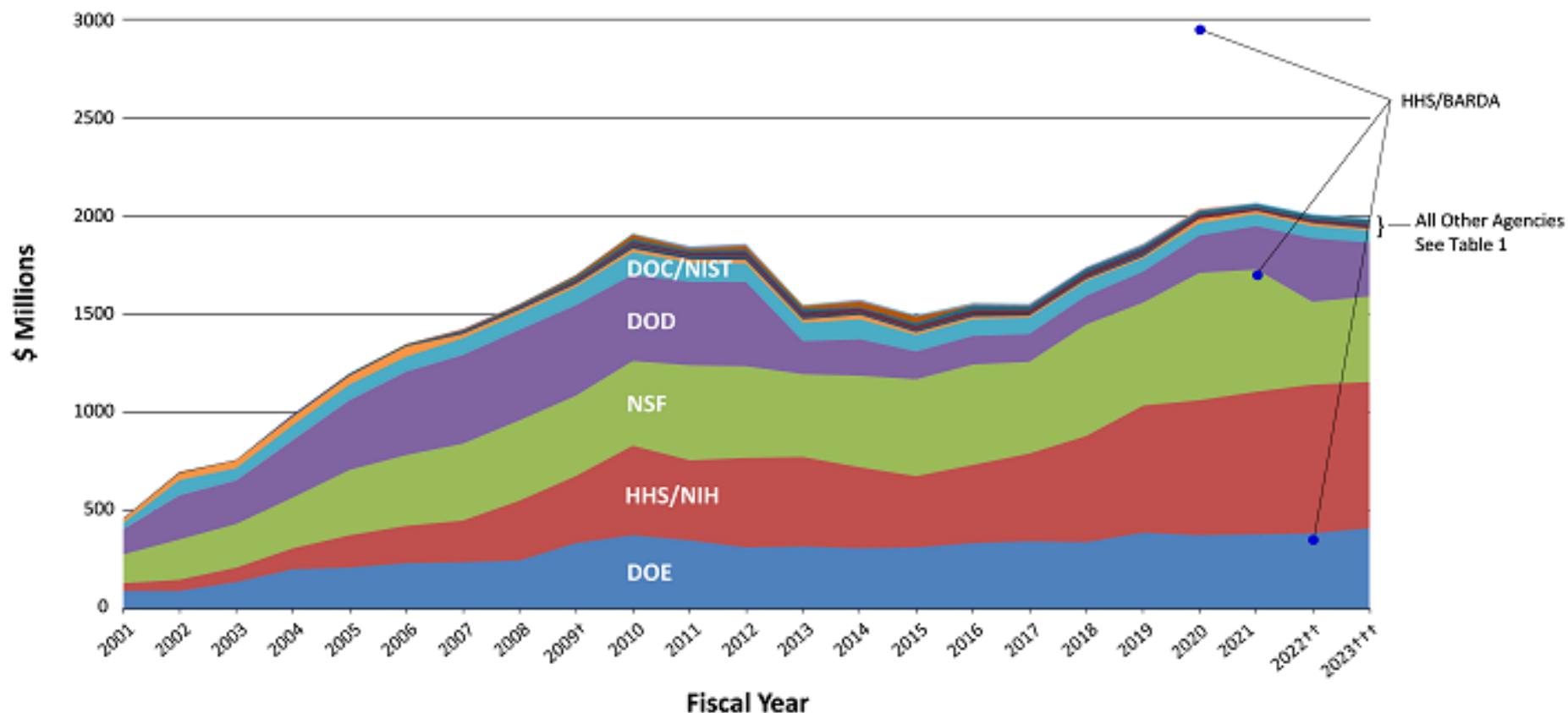
История нанотехнологий





**Рост числа публикаций
(по данным Web of Science)**

Финансирование нанотехнологий



Финансирование в рамках нанотехнологической программы в США
(National Nanotechnology Initiative, <http://www.nano.gov>)



- 1. Сколько нанометров содержится в одном метре?**
- 2. Как меняется соотношение атомов на поверхности и в объеме наночастицы при уменьшении ее диаметра?**
- 3. Что такое размерность нанообъекта? Чем отличаются друг от друга 0-, 1- и 2-мерные нанообъекты?**
- 4. Что такое закон Мура?**