



**Беликов Андрей Иванович, к.т.н., доцент**  
кафедра МТ-11 "Электронные технологии в машиностроении"

# **Основы наноэлектроники и нанотехнологий**

**Москва, 2014**

Формирование знаний в области наноматериалов, наносистем и устройств нанoeлектроники, реализации процессов получения наноматериалов и наносистем для широкого спектра технических областей.

1. Нанoeлектронные приборы, используемые эффекты.
2. Наноструктурные материалы
3. Методы измерений и исследования наноматериалов
4. Нанотехнологии

## **Р.Фейнман:**

«Контроль и управление строением вещества в очень малых размерах являются малоизученную область физики, которая представляется весьма важной и перспективной и может найти множество ценных технических применений...».

**Э.Теллер** (один из создателей американской термоядерной бомбы), середина XX века:

«Тот, кто раньше овладеет нанотехнологией, займет ведущее место в техносфере следующего столетия».

## **Научно-технические революции:**

- 1-я, - промышленная;
- 2-я, - электронная;
- **3-я, - нанотехнологическая.**

**Нanomатериалы** – материалы со структурными элементами, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, обладающие вследствие этого качественно новыми свойствами.

**Нанотехнология** – совокупность методов и средств, обеспечивающих манипулирование веществом на атомном и молекулярном уровнях с целью производства конечных продуктов с заранее заданной наноразмерной структурой.

**Наносистемная техника** – полностью или частично созданные на основе нанотехнологий и наноматериалов функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинально отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям электроники при использовании микро- и макрообъемов веществ.

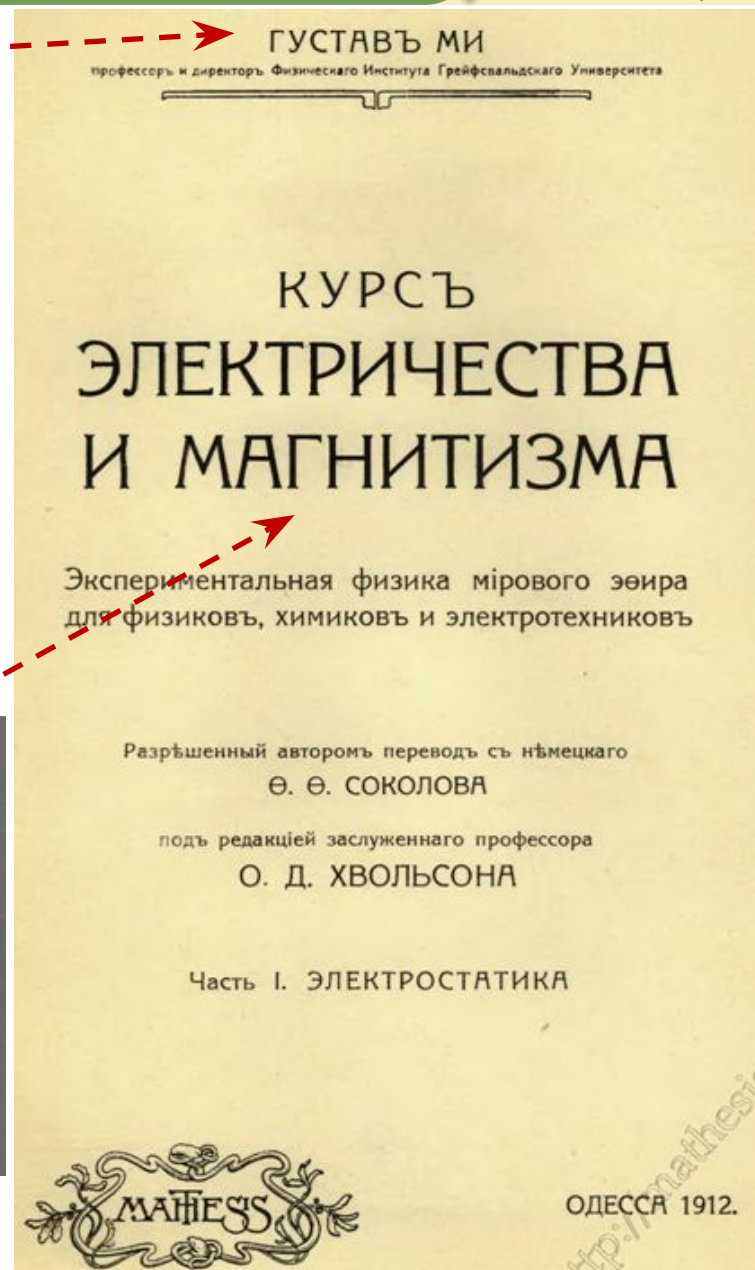


# История. Странные совпадения?!

5

**1908 г.** – немецкий физик **Густав Ми (1869-1957)** разрабатывает теорию окрашивания стекла металлическими частицами различной природы и формы - дает полное решение уравнений Максвелла для рассеяния электромагнитных волн на сферических частицах размером от 10 нм. «Вопросы оптики мутных сред, в особенности коллоидных металлических растворов» («рассеяние Ми»)

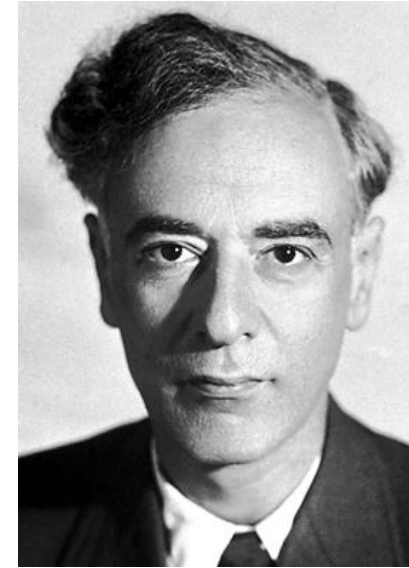
**1928 г.** – открытие **Г.А.Гамовым (1904-1968 гг)** туннельного эффекта, который лежит в основе современных методов исследования наноструктур.



**Гамов Георгий Антонович (1904-1968),** известный советско- американский физик-теоретик.

В 1924 году в Ленинград приехал Лев Давидович **Ландау** (1908-1968), чуть позже – Дмитрий Дмитриевич **Иваненко** (1904-1994). Гамов, Ландау и Иваненко создали группу («три мушкетера»), занимались теоретической физикой.

Летом 1928 года **Георгий Антонович Гамов** занялся теоретической ядерной физикой – в Германии, куда был направлен в Геттингенский университет, один из центров квантовой физики, пытался выяснить, как квантовая теория может изменить восприятие ядра атома. В библиотеке Георгий Антонович нашел статью Эрнеста Резерфорда, в которой описывался эксперимент по рассеянию альфа-частиц в уране, но не согласился с выводами Резерфорда. Оказалось, что обнаруженное Резерфордом явление хорошо описывается волновой механикой, где не существует непроницаемых барьеров. Поэтому, вернувшись из библиотеки Георгий Антонович Гамов записал **формулу, описывающую возможность такого волново-механического проникновения.** Другими словами, он сформулировал квантово-механическую теорию  $\alpha$ -распада, одного из 4 типов радиоактивности, (независимо от Р.Герни и Э.Кондона), дав первое успешное объяснение поведению радиоактивных элементов. **Показал, что частицы даже с не очень большой энергией могут с определенной вероятностью проникать через потенциальный барьер (туннельный эффект).** Это сделало Г.А.Гамова знаменитым во всем мире.



Лев Давидович Ландау



Дмитрий Дм. Иваненко

**1931 г.** – немецкие физики **Макс Кнолл и Эрнст Руска** (Нобелевская премия 1986 г.) создают **просвечивающий** электронный микроскоп.

**1938 г.** – создание **сканирующего** электронного микроскопа

**1939 г.** – компания Siemens, в которой работал **Эрнст Руска**, выпускает первый коммерческий электронный микроскоп с разрешающей способностью 10 нм.

**1956 г.** – **А.Улир** (A. Uhler), Bell System, открывает нанопористый кремний.

**1959 г.** – американский физик **Ричард Фейнман**. Выдвинул основные идеи нанотехнологии - возможность манипулирования на атомном уровне, исследование и контроль в нанометровом диапазоне, «Там внизу еще много места» (“There’s plenty of room at the bottom”). Днем рождения нанотехнологий считается **29 декабря 1959 г.**

**1966 г.** – американский физик **Рассел Янг** (Национальное бюро стандартов), изобретает **пьезодвигатель**. Сканирующие туннельные микроскопы и позиционирование наноинструментов с высокой точностью.

**1968 г.** – **Альфред Чо и Джон Артур**, сотрудники научного подразделения американской компании Bell, разрабатывают теоретические основы нанотехнологии при **обработке поверхностей с атомарной точностью**.

**1971 г.** – **Рассел Янг** выдвигает идею прибора Torografiner, послужившего прообразом зондового микроскопа. Столь длительные сроки разработки подобных устройств объясняются тем, что наблюдение за атомарными структурами приводит к изменению их состояния, поэтому требовались качественно новые подходы, не разрушающие исследуемое вещество.

**1974 г.** – японский физик **Норио Танигучи** (Токийский университет) вводит термин «нанотехнология» в отношении конструкционных материалов с наноразмерной структурой.



# История создания основ нанотехнологий

8

**1977 г.** – американский студент МИТ **Э.Дрекслер** (г.р.1955) вводит термин «нанотехнология», - гипотетическая сборка объектов из молекулярных цепочек.

**1981 г.** – реализован способ получения малых металлических кластеров.

**Г. Глейтером** разработана концепция наноматериалов, главная роль в которой была отведена поверхностям раздела, позволяющим существенно изменить свойства твердых тел.

**1982 г.** – в Цюрихском исследовательском центре IBM физики **Герд Бинниг и Генрих Рорер** (Нобелевские лауреаты 1986 г.) создают сканирующий туннельный микроскоп (СТМ).

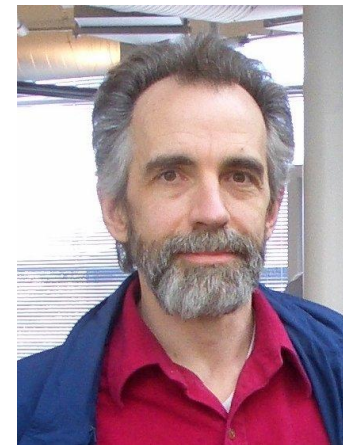
**1983 г.** – **В.Н.Лаповка и Л.И.Трусова**, нанокристаллический никель, с твердостью в два раза выше твердости поликристаллического образца.

**1985 г.** – американские химики: профессор **Ричард Смэлли, Роберт Керл и Гарольд Крото** (Нобелевские лауреаты 1996 г.) открывают фуллерены – молекулы, состоящие из 60 атомов углерода, расположенных в форме сферы.

**1986 г.** – немецкий физик **Герд Бинниг** разработал сканирующий атомно-силовой зондовый микроскоп – визуализация и манипулирование атомами любых материалов.

**1986 г.** – американский ученый **Ким Эрик Дрекслер**, работавший в лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института, издает книгу «Машины созидания» («Engines of Creation»), где предлагает идею **нано «ассемблера»**, молекулярных роботов, работающих по заданной программе и собирающих что угодно (в том числе и себе подобных) из подручных молекул.

**1987 г.** – наблюдают квантовую проводимость на точечных контактах. **Т.А. Фултон и Г.Дж. Долан** создают первый **одноэлектронный транзистор**.



Эрик Дрекслер



**1987–1988** гг. – В НИИ «Дельта» под руководством **П.Н. Лускиновича** запущена первая **русская нанотехнологическая установка**, осуществлявшая направленный уход частиц с острия зонда микроскопа под влиянием нагрева.

**1989** г. – **Дональд Эйглер**, сотрудник IBM **выкладывает логотип атомами** ксенона.

**1990** г. – В США **Эли Яблоновичем** создан первый **фотонный кристалл**.

**1991** г. – японский профессор **Сумио Лиджима** (компания NEC), использует фуллерены для создания **углеродных нанотрубок** диаметром 0,8 нм. На их основе в наше время выпускаются материалы в сто раз прочнее стали.

**1991** г. – В США заработана первая **нанотехнологическая программа** Национального научного фонда. В **Японии** – реализация государственной программы по развитию техники манипулирования атомами и молекулами (проект "Атомная Технология").

**1998** г. – голландский профессор **Сиз Деккер** (Дельфтский технологический университет) создает **транзистор на основе нанотрубок**. Технологии создания нанотрубок длиной 300 нм.

**1999** г. – американские ученые – профессор физики **Марк Рид** (Йельский университет) и профессор химии **Джеймс Тур** (Райсский университет) –разрабатывают единые принципы манипуляции как одной молекулой, так и их цепочкой. **2002** г. **Сиз Деккер** соединил углеродную трубку с ДНК, получив единый **наномеханизм**.

**2000** г. – принятие в США Национальной Нанотехнологической Инициативы

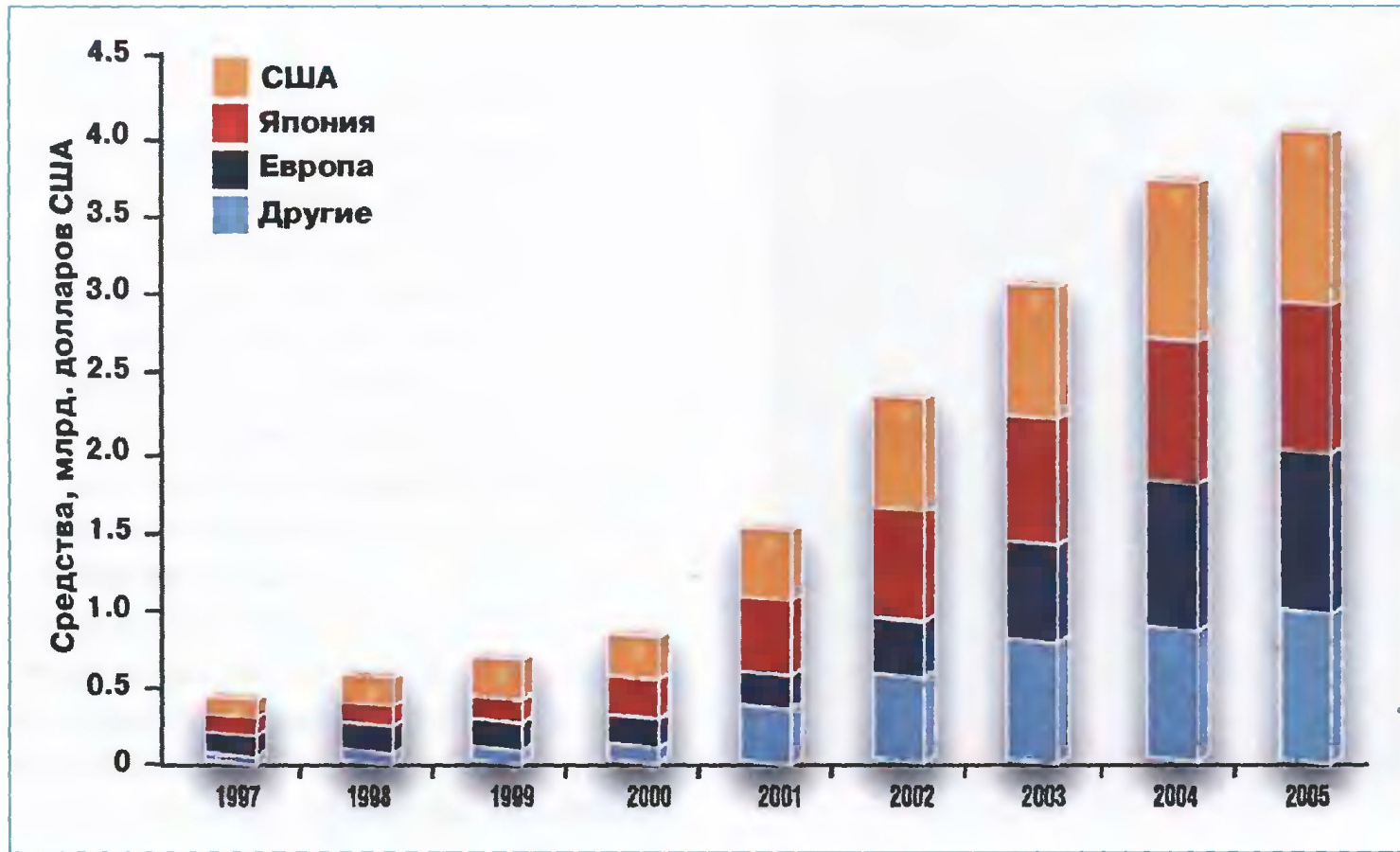
**2000** г. – Япония – создание Комитета по нанотехнологиям

**2003** г. – профессор **Фенг Лю** из университета Юты, используя наработки **Франца Гиссбля**, с помощью АСМ строит образы орбит электронов путем анализа их возмущения при движении вокруг ядра.

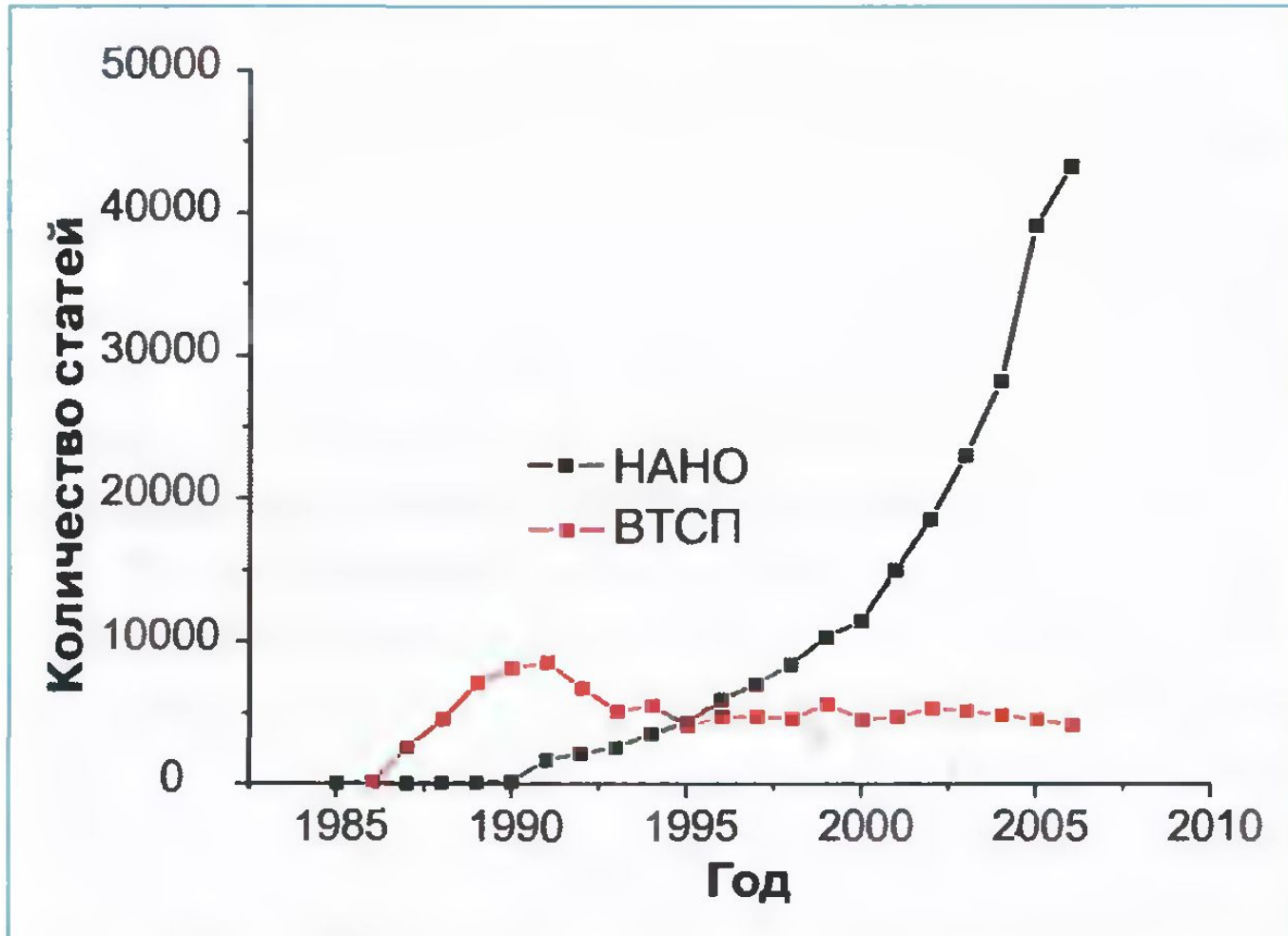
**2004** г. – **Андрей Гейм** (1958) и **Константин Новосёлов** (1974) (Нобелевские лауреаты 2010г.) **работы по графену**. Двумерные кристаллы  $\text{BN}$ ,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{NbSe}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$



**Нобелевский лауреат Р. Хоффман в ответе на вопрос, что такое нанотехнология, остроумно заметил, что рад тому, что для химии люди нашли новое название**



Средства, потраченные из бюджета различных стран на нанотехнологии в 1997—2005 г.



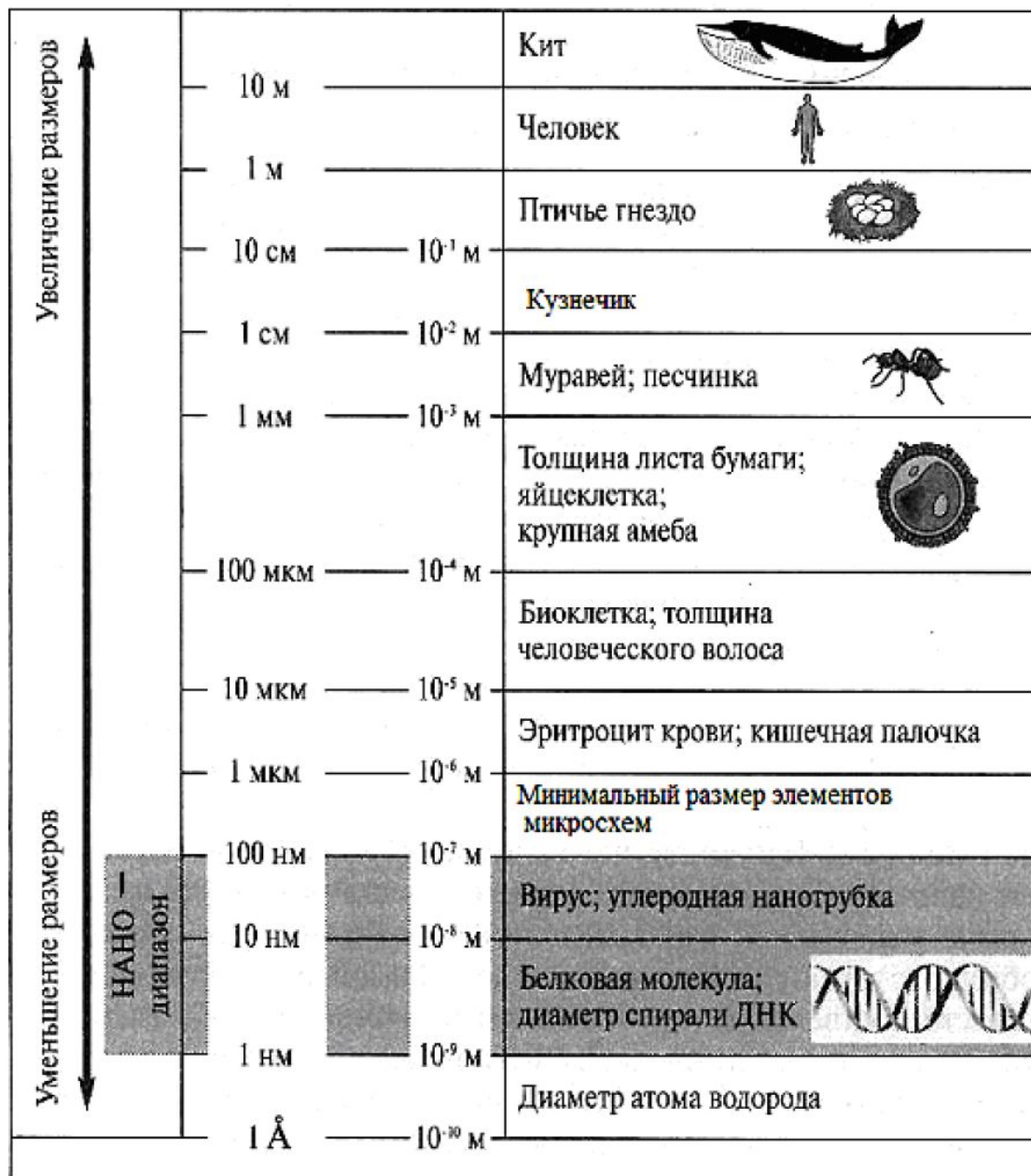
Публикации по тематике нанотехнологий и наноматериалов и по высокотемпературной проводимости





**Рис. 1.** Основные секторы рынка продукции нанотехнологий к 2015 г. (млрд. долларов США в год, прогноз министерства торговли Великобритании)

# Размерный фактор



## 1. ФАКТОР РАЗМЕРА.

Наноматериалы и наноустройства состоящие из наноразмерных частей обеспечивают суперминиатюризацию – расширение функциональных возможностей электронных систем при уменьшении их размера, существенное повышение плотности магнитной записи информации. Снижение энергопотребления. Возможность проникать внутрь биологических систем человеческого тела.

## 2. ПЛОЩАДЬ/ОБЪЕМ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Наноматериалы обладают большой удельной площадью поверхности. Использование в катализе обеспечивает ускорение реакций в тысячи и миллионы раз. Нанофильтры отделяют бактерии, эффективно поглощают примеси или токсины. Перенос наночастицами лекарств их активное усвоение. Эффективные сорбенты. Наноструктурные эффекты в материалах – качественное повышение характеристик.

## 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ.

Наноразмерные эффекты – качественные изменения характеристик материалов в связи с проявлением квантовомеханических эффектов за счет вклада поверхности раздела. Критический размер элемента – соизмерим с так называемым корреляционным радиусом того или иного физического явления (длина свободного пробега электронов, фононов, длина когерентности в сверхпроводнике, размеры магнитного домена и т.д.).



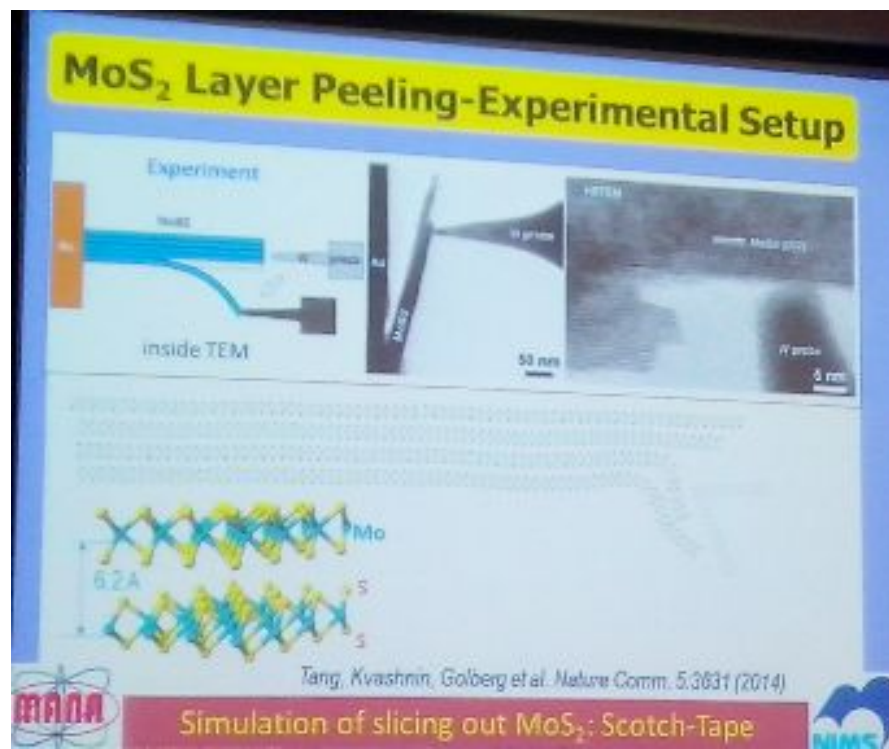
Факторы, определяющие многообразие наноструктур



ИСТОКИ И БАЗИС НАНО-:

1. ФИЗИКА
2. ХИМИЯ
3. МАТЕМАТИКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ.

4. ТЕХНОЛОГИЯ
5. ОБОРУДОВАНИЕ



МГТУ имени Н.Э.Баумана, кафедра МТ-11 "Электронные технологии в машиностроении"

## XII International Conference of Nanostructured Materials

**Lomonosov Moscow State University**  
**13-18 July, 2014**

11 секций,

975 докладов и презентаций !



## РАЗДЕЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

**Section 01.** Formation, Shaping and Self-assembly of Inorganic Nanoparticles; Carbon Nanomaterials.

**Формирование, структурирование и самоорганизация неорганических наночастиц; углеродные наноматериалы.**

**Section 02.** Thin Films and Heterostructures, 2D and 3D Nanofabrication. **Тонкие пленки и гетероструктуры, 2D и 3D нанотехнология.**

**Section 03.** Nanoceramics. **Нанокерамики.**

**Section 04.** Bulk Metallic Nanomaterials. **Объемные металлические наноматериалы.**

**Section 05.** Nanocomposites and Hybrid Nanomaterials. **Нанокompозиты и гибридные наноматериалы.**

**Section 06.** Polymer, Organic and Other Soft Matter Materials. **Полимерные, органические и другие мягкие материалы.**

**Section 07.** Nanomaterials for Energy. **Наноматериалы для энергетики.**

**Section 08.** Biological and Biomedical Nanomaterials. **Биологические и биомедицинские наноматериалы.**

**Section 09.** Nanomaterials: Mechanics and Applications in Mechanical Engineering. **Наноматериалы для машиностроения.**

**Section 10.** Nanomaterials for Information Technologies, Nanoelectronics and Nanophotonics.

**Наноматериалы для информационных технологий, наноэлектроники и нанопотоники.**

**Section 11.** Nanomaterials and Catalysis. **Наноматериалы для катализа.**