



***ФИЗИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
СОВРЕМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ***
Курс лекций

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Структура курса:

лекции - 8 ч, практические занятия - 4 ч.

Каждый студент выполняет контрольную работу (по вариантам).

Литература:

Учебники, учебные пособия (в том числе в электронном виде)

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 3,4 и 5. М.: 2010
2. Лозовский В. Н., Константинова Г. С. , Лозовский С. В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: Учебное пособие. 2-е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2008.
3. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М. Основы нанотехнологии в технике. Учебное пособие. МГОУ, 2006, 241 с. www.iqlib.ru

Дополнительная литература

7. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. -М.: Nanotechnology News Network, 2005. - 444 с. www.nanonewsnet.ru

Тема 1

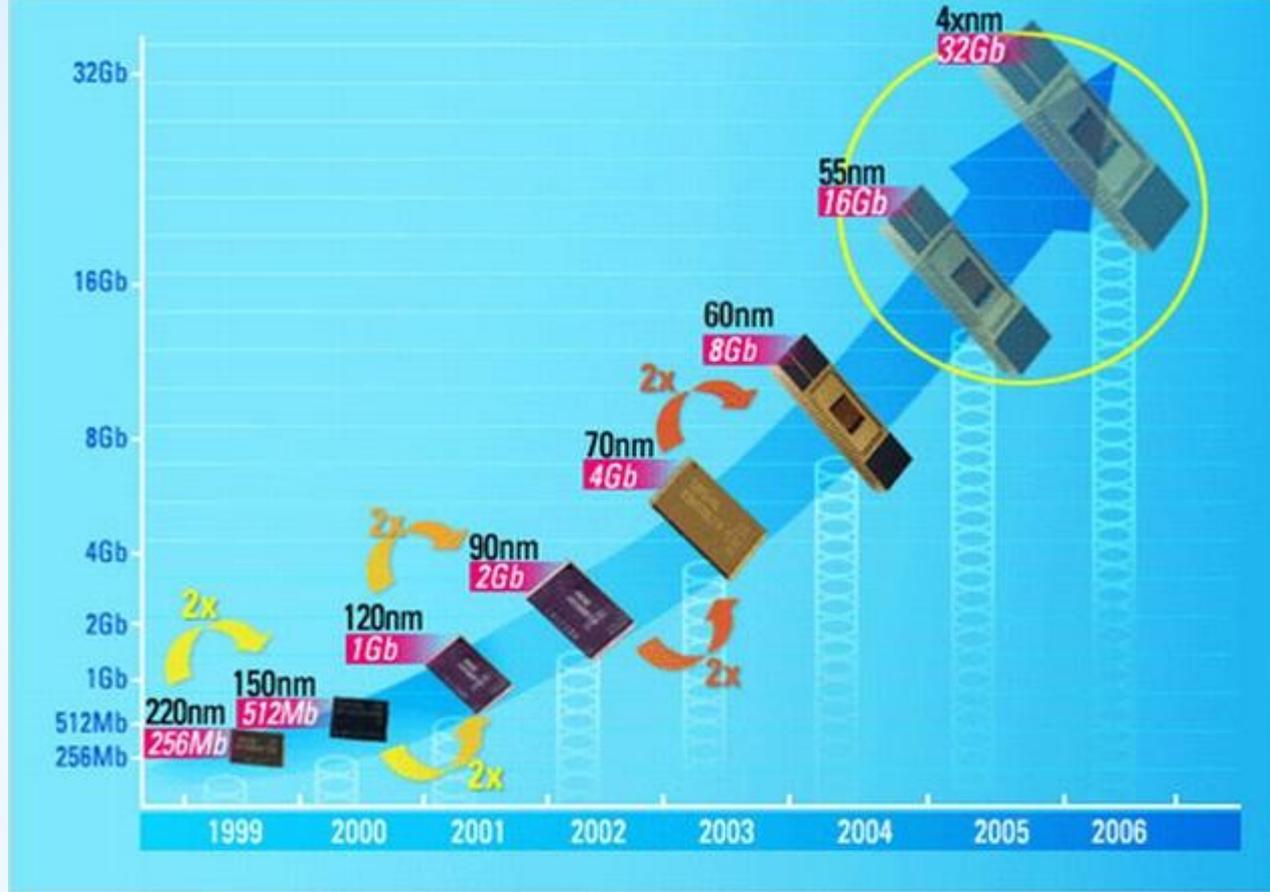
Основные тенденции развития современных технологий при эксплуатации авиационной техники (АТ).

Цели и задачи курса «Физические основы современных технологий». Предмет ФОСТ.

Основные понятия и терминология.

Роль фундаментальных закономерностей, определяющих особенности развития технологии производства АТ.

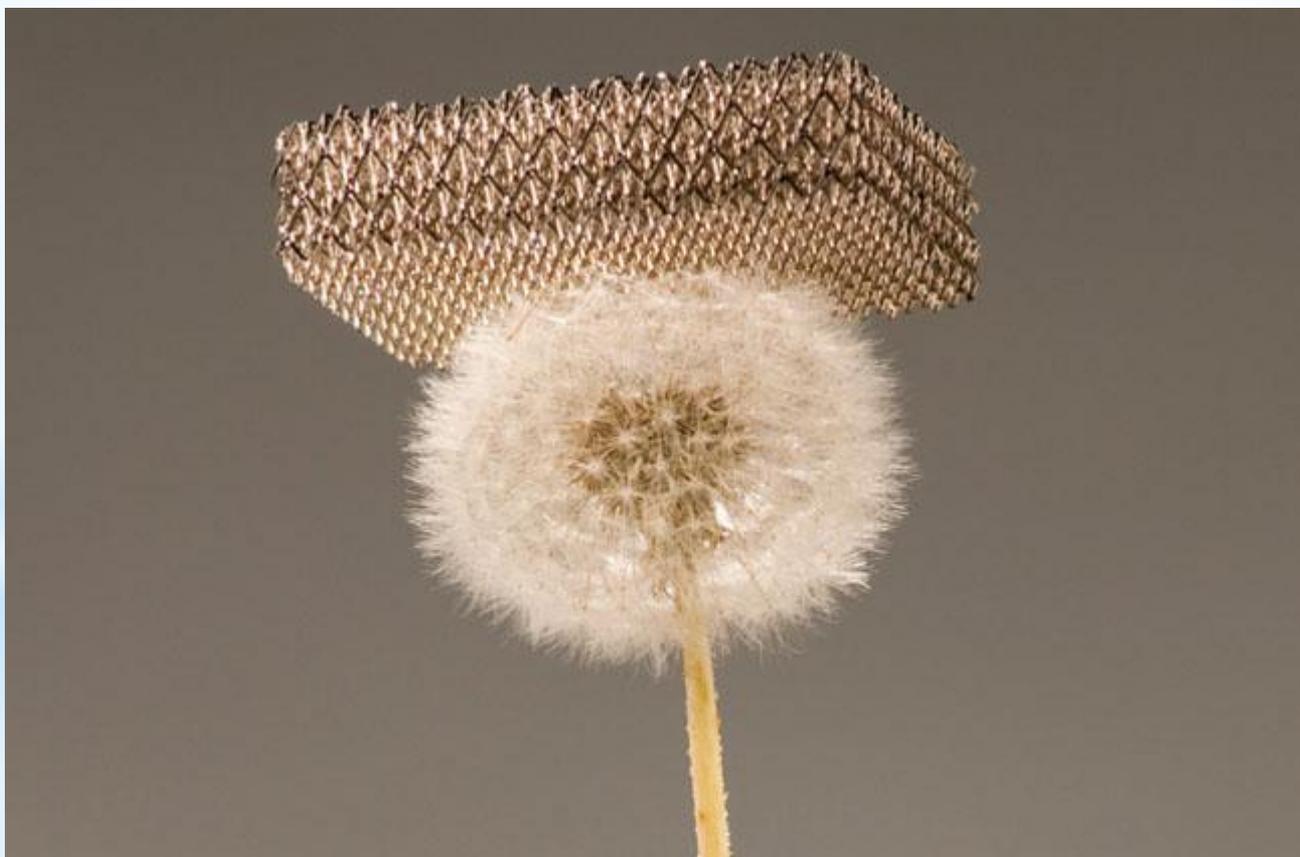
Экономические и технологические основы контроля состояния узлов и агрегатов АТ.



В 1959 году появился первый плоский транзистор. В 1965 м уже выпускались микросхемы, состоящие из 5060 транзисторов.

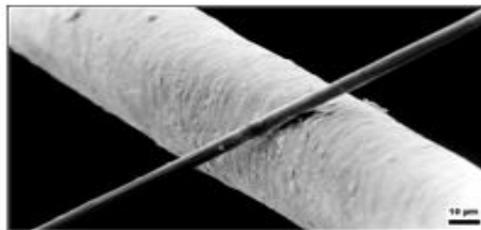
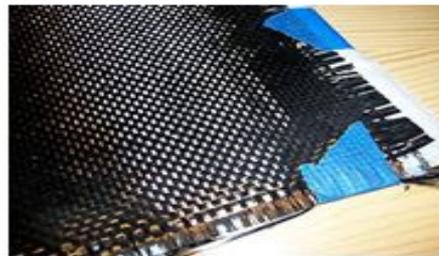
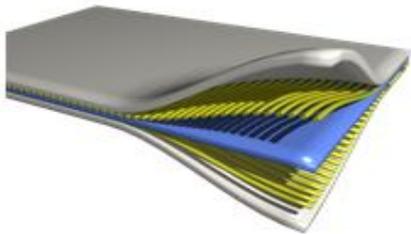
Сорок лет назад Гордон Мур, сооснователь фирмы Intel, предположил, что быстродействие компьютеров (то есть число элементов на микросхеме) будет удваиваться каждые 18 месяцев без существенного изменения цены. Согласно его прогнозу, эта тенденция должна была сохраниться в течение последующих 10 лет, а в 1975 году все с удивлением обнаружили, что прогноз сбылся. “Закон Мура” актуален и сейчас:

I. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ



1. «Композит»

- искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с чёткой границей раздела между ними. В большинстве композитов (за исключением слоистых) компоненты можно разделить на матрицу (обеспечивает защиту от мех. и пр. повреждений) и включённые в неё армирующие элементы (обеспечивает прочность, жесткость).



— **гетинакс и текстолит** (слоистые пластики из бумаги или ткани, склеенной термореактивным клеем),

— **стекло- и графитопласт** (ткань или намотанное волокно из стекла или графита, пропитанные эпоксидными клеями),

— **фанера.**

Классификация композитов

по виду армирующего наполнителя:^[1]

- * волокнистые (армирующий компонент — волокнистые структуры);
- * слоистые;
- * наполненные пластики (армирующий компонент — частицы)
 - * насыпные (гомогенные),
 - * скелетные (начальные структуры, наполненные связующим).

по материалу матрицы:

- * композиты с полимерной матрицей,
- * композиты с керамической матрицей,
- * композиты с металлической⁷ матрицей,

Преимущества КМ

- 1) материал и конструкция создается одновременно (Исключение – «препреги», которые являются полуфабрикатом для изготовления конструкций).
- 2) высокая удельная прочность (прочность 3500 МПа)
- 3) высокая жёсткость (модуль упругости 130...140 — 240 ГПа)
- 4) высокая износостойкость
- 5) высокая усталостная прочность
- 6) размеростабильные конструкции, с высокой точностью сохраняющие свои размеры при различных воздействиях (температурных, механических, химических, и т. д.): параболические антенны связи космических аппаратов. Допустимые изменения формы антенны диаметром 6 м не превышают доли микрона, рефлекторы РЛС воздушного или наземного базирования.
- 7) легкость.

Разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами. Некоторых преимуществ невозможно добиться одновременно.

Недостатки

- **Высокая стоимость** (кроме легких изделий сложной формы);
- **Анизотропия свойств** (например, модуль упругости различается по направлениям в 10-15 раз), опыт при изготовлении вертикального оперения **МИГ-29**;
- **Низкая ударная вязкость** (вероятность скрытых дефектов);
- **Высокий удельный объем** (сопротивления в авиации)
- **Гигроскопичность** (следствие обр-м первые КМ);
- **Токсичность**;
- **Низкая эксплуатационная технологичность.**



Применение КМ

Авиация и космонавтика: для изготовления конструкций силовых летательных аппаратов, ИСЗ,



теплоизолирующих покрытий Шаттлов, космических зондов; изготовление обшивок воздушных и космических аппаратов.

Применение КМ

Вооружение и военная техника

Благодаря своим характеристикам (прочности и лёгкости) КМ применяются в военном деле для производства различных видов брони: бронежилетов (кевлар используют как армирующее волокно в КМ), брони для военной техники.



Фрагменты тканевополимерного бронешлема из кевлара, использованного для поглощения энергии взрыва ручной гранаты, Ирак, 2004. Личный состав отделения спасен, капрал Dunham, закрывший своим шлемом брошенную повстанцами гранату, погиб.



(композитный фюзеляж самолета Boeing 787 Dreamliner)



Применение КМ:

Медицина

Материал для зубных пломб. Пластиковая матрица служит для хорошей заполняемости, наполнитель из стеклянных частиц повышает износостойкость.

Машиностроение

В машиностроении композиционные материалы широко применяются для создания защитных покрытий на поверхностях трения, для изготовления различных деталей двигателей внутреннего сгорания (поршни, шатуны).

Товары широкого потребления:

Железобетон, лодки из стеклопластика, автомобильные покрышки, Спортивное оборудование

2. Наноматериалы –

материалы, созданные с использованием наночастиц (1-100 нм – эл. ячейка крист. решетки) и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, обусловленными присутствием этих частиц в материале.

Виды наноматериалов

нанопористые структуры

наночастицы

Нанотрубки и нановолокна

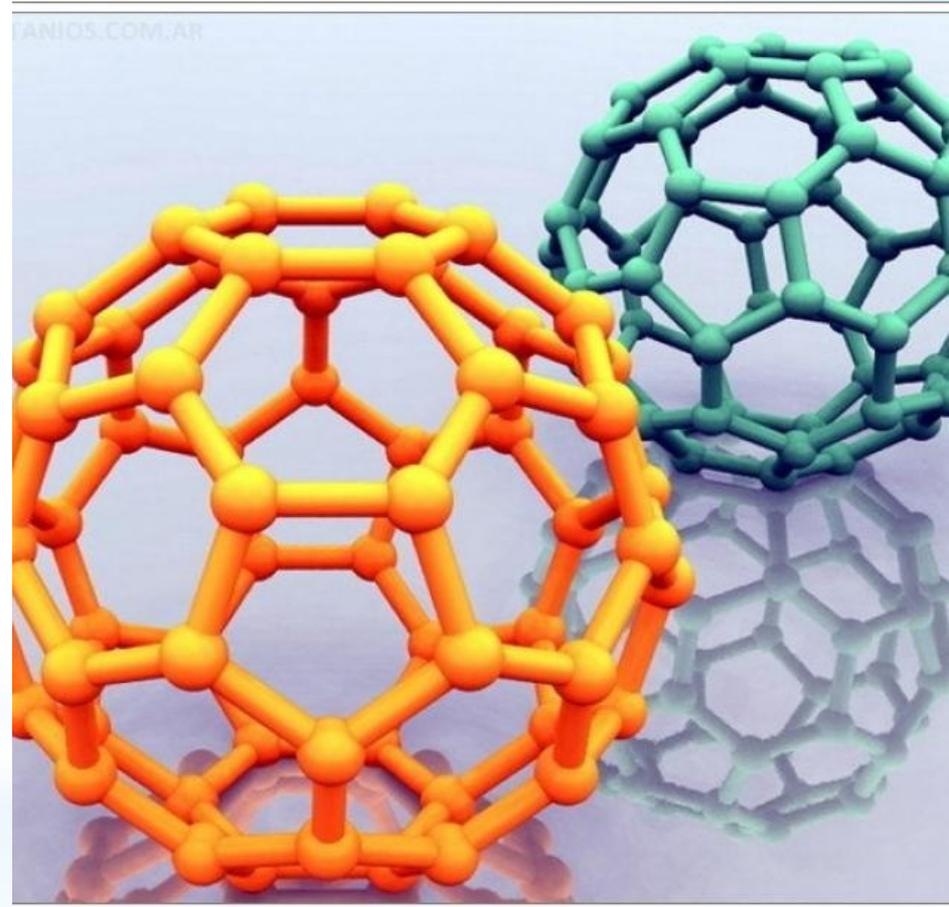
Нанодисперсии (коллоиды)

наноструктурированные поверхности и пленки

нанокристаллы и нанокластеры.

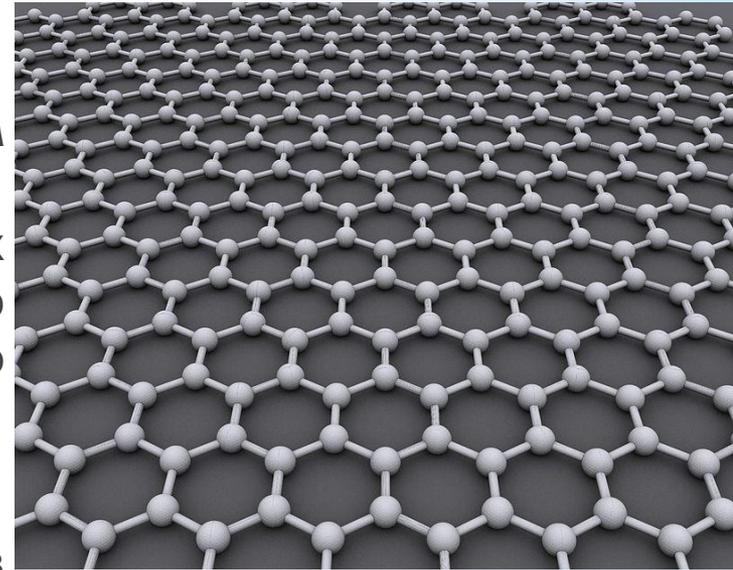
* Фуллерены и углеродные нанотрубки

В 1985 году Роберт Керл, Гарольд Крото и Ричард Смолли совершенно неожиданно открыли принципиально новое углеродное соединение - фуллерен. (Нобелевская премия 1996 году)



Графен (Нобелевская премия 2010 г. А. К. Гейму и К. С. Новосёлову)

* Графен ([англ. graphene](#)) – двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом, находящихся в sp^2 -гибридизации и соединённых посредством σ - и π -связей в гексагональную двумерную кристаллическую решётку. Его можно представить как одну плоскость графита, отделённую от объёмного кристалла.



* Получение - механическое отшелушивание слоёв графита

По оценкам, графен обладает большой механической жёсткостью и рекордно большой теплопроводностью (~ 1 ТПа и $\sim 5 \cdot 10^3$ Вт·м⁻¹·К⁻¹ соответственно). Высокая подвижность носителей заряда (максимальная подвижность электронов среди всех известных материалов) делает его перспективным материалом для использования в самых различных приложениях, в частности, как будущую основу нанoeлектроники и возможную замену кремния в интегральных микросхемах.

* Свойства наноматериалов

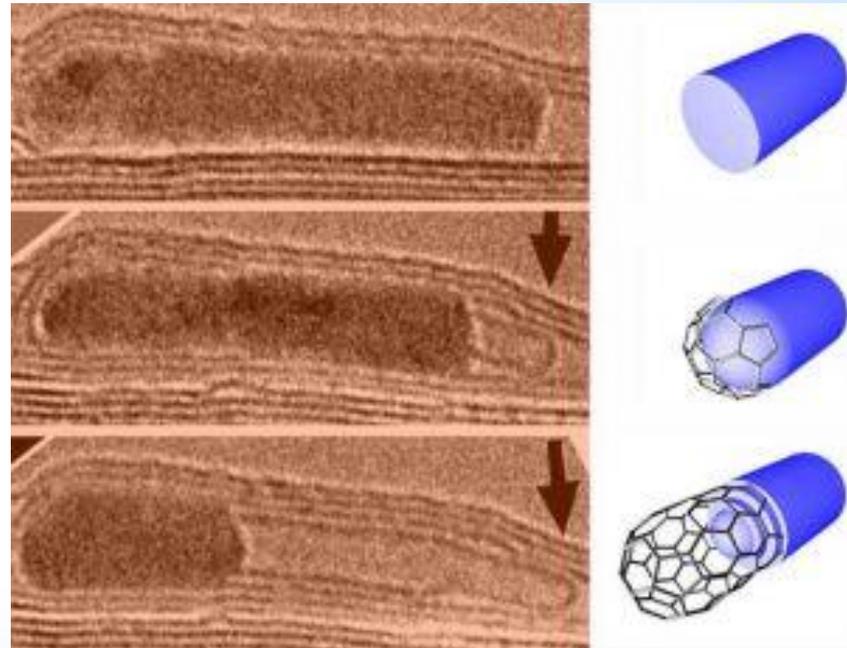
- * Прочность при малой массе (в десятки раз превышает прочность стали);
- * Высокая химическая активность;
- * магнитные, тепло- и электропроводные свойства;
- * изменение температуры плавления (уменьшение).

При конструировании НМ руководствуются сл. принципом: наибольший размер одного из структурных элементов должен быть равен или быть меньше размера, характерного для определенного физического явления. Так для прочностных свойств это будет размер бездефектного кристалла, для магнитных свойств - размер однодоменного кристалла, для электропроводности - длина свободного пробега электронов. (каждый вид НМ обладает своим набором свойств)

Углеродные нанотрубки и нановолокна

Нанотрубка - топологическая форма наночастиц в виде полого наностержня)

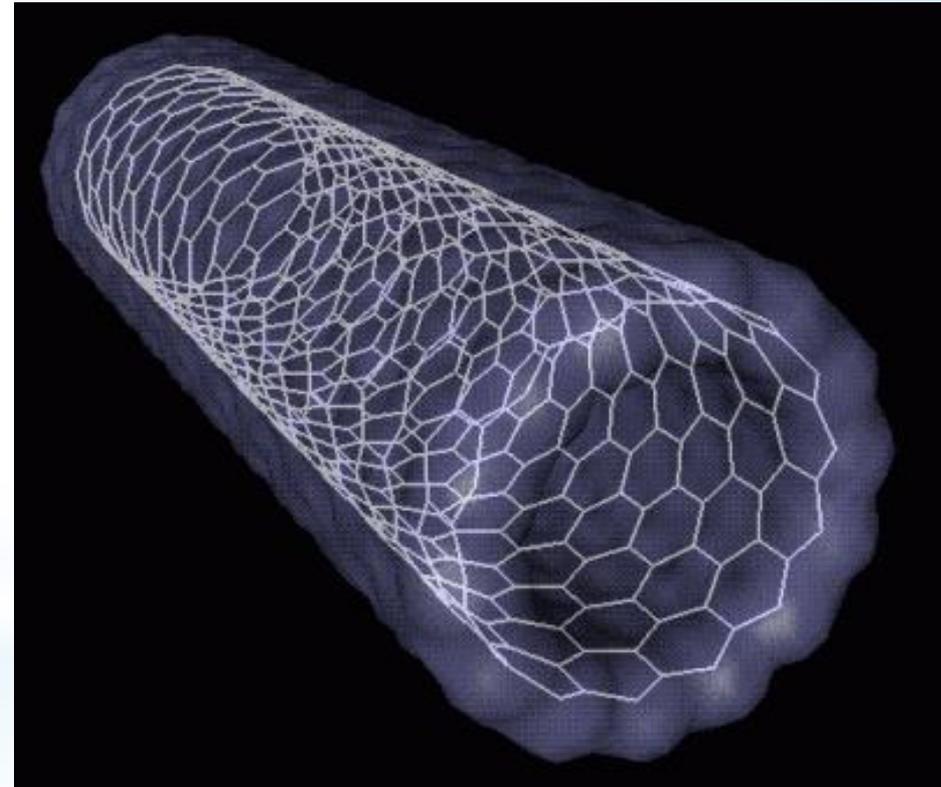
Нанотрубки в 50100 раз прочнее стали и имеют в шесть раз меньшую плотность! Небольшая нить диаметром 1 мм, состоящая из нанотрубок, могла бы выдержать груз в 20 т, что в несколько сотен миллиардов раз больше ее собственной массы!



Открытая нанотрубка обладает капиллярными свойствами, то есть как бы втягивает вещество в себя. Это возможность их использования как микроскопические контейнеры для перевозки и хранения химически или биологически активных веществ: белков, ядовитых газов, компонентов топлива и даже расплавленных металлов.

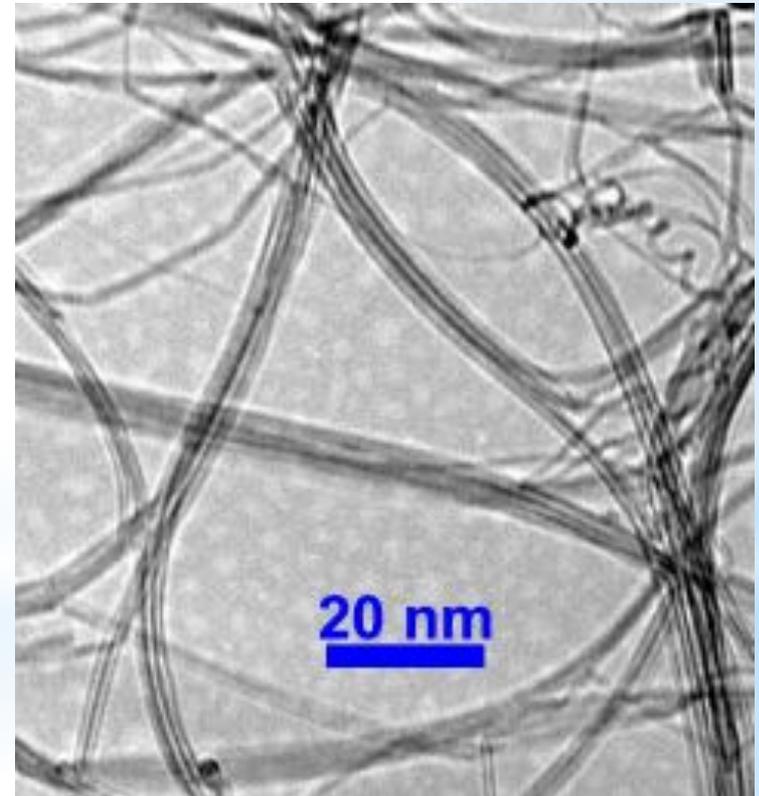
Металлические, оксидные и гидроксидные нанотрубки

1. Наиболее распространенными видами подобных наноуполнителей являются следующие: B_4C , BN , LaF_3 , SiC , TiS_2 , MoS_2 , ZrS_2 . Длина нанотрубок этого типа составляет от 3 до 30 мкм, внешний диаметр 25-100 нм, внутренний диаметр 10-80 нм.
2. Кроме того, на рынке представлены нанотрубки следующих оксидов и гидроксидов металлов: Y_2O_3 , MgO , TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , $BaTiO_3$, $SrTiO_3$, $K_2Ti_6O_{13}$, $CaSnO_3$, $BaSnO_3$, CuO , La_2O_3 , $Ni(OH)_2$ и др, имеющие длину 0,2 -20 мкм, внешний диаметр 40-200 нм, внутренний диаметр 15-150 нм.



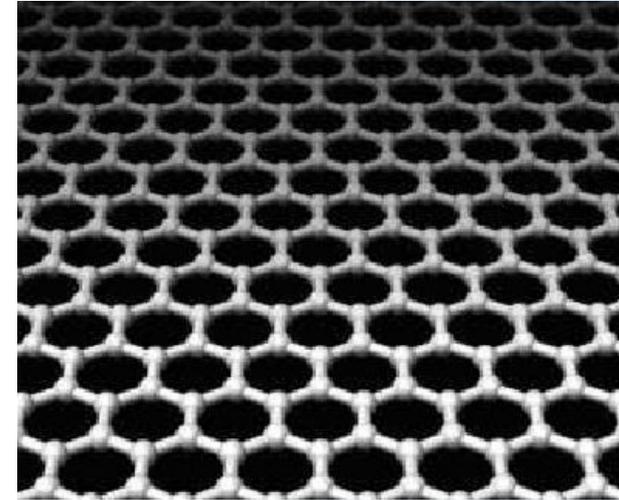
Нитевидный нанокристалл (ННК), часто называемый также **нановискер** (от англ. *nanowhisker*) или **нанонить**, **нанопроволока** (от англ. *nanowires*), а также **наностержень** (англ. *nanorod*) — это одномерный наноматериал, длина которого значительно превосходит остальные измерения, которые, в свою очередь, не превышают несколько десятков нанометров.

**Металлические (Ag, Bi, In),
полупроводниковые (SiGaP,
InP), нитридные (Si₃N₄) и
оксидные (TiO₂).**



Физическое обоснование нано-свойств

- * Увеличенная доля атомов, находящихся в тонком поверхностном слое (~ 1 нм), по сравнению с микрочастицами (ненасыщенность связей).
- * В результате в приповерхностном слое возникают сильные искажения кристаллической решетки и даже может происходить смена типа решетки.
- * свободная поверхность является местом сосредоточения (стока) кристаллических дефектов. Установлено, что процессы деформации и разрушения протекают, в первую очередь, в тонком приповерхностном слое с опережением по сравнению с внутренними объемами металлического материала, что во многом определяет механические свойства (прочность, пластичность).



Наибольшее изменение свойств происходит в случае, когда объемная доля поверхностей раздела в общем объеме материала составляет более 50%

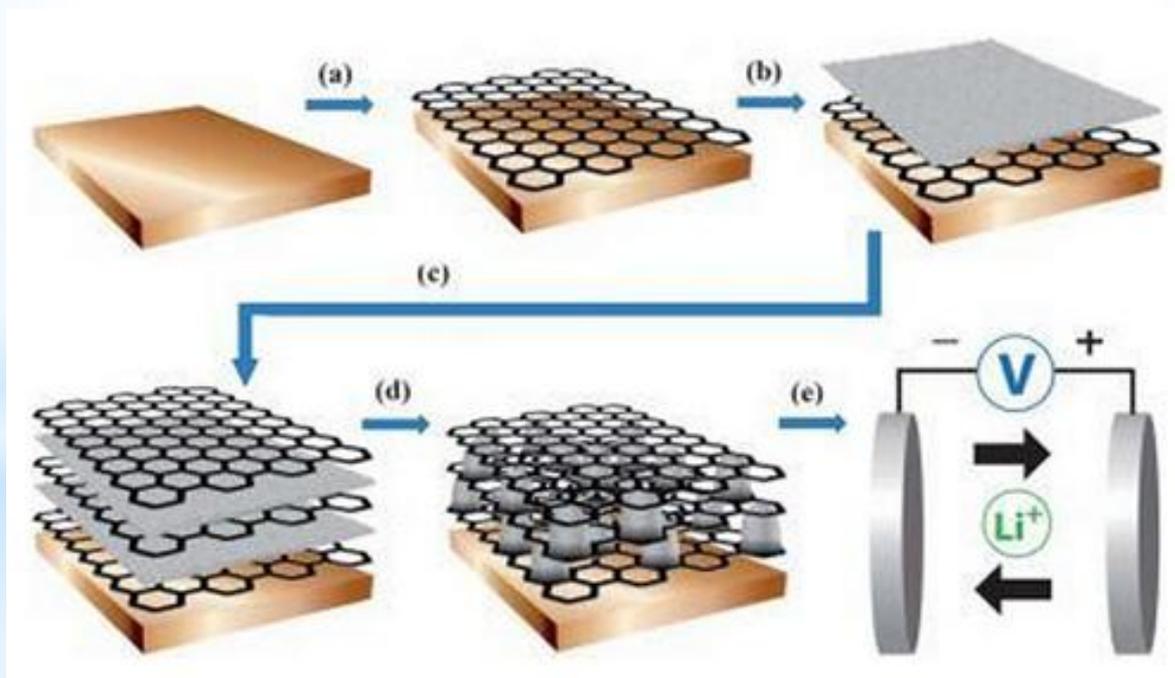
* Применение наноматериалов

- * конструкционных материалов), микроэлектроника и оптика (микросхемы, компьютеры, оптические затворы и т.д.), энергетика (аккумуляторы, топливные элементы, высокотемпературная сверхпроводимость и др.), химическая технология, военное дело, научные исследования (метки и индикаторы), охрана окружающей среды (наночипы и наносенсоры).
- * В пищевой промышленности наноматериалы находят применение в фильтрах для очистки воды, при получении более легких, прочных, более термически устойчивых и обладающих антимикробным действием упаковочных материалов

Применение нанокompозитных материалов

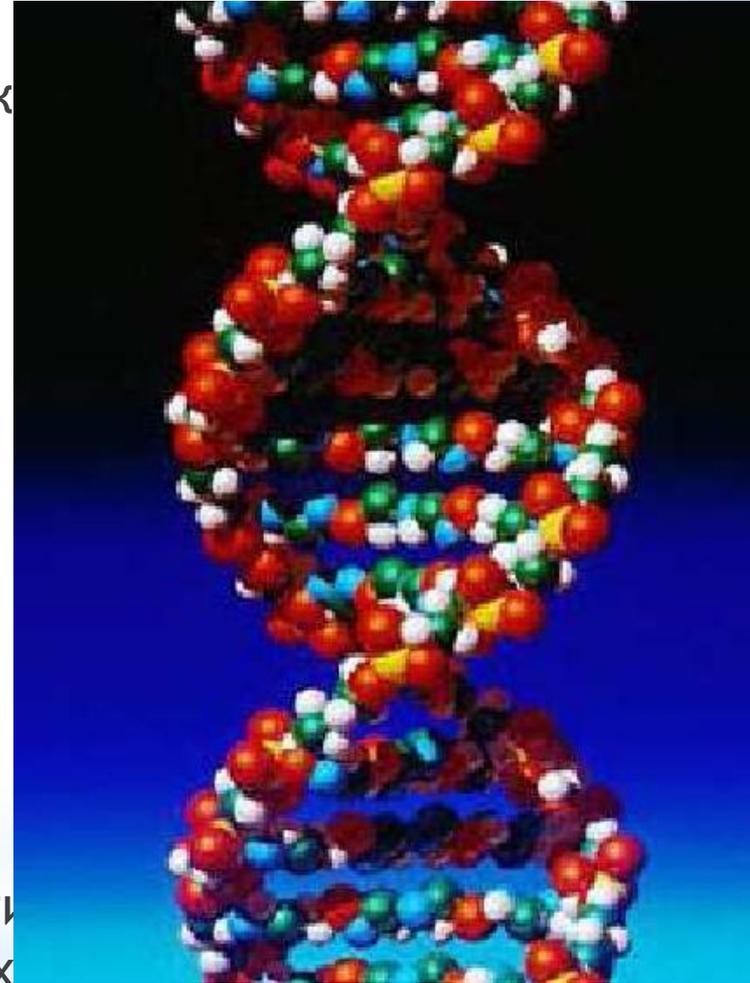
Нанокompозиты на основе графена можно использовать при производстве компонентов авиатехники, которые должны оставаться одновременно легкими и устойчивыми к физическому воздействию.

Нанокompозит, содержащий графен и олово, способен заметно увеличить емкость литий-ионных аккумуляторов и уменьшить их вес.



Использование наноматериалов в медицине

- * диагностика заболеваний на ранней стадии, в перспективе - на уровне единичных клеток (диагностика с помощью магнитных наночастиц, захваченных макрофагами).
- * Квантовые точки с дискретным спектром излучения для маркировки раковых клеток (уже подтверждено экспериментами на мышах).
- * суспензию из зелёных квантовых точек можно вводить в сосуды для визуализации кровеносной системы.
- * Адресная доставка лекарств к поражённым клеткам. Это намного повышает возможности лечения онкологических и некоторых других заболеваний сильнодействующими препаратами с ярко выраженными побочными действиями.

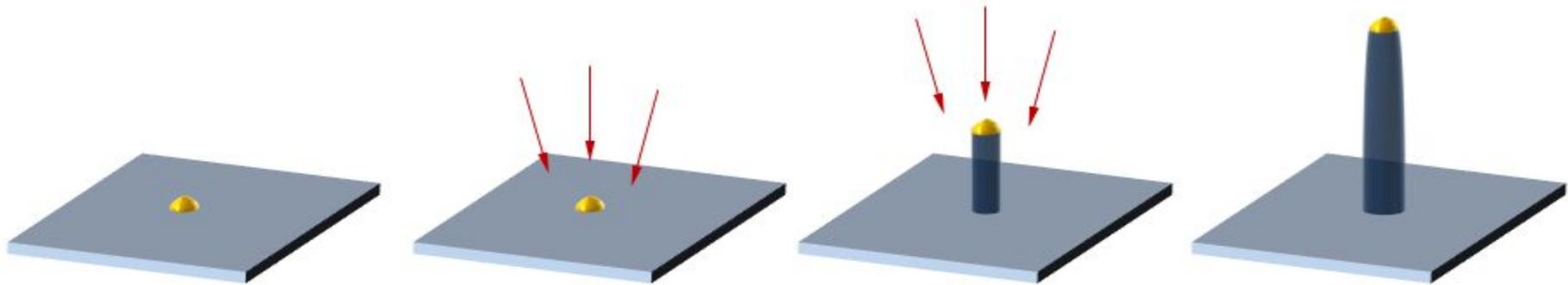


! наночастицы могут не вызывать иммунный ответ из-за их незначительного размера и быть токсичными!

Получение ННК:

рост «пар-жидкость-кристалл».

В методе осуществляется эпитаксиальный рост ННК методами химического осаждения из газовой фазы или молекулярно-пучковой эпитаксии.



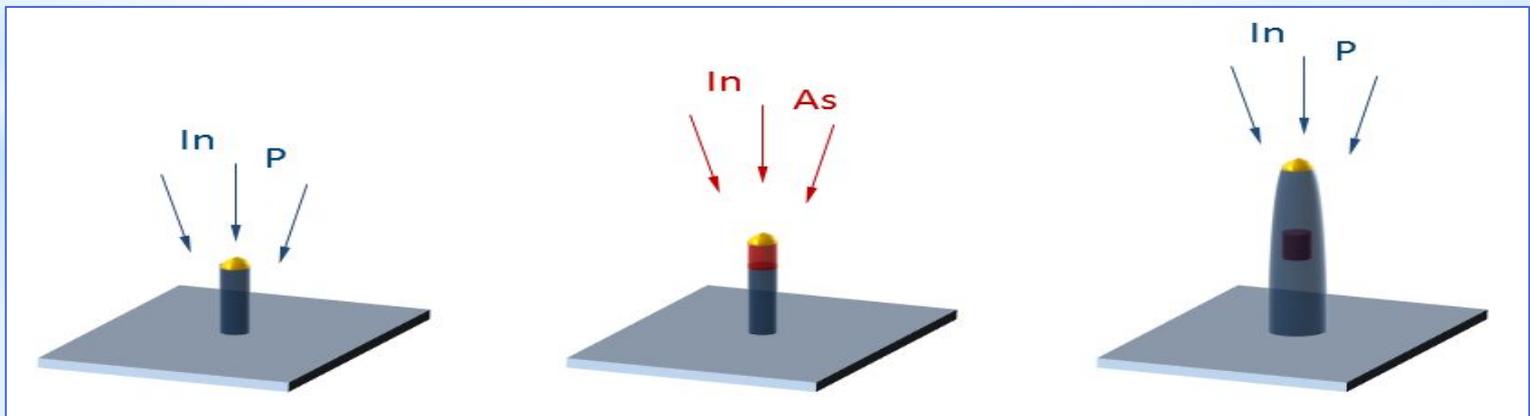
Осаждение капель Au

Насыщение

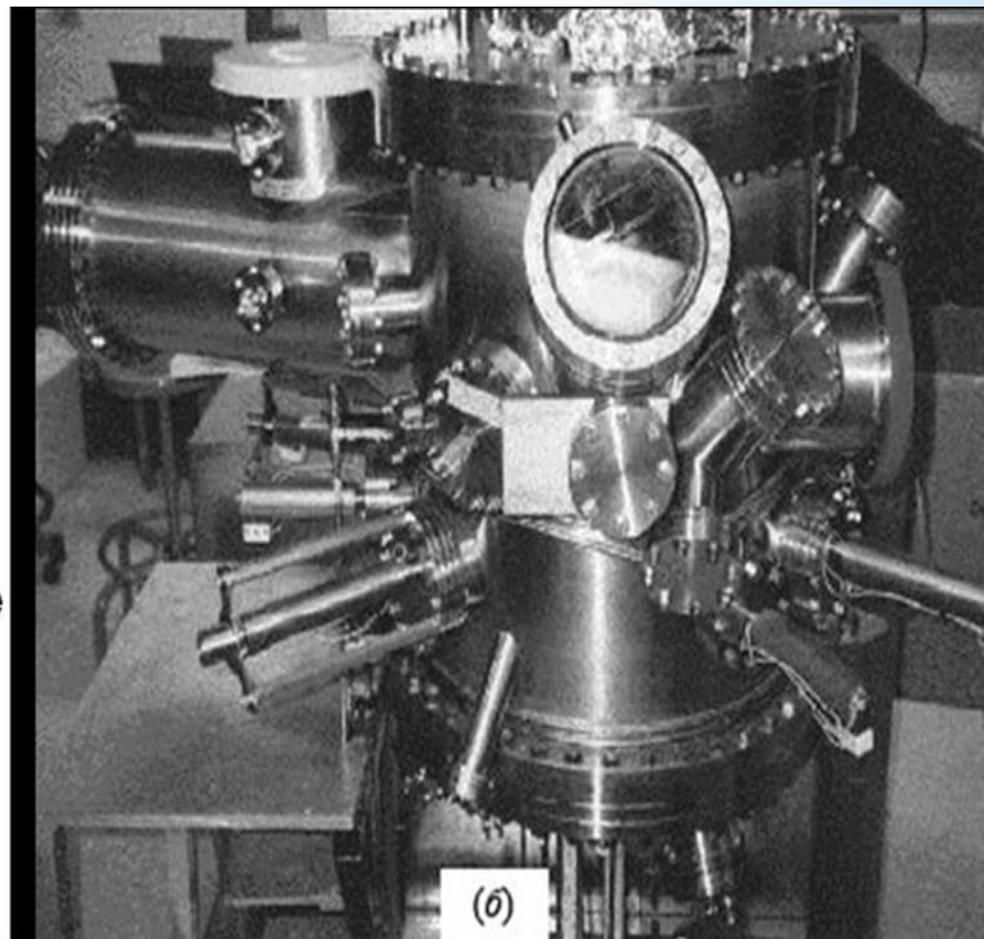
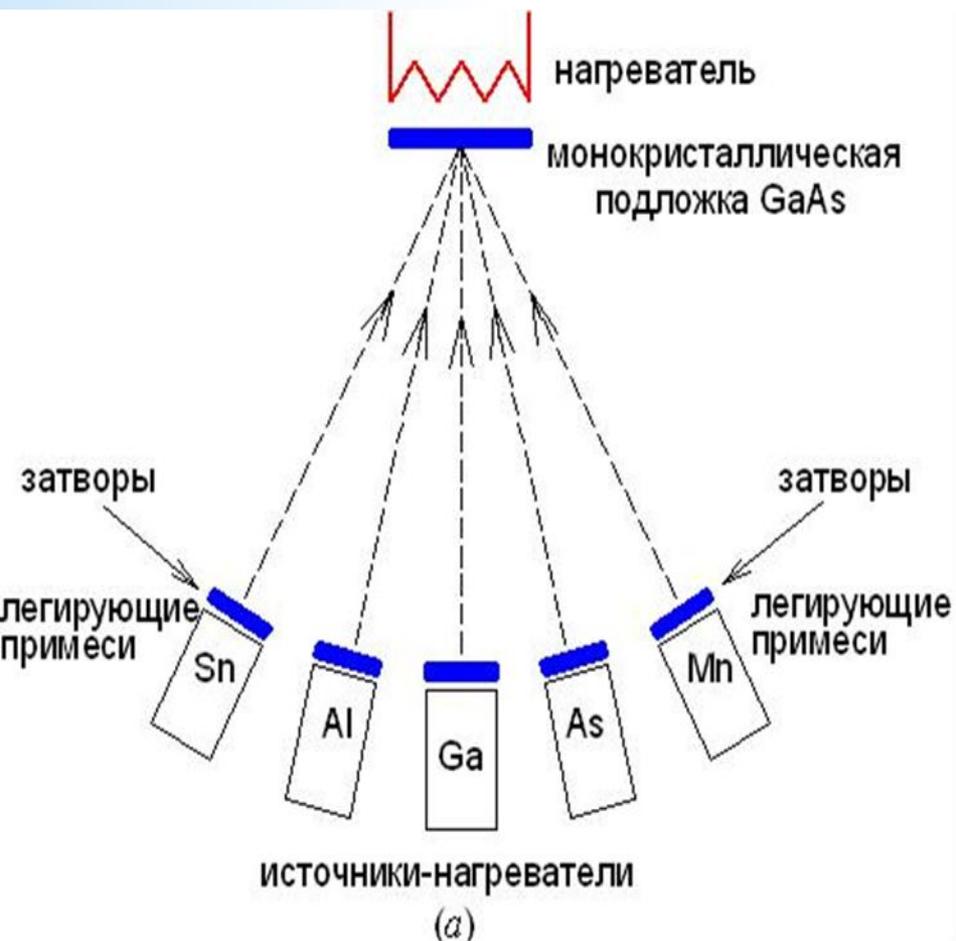
Рост ННК

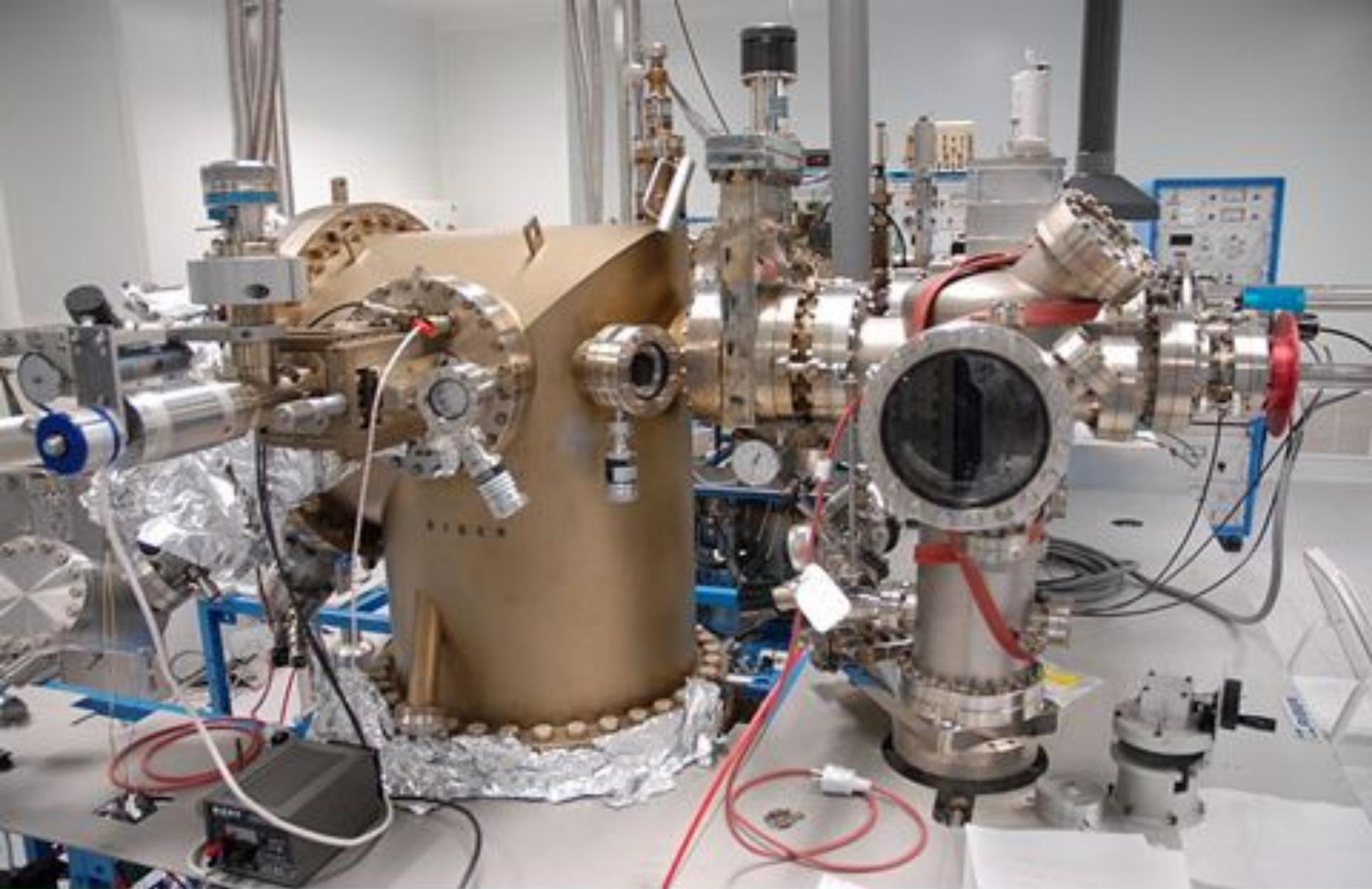
Прерывание роста

Гетероструктуры на ННК:



Молекулярно-пучковая эпитаксия





Система молекулярно-пучковой эпитаксии. Видна ростовая камера (слева) и камера загрузки образцов (справа), разделенные заслонкой-шибером.

3. Метаматериалы

мета" (греч. «meta» - «вне»)



Метаматериал — композиционный материал, свойства которого обусловлены, главным образом, **искусственно созданной периодической структурой**. Они представляют собой искусственно сформированные и особым образом структурированные среды, обладающие электромагнитными или акустическими свойствами, сложно достижимыми технологически либо не встречающимися в природе. ("мета" переводится с греческого как «вне»).

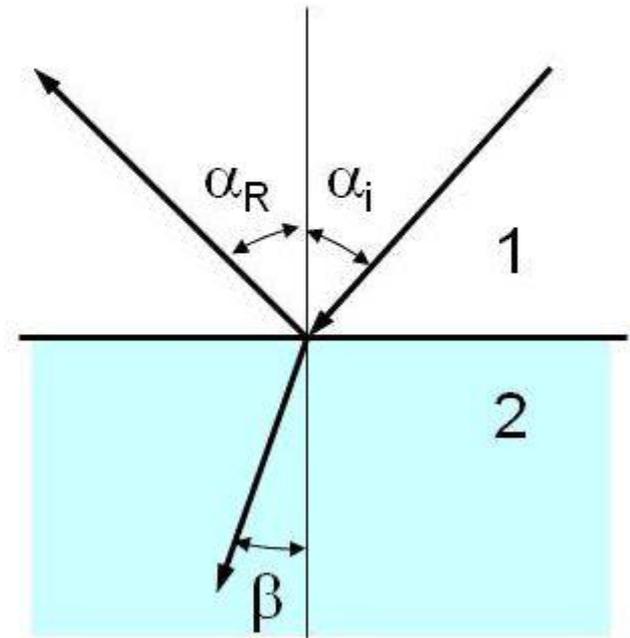
* Закон отражения и преломления света. Полное внутреннее отражение

Закон преломления света

- Закон преломления описывается формулой:

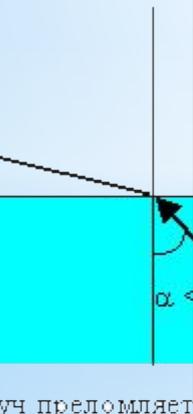
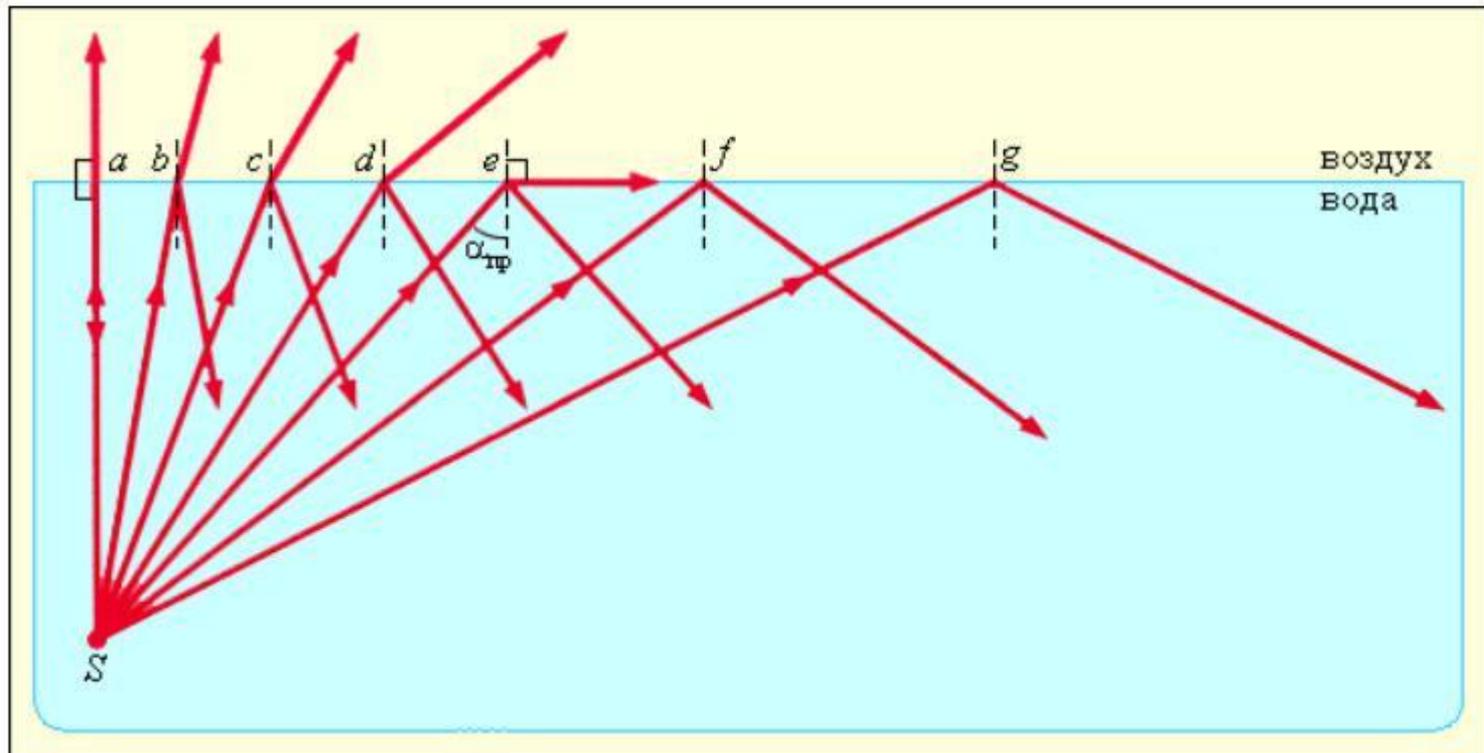
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} \quad (1)$$

где n_{21} – **относительный показатель преломления** второй среды относительно первой



* Полное внутреннее отражение

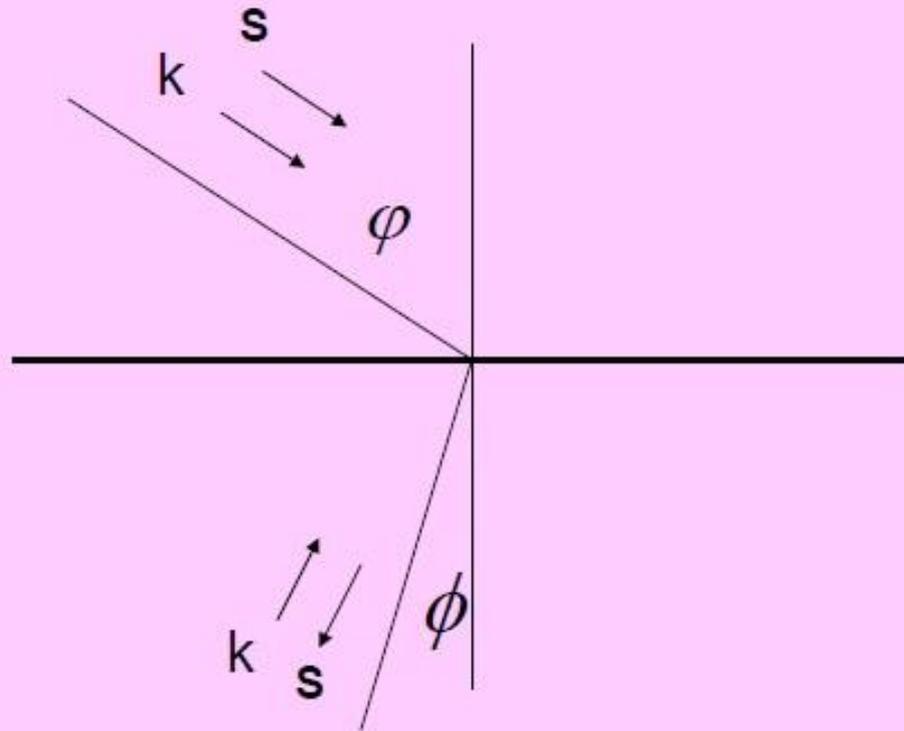
Полное внутреннее отражение.



преломлённый пучок исчезает. Это и есть полное отражение

МЕТАМАТЕРИАЛЫ

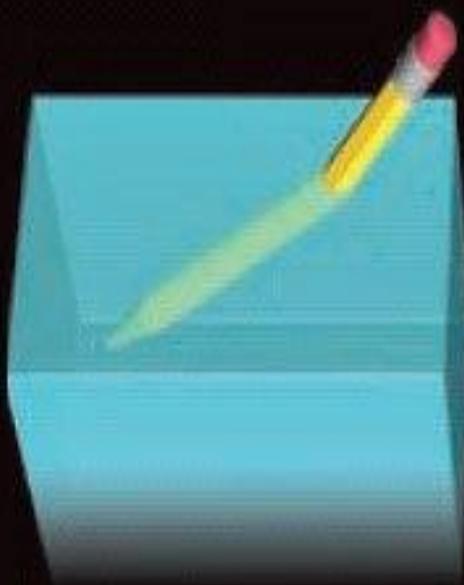
Отрицательное преломление,
например в кристаллооптике



СТРАННОСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ

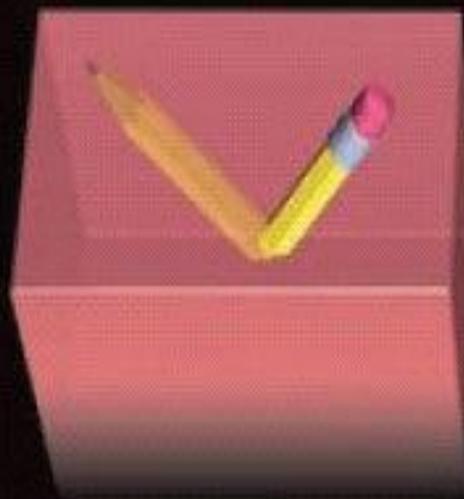
В среде с отрицательным показателем преломления свет (и все другие виды электромагнитного излучения) ведет себя не так, как в обычных материалах с положительным преломлением, причем во многих отношениях это поведение противоречит интуиции

**СРЕДА
С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ
ПОКАЗАТЕЛЕМ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ**



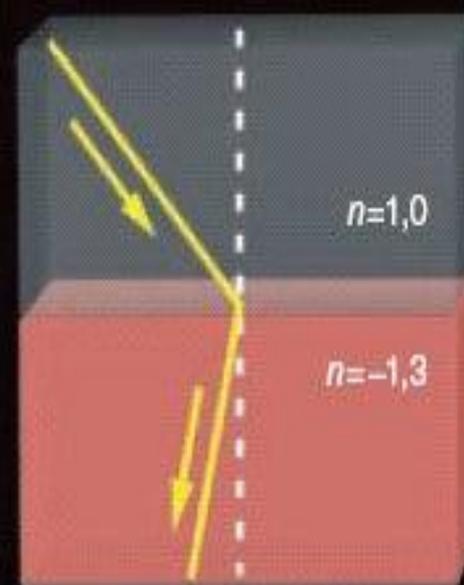
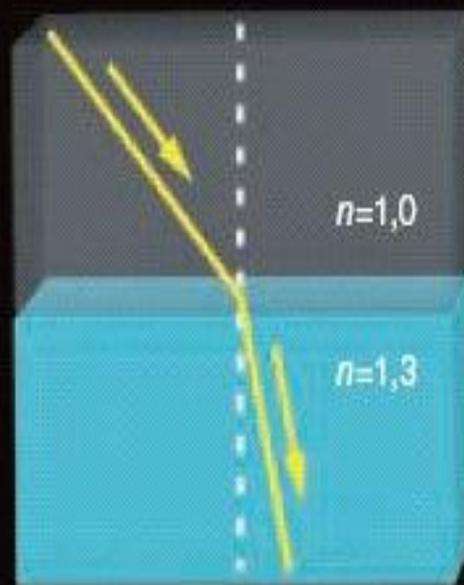
Карандаш в воде кажется изогнутым из-за более высокого показателя преломления воды

**СРЕДА
С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ
ПОКАЗАТЕЛЕМ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ**



Карандаш, погруженный в среду с отрицательным преломлением, будет казаться изогнутым наружу

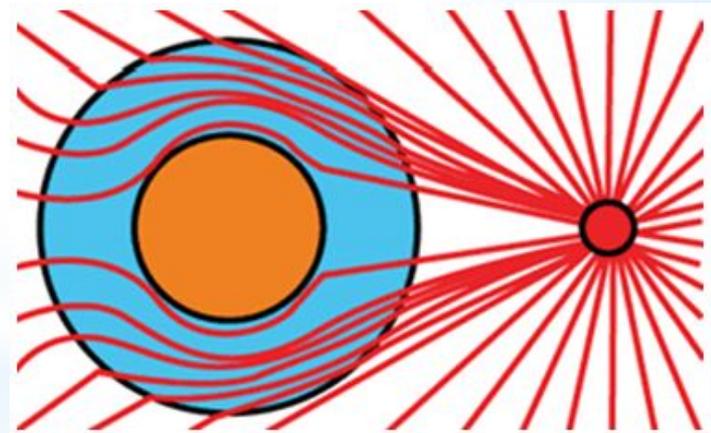
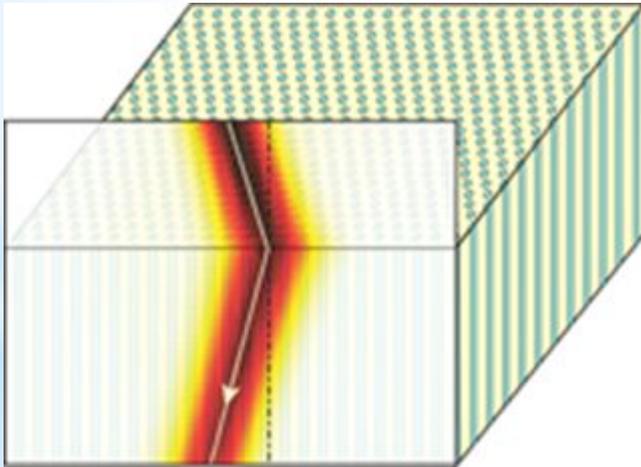
Когда свет переходит из среды с низким показателем преломления (n) в среду с более высоким, он отклоняется в сторону нормали (пунктирная линия под прямым углом к поверхности раздела)



Когда свет идет из среды с положительным преломлением в среду с отрицательным, он отклоняется назад, оставаясь по ту же сторону нормали, что и падающий свет

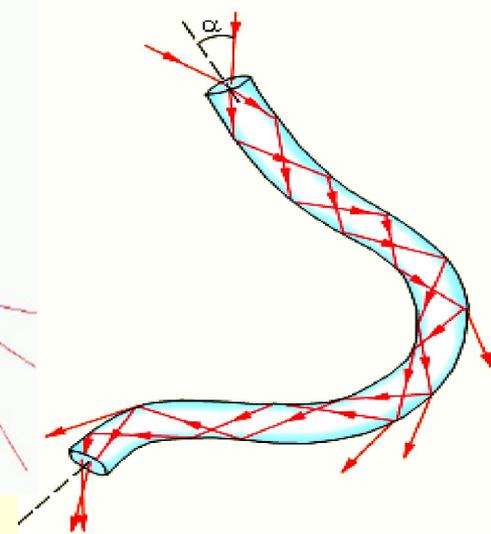
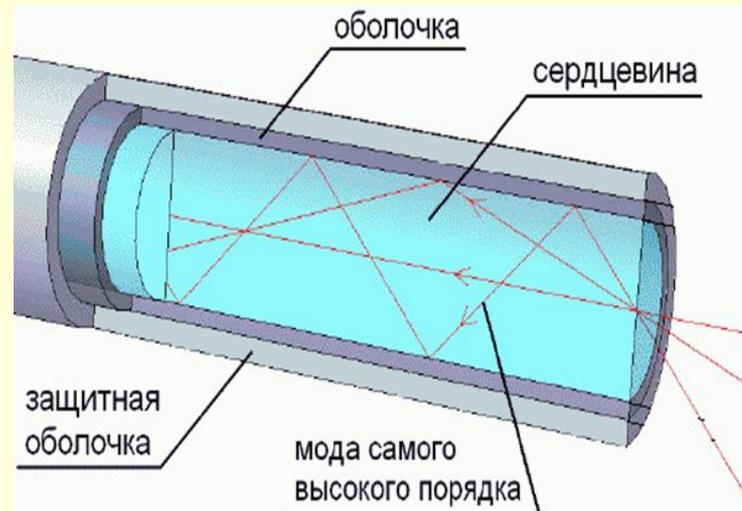
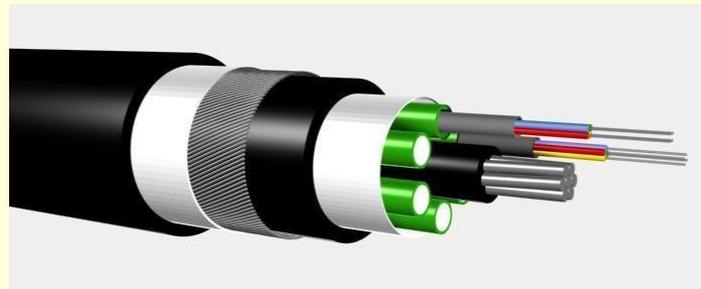
- *Путем конструирования искусственных сред (метаматериалов) можно достичь свойств, которых не имеют природные материалы*

– Метаматериал с отрицательным коэффициентом преломления искривляет ход лучей



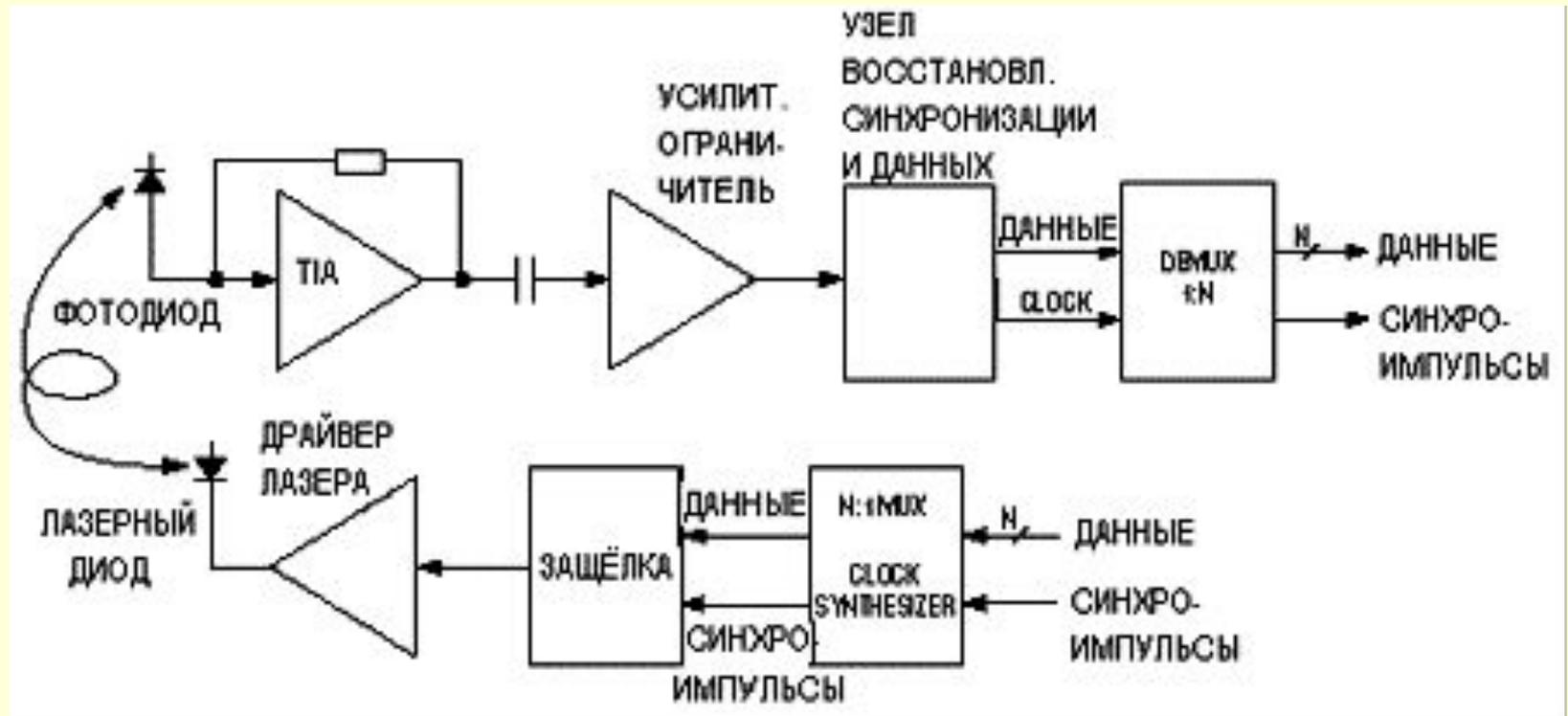
4. Оптоволокно. Информационные системы

Для обеспечения полного внутреннего отражения абсолютный показатель преломления сердцевины несколько выше показателя преломления оболочки.



Свет, падающий на торец световода **под углами, большими предельного (полного внутреннего отражения)**, претерпевает на поверхности раздела сердцевины и оболочки **полное отражение** и распространяется только по световедущей жиле.

Электронно-оптический приемопередатчик



ЭНДОСКОП с ВОЛОКОННОЙ ОПТИКОЙ



5. Сплавы с эффектом памяти механической формы (например, никелид титана).

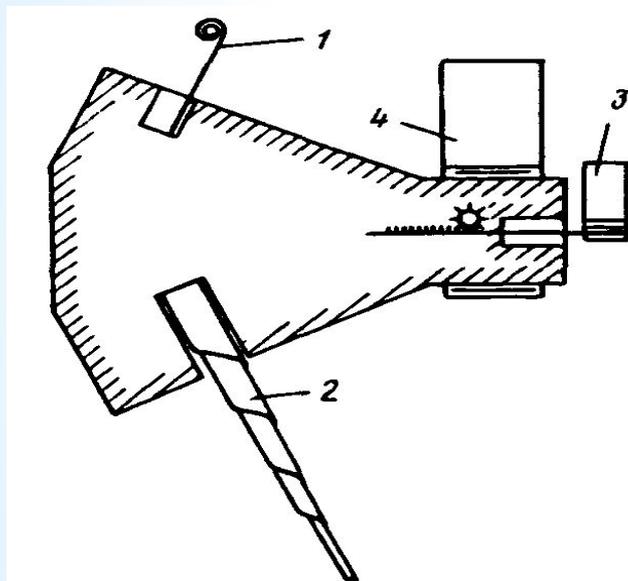
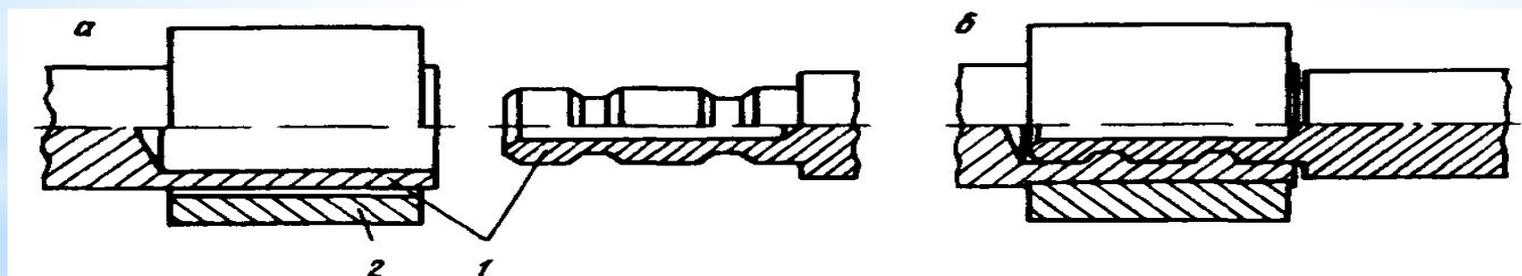


Схема космического аппарата с самоформирующимися элементами: 1 - антенна, 2 - механический стабилизатор; 3 - излучатель энергии, 4 - солнечная батарея



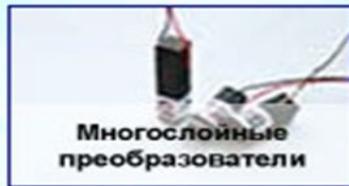
. Соединение трубчатых деталей с помощью муфты (2) из металла с памятью формы' а - до сборки; б - после нагрева

В истребителях более 300 тысяч таких соединений труб гидравл системы.

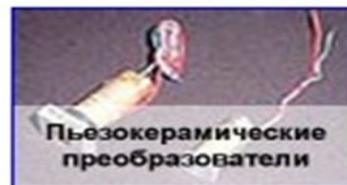
6. СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ. ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТЫ

Пьезоэлектрические устройства

АКТЮАТОРЫ



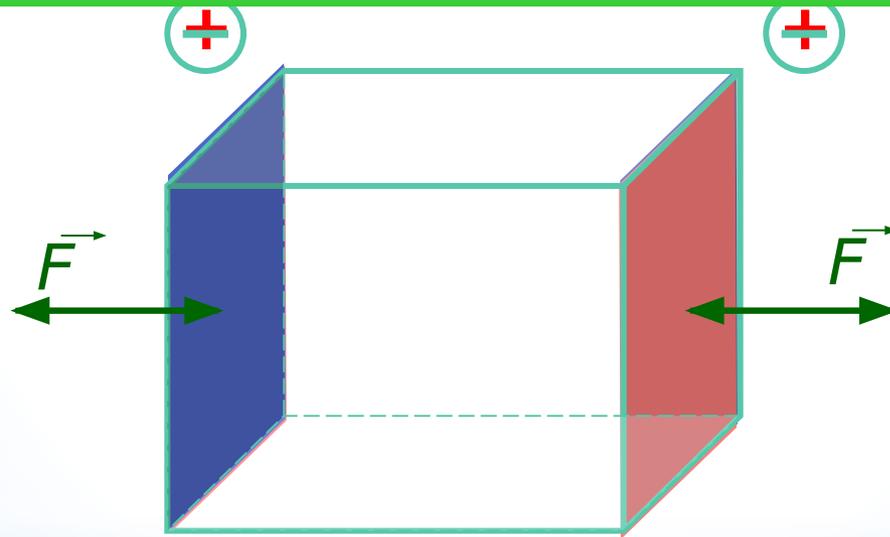
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ



* Свойства сегнетоэлектриков

- * В некотором диапазоне температур ε очень велика (для BaTiO_3 – $\varepsilon = 6000-7000$)
 - * $P=f(E)$ - нелинейная функция
 - * Зависимость P от «предыстории»
 - * Наличие точки Кюри, при нагревании выше которой сегнетоэлектрик становится обычным полярным д/э:
 - для BaTiO_3 - $T_K = 80^\circ\text{C}$,
 - сегнетовой соли – $T_{K1} = 22,5^\circ\text{C}$, $T_{K2} = -15^\circ\text{C}$
- С. в полярной фазе являются пьезоэлектриками

Прямой пьезоэлектрический эффект

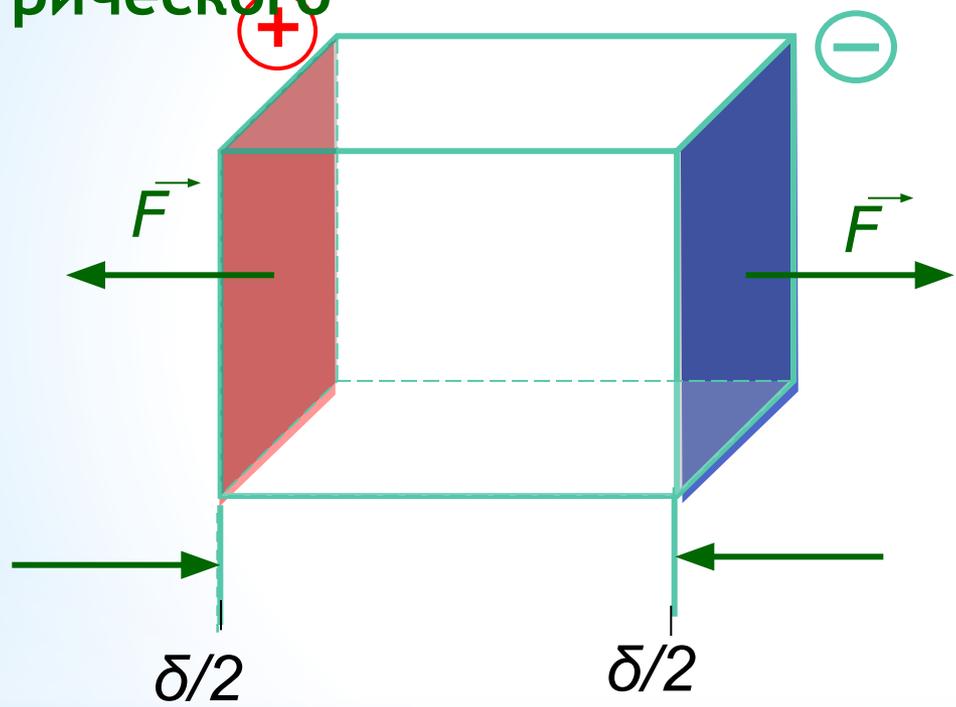


$$E \sim F$$

$$U \sim F$$

- это появление электрических зарядов разного знака на противоположных гранях некоторых кристаллов при их деформации

* Обратный пьезоэлектрический эффект - деформация некоторых кристаллов под действием внешнего электрического поля



$$P \sim E$$

$$\delta \sim P \sim E$$

Используется в электромеханических преобразователях: измерители вибраций, манометры, счетчик пульса и др., источника УЗИ

ДАТЧИКИ



Трехкоординатный сейсмодатчик СД-13



Малогабаритный сейсмодатчик СД-23



Датчик линейного ускорения



Датчик ускорения ОДУ



Ультразвуковой преобразователь

ГИРОСКОПЫ



Датчик угловых скоростей



Миниатюрный пьезокерамический гироскоп МПГ-1



Миниатюрный пьезокерамический гироскоп МПГ-2

ДРУГИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА



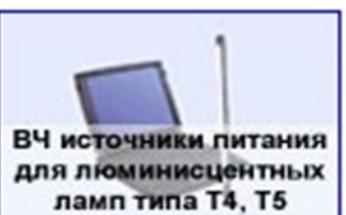
Фильтры и резонаторы пьезокерамические



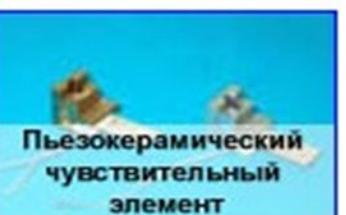
Высоковольтные трансформаторы



Микрореле



ВЧ источники питания для люминесцентных ламп типа Т4, Т5



Пьезокерамический чувствительный элемент



Ультразвуковое стирающее устройство



Датчик неровности дорог



Измеритель артериального давления



Звонки