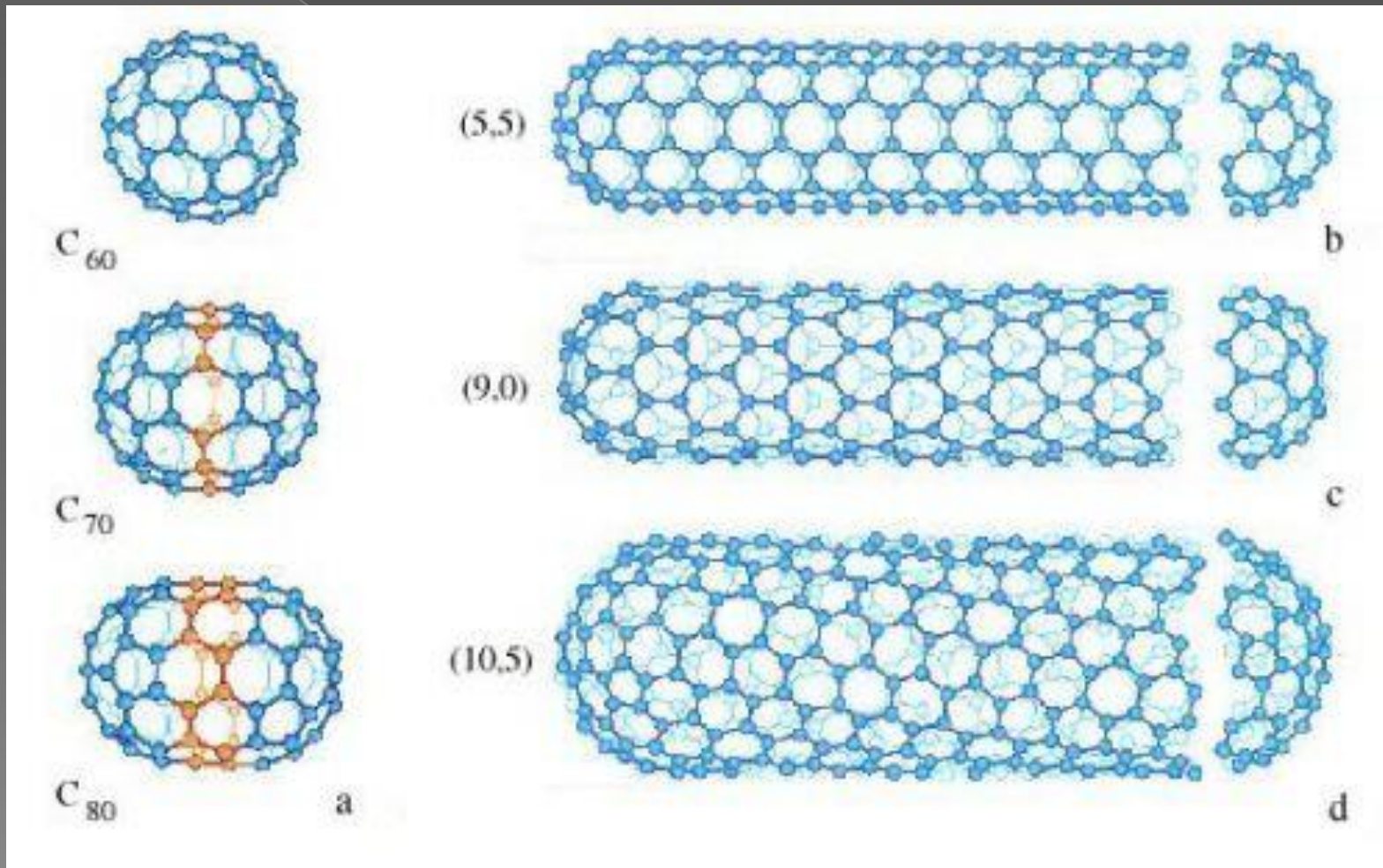


УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Преподаватель химии
ГБПОУ КК КИТ
Назырова Екатерина Викторовна

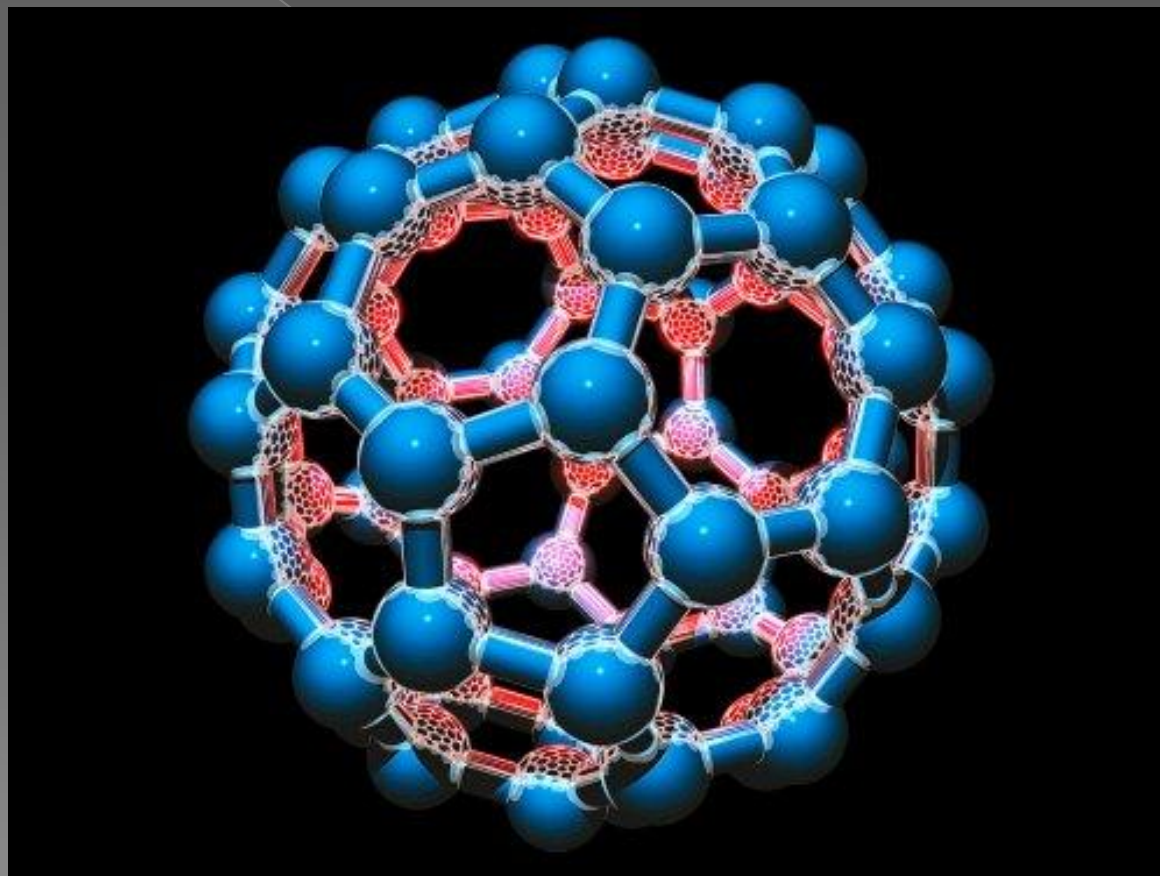
Углеродные каркасные структуры

Новая аллотропная модификация углерода



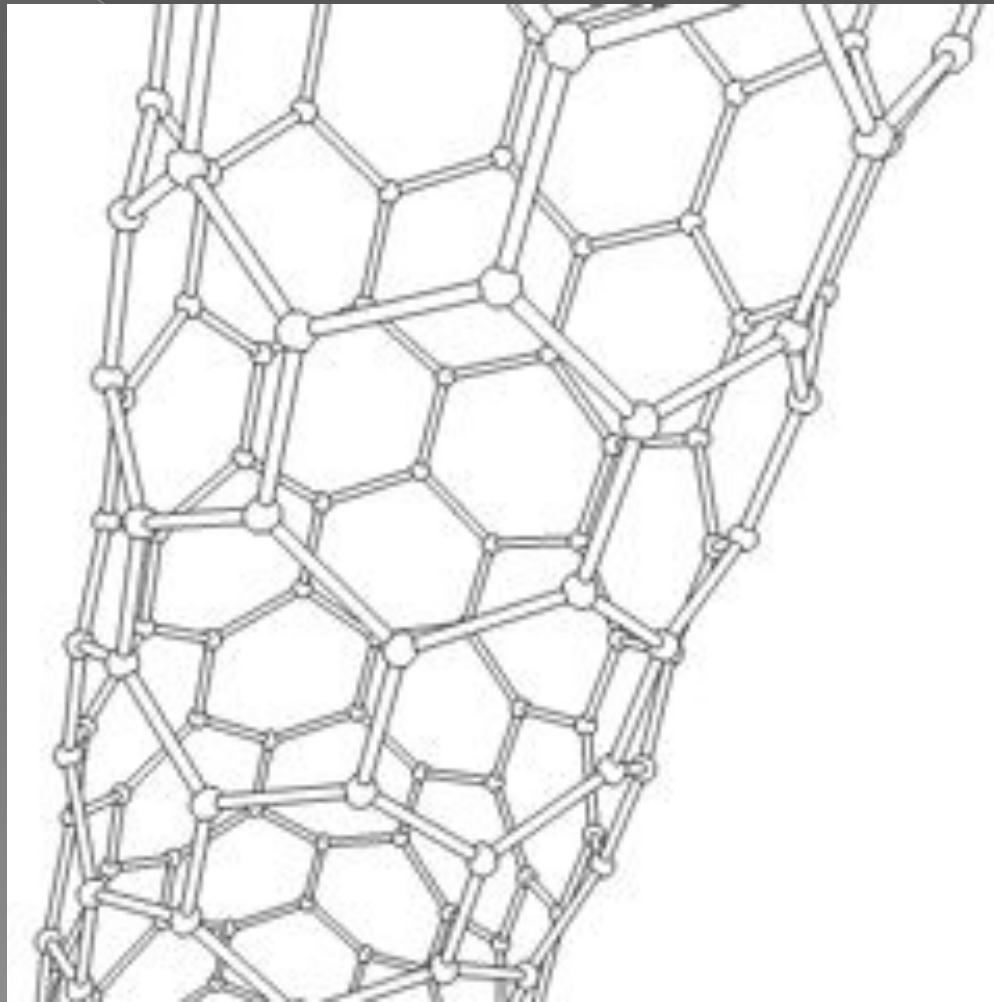
Углеродные каркасные структуры

Фуллерен C₆₀



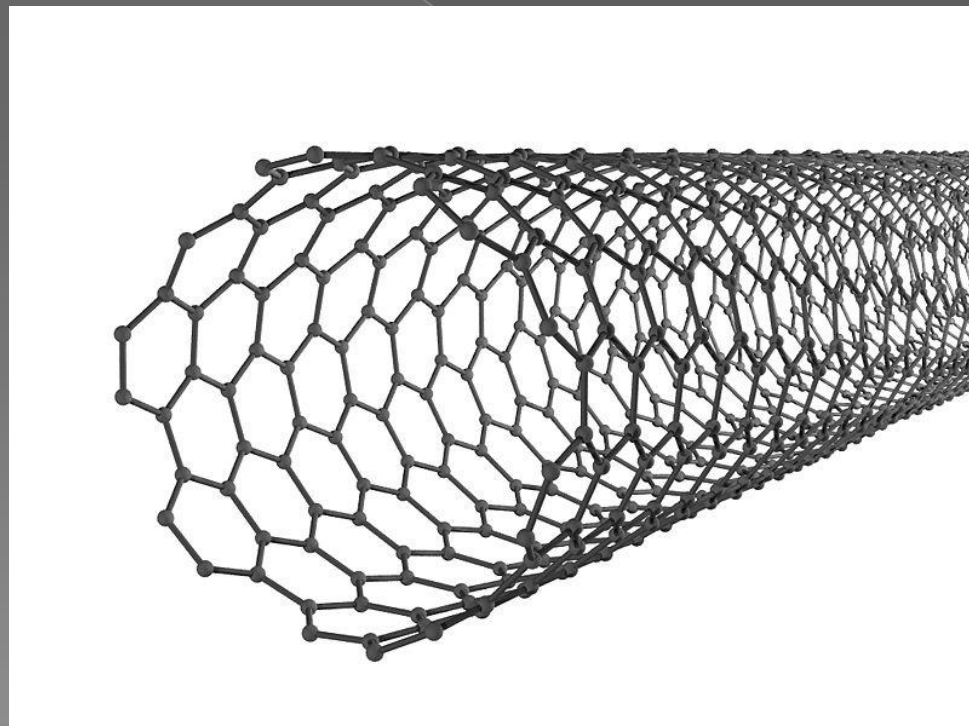
Углеродные нанотрубки

В 1991 году были обнаружены длинные, цилиндрические углеродные образования, получившие названия нанотрубок.



Углеродные нанотрубки

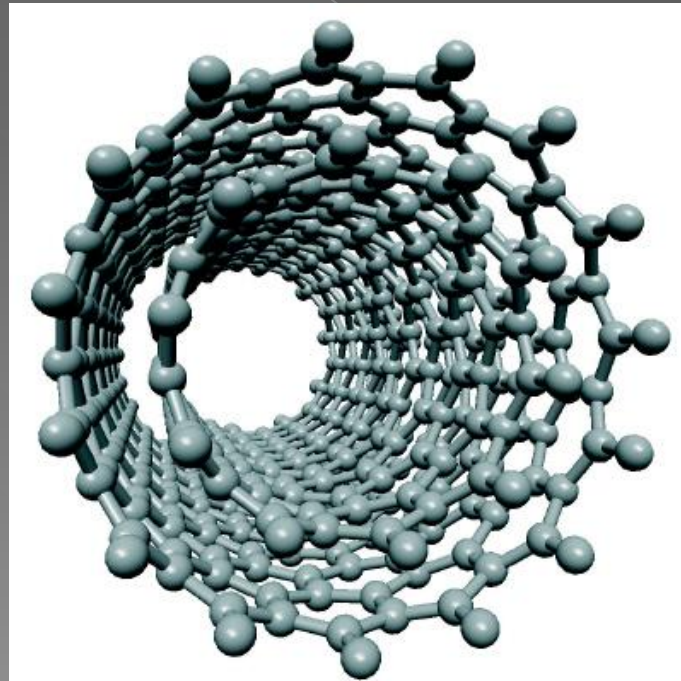
Продолговатые цилиндрические структуры диаметром от 1 до неск. десятков нм и длиной неск. см, состоящие из одной или неск. свернутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая рассматривается как половина молекулы фуллерена.



Структура нанотрубок

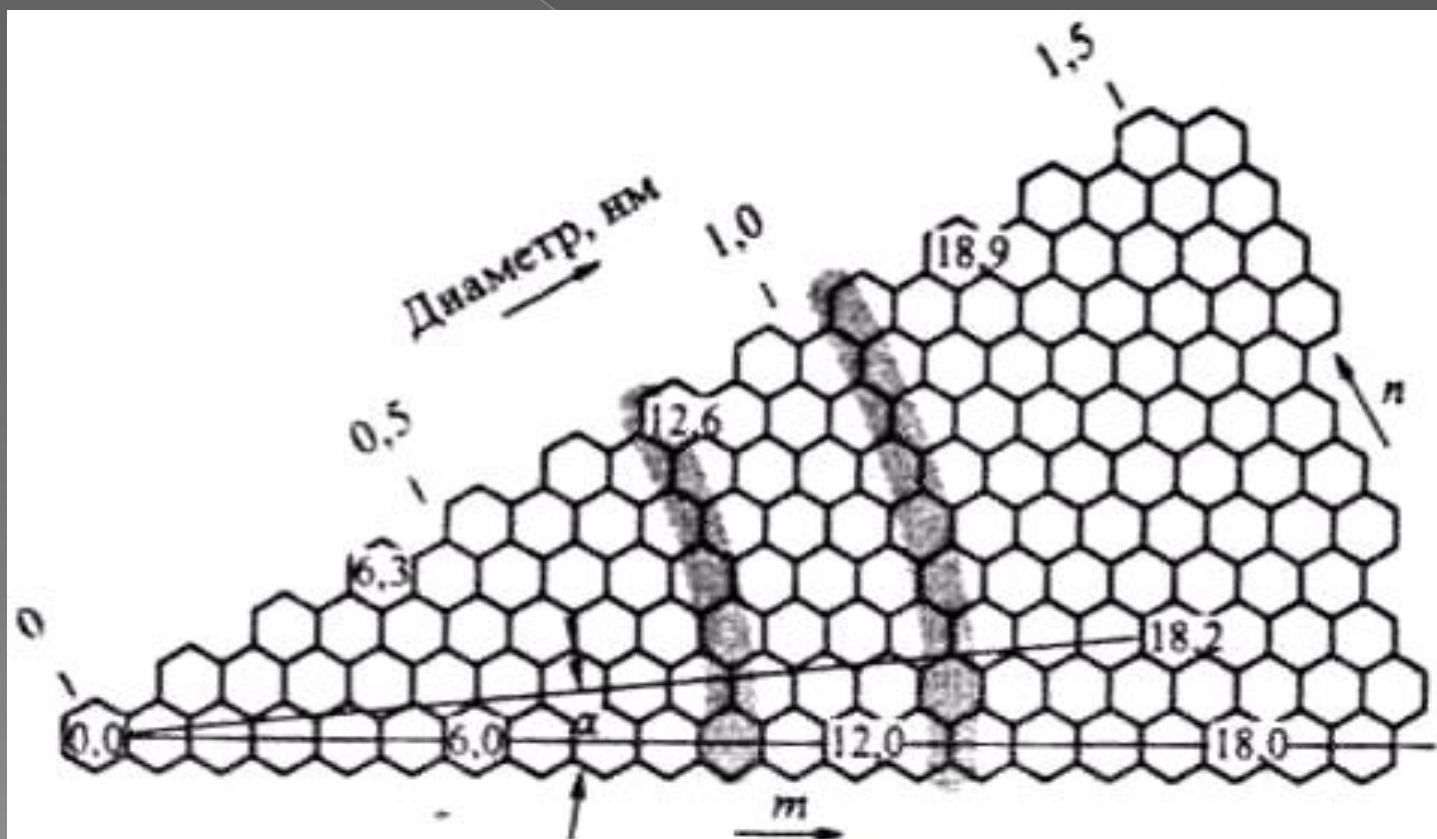
Идеальная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графитовую плоскость. Результат зависит от угла ориентации графитовой плоскости относительно оси нанотрубки.

Угол ориентации задает хиральность нанотрубки, которая определяет ее электрические характеристики.



Хиральность

Обозначается набором символов (m , n), указывающих координаты шестиугольника, который в результате сворачивания плоскости должен совпадать с шестиугольником, находящимся в начале координат.

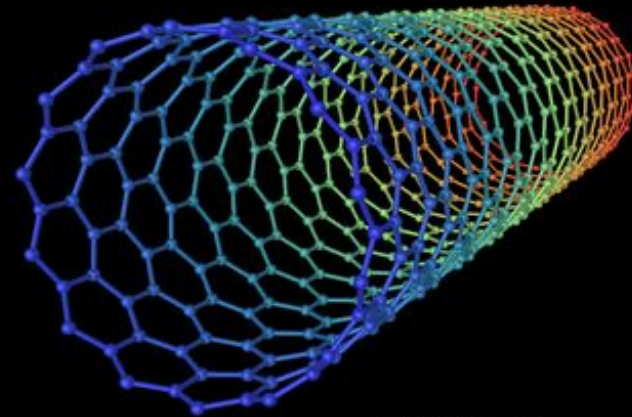
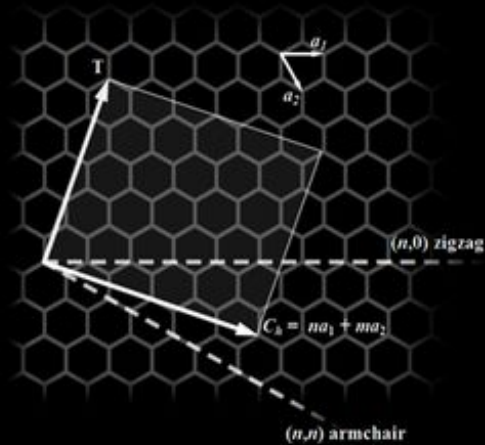


Индексы хиральности однослойной нанотрубки (m, n) определяют ее диаметр D:

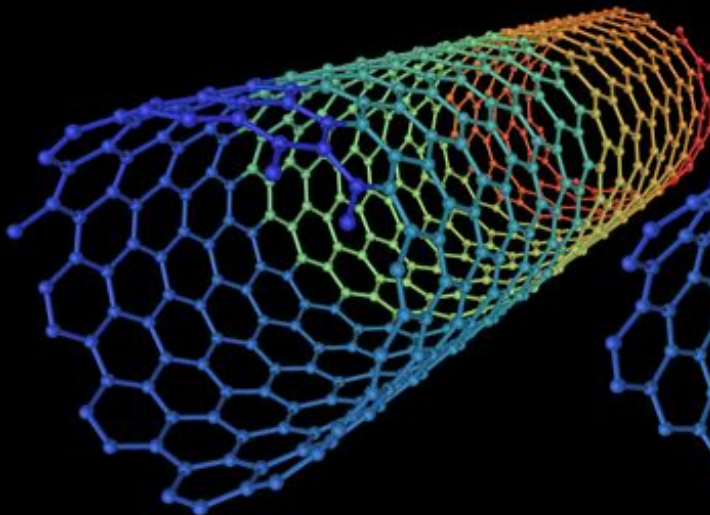
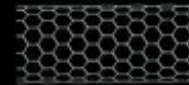
$$D = \frac{\sqrt{3}d_0}{\pi} \sqrt{m^2 + n^2 + mn}$$

где $d_0 = 0,142$ нм — расстояние между соседними атомами углерода в графитовой плоскости.

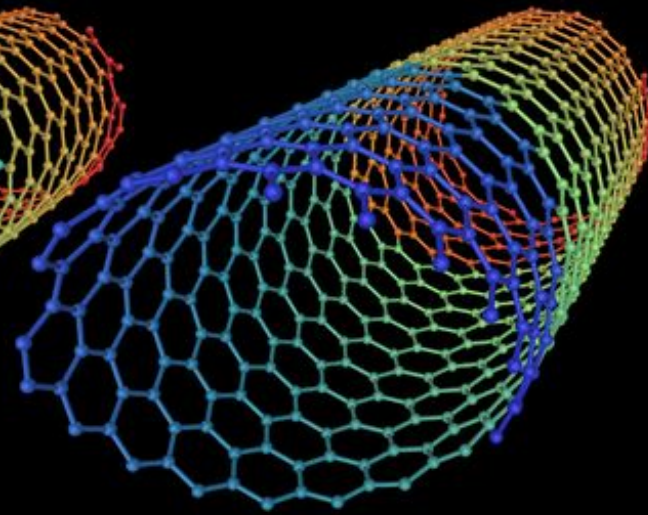
Одностенные нанотрубки



(0,10) nanotube
(zig-zag)



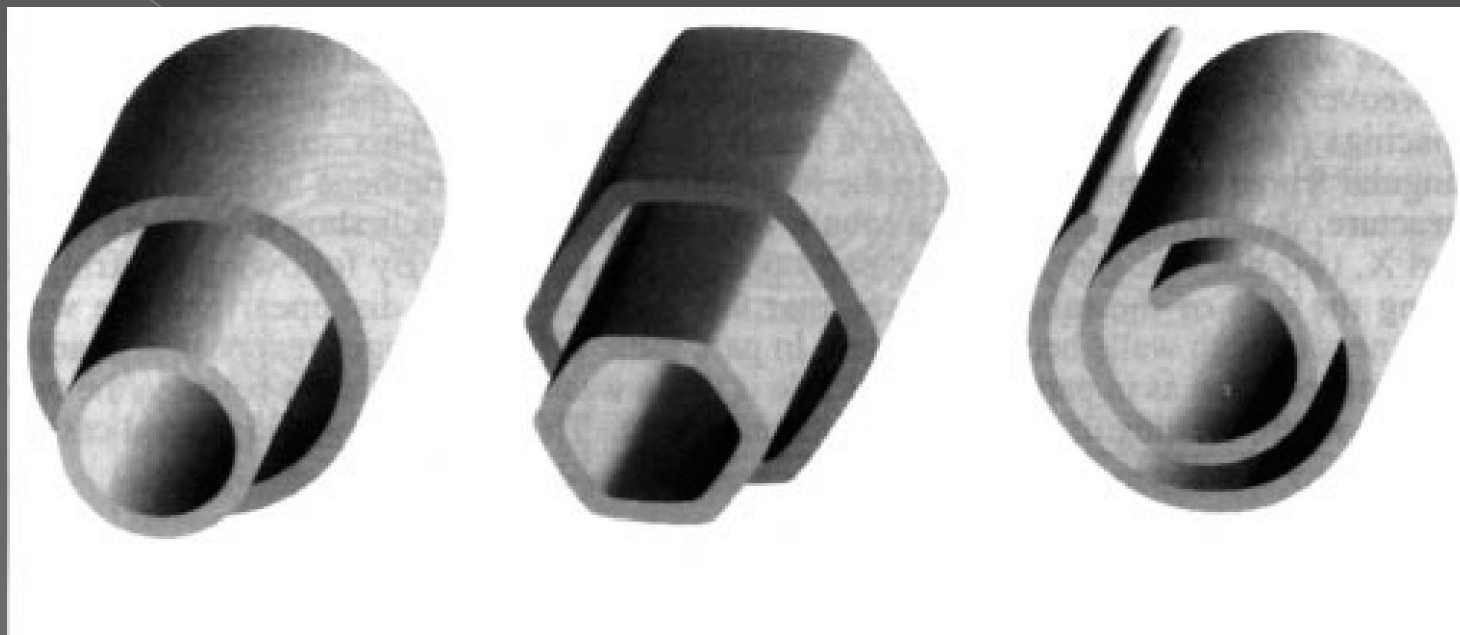
(7,10) nanotube
(chiral)



(10,10) nanotube
(armchair)



Многостенные нанотрубки



(а)

(б)

(в)

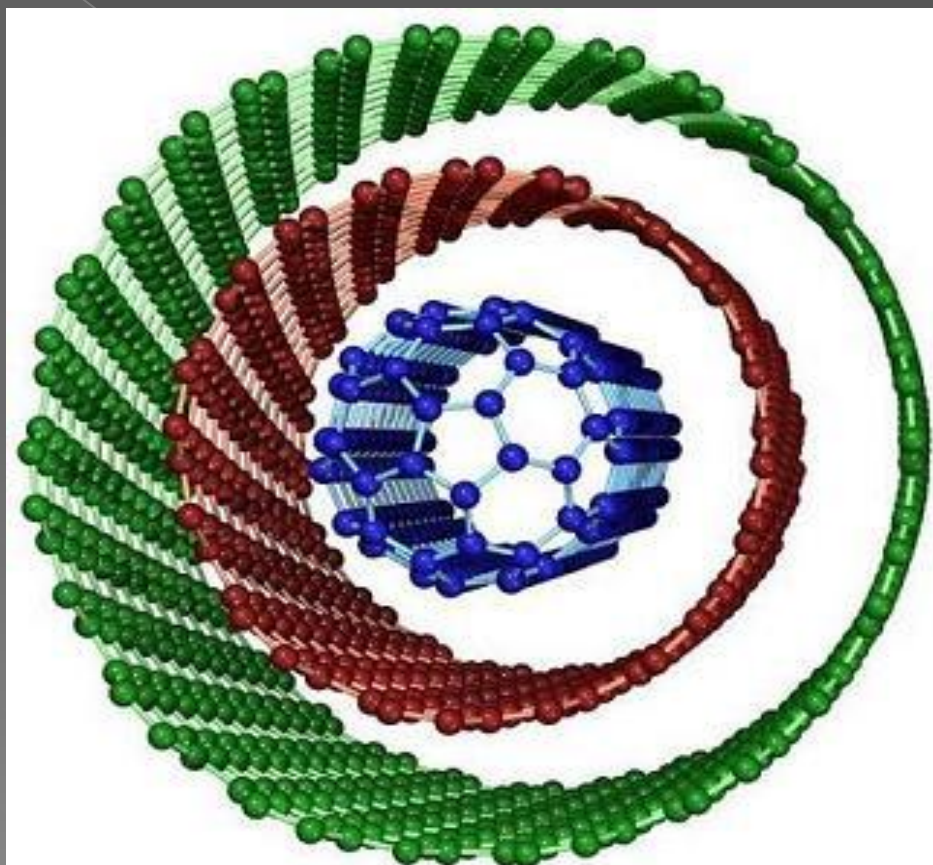
Модели поперечных структур многослойных нанотрубок:

(а) - «русская матрешка»; (б) – шестигранная призма;

(в) – свиток.

Многостенные нанотрубки

Расстояния между соседними графитовыми слоями, близкое к величине 0,34 нм.



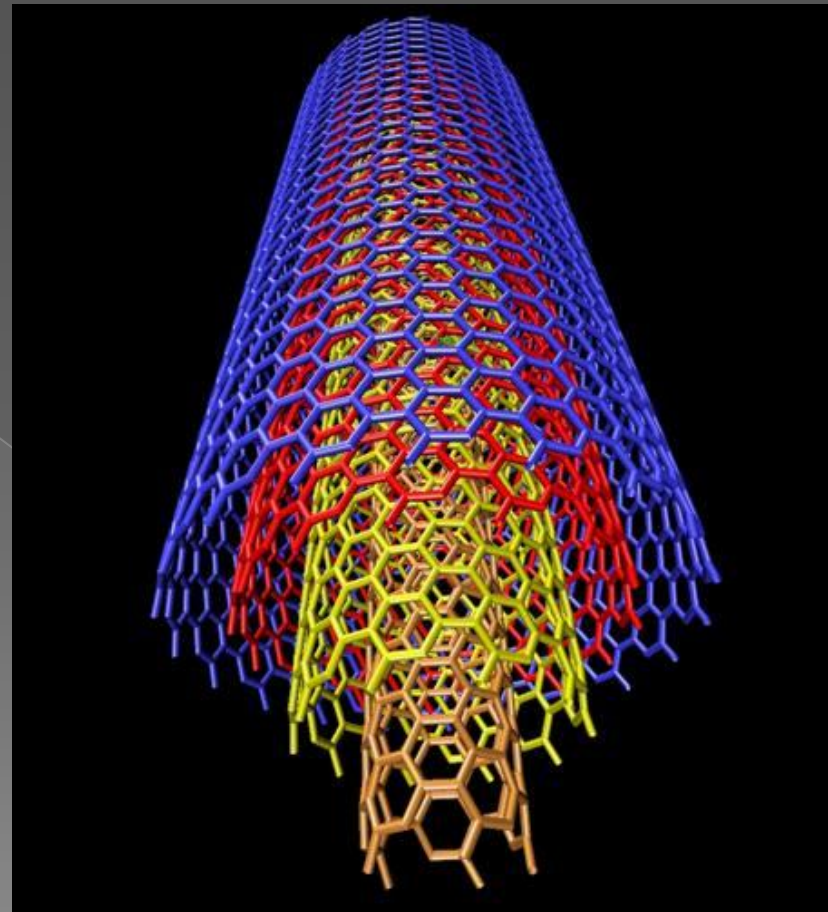
Модель углеродной многостенной нанотрубки

Copyrighted by H. Nakahara

Многостенные нанотрубки

Расстояния между слоями могут меняться от стандартной величины 0,34 нм до удвоенного значения 0,68 нм.

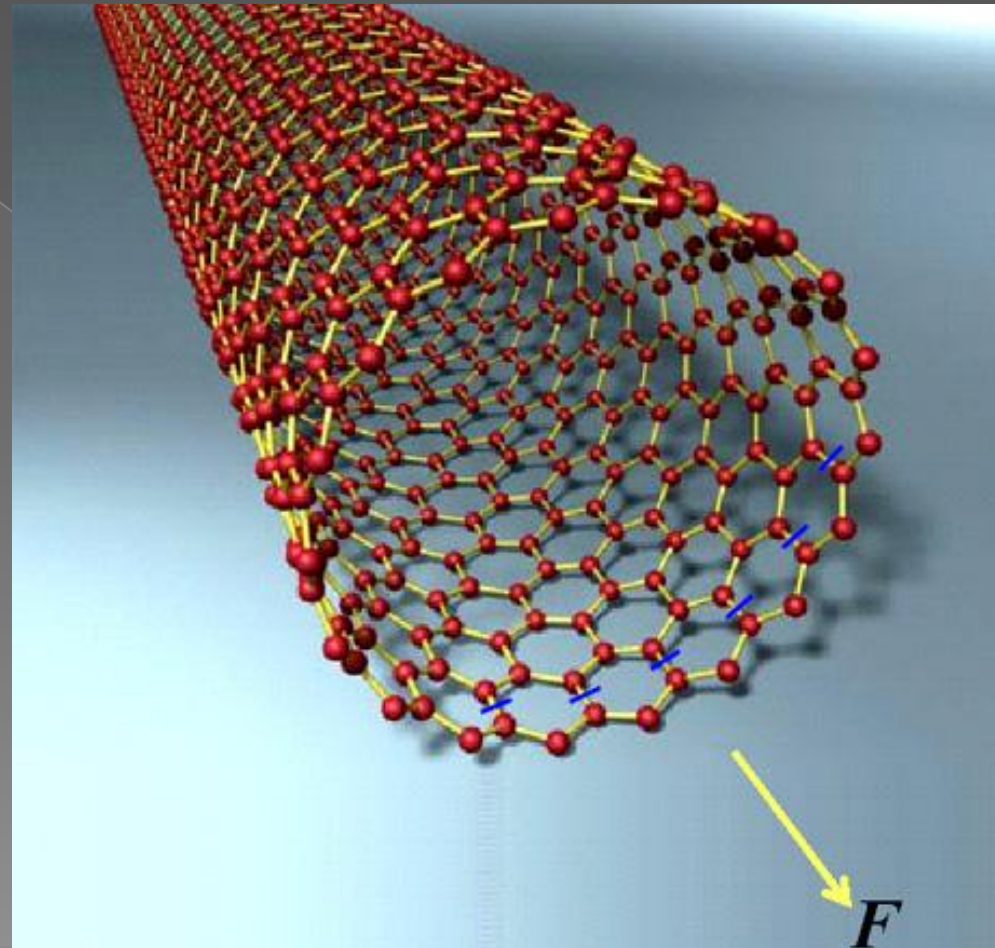
Это указывает на наличие дефектов в нанотрубках, когда один из слоев частично отсутствует.



Механические свойства УНТ

Прочный материал, как на растяжение, так и на изгиб.

Под действием механических напряжений, превышающих критические, нанотрубки не "рвутся" и не "ломаются", а просто перестраиваются!



Механические свойства

Исследователи из Rice University под руководством Бориса Якобсона установили, что углеродные нанотрубки ведут себя как «умные самовосстанавливающиеся структуры» (исследование было опубликовано 16 февраля 2007 года в журнале Physical Review Letters).

Электрические свойства

Нанотрубки

```
graph TD; A[Нанотрубки] --> B[проводники]; A --> C[полупроводники];
```

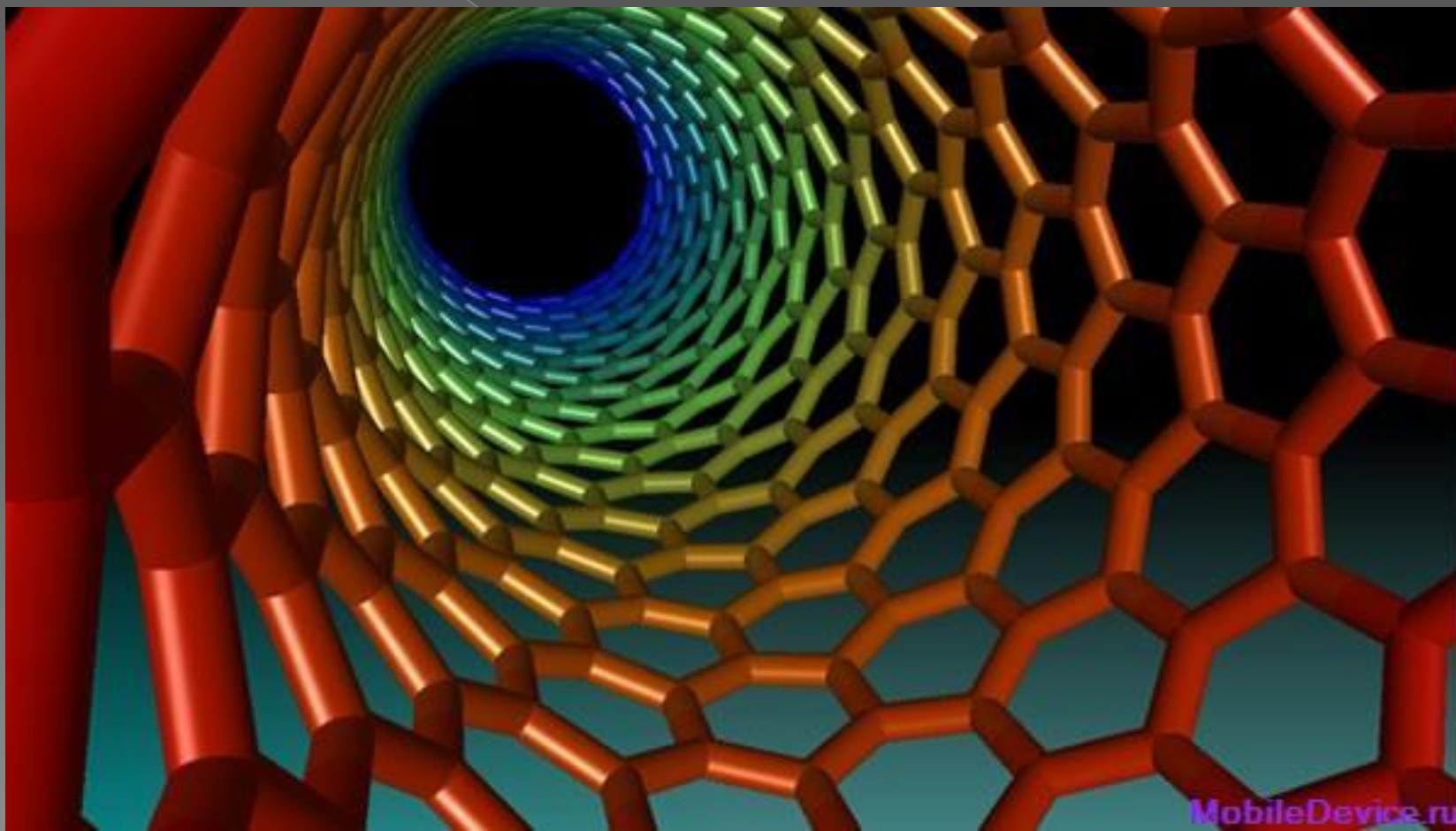
проводники

полупроводники

Электрические свойства

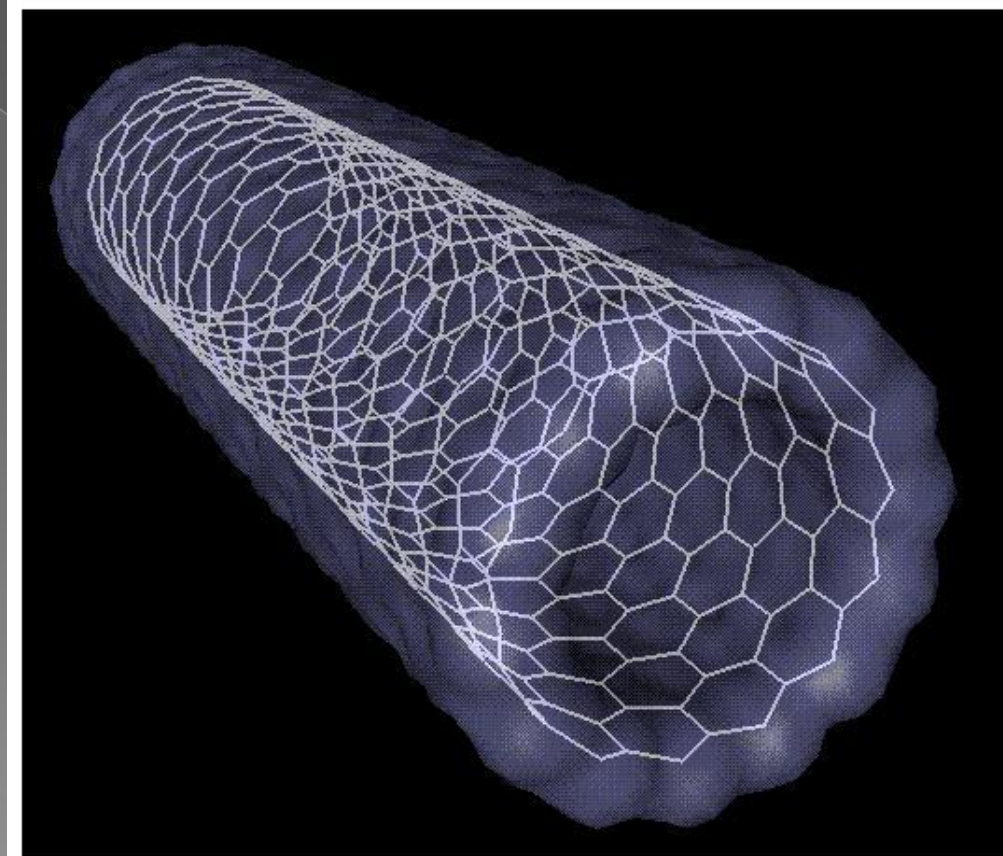
- **Высокая электропроводность.**

Могут пропускать миллиард ампер на кв. см



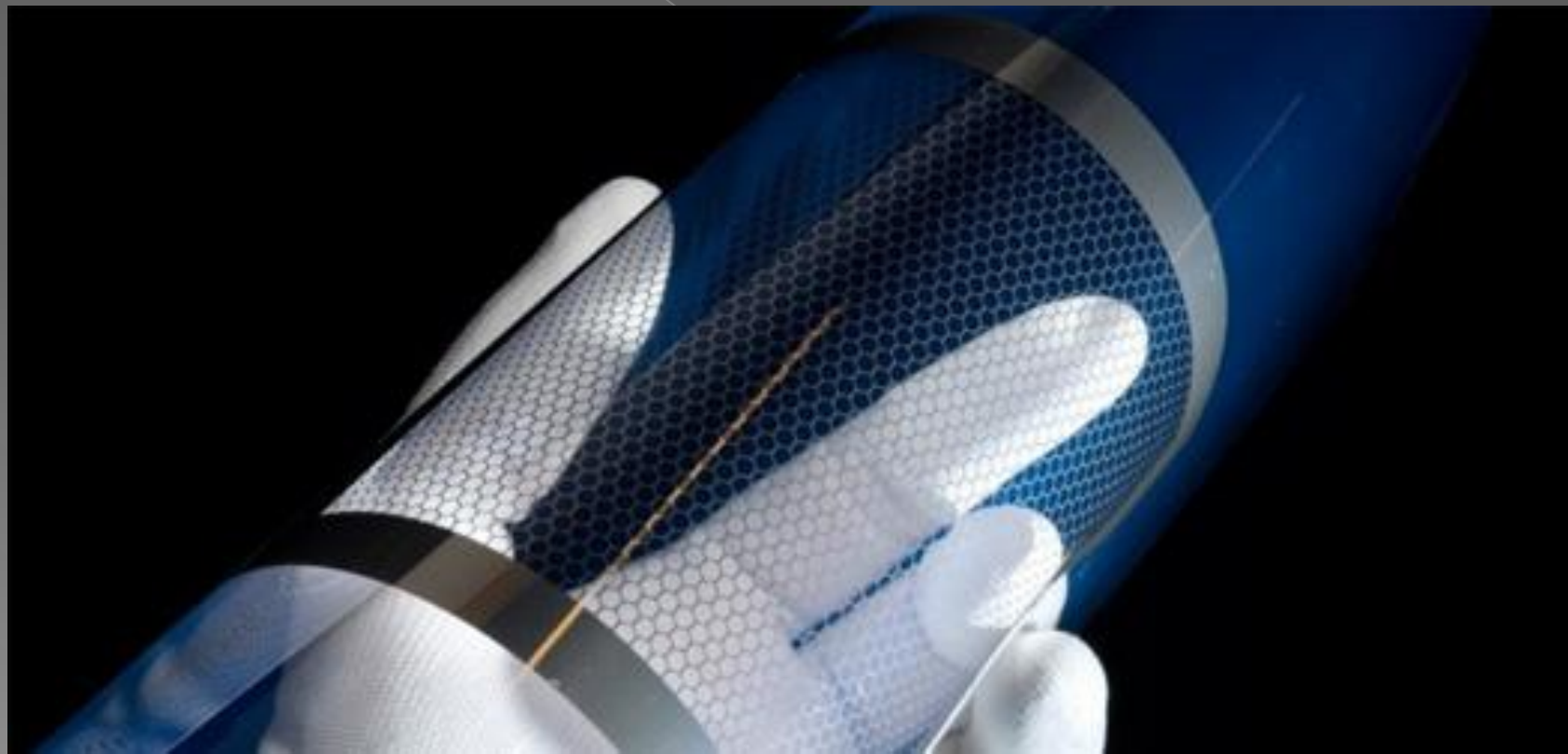
Электронные свойства

- ❑ **Высокая теплопроводность.**
Почти вдвое превышает теплопроводность алмаза.
- ❑ **Химически стабильны.**

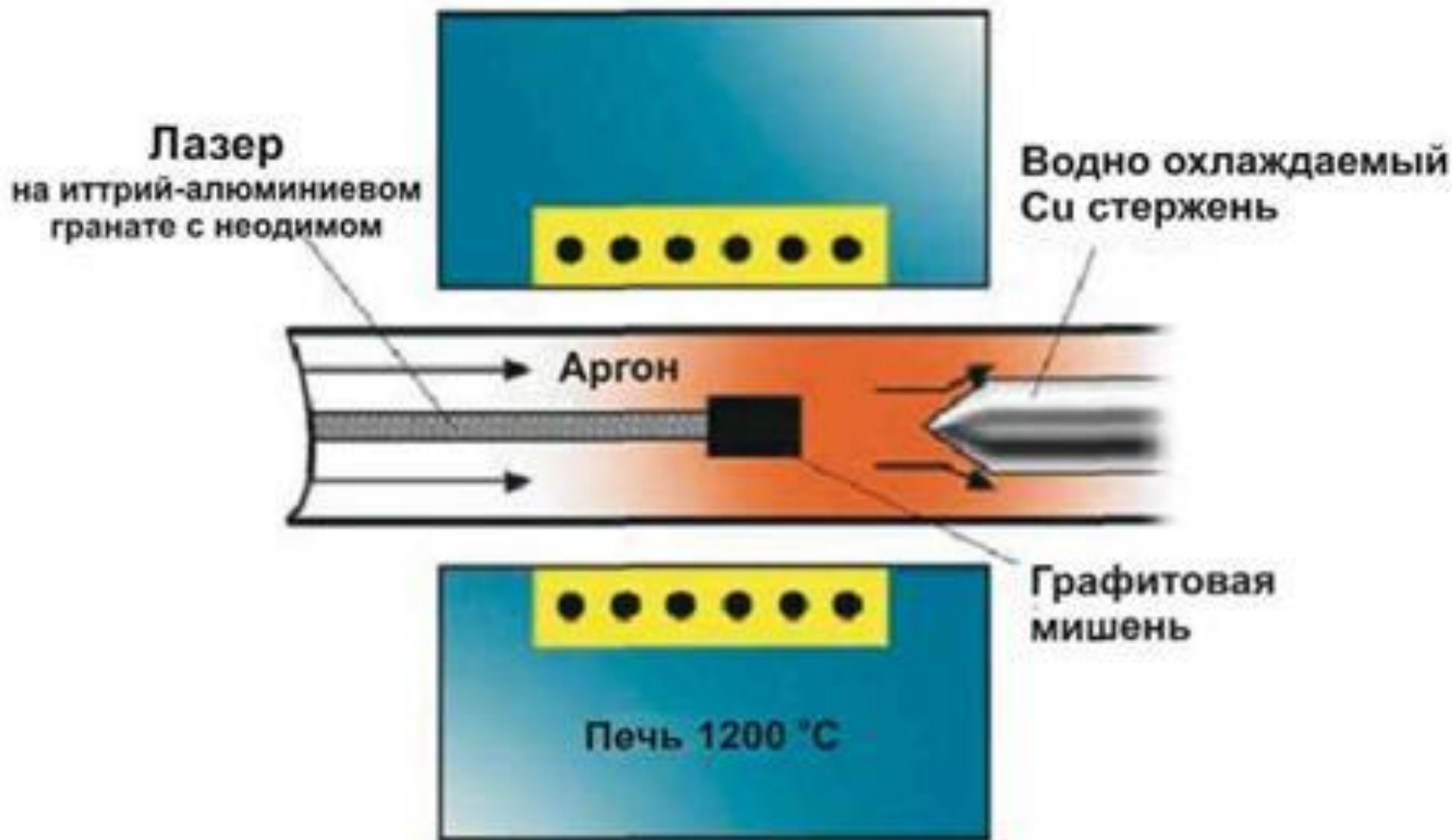


Методы получения

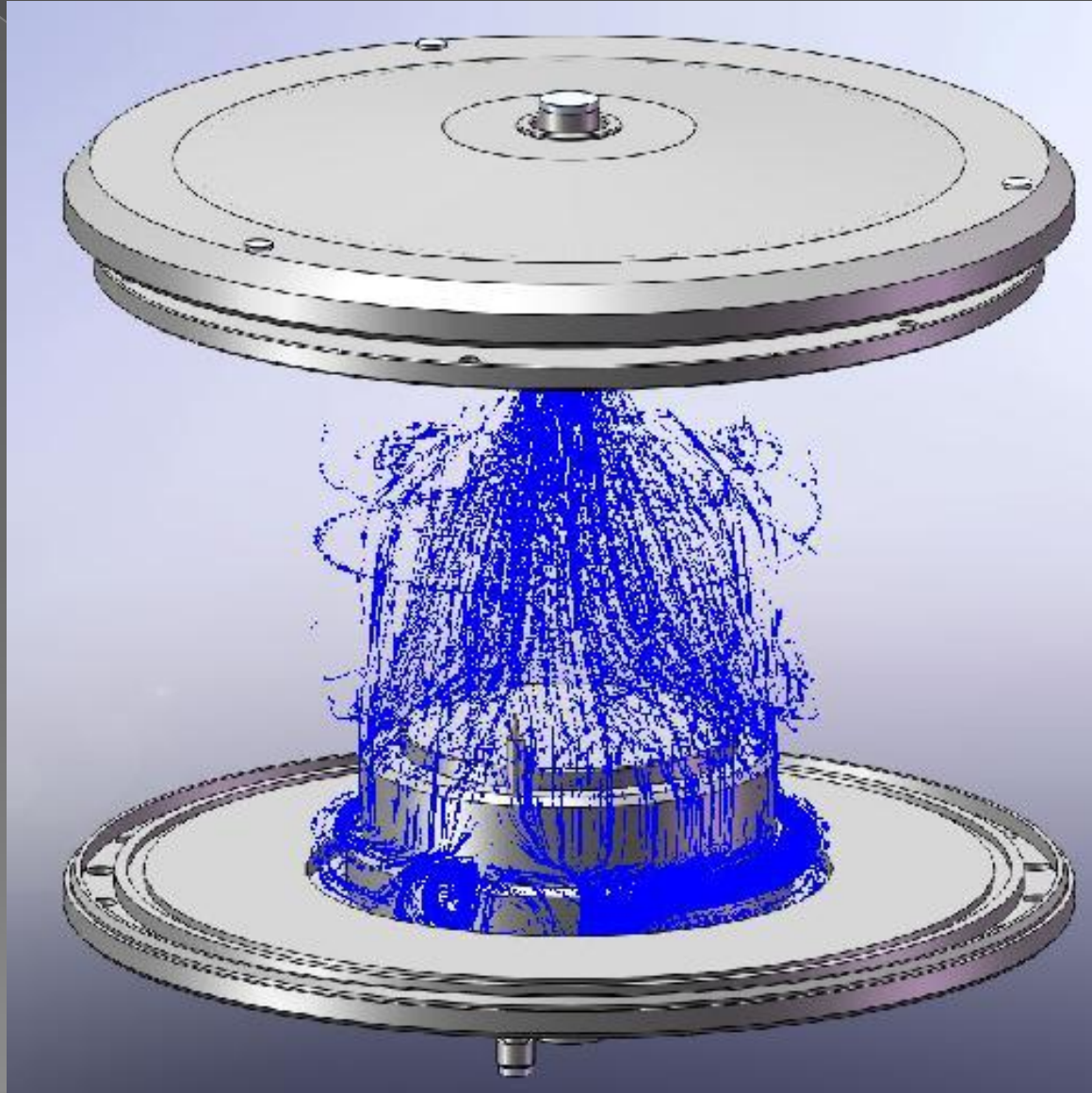
- лазерным испарением,
- углеродной дугой
- химическим осаждением паров.



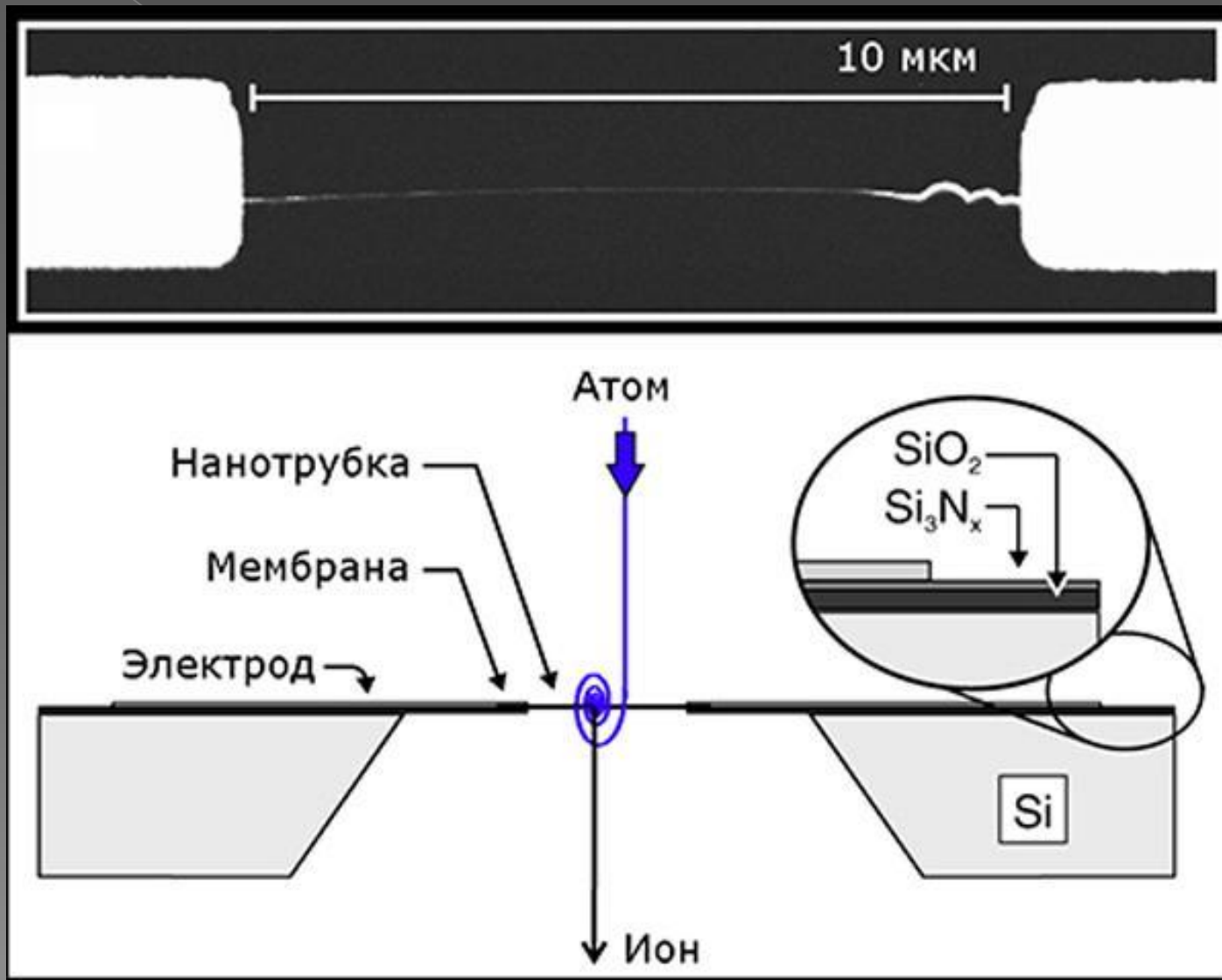
Экспериментальная установка для синтеза углеродных нанотрубок лазерным испарением



Синтез углеродных нанотрубок углеродной дугой

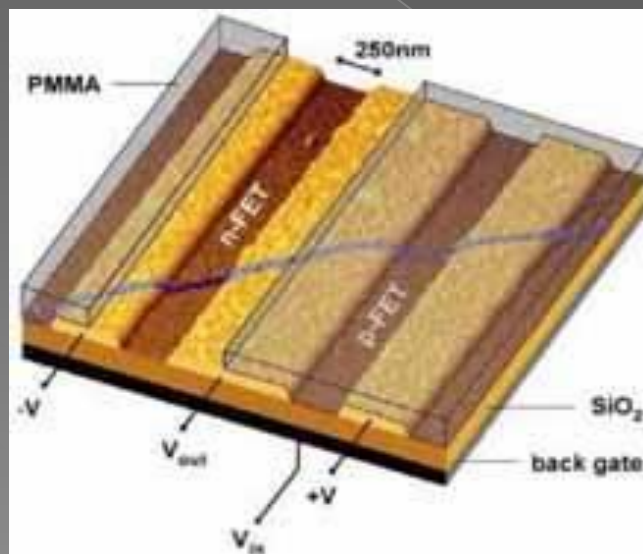


Метод химического осаждения из паровой фазы



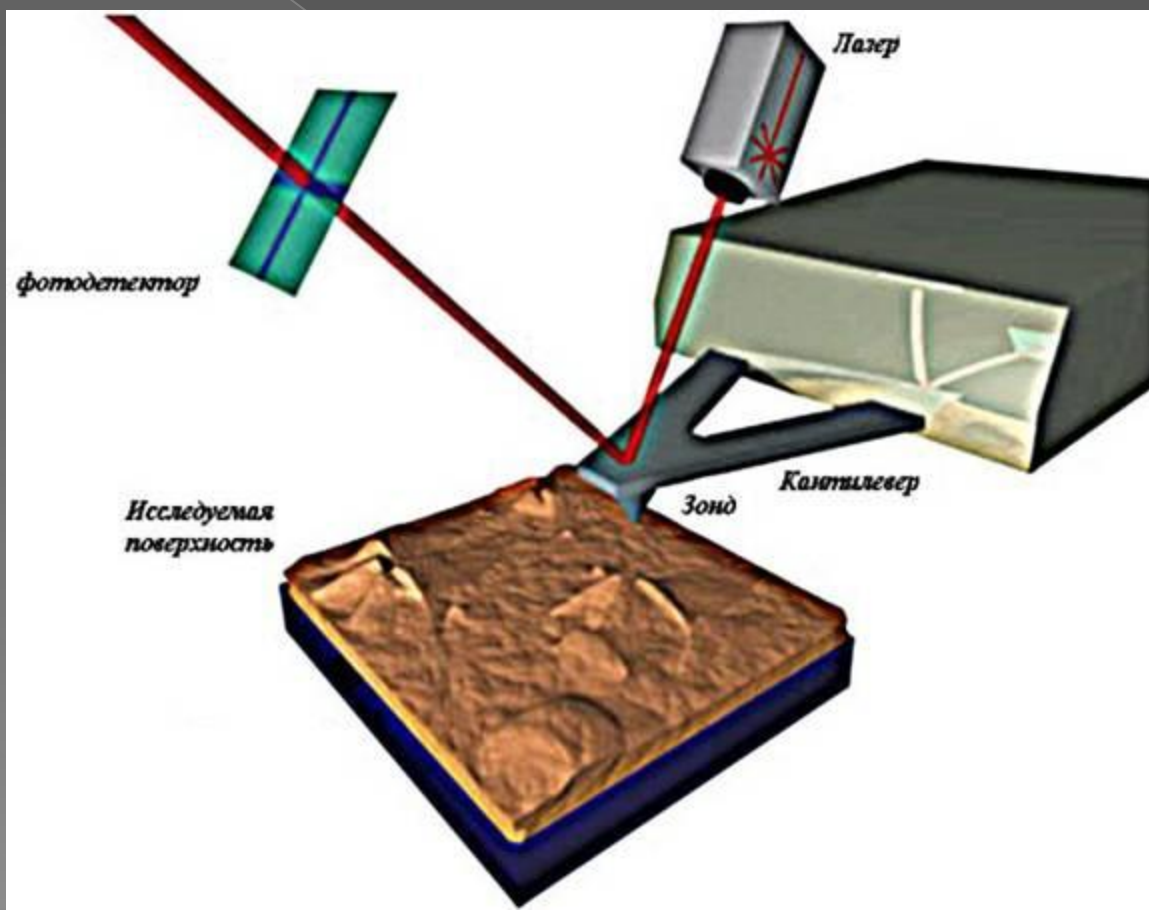
Последние «углеродные» достижения

Апрель 2001 г., в работе «Engineering Carbon Nanotubes and Nanotube Circuits Using Electrical Breakdown», сообщается, что исследователи компании IBM впервые построили транзистор на основе углеродных нанотрубок, имеющих диаметр в 1 нанометр, и длиной порядка единиц микрон.



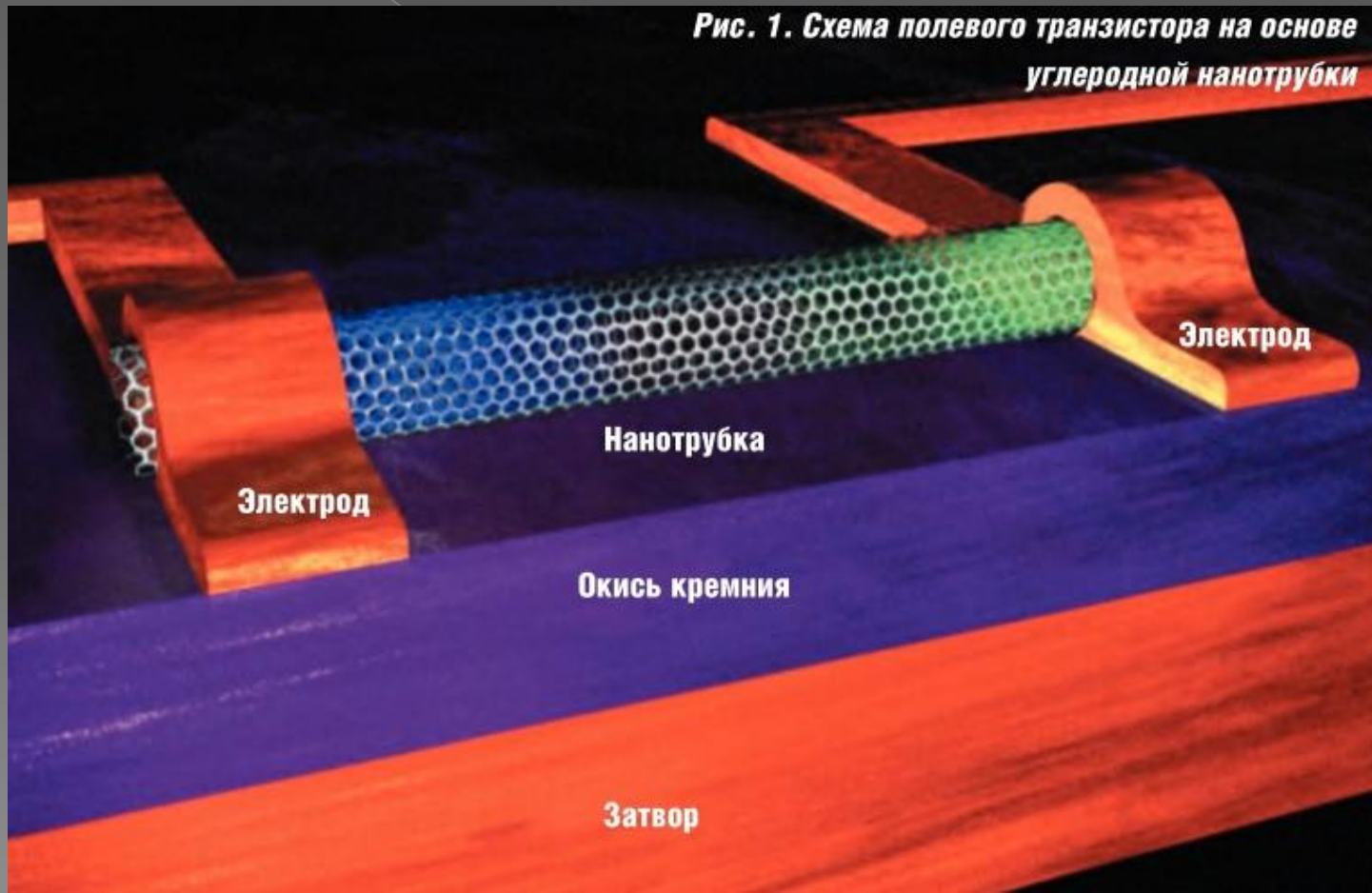
Применение нанотрубок

1. Являются частью физического прибора - это "насаживание" ее на острие сканирующего туннельного или атомного силового микроскопа.



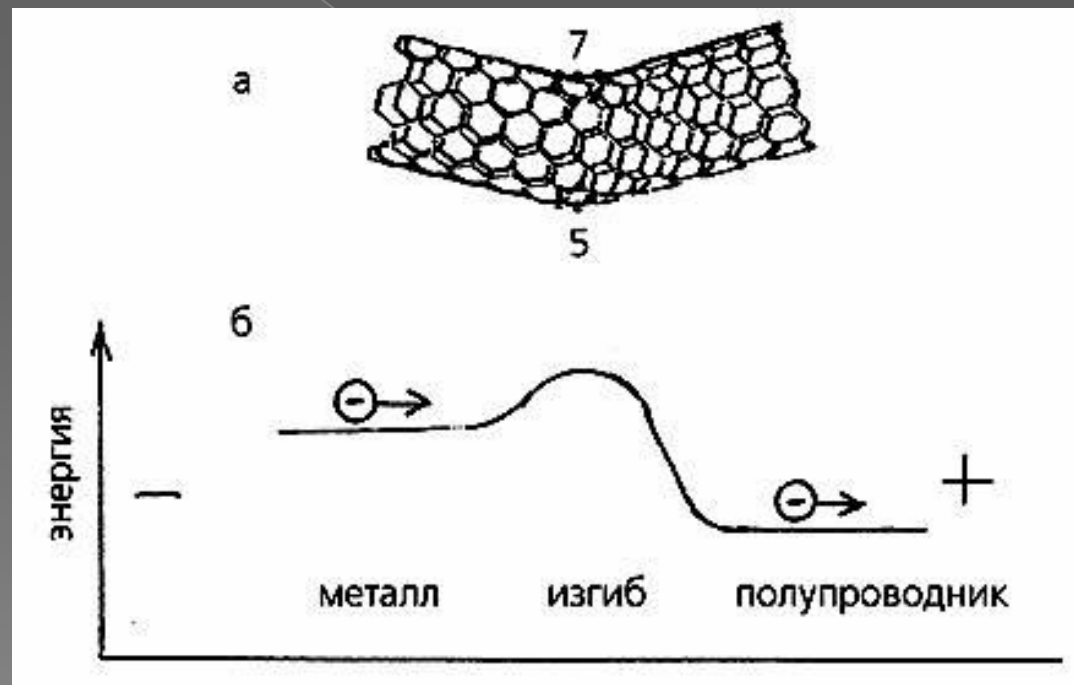
Применение нанотрубок

2. Созданы опытные образцы полевых транзисторов на основе одной нанотрубки



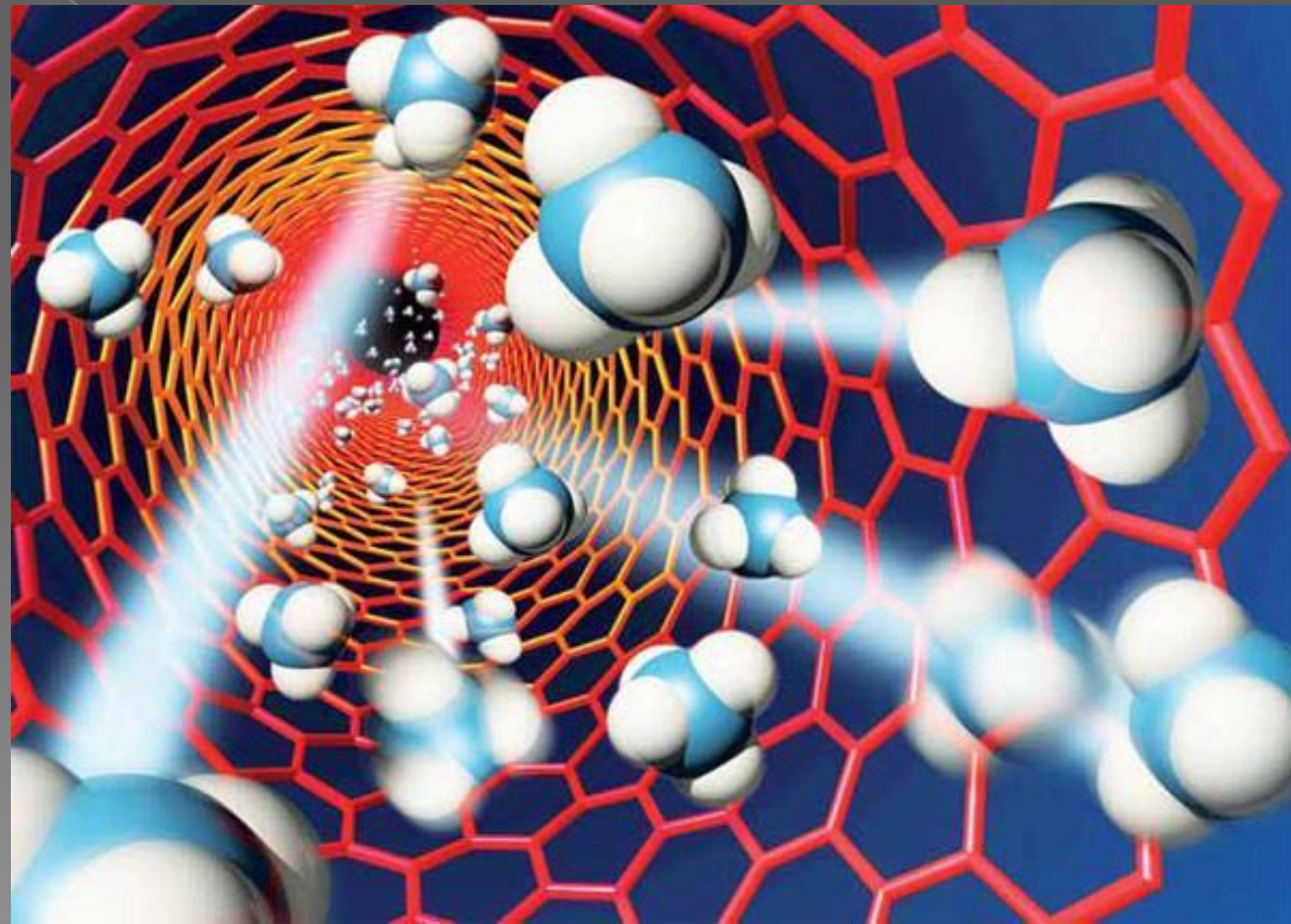
Применение нанотрубок

3. Создание полупроводниковых гетероструктур, т.е. структур типа металл/полупроводник или стык двух разных полупроводников.



Применение нанотрубок

4. Нанотрубки можно использовать как микроскопические контейнеры для перевозки химически или биологически активных веществ.



Источники информации

- 1) News@nature.com (<http://www.nature.com>)
- 2) PhysOrg.com (<http://www.physorg.com>)
- 3) The University of Manchester (<http://www.manchester.ac.uk/>)
- 4) Онлайн-версия печатного издания Science (<http://www.sciencemag.org>)
- 5) Technology Review (<http://www.technologyreview.com>)
- 6) Nanotechnology Now (<http://www.nanotech-now.com/>)
- 7) Nanotechnology World (<http://www.nanotechnologyworld.co.uk>)
- 8) Nanotechweb.org (<http://nanotechweb.org/>)
- 9) BBC News (<http://news.bbc.co.uk>)
- 10) University of Rochester (<http://www.rochester.edu>)
- 11) IBM Research (<http://www.research.ibm.com>)

Источники информации

- <http://www.nanonewsnet.ru/files/u4/3tubes.jpg>
- http://www.dailytechinfo.org/uploads/images14/20150306_3_1.jpg
- <http://www.portalnano.ru/images/654.gif>
- http://vestnikcivitas.ru/ffs/publication_2/1_n.jpg
- <http://www.sbras.nsc.ru/press/sites/default/files/imagecache/small200/images/3/01/23/2012%20-%202013:45/grafene1.jpg>
- http://referat.znate.ru/pars_docs/tw_refs/63/62793/62793_html_m1f8a66cf.png
- <http://refdb.ru/images/700/1399198/m40ac844f.gif>
- <http://www.ixbt.com/editorial/carbon/image002.JPG>
- <http://nanofuture.net/wp-content/uploads/2013/08/03c73b8b8ff3de2edca07d0f54890a45.jpg>
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/53/Types_of_Carbon_Nanotubes.png/640px-Types_of_Carbon_Nanotubes.png

Источники информации

- <http://kbogdanov5.narod.ru/nanotube-strength.files/image002.jpg>
- <http://cheburek.net/wp-content/uploads/2009/04/nano.jpg>
- http://www.ru-tech.ru/images/thumbs/id116_w200.gif
- http://radiomaster.ru/assets/image/userfiles/13/818/1_0x400_c3a.jpg
- http://ru.convdocs.org/pars_docs/refs/20/19674/19674_html_mb3a26bb.jpg
- <http://nanotube.ru/sites/default/files/pictures/13.JPG>
- http://www.nanonewsnet.ru/files/users/u1412/setup_4.jpg
- http://labs.vt.tpu.ru/nano/elect_devices.files/image009.jpg
- <http://works.doklad.ru/images/29uKkWU9yTg/711d0888.jpg>
- <http://works.doklad.ru/images/OpsEv7e9joA/m45561c70.jpg>
- http://labs.vt.tpu.ru/nano/elect_devices.files/image004.jpg
- http://globalscience.ru/pictures/413_1254682264.jpg

Спасибо за внимание!