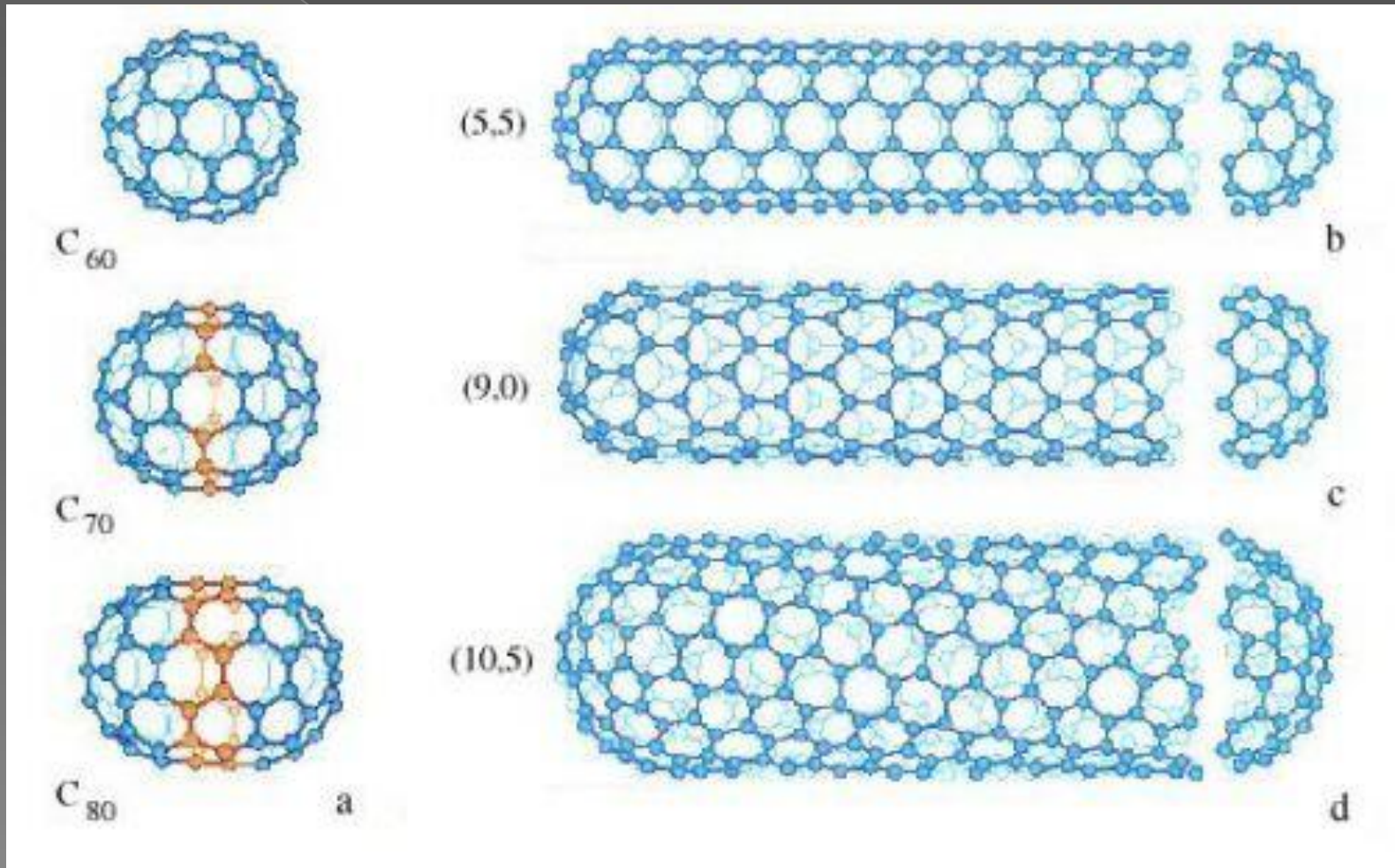


# УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Преподаватель химии  
ГБПОУ КК КИТ  
Назырова Екатерина Викторовна

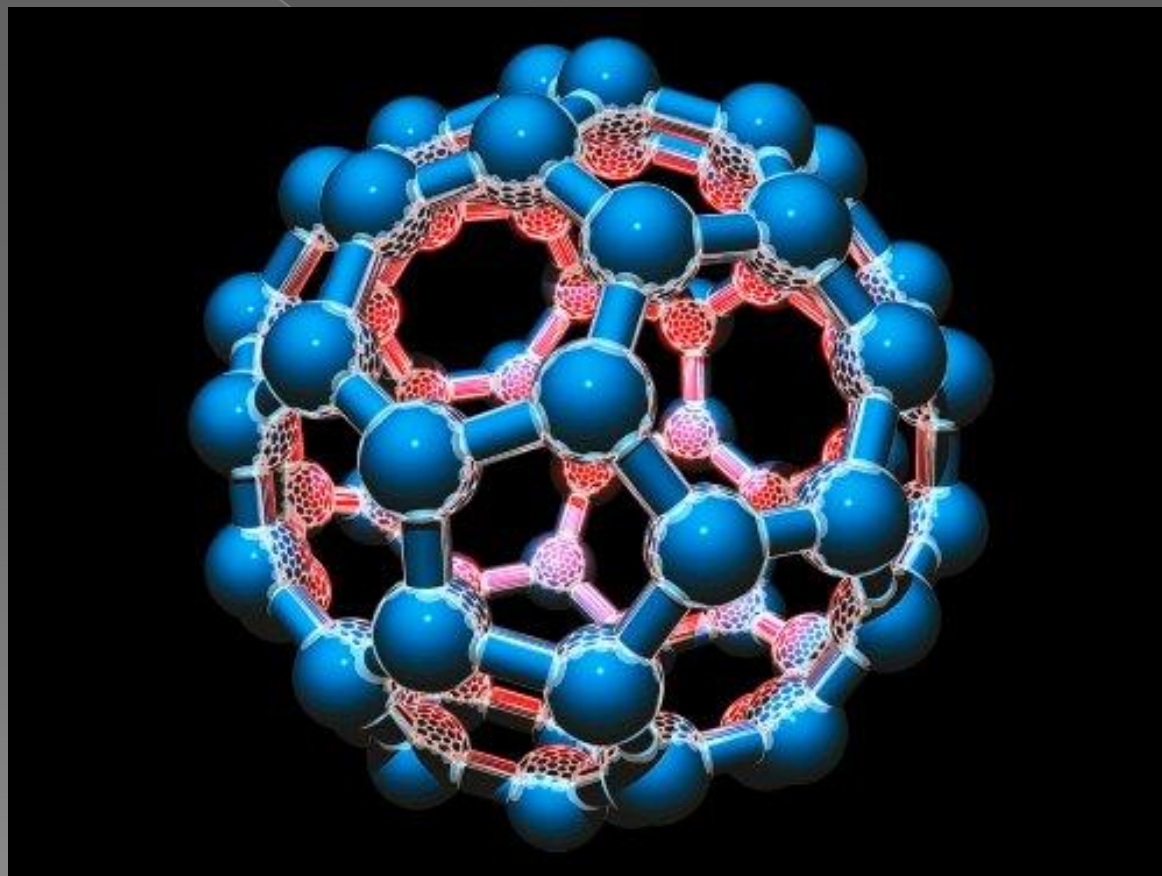
# Углеродные каркасные структуры

Новая аллотропная модификация углерода



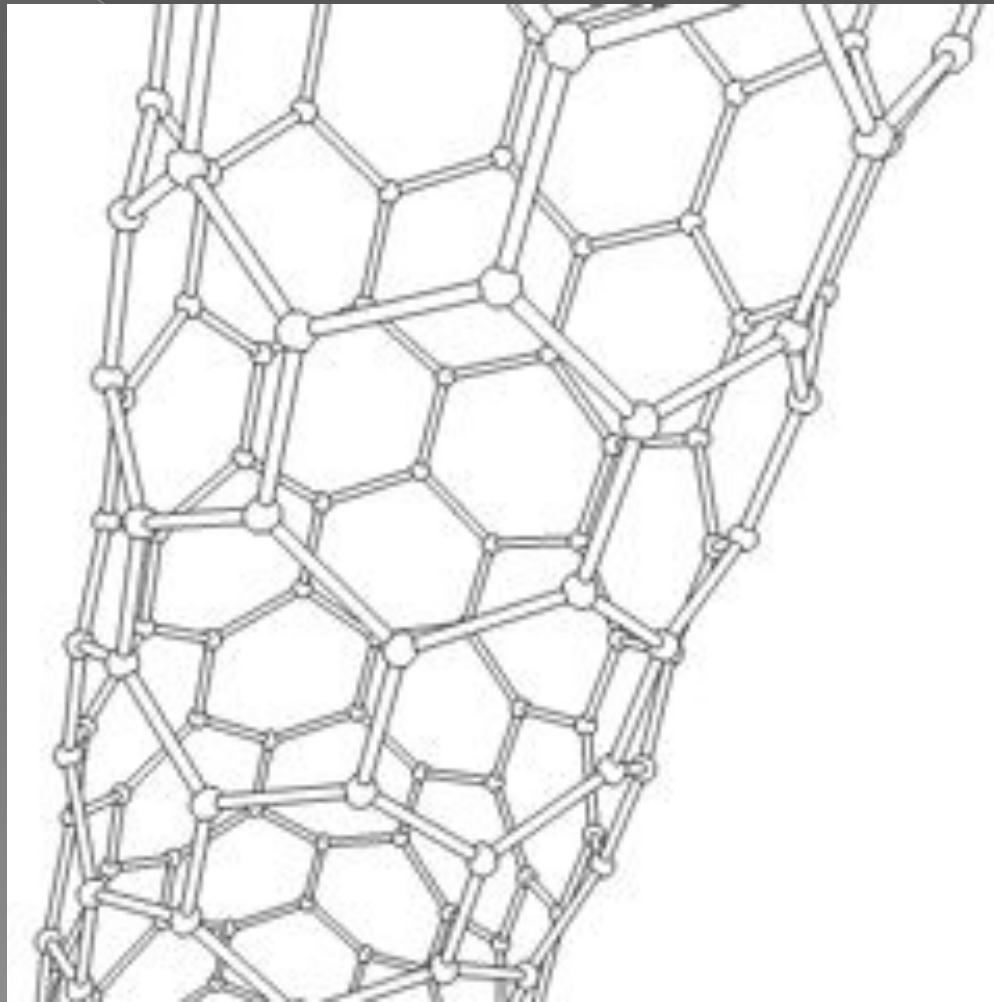
# Углеродные каркасные структуры

Фуллерен C<sub>60</sub>



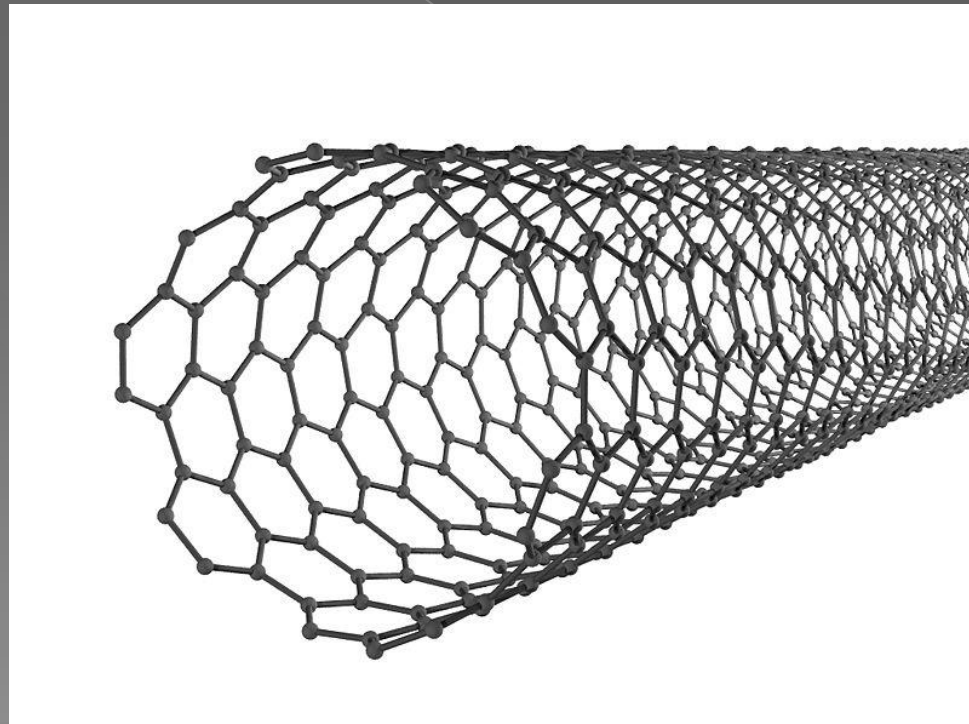
# Углеродные нанотрубки

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



# Углеродные нанотрубки

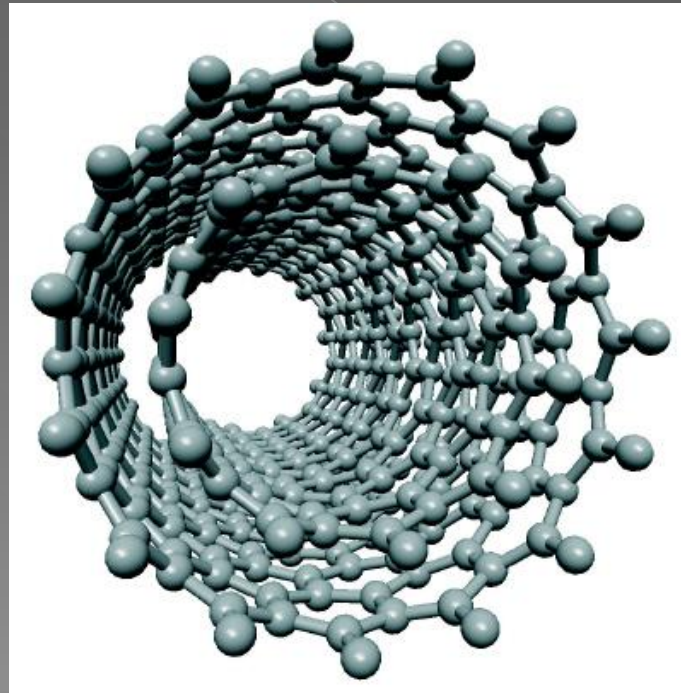
Продолговатые цилиндрические структуры диаметром от 1 до неск. десятков нм и длиной неск. см, состоящие из одной или неск. свернутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая рассматривается как половина молекулы фуллерена.



# Структура нанотрубок

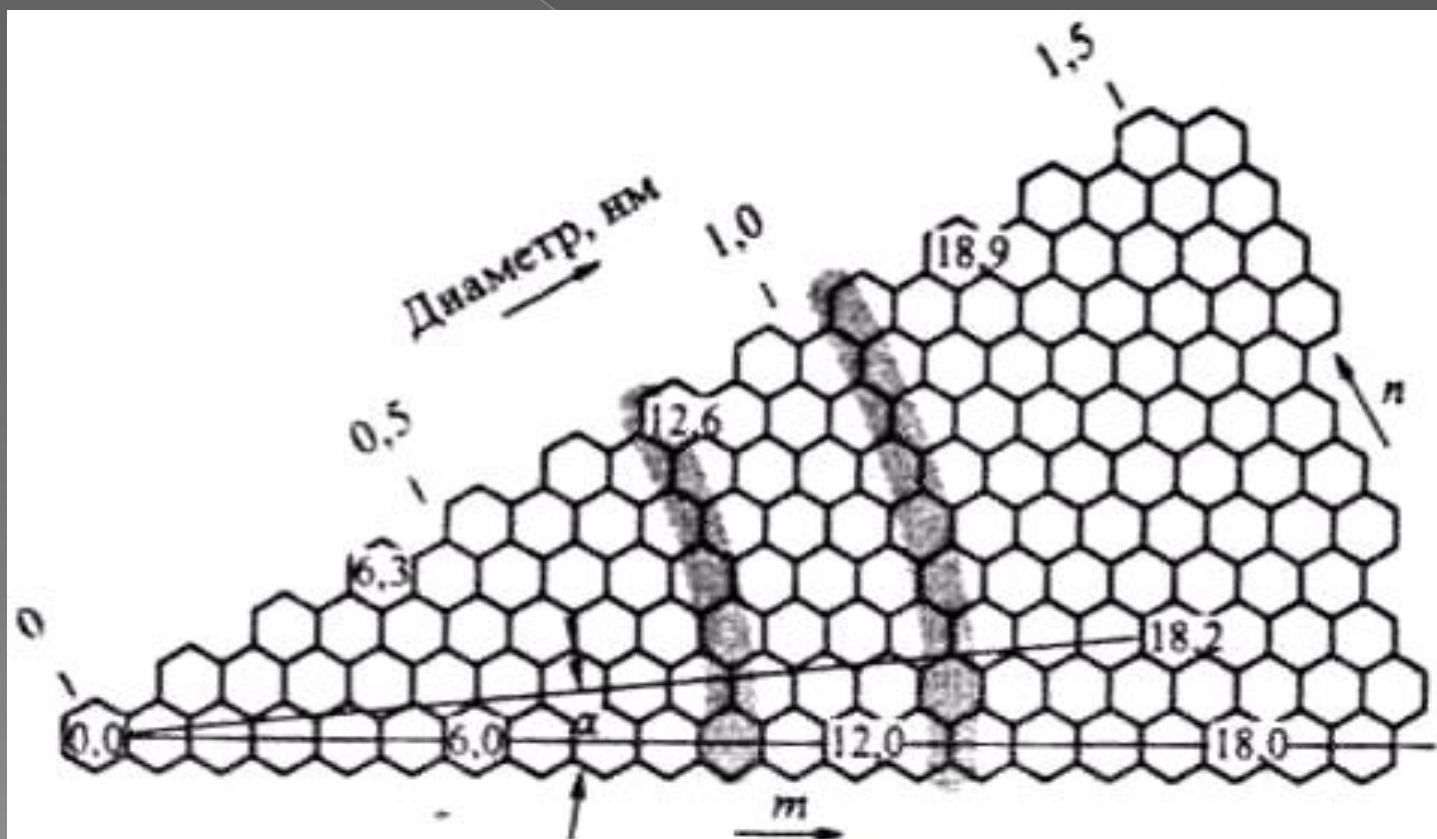
Идеальная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графитовую плоскость. Результат зависит от угла ориентации графитовой плоскости относительно оси нанотрубки.

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.



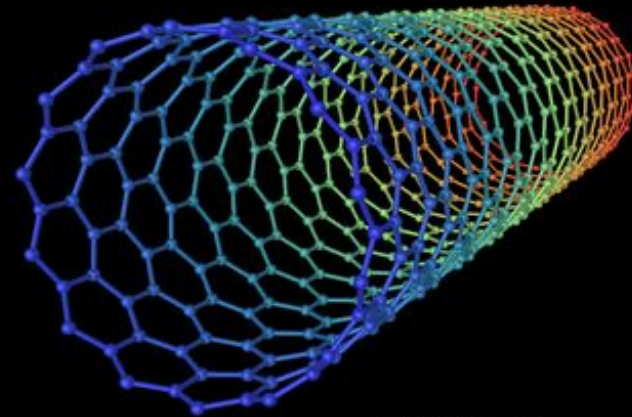
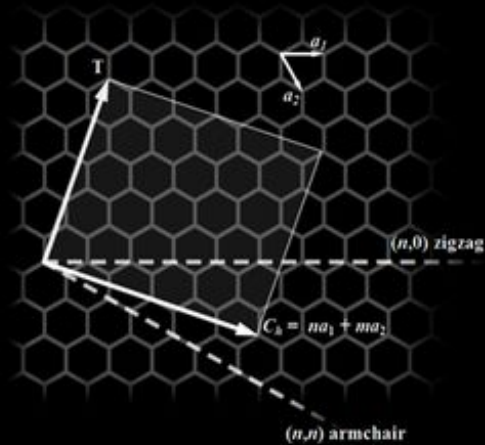
Индексы хиральности однослойной нанотрубки ( $m$ ,  $n$ ) определяют ее диаметр  $D$ :

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

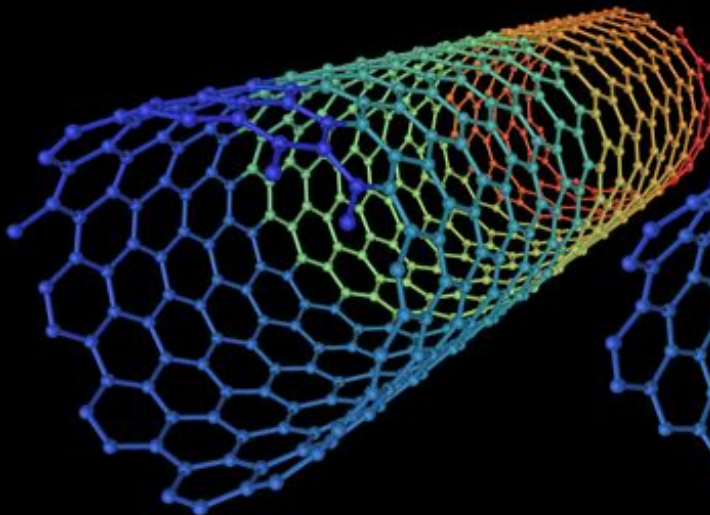
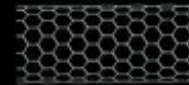
где  $d_0 = 0,142$  нм — расстояние между соседними атомами углерода в графитовой плоскости.



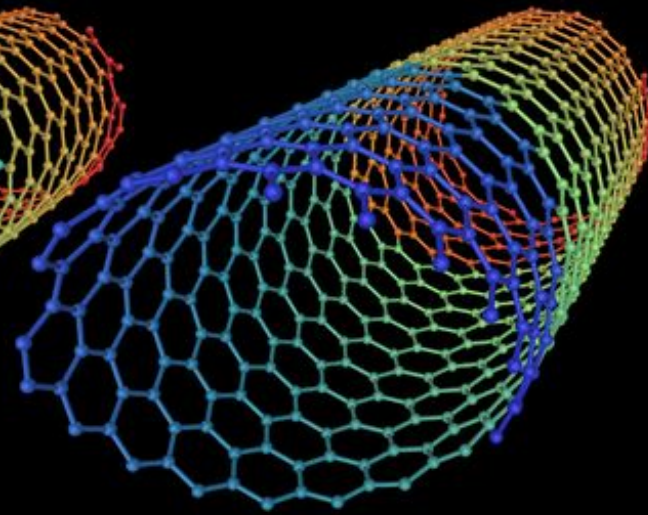
# Одностенные нанотрубки



(0,10) nanotube  
(zig-zag)



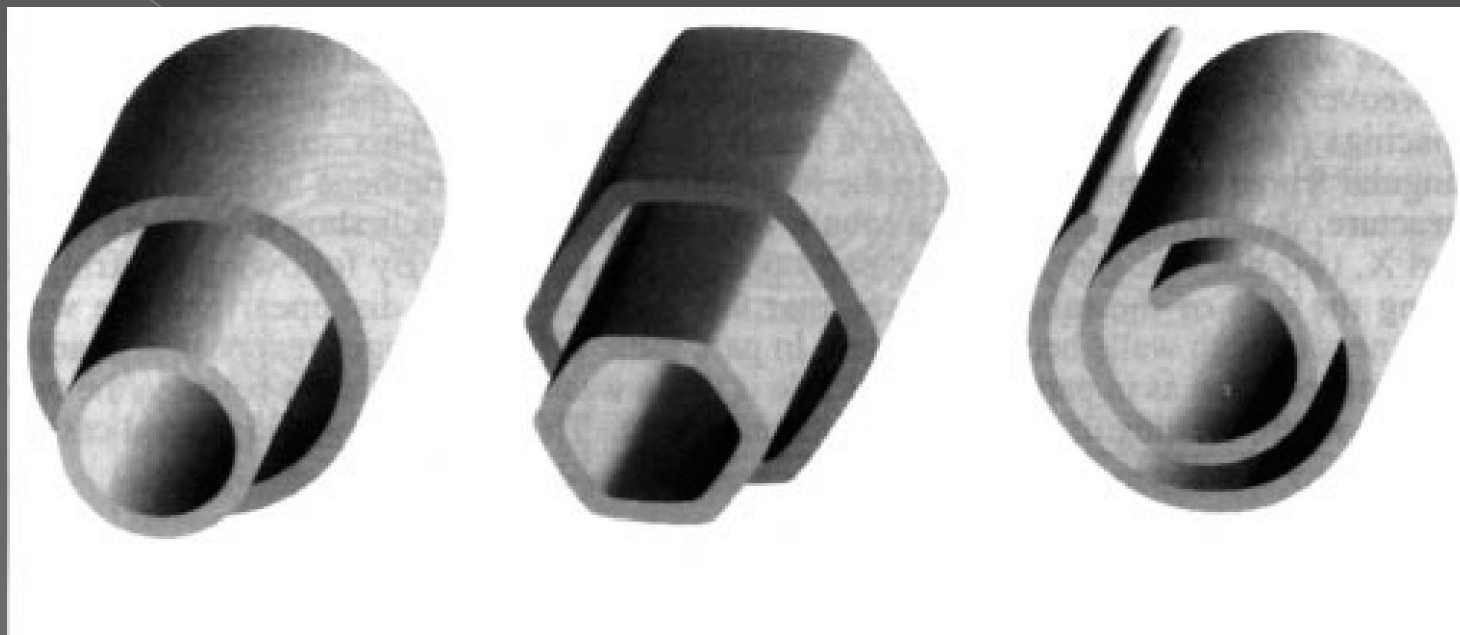
(7,10) nanotube  
(chiral)



(10,10) nanotube  
(armchair)



# Многостенные нанотрубки



(а)

(б)

(в)

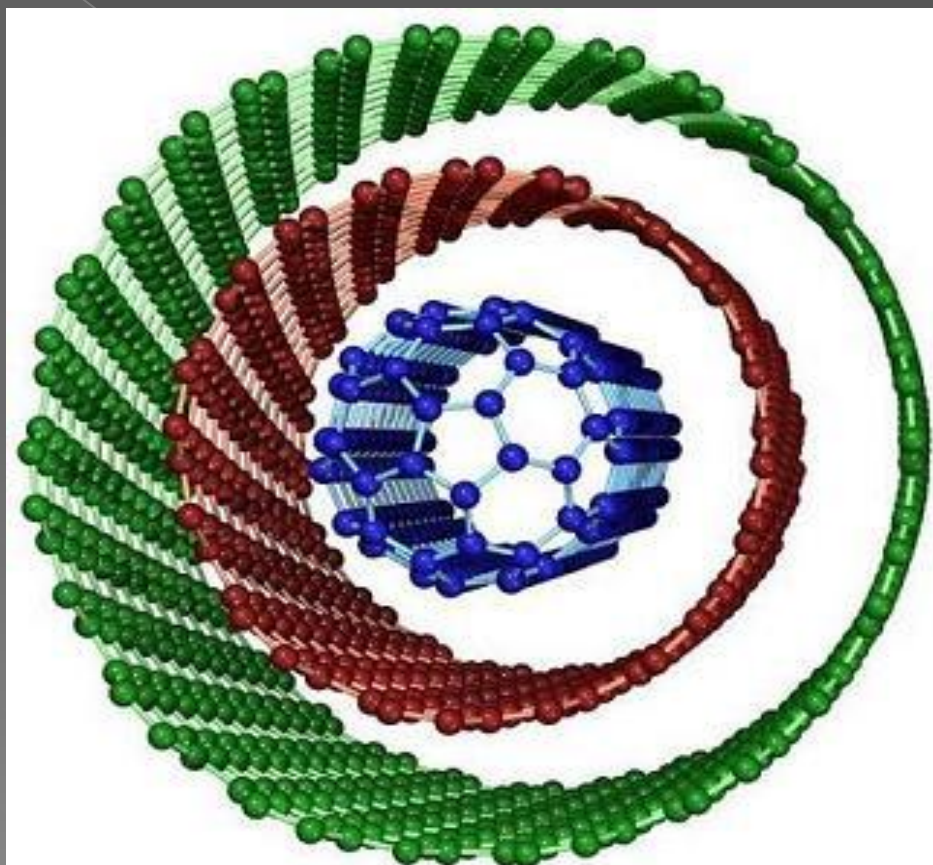
**Модели поперечных структур многослойных нанотрубок:**

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

(в) – свиток.

# Многостенные нанотрубки

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



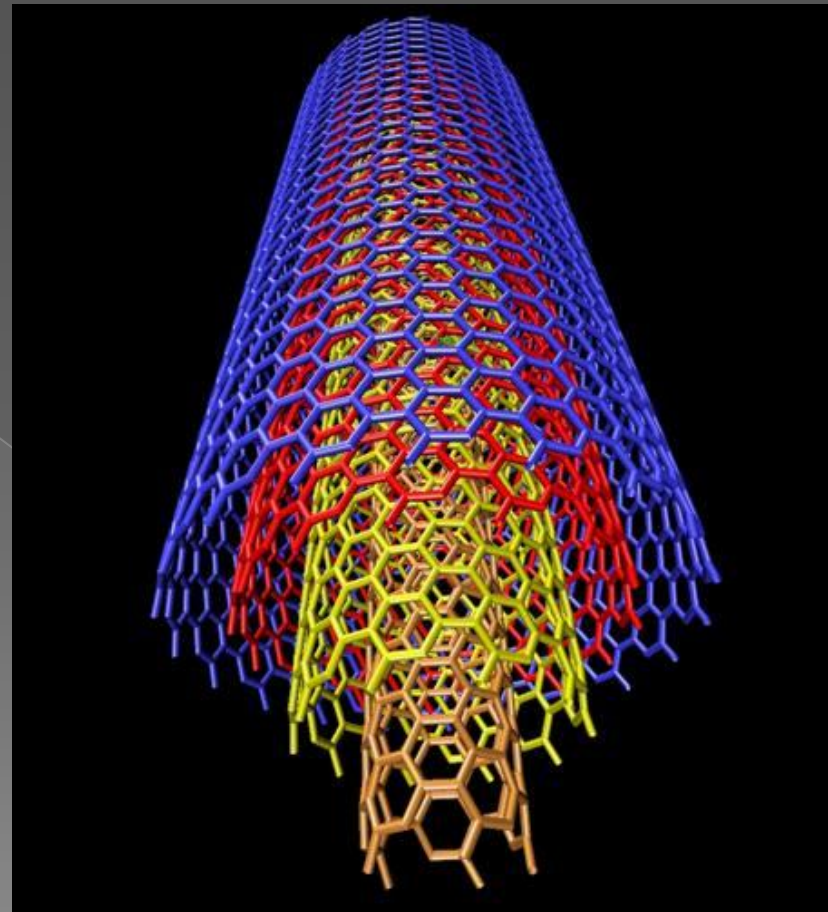
*Модель углеродной многостенной нанотрубки*

*Copyrighted by H. Nakahara*

# Многостенные нанотрубки

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

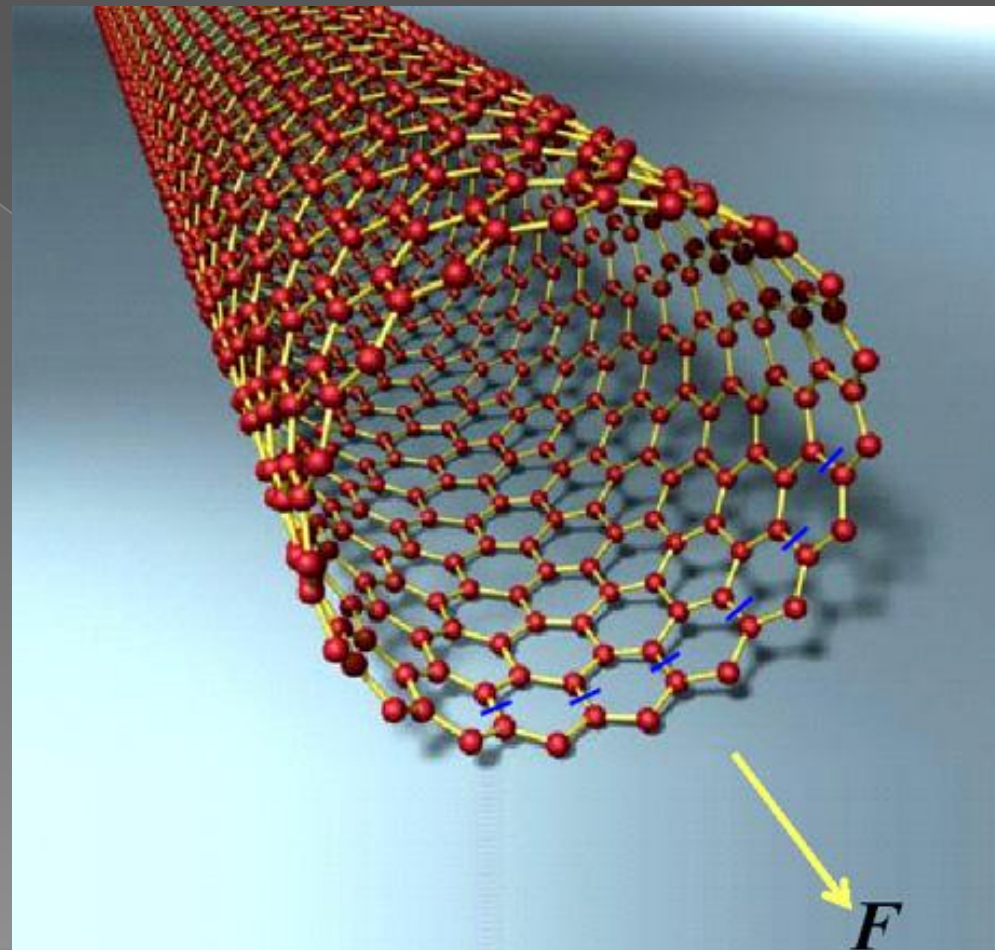
Это указывает на наличие дефектов в нанотрубках, когда один из слоев частично отсутствует.



# 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];
```

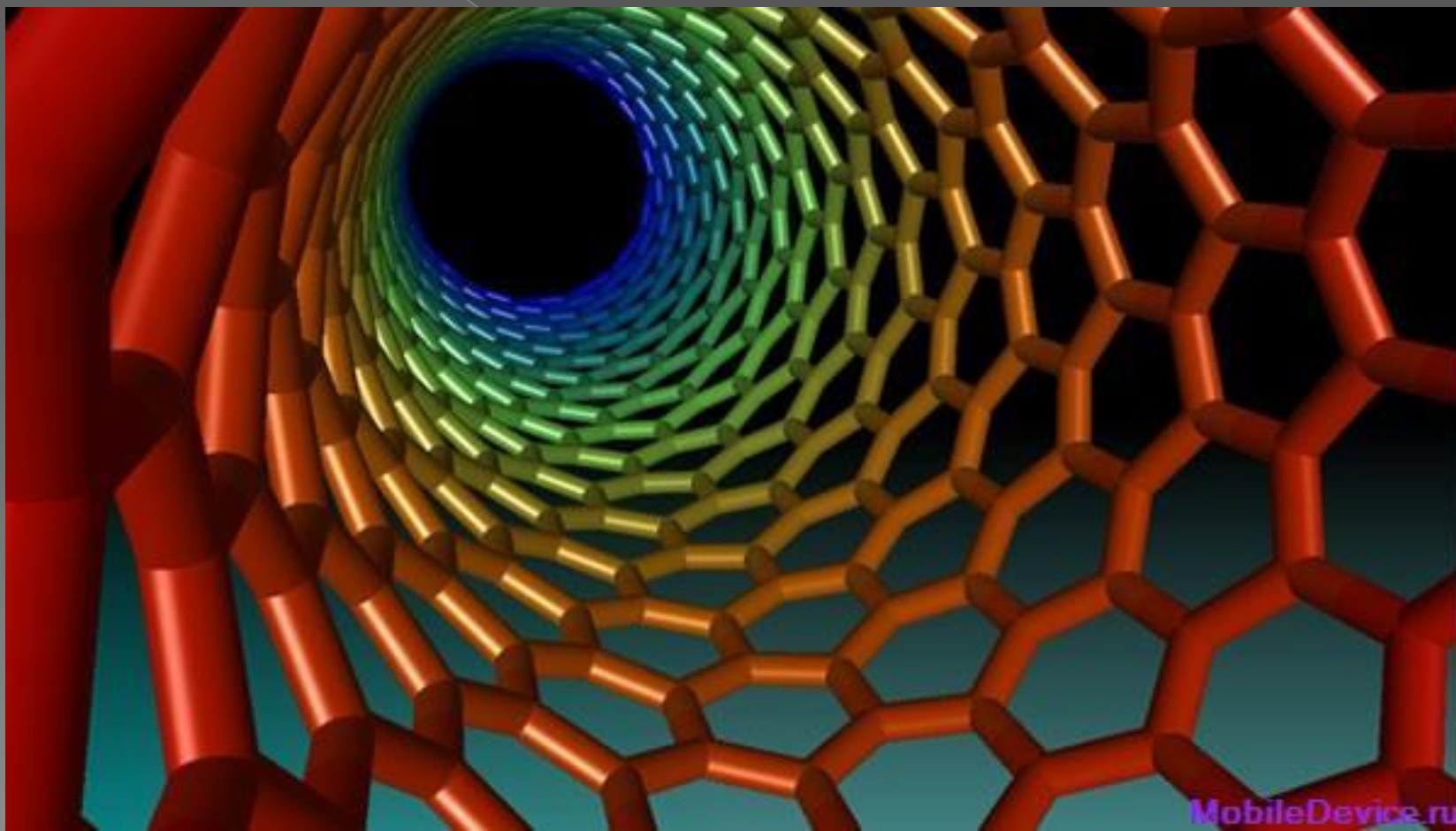
**проводники**

**полупроводники**

# Электрические свойства

- **Высокая электропроводность.**

Могут пропускать миллиард ампер на кв. см



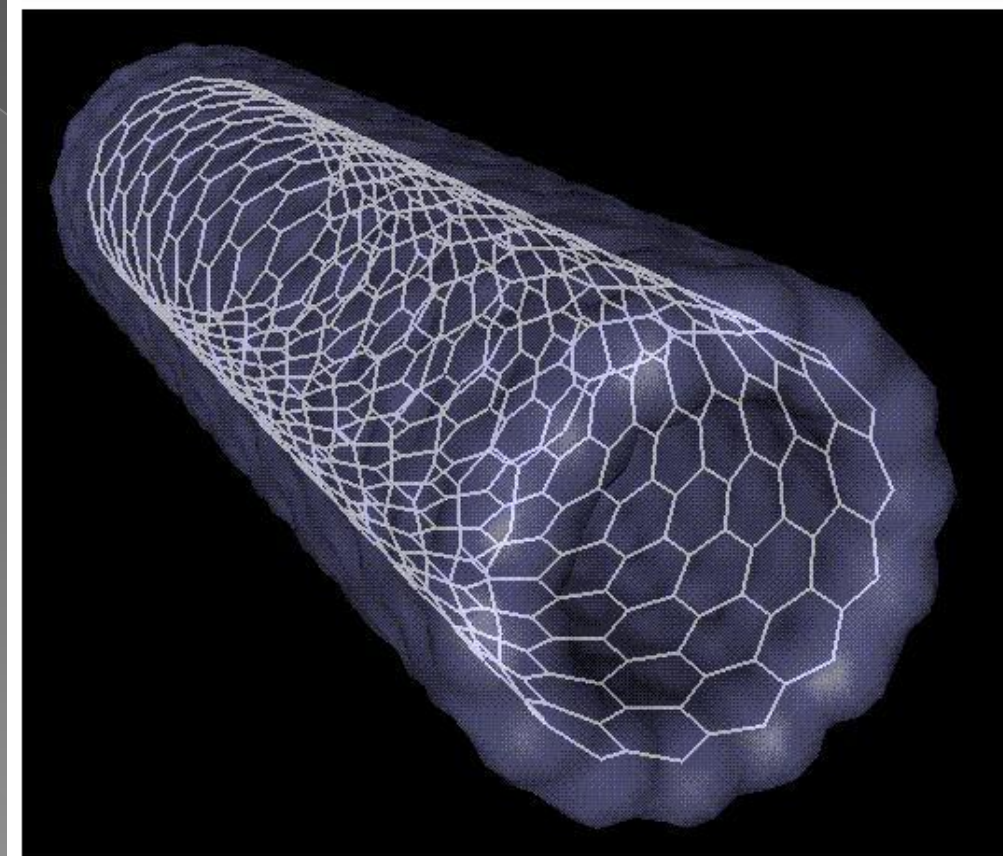


# Электронные свойства

- ❑ **Высокая теплопроводность.**

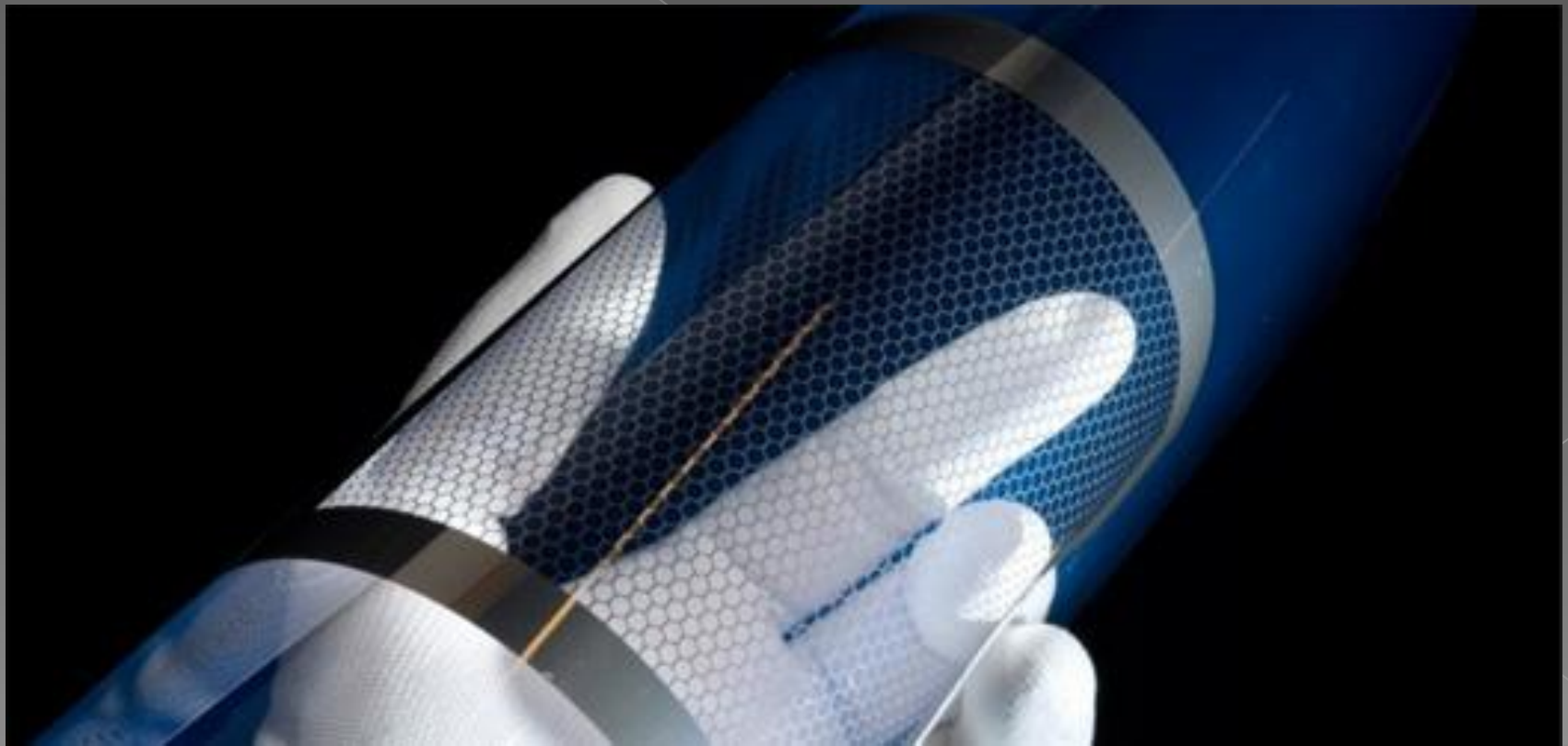
Почти вдвое превышает теплопроводность алмаза.

- ❑ **Химически стабильны.**

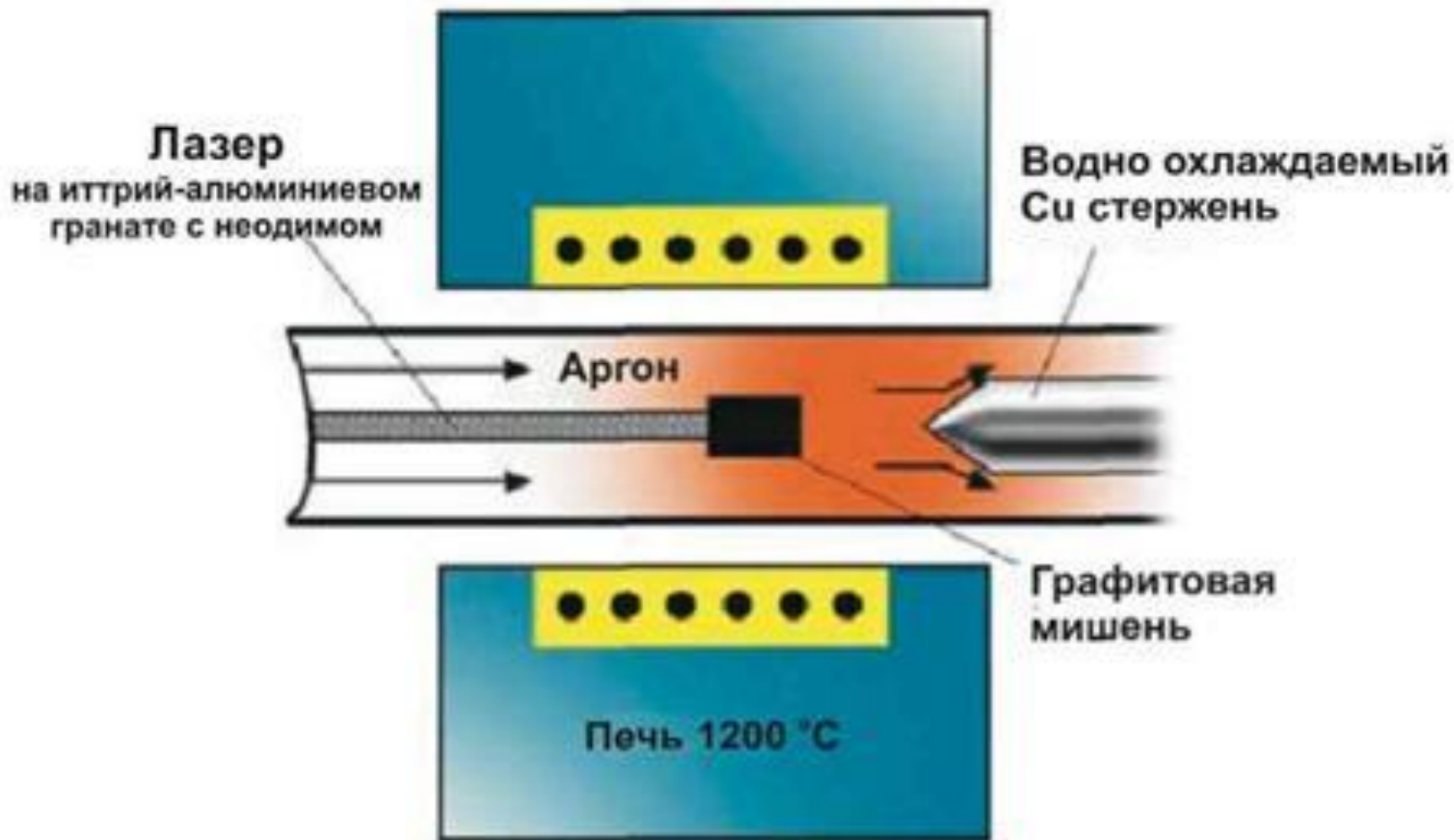


# Методы получения

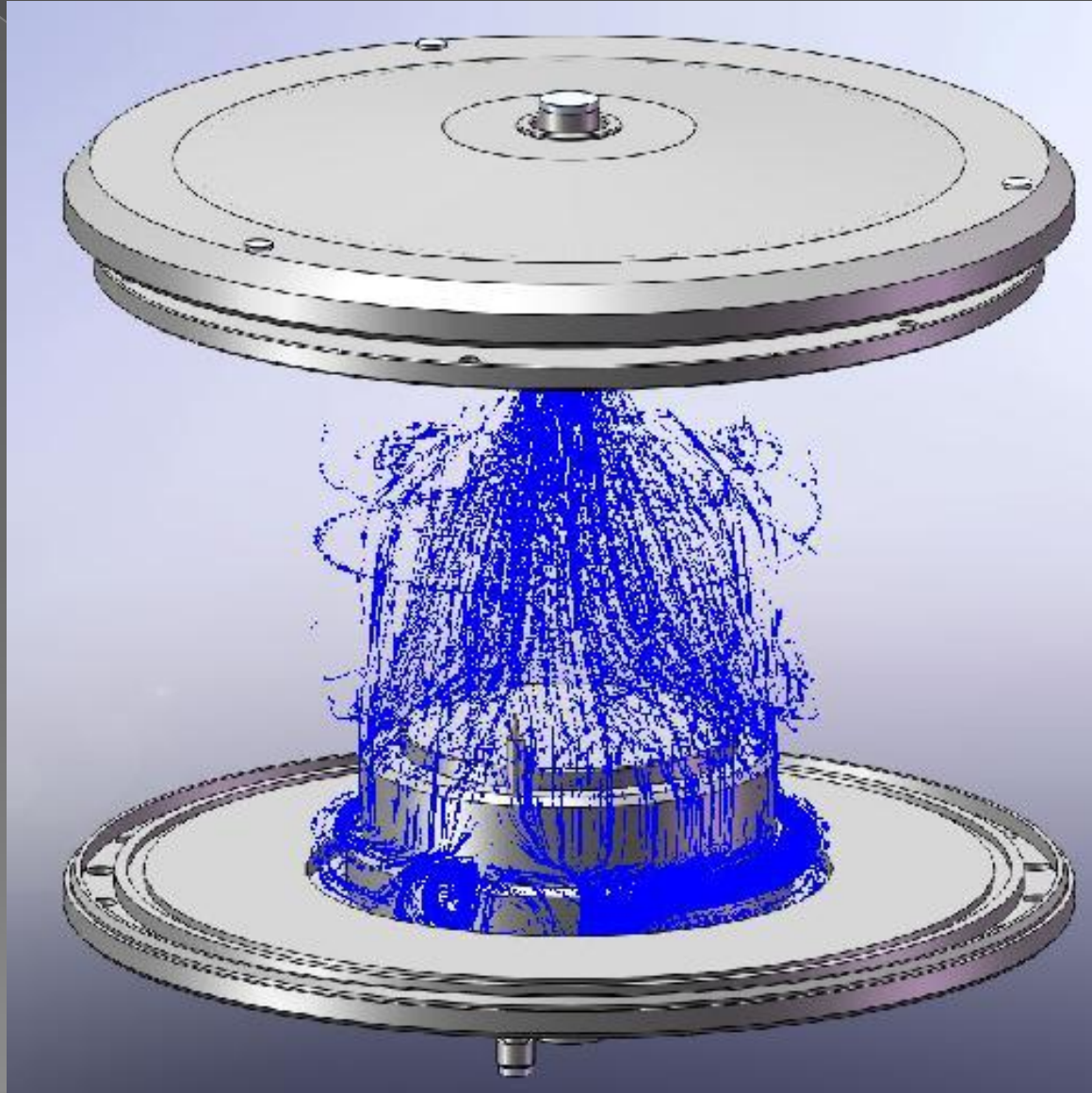
- лазерным испарением,
- углеродной дугой
- химическим осаждением паров.



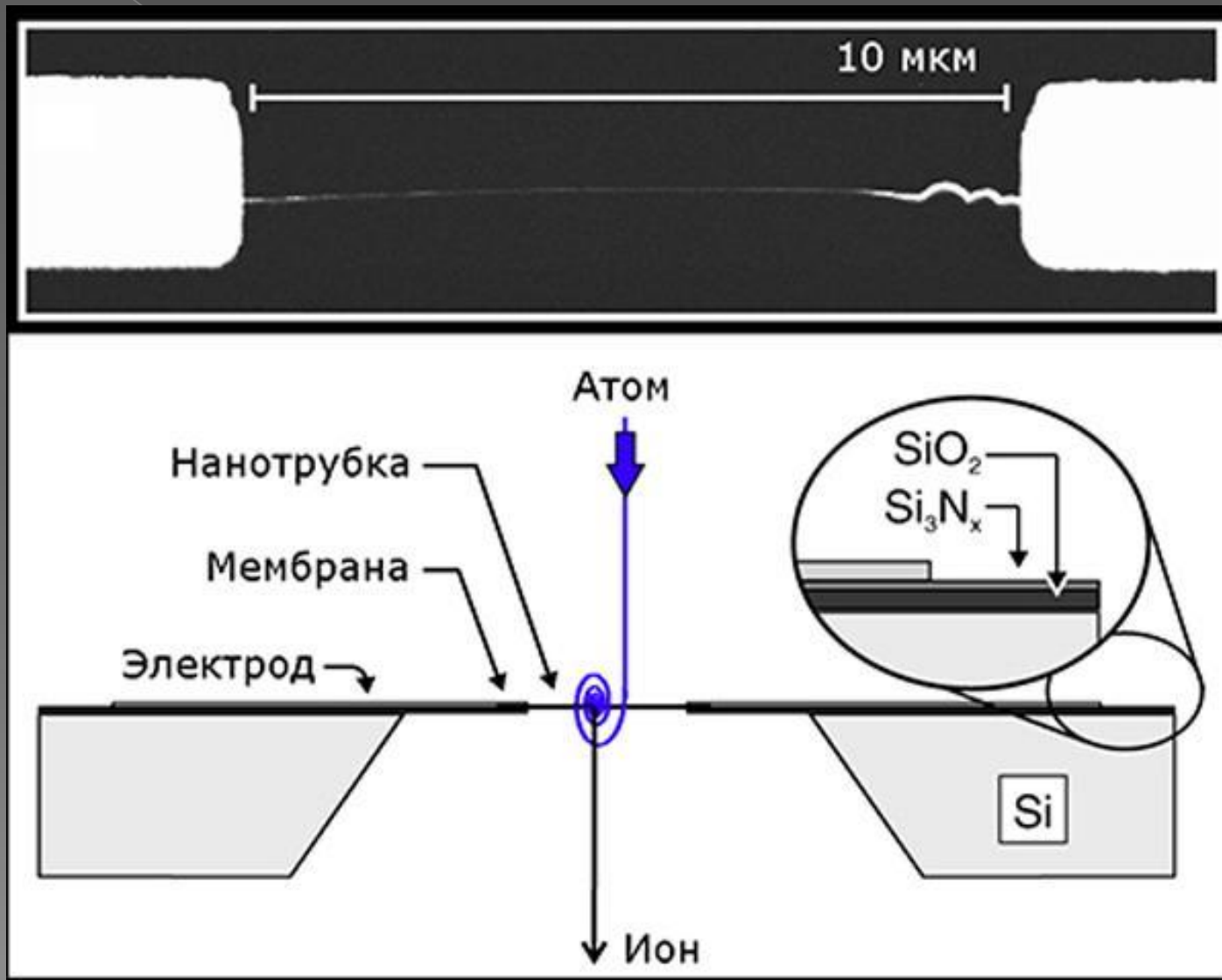
# Экспериментальная установка для синтеза углеродных нанотрубок лазерным испарением



# Синтез углеродных нанотрубок углеродной дугой

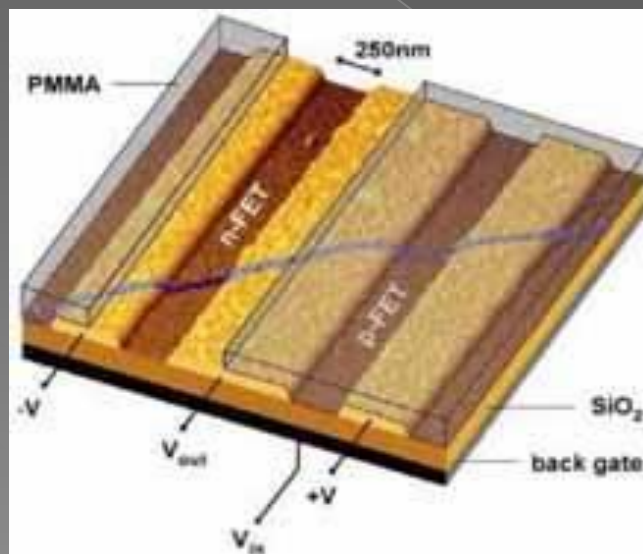


# Метод химического осаждения из паровой фазы



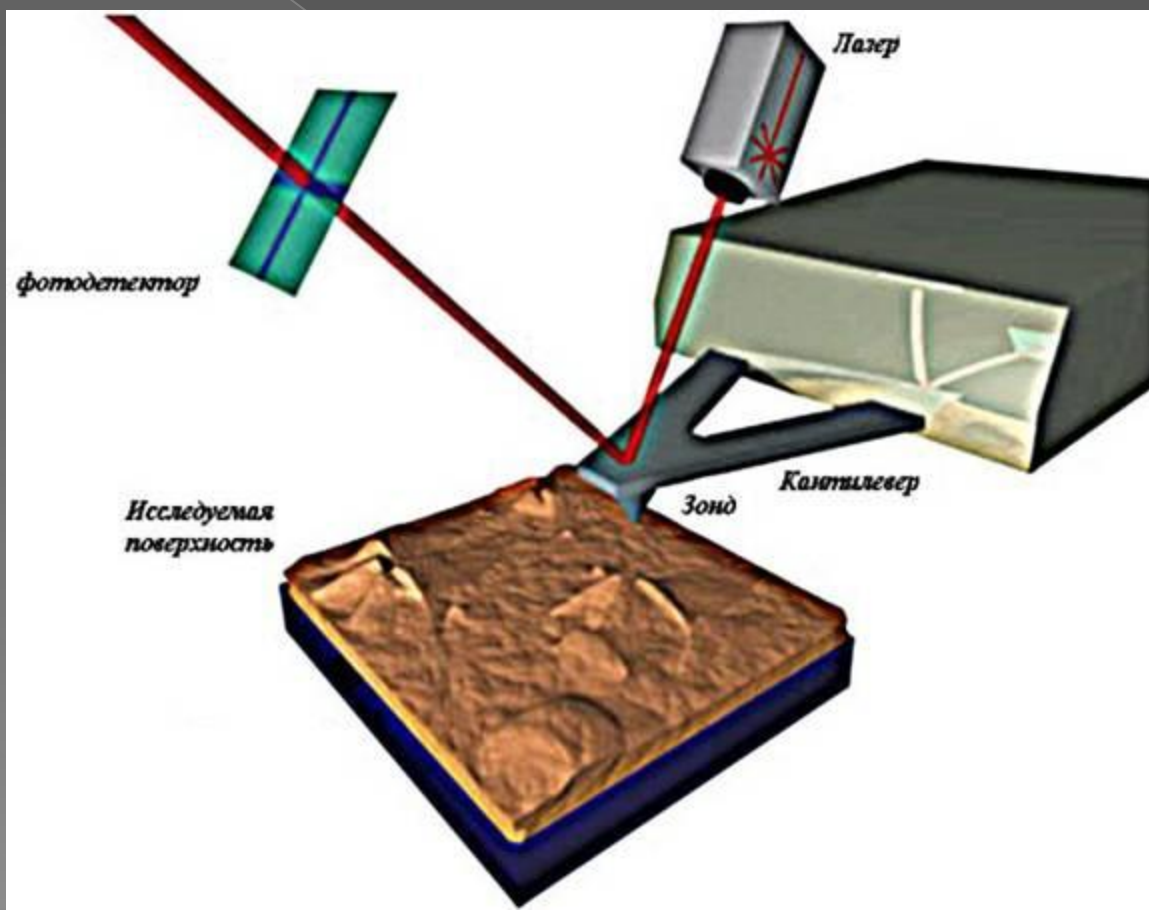
# Последние «углеродные» достижения

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.



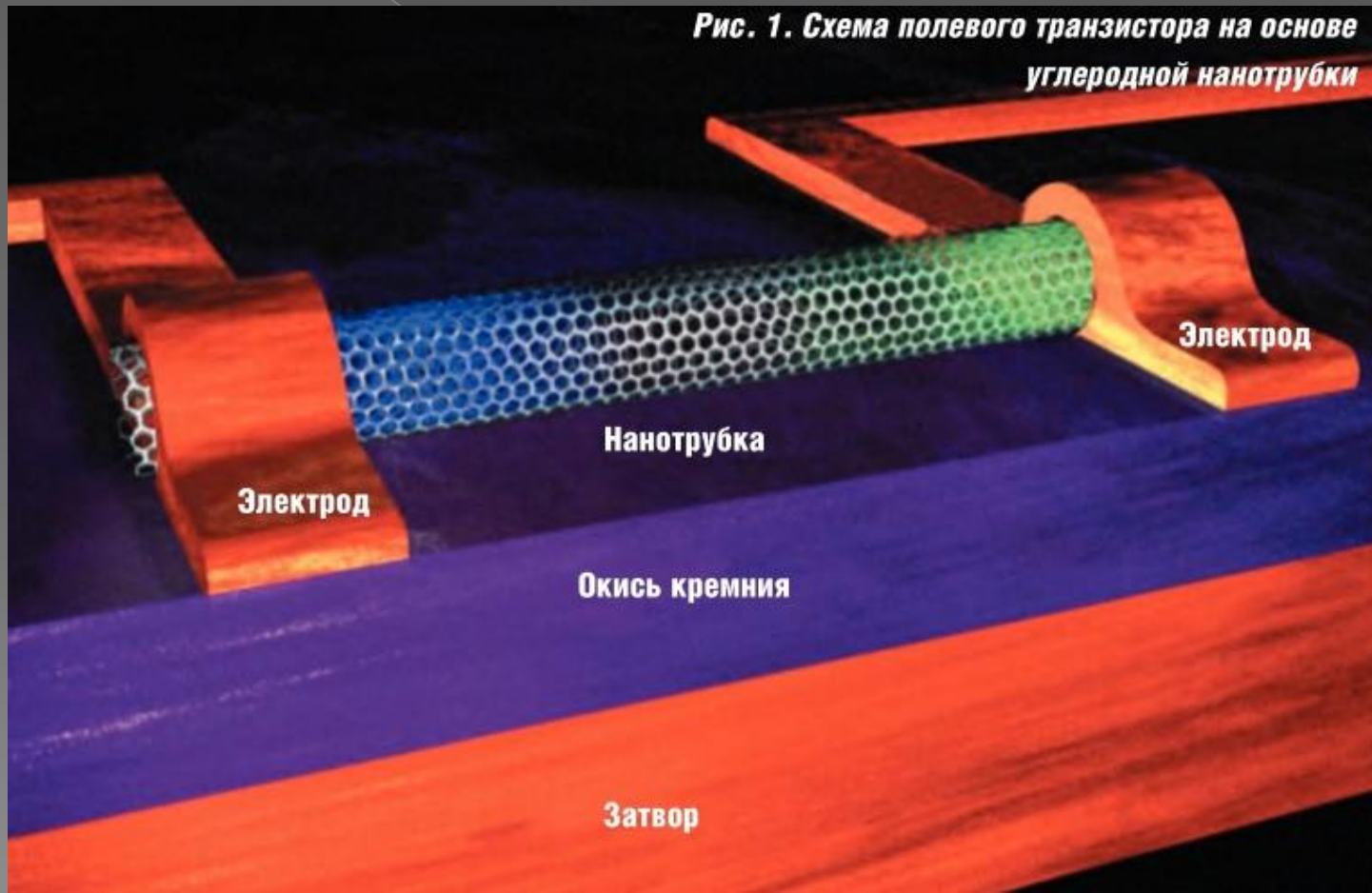
# Применение нанотрубок

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



# Применение нанотрубок

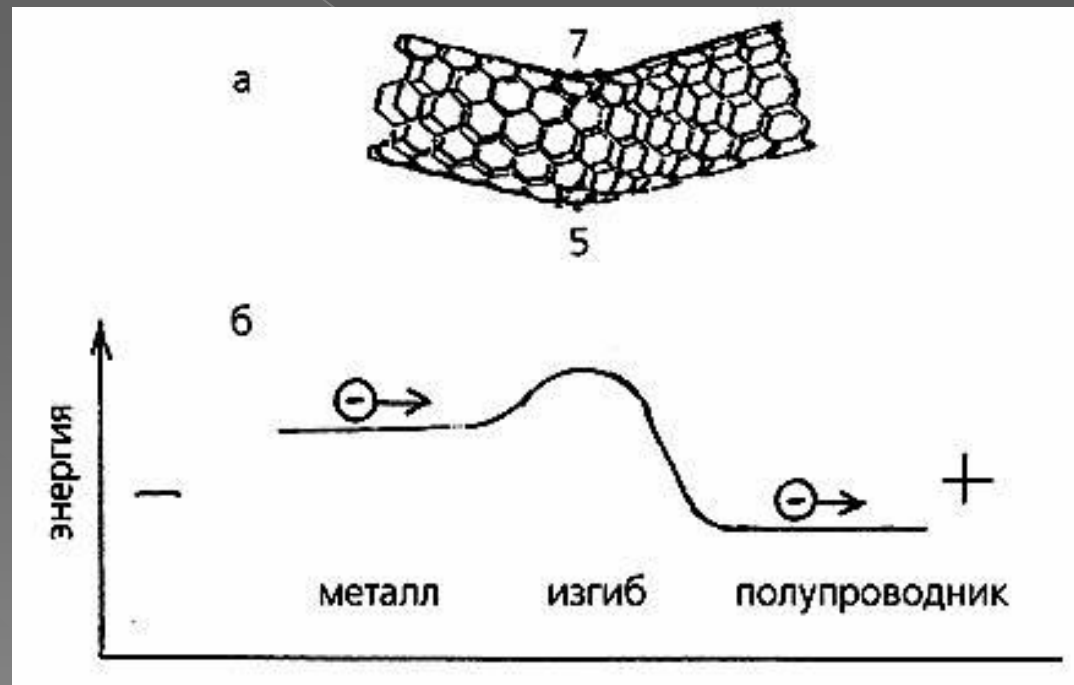
2. Созданы опытные образцы полевых транзисторов на основе одной нанотрубки





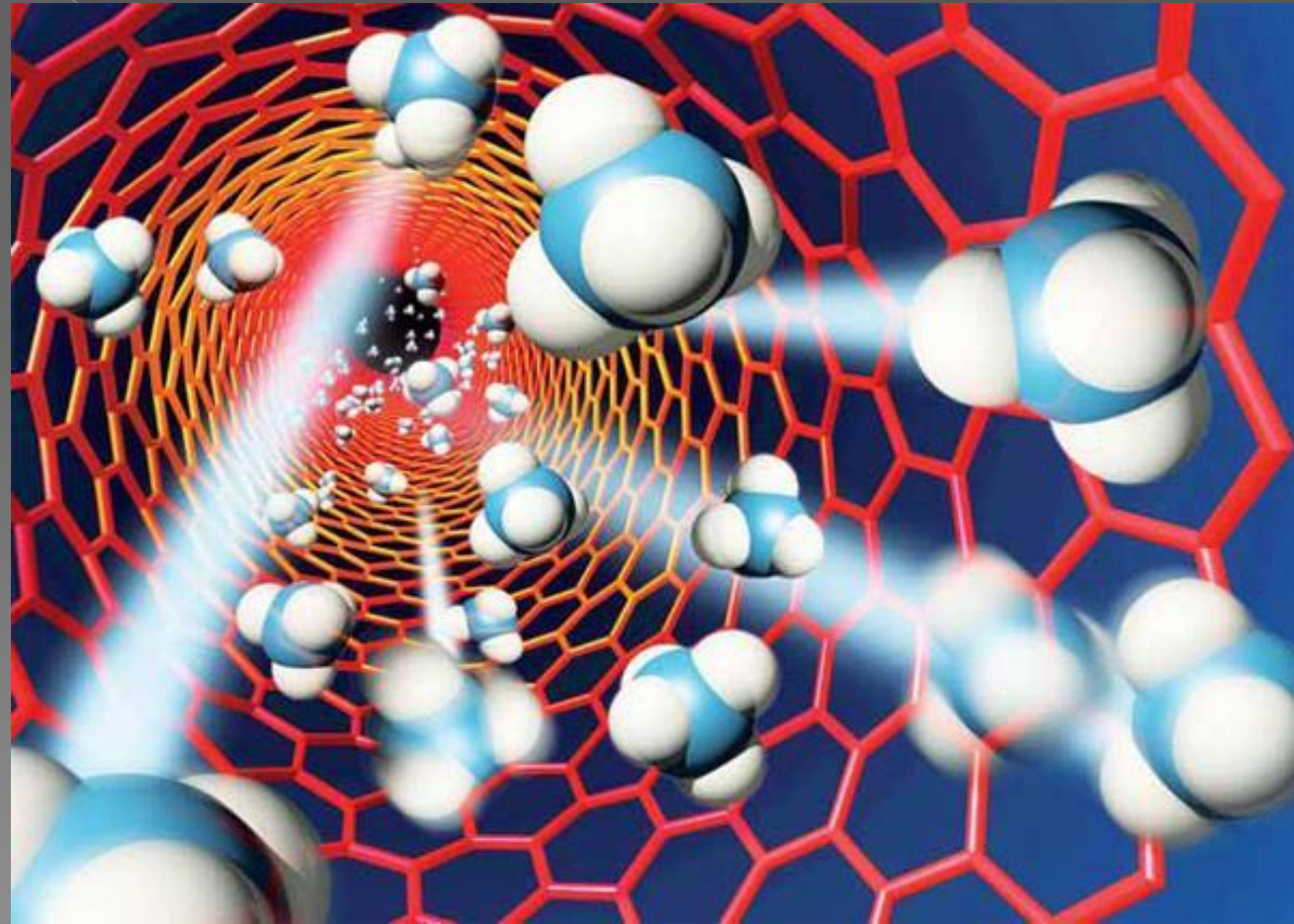
# Применение нанотрубок

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.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://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://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](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://www.ru-tech.ru/images/thumbs/id116_w200.gif)
- [http://radiomaster.ru/assets/image/userfiles/13/818/1\\_0x400\\_c3a.jpg](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://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://www.nanonewsnet.ru/files/users/u1412/setup_4.jpg)
- [http://labs.vt.tpu.ru/nano/elect\\_devices.files/image009.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://labs.vt.tpu.ru/nano/elect_devices.files/image004.jpg)
- [http://globalscience.ru/pictures/413\\_1254682264.jpg](http://globalscience.ru/pictures/413_1254682264.jpg)

*Спасибо за внимание!*