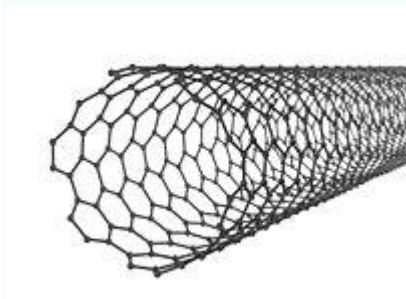
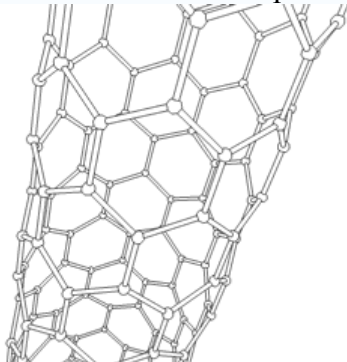


Углеродные нанотрубки

Материал из Википедии — свободной энциклопедии



Схематическое изображение нанотрубки



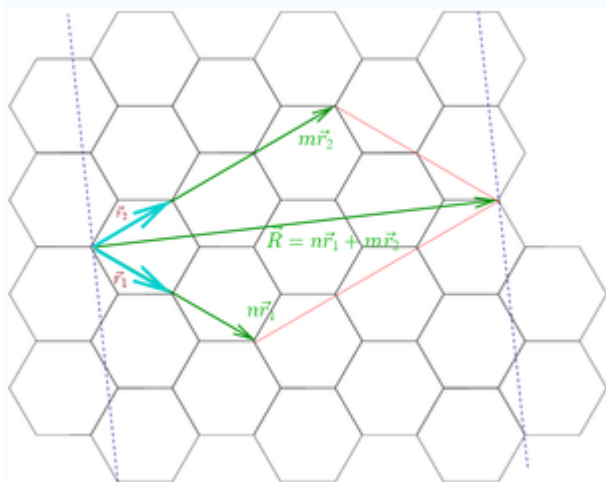
Углеродные нанотрубки — протяжённые [цилиндрические](#) структуры диаметром от одного до нескольких десятков [нанометров](#) и длиной до нескольких сантиметров ^[1] состоят из одной или нескольких свёрнутых в трубку гексагональных [графитовых плоскостей](#) ([графенов](#)) и заканчиваются обычно полусферической головкой.

Содержание

- [1 Основные свойства](#)
 - [1.1 Классификация нанотрубок](#)
 - [1.2 Однослойные и многослойные нанотрубки](#)
- [2 История открытия](#)
- [3 Структурные свойства](#)
- [4 Электронные свойства нанотрубок](#)
 - [4.1 Электронные свойства графитовой плоскости](#)
 - [4.2 Преобразование спектра при сворачивании плоскости в трубку](#)
 - [4.3 Учёт взаимодействия электронов](#)
 - [4.4 Суперпроводимость в нанотрубках](#)
- [5 Экситоны и биэкситоны в нанотрубках](#)
- [6 Оптические свойства нанотрубок](#)
- [7 Свойства интеркалированных нанотрубок](#)
- [8 Возможные применения нанотрубок](#)
- [9 Получение углеродных нанотрубок](#)
- [10 Сноски](#)
- [11 См. также](#)
- [12 Ссылки](#)

Основные свойства

Классификация нанотрубок



Для получения нанотрубки (n, m) , графитовую плоскость надо разрезать по направлениям пунктирных линий и свернуть вдоль направления вектора \mathbf{R} .

Как следует из определения, основная классификация нанотрубок проводится по способу сворачивания [графитовой](#) плоскости. Этот способ сворачивания определяется двумя числами n и m , задающими разложение направления сворачивания на [вектора](#) трансляции графитовой решётки. Это проиллюстрировано на рисунке справа.

По значению параметров (n, m) различают

- прямые ([ахиральные](#)) нанотрубки
 - «кресло» или «зубчатые» (armchair) $n=m$
 - зигзагообразные (zigzag) $m=0$ или $n=0$
- спиральные ([хиральные](#)) нанотрубки

При зеркальном отражении (n, m) нанотрубка переходит в (m, n) нанотрубку, поэтому, трубка общего вида зеркально несимметрична. Прямые же нанотрубки либо переходят в себя при зеркальном отражении ([конфигурация](#) «кресло»), либо переходят в себя с точностью до поворота.

Различают [металлические](#) и [полупроводниковые](#) углеродные нанотрубки. Металлические нанотрубки проводят электрический ток при абсолютном нуле температур, в то время как проводимость полупроводниковых трубок равна нулю при абсолютном нуле и возрастает при повышении температуры. Полупроводниковые свойства у трубки появляются из-за щели на уровне Ферми. Трубка оказывается металлической, если $(n-m)$, делённое на 3, даёт целое число. В частности, металлическими являются все трубки типа «кресло». Более подробно см. раздел про электронные свойства нанотрубок.

Однослойные и многослойные нанотрубки

Сказанное относится к простейшим однослойным нанотрубкам. В реальных условиях трубки нередко получают многослойными, то есть представляют собой несколько однослойных нанотрубок, вложенных одна в другую (так называемые [«матрёшки»](#) (russian dolls)).

История открытия

Как известно, [фуллерен](#) (C_{60}) был открыт группой Смоли, Крото и Кёрла в [1985](#) г.^[2], за что в [1996](#) г. эти исследователи были удостоены [Нобелевской премии по химии](#). Что касается углеродных нанотрубок, то здесь нельзя назвать точную дату их открытия. Хотя общеизвестным является факт наблюдения структуры многослойных нанотрубок Ииджимой в [1991](#) г.^[3], существуют более ранние свидетельства открытия углеродных нанотрубок. Так, например в [1974—1975](#) гг. Эндо и др.^[4] опубликовали ряд работ с описанием тонких трубок с диаметром менее 100 \AA , приготовленных методом конденсации из паров, однако более детального исследования структуры не было проведено. В [1992](#) в [Nature](#)^[5] была опубликована статья, в которой утверждалось, что нанотрубки наблюдали в [1953](#) г. Годом ранее, в [1952](#), в статье советских учёных Радужкевича и Лукьяновича^[6] сообщалось об электронно-микроскопическом наблюдении волокон с диаметром порядка 100 нм , полученных при термическом разложении окиси углерода на железном катализаторе. Эти исследования также не были продолжены.

Существует множество теоретических работ по предсказанию данной аллотропной формы углерода. В работе^[7] химик Джонс (Дедалус) размышлял о свёрнутых трубах графита. В работе Л. А. Чернозатонского и др.^[8], вышедшую в тот же год, что и работа Ииджимы, были получены и описаны углеродные нанотрубы, а М. Ю. Корнилов не только предсказал существования однослойных углеродных нанотрубок в [1986](#) г., но и высказал предположение об их большой упругости^[9].

Структурные свойства

- упругие свойства; дефекты при превышении критической нагрузки:

- в большинстве случаев представляют собой разрушенную ячейку-гексагон решётки – с образованием пентагона или септогона на её месте. Из специфических особенностей [графена](#) следует, что дефектные нанотрубки будут искажаться аналогичным образом, т.е. с возникновением выпуклостей (при 5-и) и седловидных поверхностей (при 7-и). Наибольший же интерес в данном случае представляет комбинация данных искажений, особенно расположенных друг напротив друга – это уменьшает прочность нанотрубки, но формирует в её структуре устойчивое искажение, меняющее свойства последней: иными словами, в нанотрубке образуется постоянный изгиб.

- открытые и закрытые нанотрубки

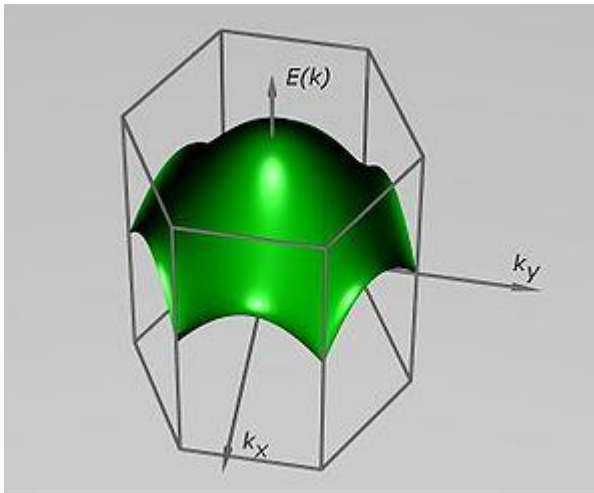
Электронные свойства нанотрубок

Электронные свойства графитовой плоскости

- Обратная решётка, первая [зона Бриллюэна](#)

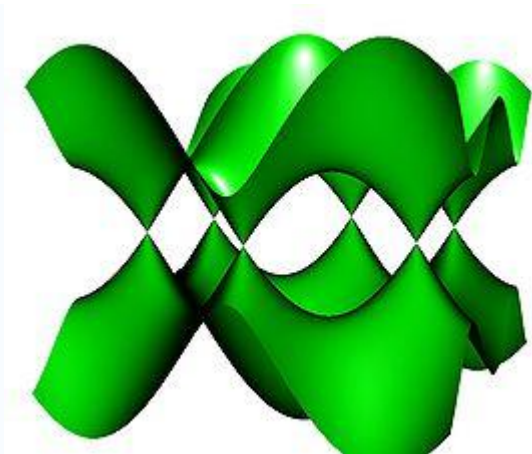
Все точки К первой зоны Бриллюэна отстоят друг от друга на [вектор трансляции](#) обратной решётки, поэтому все они на самом деле эквивалентны. Аналогично, эквивалентны все точки К'.

- Спектр в [приближении сильной связи](#) (См. более подробно [Графен](#))



Спектр углеродной плоскости в первой зоне Бриллюэна. Показана только часть $E(k) > 0$, часть $E(k) < 0$ получается отражением в плоскости k_x, k_y .

- Дираковские точки (См. подробнее [Графен](#))



Дираковские точки в периодически продолженном за пределы первой зоны Бриллюэна спектре графитовой плоскости

[Графит](#) — [полуметалл](#), что видно невооружённым глазом по характеру отражения [света](#). Можно убедиться, что [электроны](#) p-орбиталей полностью заполняют первую зону Бриллюэна. Таким образом, оказывается, что [уровень Ферми](#) графитовой плоскости проходит точно по дираковским точкам, т.о. вся [поверхность Ферми](#) (точнее, линия в двумерном случае) вырождается в две неэквивалентные точки.

Если энергия электронов мало отличается от энергии Ферми, то можно заменить истинный спектр электронов вблизи дираковской точки на простой конический, такой же как спектр безмассовой частицы, подчиняющейся [уравнению Дирака](#) в 2+1 измерениях.

- SU(4) симметрия

Преобразование спектра при сворачивании плоскости в трубку

- [граничные условия Борна-Кармана](#)
- Эффективное уравнение Дирака
- [Металлические](#) и [полупроводниковые](#) трубки
- Поведение [спектра](#) при приложении продольного магнитного поля

Учёт взаимодействия электронов

- [Бозонизация](#)
- [Латтинжеровская жидкость](#)
- [Разделение спина и заряда](#)
- Экспериментальный статус

Сверхпроводимость в нанотрубках

- Экспериментальный статус

[Сверхпроводимость](#) углеродных нанотрубок открыта исследователями из Франции и России (ИПТМ РАН, Черноголовка). Ими были проведены измерения вольт-амперных характеристик:

- отдельной однослойной нанотрубки диаметром ~1 нм;
- свёрнутого в жгут большого числа однослойных нанотрубок;
- также индивидуальных многослойных нанотрубок.

При температуре, близкой к 4К, между двумя сверхпроводящими металлическими контактами наблюдался ток. В отличие от обычных трёхмерных проводников, перенос заряда в нанотрубке имеет ряд особенностей, которые, судя по всему, объясняются одномерным характером переноса (как, например, [квантование](#) сопротивления R: см. статью, опубликованной в Science ^[10]).

- Теория

[Экситоны](#) и [биэкситоны](#) в нанотрубках

Оптические свойства нанотрубок

[Полупроводниковые](#) модификации [углеродных](#) нанотрубок (разность индексов [хиральности](#) не кратна трём) являются прямыми полупроводниками. Это означает, что в них может происходить непосредственная [рекомбинация электрон-дырочных пар](#), приводящая к испусканию [фотона](#). Прямозонность автоматически включает углеродные нанотрубки в число материалов [оптоэлектроники](#).

Свойства интеркалированных нанотрубок

Возможные применения нанотрубок

- Механические применения: сверхпрочные нити, [композитные материалы](#), нановесы
- Применения в микроэлектронике: [транзисторы](#), нанопровода, прозрачные проводящие поверхности, [топливные элементы](#)
- Для создания соединений между биологическими [нейронами](#) и электронными устройствами в новейших [нейрокомпьютерных](#) разработках

- Капиллярные применения: капсулы для активных молекул, хранение металлов и газов, нанопипетки
- Оптические применения: дисплеи, [светодиоды](#)
- Медицина (в стадии активной разработки)
- Одностенные нанотрубки (индивидуальные, в небольших сборках или в сетях) являются миниатюрными датчиками для обнаружения молекул в газовой среде или в растворах с ультравысокой чувствительностью — при адсорбции на поверхности нанотрубки молекул её электросопротивление, а также характеристики нанотранзистора могут изменяться. Такие нанодатчики могут использоваться для мониторинга окружающей среды, в военных, медицинских и биотехнологических применениях.
- Трос для [космического лифта](#), так как нанотрубки теоретически, могут держать и больше тонны... но только в теории. Потому как получить достаточно длинные углеродные трубки с толщиной стенок в один атом не удавалось до сих пор^[11].
- Листы из углеродных нанотрубок можно использовать в качестве плоских прозрачных [громкоговорителей](#), к такому выводу пришли китайские учёные^[12]

Получение углеродных нанотрубок

В настоящее время наиболее распространенным является метод термического распыления графитовых электродов в плазме дугового разряда. Процесс синтеза осуществляется в камере, заполненной гелием под давлением около 500 торр. При горении плазмы происходит интенсивное термическое испарение анода, при этом на торцевой поверхности катода образуется осадок, в котором формируются нанотрубки углерода. Наибольшее количество нанотрубок образуется тогда, когда ток плазмы минимален и его плотность составляет около 100 А/см². В экспериментальных установках напряжение между электродами обычно составляет около 15-25 В, ток разряда несколько десятков ампер, расстояние между концами графитовых электродов 1-2 мм. В процессе синтеза около 90% массы анода осаждается на катоде.

Образующиеся многочисленные нанотрубки имеют длину порядка 40 мкм. Они нарастают на катоде перпендикулярно плоской поверхности его торца и собраны в цилиндрические пучки диаметром около 50 мкм. Пучки нанотрубок регулярно покрывают поверхность катода, образуя сотовую структуру. Ее можно обнаружить, рассматривая осадок на катоде невооруженным глазом. Пространство между пучками нанотрубок заполнено смесью неупорядоченных наночастиц и одиночных нанотрубок. Содержание нанотрубок в углеродном осадке (депозите) может приближаться к 60%.

Для разделения компонентов полученного осадка используется ультразвуковое диспергирование. Катодный депозит помещают в метанол и обрабатывают ультразвуком. В результате получается суспензия, которая (после добавления воды) подвергается разделению на центрифуге. Крупные частицы сажи прилипают к стенкам центрифуги, а нанотрубки остаются плавающими в суспензии. Затем нанотрубки промывают в азотной кислоте и просушивают в газообразном потоке кислорода и водорода в соотношении 1 : 4 при температуре 750°C в течение 5 мин. В результате такой обработки получается достаточно легкий и пористый материал, состоящий из многослойных нанотрубок со средним диаметром 20 нм и длиной около 10 мкм. Технология получения нанотрубок довольно сложна, поэтому в настоящее время нанотрубки - дорогой материал: один грамм стоит несколько сот долларов США.

Согласно публикации в журнале NanoLetters, физикам из нескольких китайских исследовательских центров удалось доработать технологию, которой пользовались

ученые по всему миру – технологию химического осаждения атомов углерода из газовой среды. Им удалось синтезировать углеродные нанотрубки длиной до 18,5 сантиметров.

Цуньшень Ванг (Xueshen Wang) и его коллеги использовали смесь веществ, которые многим известны отнюдь не в качестве химреактивов: свои рекордные нанотрубки китайцы вырастили в атмосфере паров спирта и воды. Правда, эти вещества находились в несколько нестандартных по алкогольным меркам пропорциях: 4 части спирта на 1 часть воды.

Кроме того, китайские ученые использовали водород, продуваемый через специальный реактор, а также сверхтонкий порошок железа и молибдена – это были зерна для затравки реакции. Также пригодилась им пленка из обычных, меньшей длины, нанотрубок, – для эффективного удаления «мусора» в виде растущих в неправильных направлениях углеродных цилиндров вкуче с аморфным и потому неинтересным углеродом.^[13]--[Steel heart](#) 09:46, 30 сентября 2009 (UTC)

Сноски

1. ↑ <http://www.sciencedaily.com/releases/2004/09/040917091336.htm>
2. ↑ Н.W. Kroto, J.R.Heath, S.C. O'Brien, R.F. Curl, R.E. Smalley, C60: Buckminsterfullerene, Nature 318 162 (1985)
3. ↑ S. Iijima, Helical microtubules of graphitic carbon, Nature 354 56 (1991)
4. ↑ A. Oberlin, M. Endo, and T. Koyama. High resolution electron microscope observations of graphitized carbon fibers Carbon, 14, 133 (1976)
5. ↑ J.A.E. Gibson. Early nanotubes? Nature, 359, 369 (1992)
6. ↑ Л. В. Радужевич и В. М. Лукьянович. О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте. ЖФХ, 26, 88 (1952)
7. ↑ D.E.H. Jones (Daedalus). New Scientist 110 80 (1986)
8. ↑ З. Я. Косаковская, Л. А. Чернозатонский, Е. А. Фёдоров. Нановолоконная углеродная структура. Письма в ЖЭТФ 56 26 (1992)
9. ↑ М. Ю. Корнилов. Нужен трубчатый углерод. [Химия и жизнь](#) 8 (1985)
10. ↑ Science (Frank с сотр., Science, т. 280, с. 1744); 1998
11. ↑ <http://news.mail.ru/society/2933557/>
12. ↑ [Nano Letters: Flexible, Stretchable, Transparent Carbon Nanotube Thin Film Loudspeakers](#) (29 октября 2008 г.)
13. ↑ <http://news.mail.ru/society/2933557/>

См. также

- [Изомерия](#)

Ссылки

- [Статья Игоря Иванова на сайте «Физической лаборатории школьников»](#)
- [Сайт про нанотрубки Фёдора Сенатова](#)
- [Статья в газете «1-е сентября»](#)
- [Подборка материалов прессы про нанотрубки \(до 2005 года\)](#)
- [Маркетинговое исследование рынка углеродных нанотрубок](#)
- [Композиционные материалы с полимерной матрицей и фуллеренсодержащими модификаторами](#)

Источник

«http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BA%D0%B8»

Категории: [Нанотехнология](#) | [Аллотропные формы углерода](#)