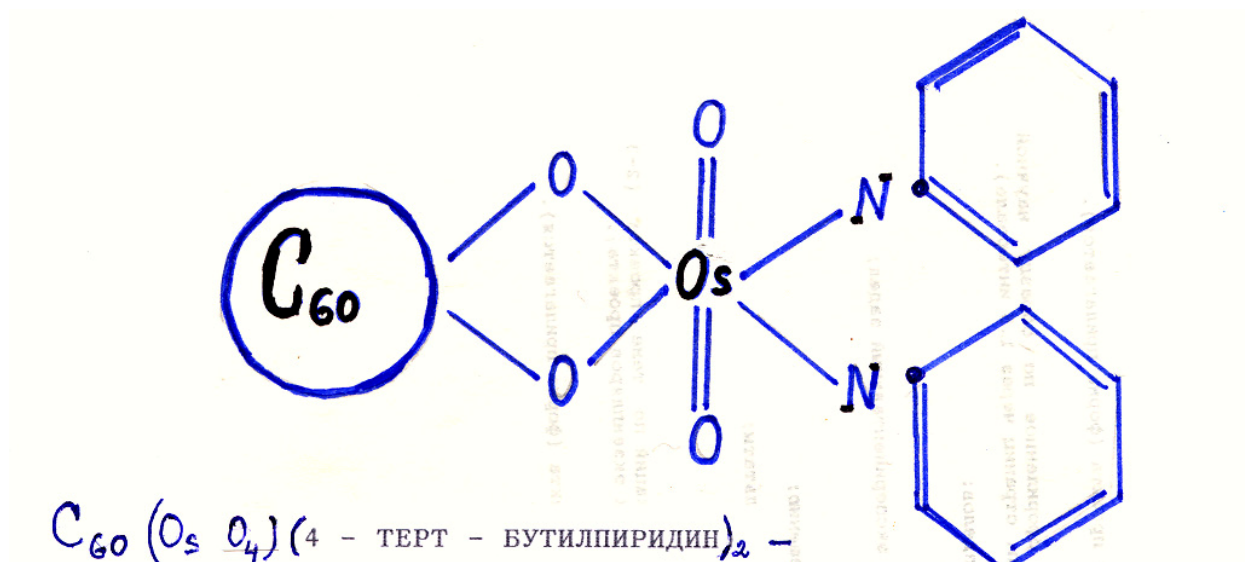


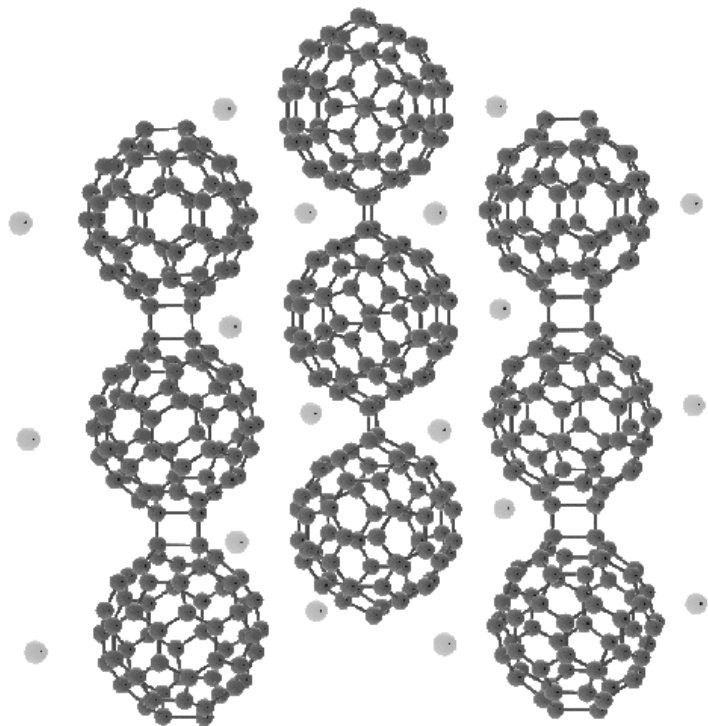
ФУЛЛЕРОИДЫ



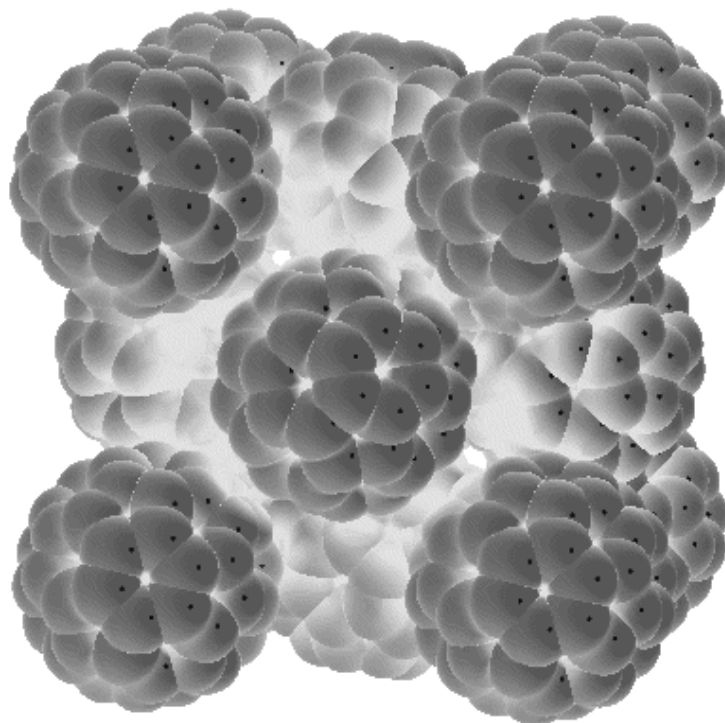
Обладает ферромагнетизмом; новые классы полупроводников;
аналогичные соединения с металлами Pt группы, аналогичные свойства

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Цепочки фуллеренов

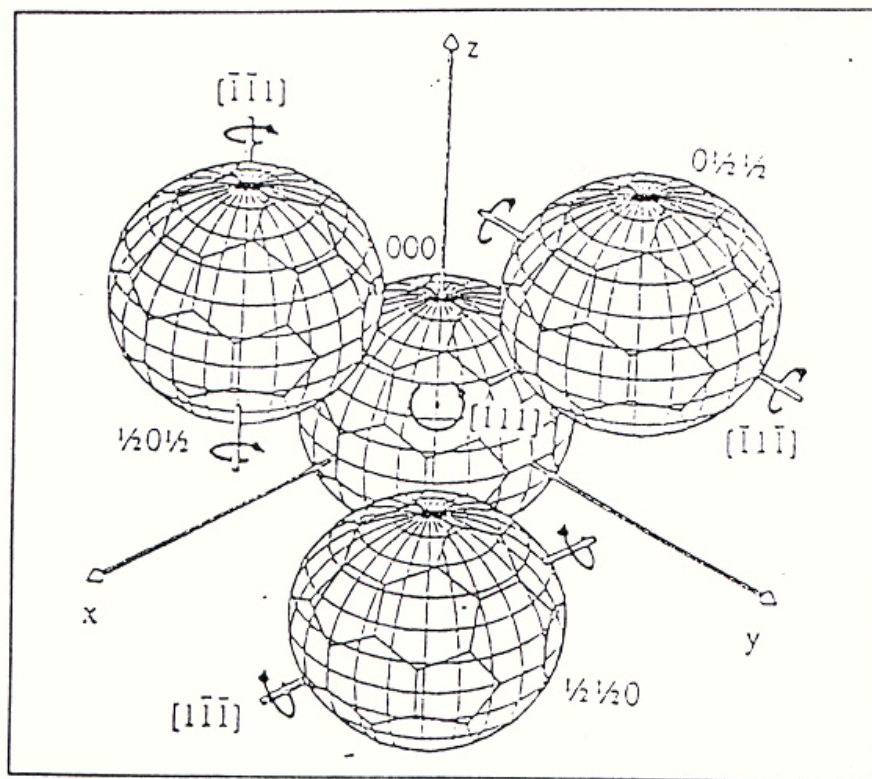


Кристалл из фуллеренов



✓ Фуллерены образуют цепочки и кристаллы с $\rho \sim 1.3 \text{ г/см}^3$

ФУЛЛЕРИТЫ



T=257 K

4 молекулы C_{60} в элементарной кубической ячейке
Показаны их ориентации, оси и направления вращения

Полупроводники с шириной запрещённой зоны порядка:

1,5 — 1,95 эВ для C_{60}

1,91 эВ для C_{70}

1,2 эВ для C_{84}

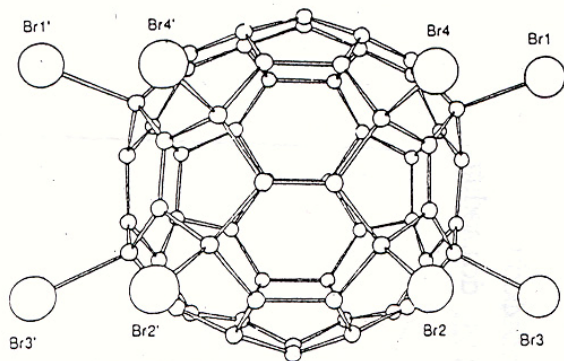
	твёрдость по минер.шк.	плотность $г/см^3$	плавление град. С	расстояние нм
графит	1-2	2,23	4150	0,335 между слоями
алмаз	10	3,51	4000 в графит	
кристалл C_{60}		1,3	510	1,10 между кластерами 0,14 длина С-С связи

Взаимодействие между атомами углерода молекулы C_{60} составляет около 3,5 эВ и существенно превышает взаимодействие Ван-дер-Ваальса между соседними молекулами кристалла, которое при равновесном расстоянии между центрами молекулы порядка $10,10 \text{ \AA}$ составляет величину менее 1,6 эВ на кластер.

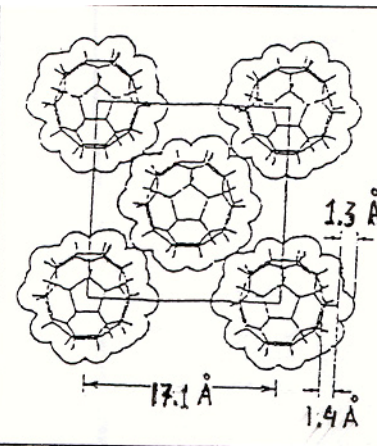
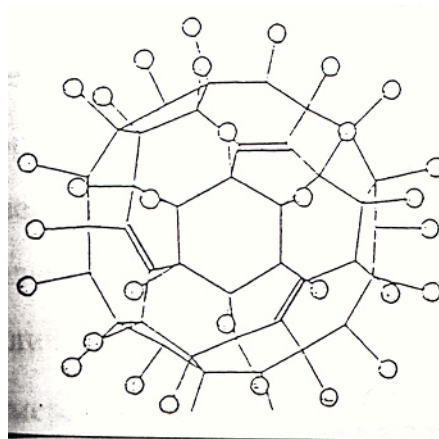
Диаметр фуллерена C_{60} порядка $7,14 \text{ \AA} = 0,7 \text{ мкм} = 14 a_0$

Расстояние между соседними молекулами = $2,9 \text{ \AA}$.

ЭКЗОЭДРАЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ:



Структура молекулы $C_{60}F_{48}$



Кристаллическая
структура $C_{60}F_{46}$

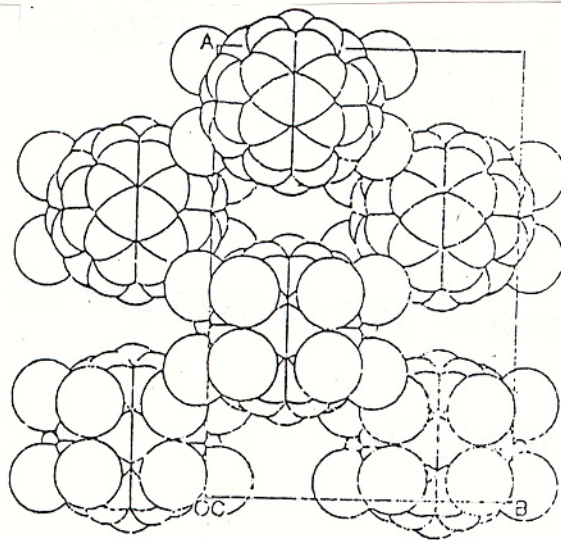


FIG. Crystal structure of $C_{60}Br_8$ showing the channels, parallel to the c-axis, into which bromine molecules fit. $C_{60}Br_8 \cdot x \cdot Br_2 \times 2$

ЭКЗОЭДРАЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: Фуллериды (допирование, легирование, металлофуллерены)

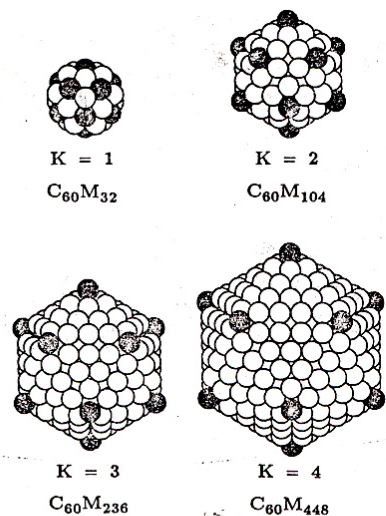


FIG. Proposed arrangements of the atoms in the first four layers around a C_{60} molecule. The atoms at the icosahedral vertices are shaded.

К номер слоя	в слое с номером К	Всего
1	32	32
2	72	104
3	132	236
4	212	448

В слое с номером К:

$$10K^2 + 10K + 12$$

Всего в К слоях:

$$\frac{1}{3}(10K^3 + 30K^2 + 56K)$$

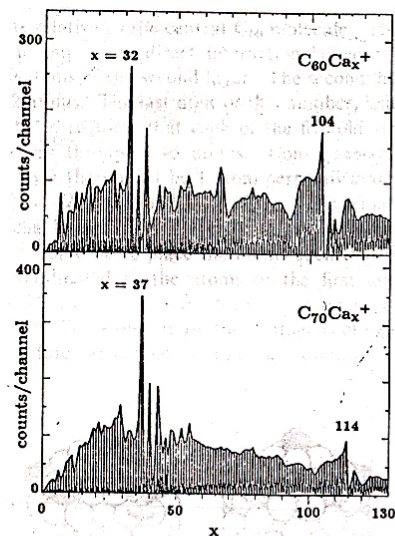


FIG. Mass spectra of photoionized $C_{60}Ca_x^+$ (top) and $C_{70}Ca_x^+$ (bottom). The lower axis is labeled by the number of metal atoms on the fullerene molecule. The peaks at $x=32$ for $C_{60}Ca_x$ and $x=37$ for $C_{70}Ca_x$ correspond to a first metal layer around the fullerenes with one atom located at each of the rings. The edges at $x=104$ and $x=114$, respectively, signal the completion of a second metal layer.

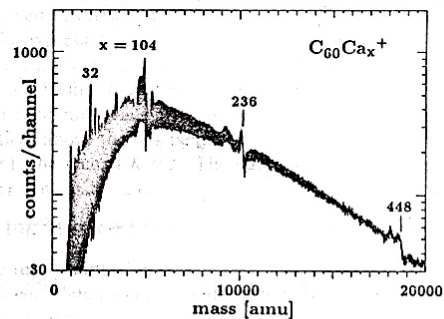


FIG. Mass spectrum of photoionized $C_{60}Ca_x^+$ clusters with high metal content. Additional edges, interpreted as completion of a third and fourth layer, are observed at $x=236$ and $x=448$.

Сверхпроводники

Легированный графит

0,55 К

Nb_3Ge

рекорд

23 К

C_{60}K_3

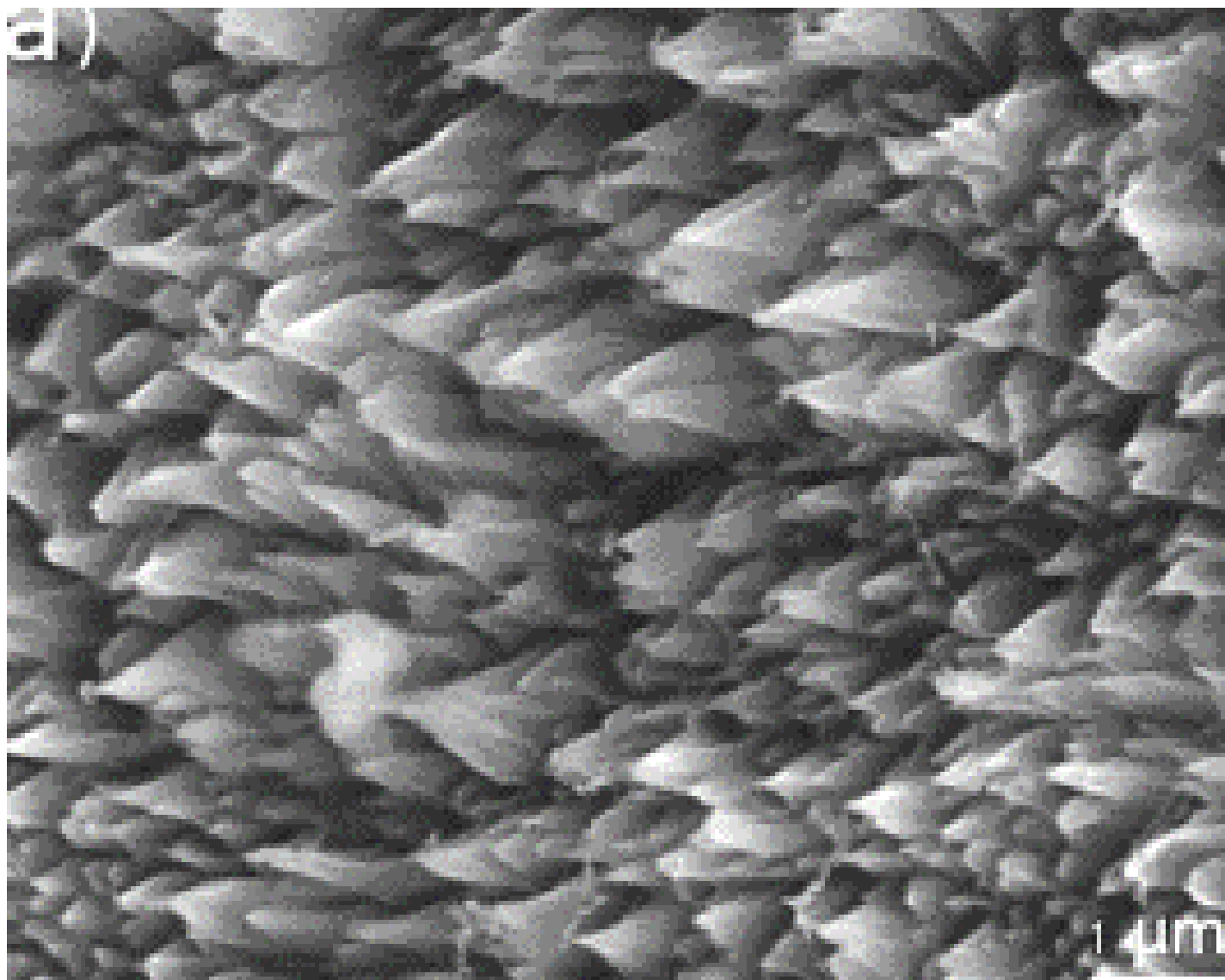
18 К

C_{60}Na_3

нет

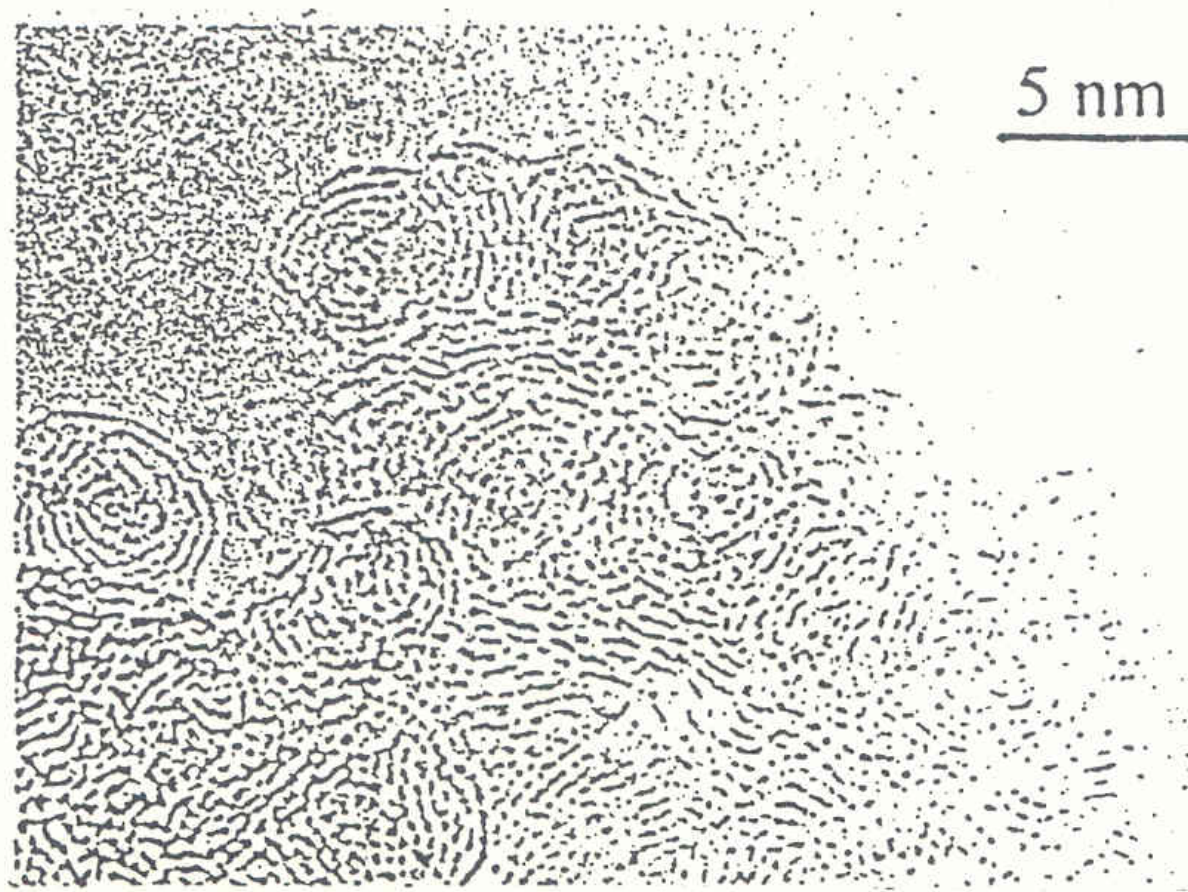
Распад





Углеродные наноконусы. Содержат 5 пятиугольников у вершины и 7 пятиугольников у основания.

HIGH-RESOLUTION TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY



NANO-ONIONS (7 – 10 слоев)

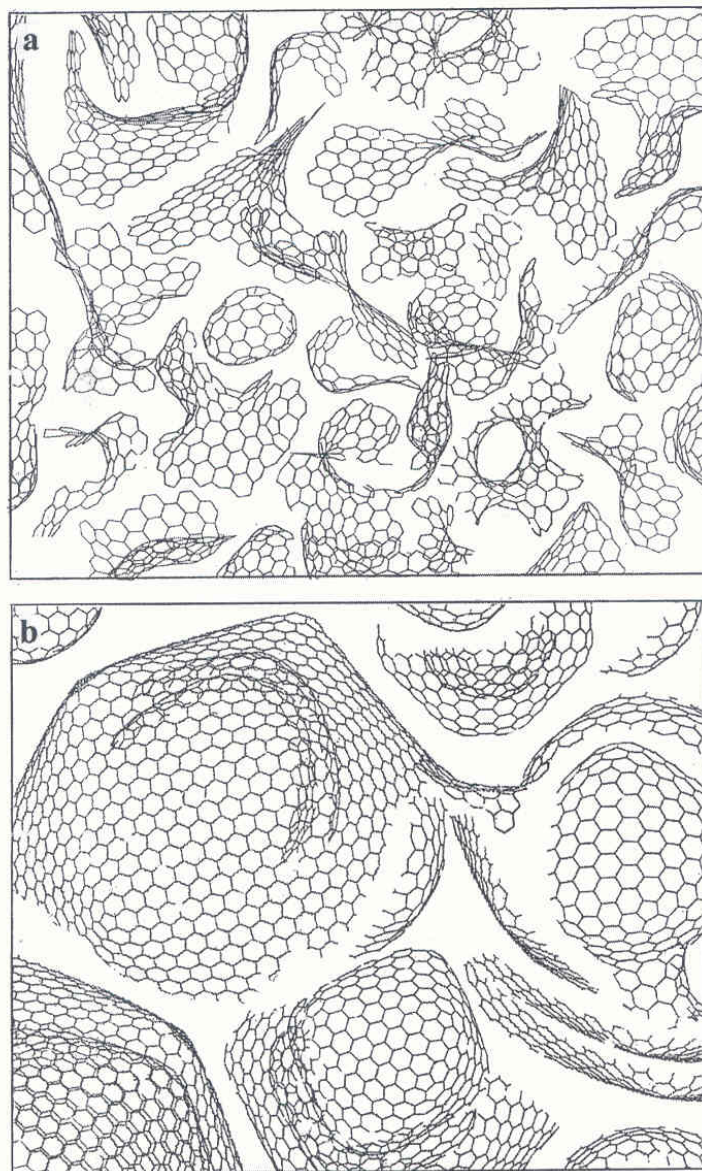


Figure 6. Models for the structure of (a) low-temperature and (b) high-temperature glassy carbon. These simulations were produced on a PC using the simple molecular modelling programme Desktop Molecular Modeller (Polyhedron Software Ltd.).

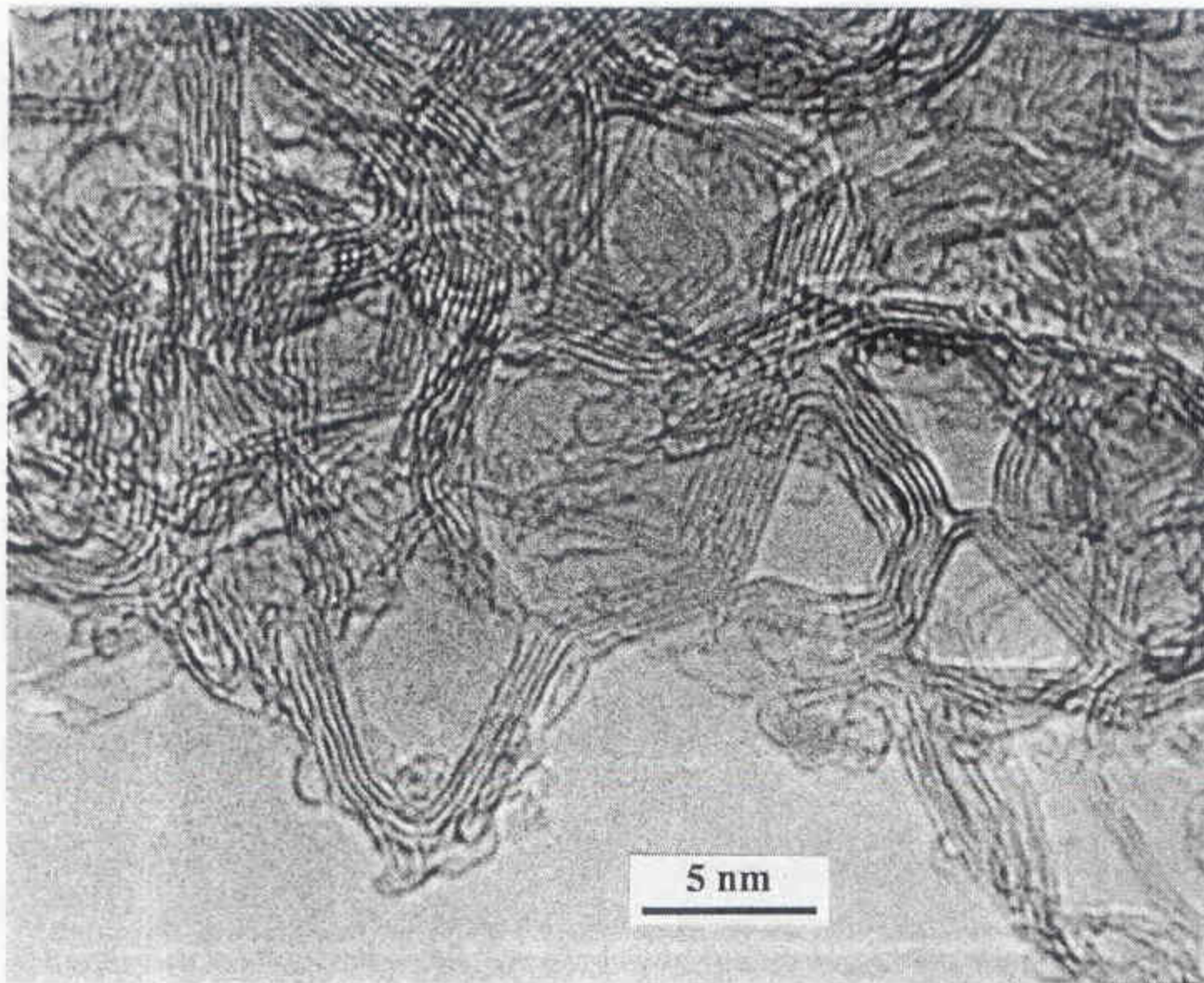


Figure 4. Image of Toyo Tanso glassy carbon GL-200 heated to 3000°C.

Нанотрубки

Волокна со структурой концентрических графитовых слоев.

Получали с конца 1940-х годов; к 1960 могли получать трубы с диаметром 5 мкм; наблюдали нанотрубки с 1980-х годов; производят в макроскопических количествах с 1991 года.

Растут пучком, связкой, спиралью.

Получают однослойные, многослойные, интеркалированные.

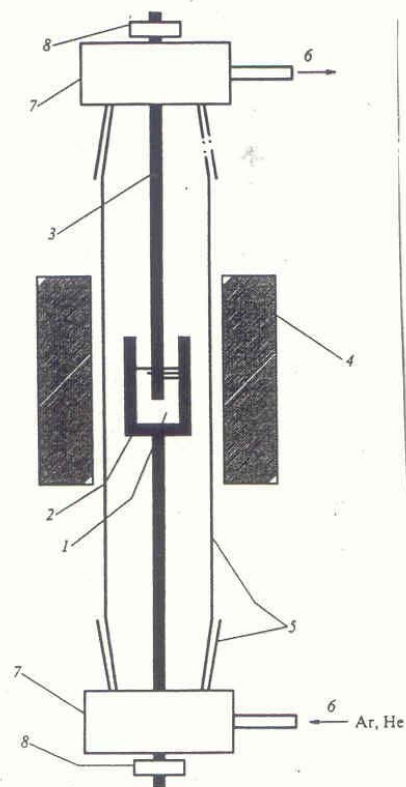
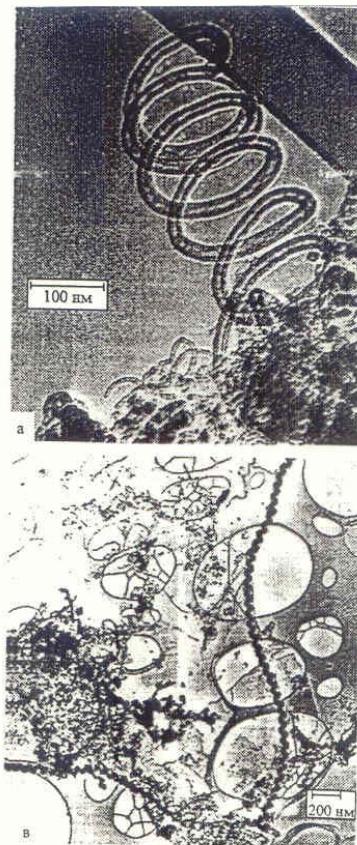


Схема экспериментальной установки для электролитического синтеза нанотрубок. 1 – жидкий электролит; 2 – графитовый анод с отверстием; 3 – графитовый катод; 4 – печь; 5 – кварцевая трубка; 6 – трубки для прокачивания газа; 7 – медные фланцы.



Полученные с помощью электронного микроскопа фотографии структур углерода, полученных в результате электролитического разрушения графитового катода: а) – ток электролиза 3 А, глубина погружения катода 1–3 см; в) – фотография образца, содержащего нанотрубку спиралевидной структуры.

$$l \gg \varnothing$$

$$\varnothing \sim \text{нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

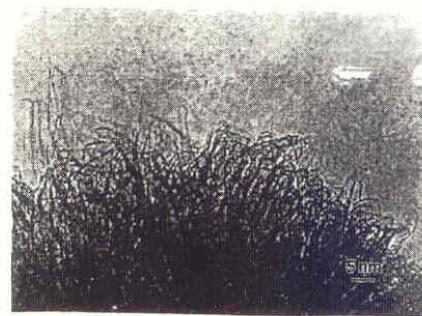


Fig. 4. Various morphologies of single-shell buckytubes.

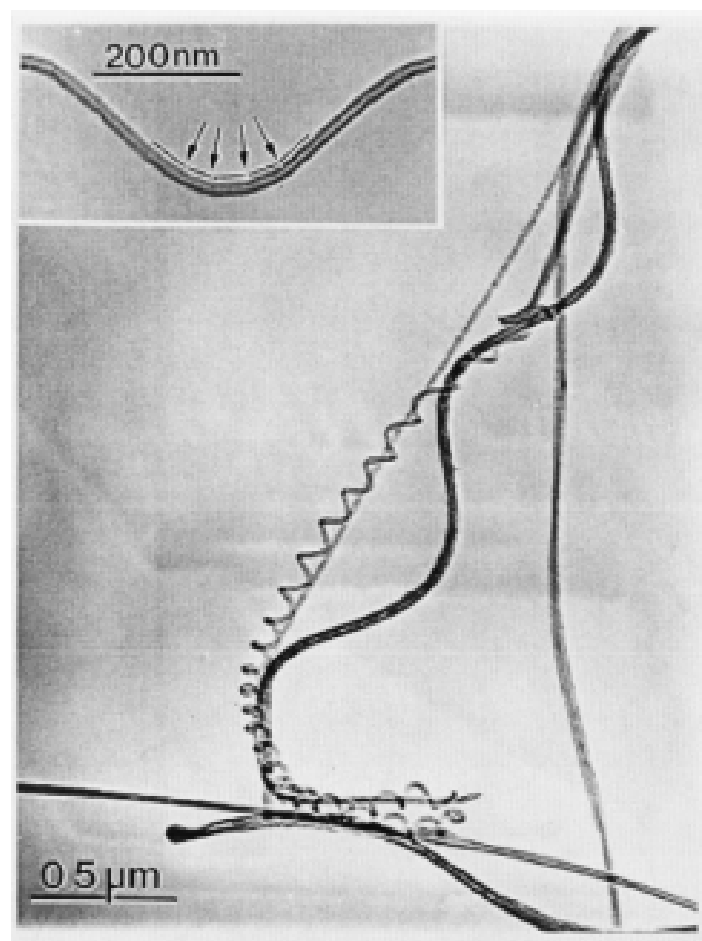


FIG. 14. Low resolution electron micrograph of a multiwall nanotube sample showing several coiled nanotubes with various diameters and periods. The higher-resolution image of the inset hints at a polygonized structure of the coil.

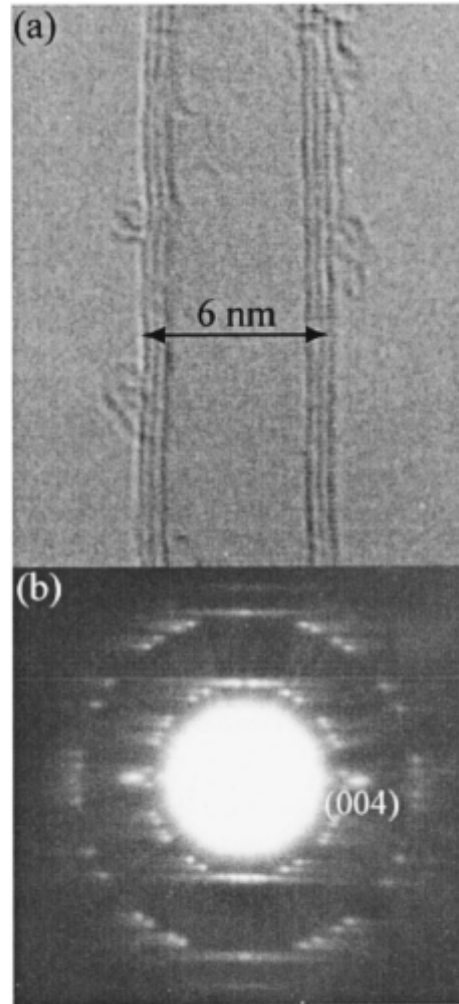


FIG. 5. The electron microscope imaging of a nanotube: (a) electron microscopy image of a triple layer nanotube (from Iijima, 1994); (b) electron-diffraction pattern of the nanotube in (a) at normal incidence.

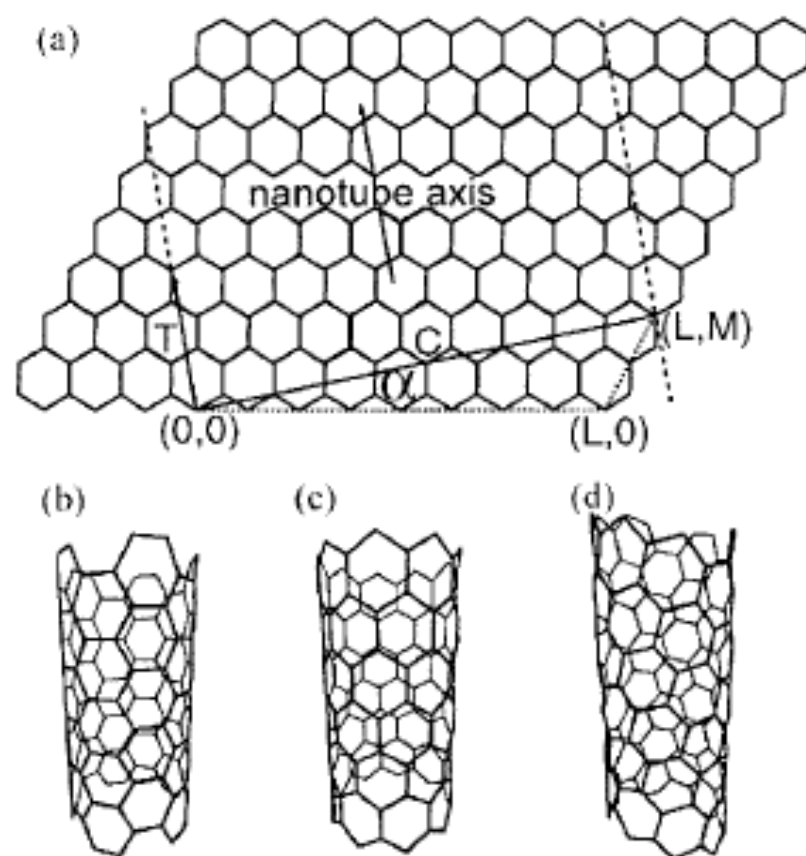
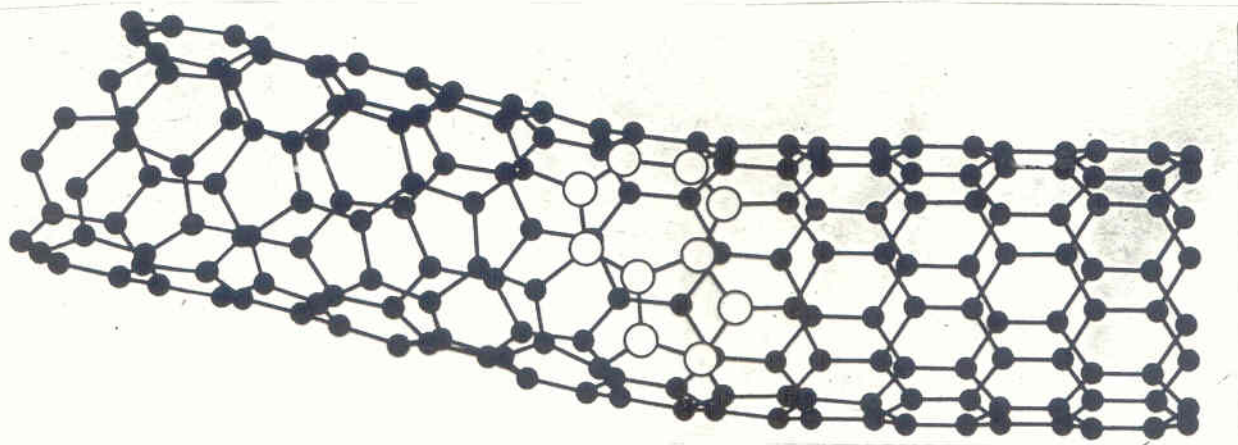


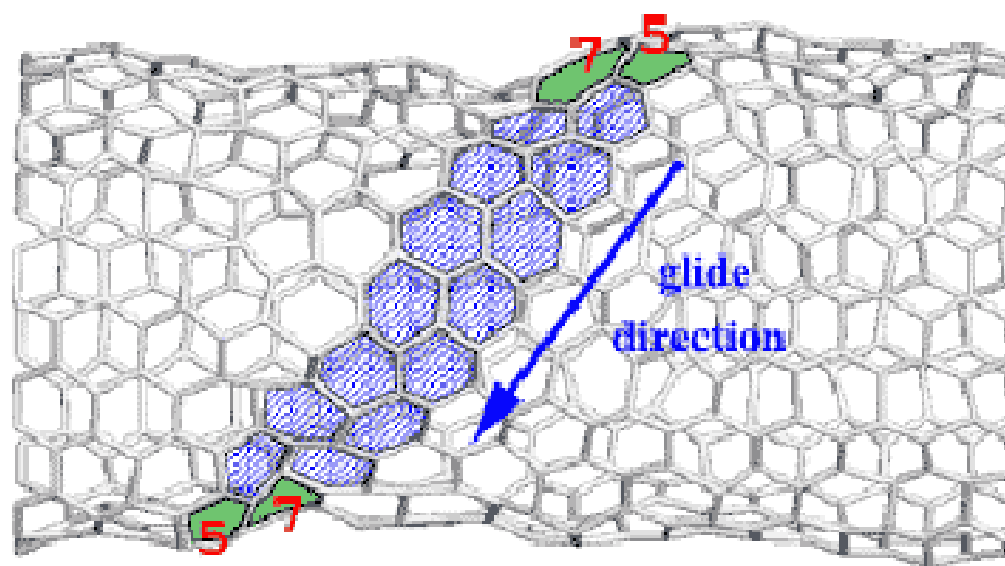
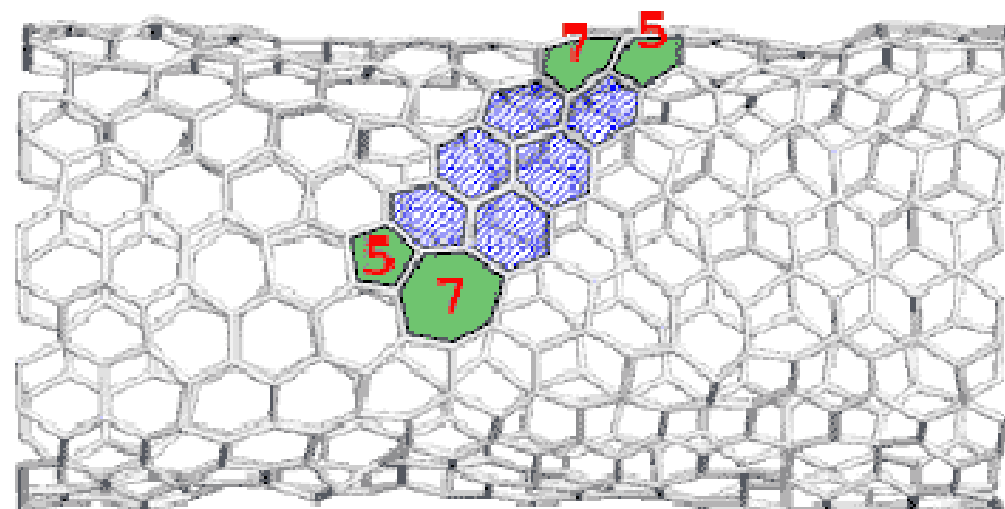
FIG. 7. Construction of a single-wall nanotube: (a) defining the two integers (L,M) which are necessary and sufficient to construct a single-wall nanotube by bringing the lattice point (L,M) in coincidence with the lattice origin $(0,0)$. C is the nanotube circumference while T is its axial repeat period. α is the chiral angle; (b) achiral, armchair or perpendicular $(5,5)$ single-wall nanotube; (c) achiral, zigzag or parallel $(9,0)$ single-wall nanotube; (d) chiral $(7,3)$ single-wall nanotube.

Хиральность нанотрубки обозначается набором символов (m,n) , указывающим координаты шестиугольника, который в результате сворачивания листа графита должен совпасть с шестиугольником, находящимся в начале координат.



Однослойная трубка с изменяющейся хиральностью. Светлыми кружками показаны атомы углерода, образующие дефект «пятиугольник – семиугольник» в структуре идеальной нанотрубки. Наличие дефекта приводит к изменению хиральности $(8,0)$ на $(7,1)$.

Рис.16. Деформация
углеродной нанотрубки
(10, 10) при растяжении.
Из работы В.И. Yakobson,
P. Avouris Mechanical
Properties of Carbon
Nanotubes // Topics Appl.
Phys. **80**, 287–327 (2001).



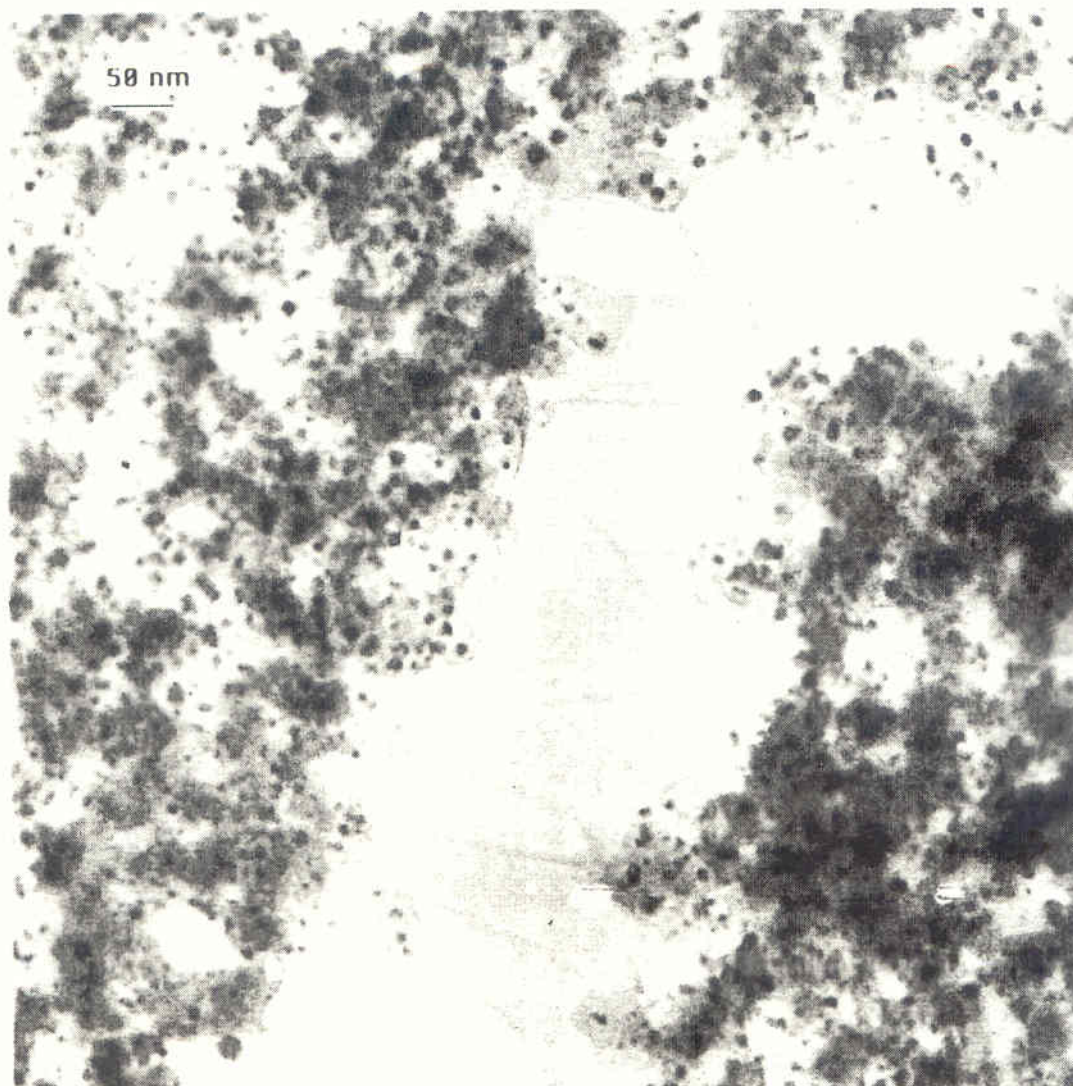


Fig. 2a. Bundles and individual single-layer carbon nanotubes bridge across a gap in a carbon film.

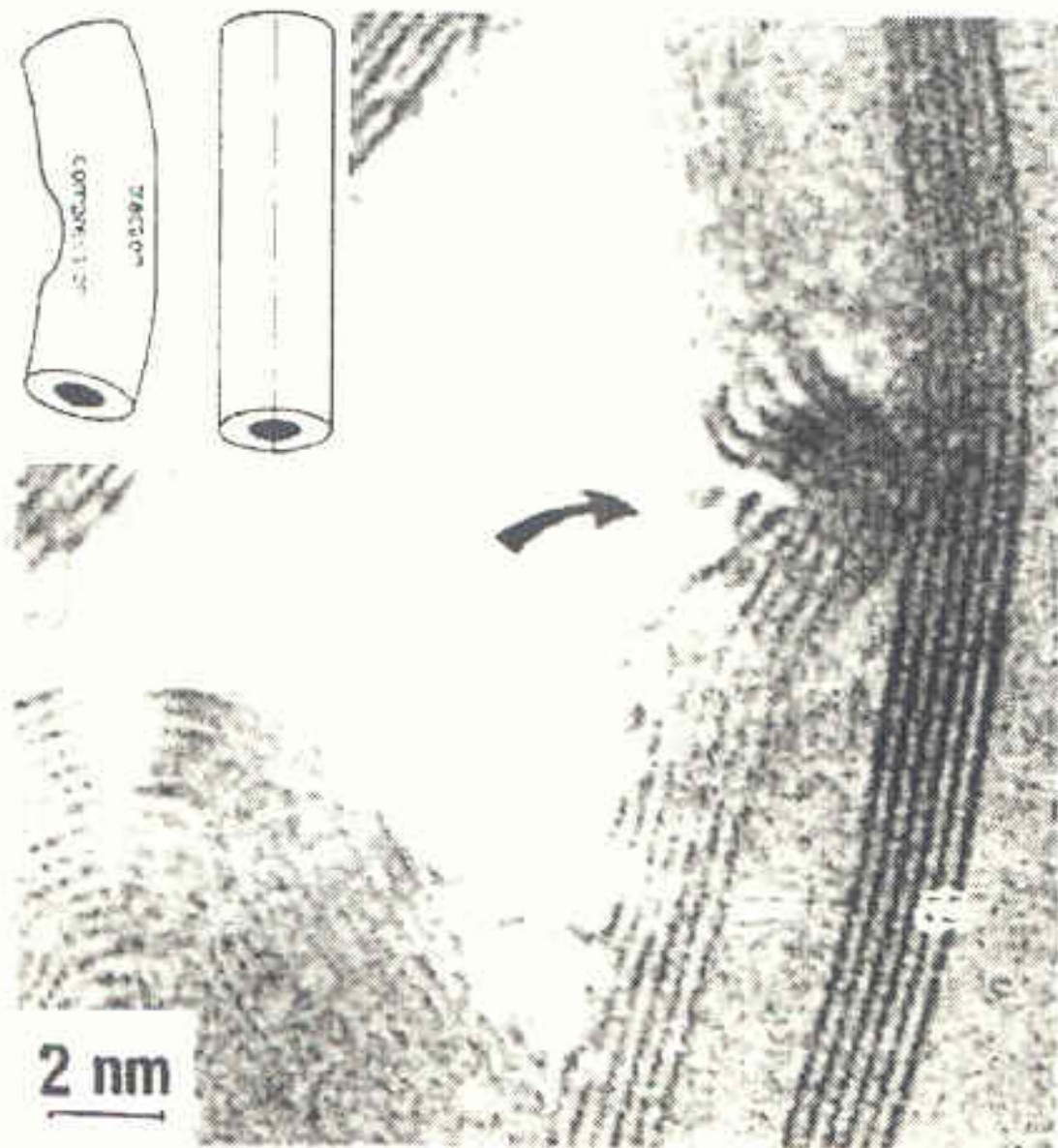


Figure 2. Details of Figure 2 and an inset sketch illustrating what happens before and after traction.

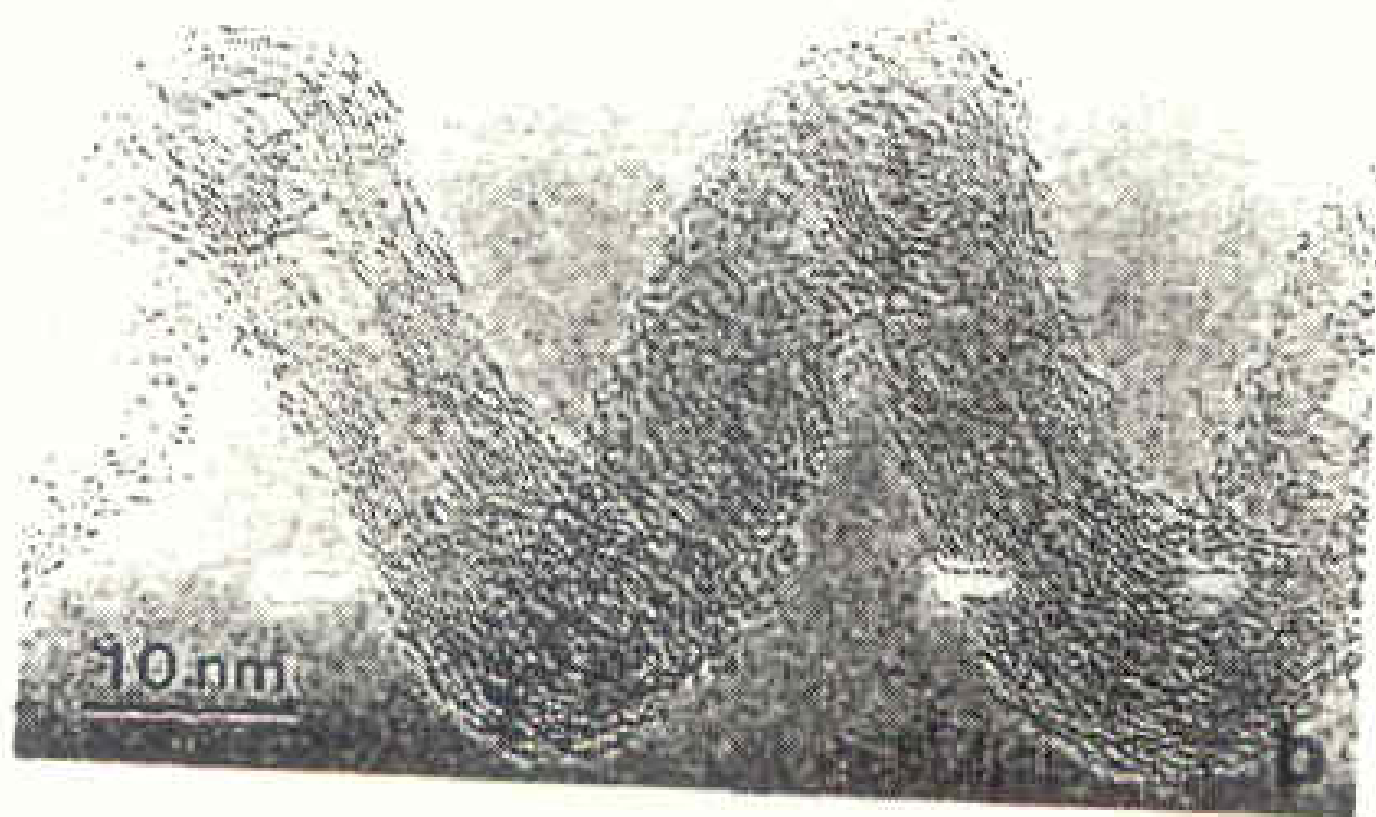
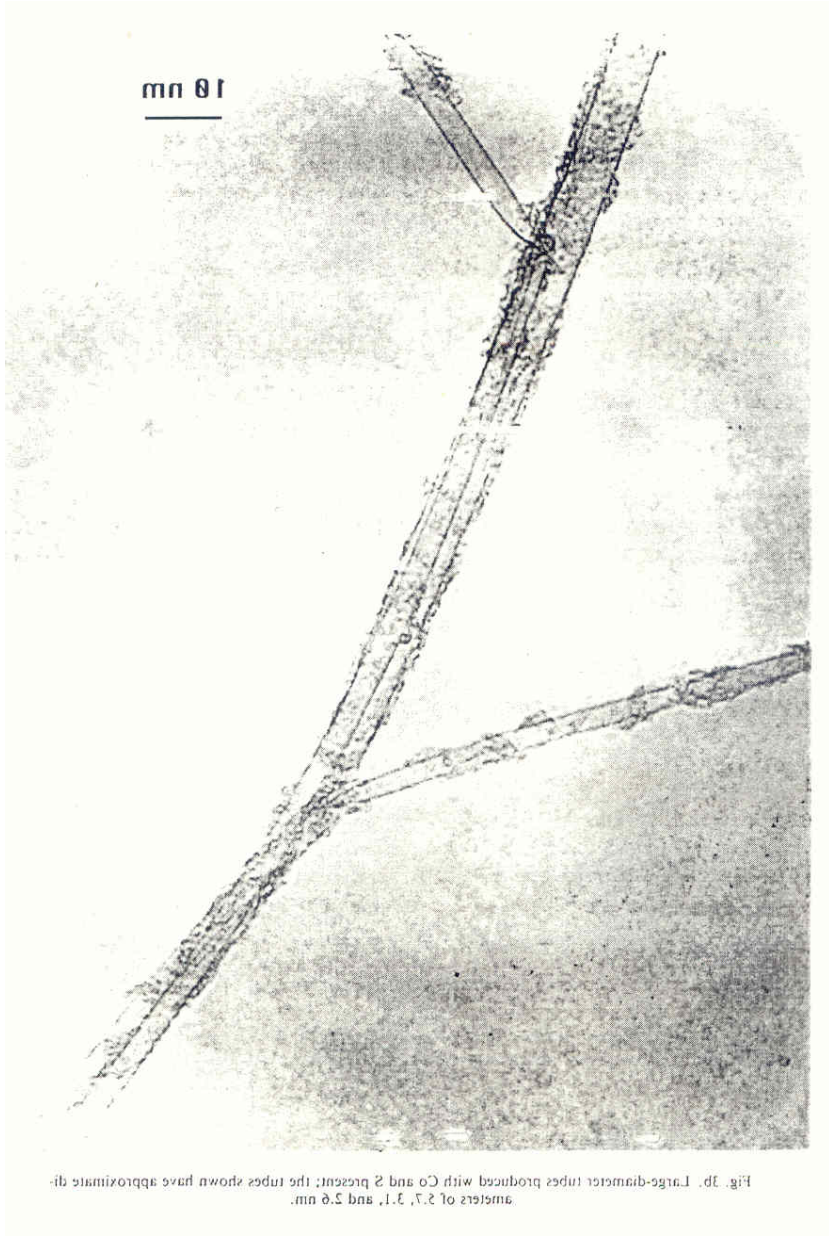


Fig. 13. TEM picture of a helix-shaped structure with radius of about 18 nm, pitch about 30 nm, containing 10 graphite tubes (after V. Ivanov *et al.*).



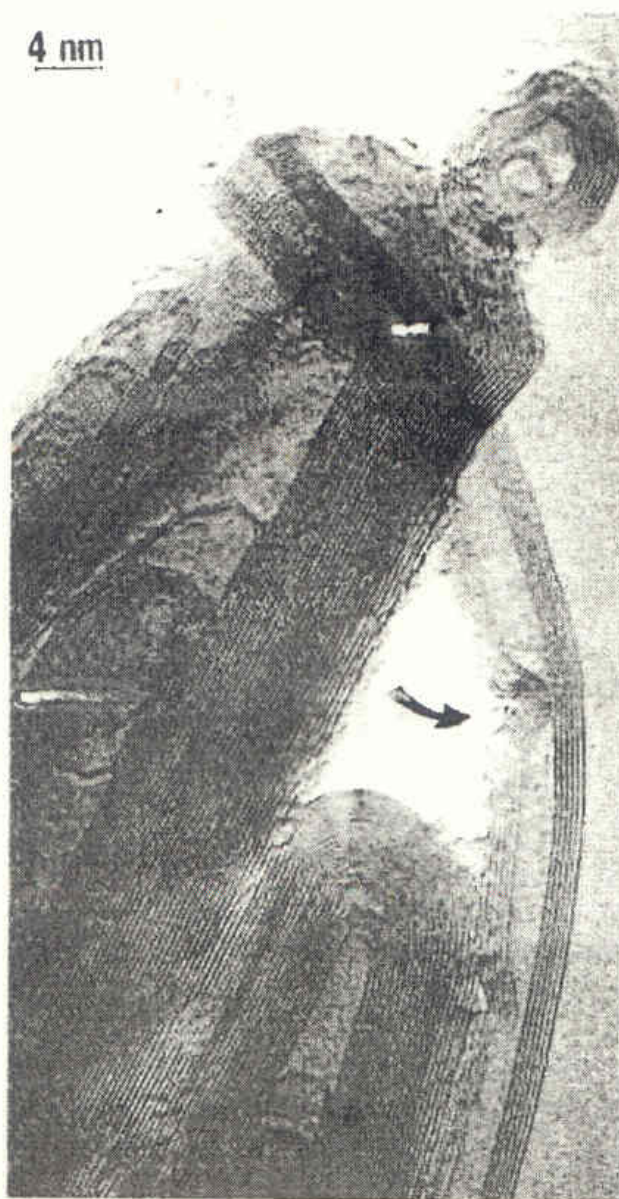
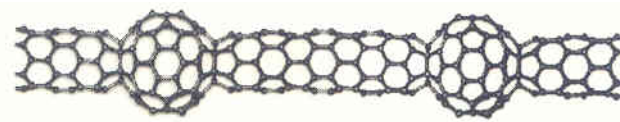
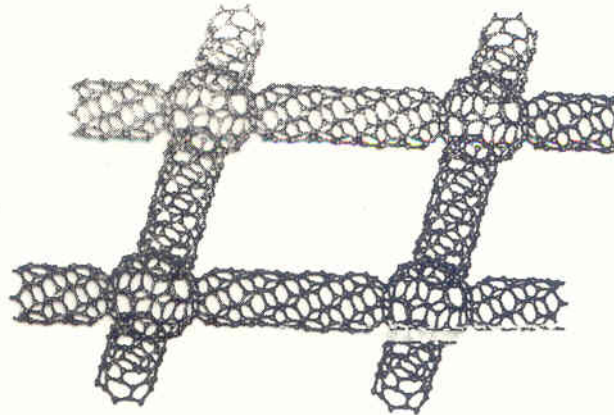


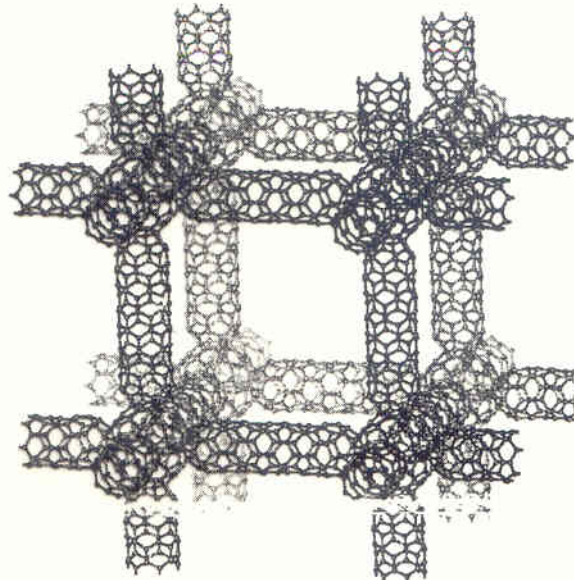
Figure 1. Lattice fringes LF 002 of nanotube particles.



1D-FCNT@C₈₀I_h-(6,0)



2D-FCNT@C₈₀I_h-(6,0)(6,0)



3D-FCNT@C₈₀I_h-(6,0)(6,0)(6,0)

Fig. 2. The snapshots of equilibrium structures at 300 K of three typical FCNTs networks. From top to bottom: 1D-FCNT@C₈₀I_h-(6,0), 2D-FCNT@C₈₀I_h-(6,0)(6,0) and 3D-FCNT@C₈₀I_h-(6,0)(6,0)(6,0), respectively.

NASA : «маленький шажок и огромный скачок» в области разработки квантовых проводов

Национальный комитет США по авиации и исследованию космического пространства (NASA – National Aeronautics and Space Administration) планирует заплатить техасскому университету Rice (Rice University) и расположенному в Хьюстоне исследовательскому центру Carbon Nanotechnology Laboratory (CNL) 11 млн. долларов США в течение следующих четырёх лет за разработку экспериментального силового кабеля, выполненного из углеродных нанотрубок. Такой кабель, называемый также квантовым проводом, теоретически мог бы передавать электроэнергию, в десять раз превышающую количество электроэнергии, передаваемой по традиционному кабелю с медными жилами, и при этом иметь в шесть раз меньшую массу. Учёные полагают, что используя квантовые провода, можно производить намного более лёгкие и более мощные самолёты, более «быстрые» компьютеры и т.д.

Согласно договору с NASA специалисты CNL должны изготовить модель квантового провода длиной один метр к 2009 г. До настоящего времени возможно было только изготовить провода длиной не более нескольких сантиметров. Для того чтобы предоставить NASA модель квантового провода длиной один метр к 2009 г., потребуется совершить серьёзный прорыв в производстве и обработке нанотрубок. Необходимо будет найти способ изготовления конкретного типа нанотрубок. Из сотен известных типов только около 2% нанотрубок, называемых «креслами», способны проводить электричество в той мере, в какой это необходимо для квантовых проводов. Директор CNL г-н Говард Шмидт (Howard Schmidt) отметил, что потребуется найти способ изготовления именно таких трубок, которые нужны, причём они нужны в большом количестве. Ещё одной проблемой исследования является разработка метода объединения нанотрубок - «кресел», представляющих собой отдельные молекулы шириной всего в одну миллиардную часть метра, в волокна и провода большого размера.

Это небольшой шаг, но очень важный, с точки зрения будущих возможностей, поскольку это попытка разработать новую технологию, которая поможет в освоении космического пространства, как заявил директор космического центра Johnson при NASA г-н Джефферсон Хауэлл (Jefferson Howell).

Дата: 29.09.2005

«Подсолнечное поле» - создано исследователями Китайского университета Гонконга. В середине «цветка» нановолокна оксида кремния толщиной порядка 10 нанометров





Строительство космического лифта

Идея К.Э.Циолковского - 1895 год

Юрий Арцутанов – 31 июля 1960 год
(«Комсомолка» - приоритет в изложении
первого инженерного проекта
космического лифта Земля-Космос
«В Космос — на электровозе»)



Антон Первушин (слева) в компании с Юрием Арцутановым
(2006, фото Е.Каца)

Антон ПЕРВУШИН

ЮРИЙ АРЦУТАНОВ — ОТЕЦ КОСМИЧЕСКОГО ЛИФТА

Различные отредактированные варианты этого интервью публиковались в следующих изданиях:

1. ЮРИЙ АРЦУТАНОВ: «АРТУР КЛАРК ПРИЕЗЖАЛ НЕ К ЧИНОВНИКАМ, А КО МНЕ». — В журн. «Если», № 6 (160), 2006, с.277-280.
2. ЮРИЙ АРЦУТАНОВ — ОТЕЦ КОСМИЧЕСКОГО ЛИФТА. — В газ. «Аномальные новости», № 19 (289), 2006, с.15.

**Докторская диссертация на
мехмате МГУ (1999-2000гг)**

***Расчеты
характеристик
космического лифта***

Сравнение возможной толщины троса на геостационарной орбите при стартовой площади сечения троса 1 кв. мм, если используется один из предложенных ниже материалов, приводится в таблице :

Материал	Прочность на разрыв	Плотность	Толщина троса
-----------------	----------------------------	------------------	----------------------

Стальная			
-----------------	--	--	--

Проволока	5 ГПа	7.800 кг/м³	323 км
------------------	--------------	-------------------------------	---------------

Кристаллическое			
------------------------	--	--	--

Железо	13 ГПа	7.800 кг/м³	32 км
---------------	---------------	-------------------------------	--------------

Кевлар	5,5 ГПа	1.500 кг/м³	31 м
---------------	----------------	-------------------------------	-------------

Углеродная			
-------------------	--	--	--

нанотрубка	52 ГПа	2 кг/м³	32 мм
-------------------	---------------	---------------------------	--------------

Для оценки ключевых параметров троса, связывающего поверхность Земли со спутником, фонд Spaceward придумал новую единицу — Юрий (Yuri)[\[2\]](#).

Yuri — это отношение прочности на разрыв к плотности материала, или в единицах СИ: $\text{Па} \cdot \text{м}^3 / \text{кг}$.

1 мегаюрий (MYuri) соответствует более распространённой в инженерной науке величине $\text{ГПа} \cdot \text{см}^3 / \text{г}$.

Для сравнения, хорошая стальная проволока обладает удельной прочностью в 0,5 MYuri, лучшие же современные синтетические волокна: японский материал Zylon и американский Spectra 2 — 3,74 и 3,6 MYuri соответственно.

Между тем для построения реального космического лифта необходимо иметь хотя бы 25-30 MYuri, а лучше — 45-100 (во втором случае лифт выйдет существенно легче, и построить его можно будет гораздо быстрее)[\[3\]](#).

Начало:

2002 год

Япония

«Трос» длиной 4 мм

Диаметр 1 мм

Держит груз 20 тонн!!!

2004 год



КРЕПЧЕ СПИРТА

Относительно длинное волокно из углеродных нанотрубок спряли кембриджские ученые - основным сырьем для них по-

служил этиловый спирт. Об этом сообщили служба новостей *Nature News*, агентство *ScientificAmerican.com*.

Побив прежний 20-сантиметровый рекорд длины "нанотрубочного" волокна, Ален Виндл (Alan H. Windle) и его коллеги по Кембриджскому университету (University of Cambridge) разработали новый метод, больше всего напоминающий прядение шерсти. Исходным материалом послужила вышедшая из печи при температуре 1000 градусов Цельсия смесь этанола - в данном случае источника углерода (!) - с катализатором ферроценом, а также тиофеном, который способствует сборке нанонити. Как пишет *ScientificAmerican.com*, "внутри печи про-

исходило образование полых углеродных прядей, которые ученые назвали "эластичным дымом". А ловили этот "дым" на выходе из печи, наматывая субстанцию на вращающийся стержень. Изобретатели заявили, что "представленный процесс направленного прядения открывает новый путь для производства из нанотрубок волокон и покрытий с превосходными качествами и широкими возможностями для использования".

Одно из возможных применений тончайших и прочных тканей из углеродных нанотрубок - в области космоса. Если удастся сделать волокна достаточно длинными, то ими можно будет привязывать к Земле космические платформы, что позволит "космическим подъемникам" уводить искусственные спутники из гравитационного поля нашей планеты без особых затрат. В *Nature News* описывается применение сверхпрочного нановолокна в грандиозных инженерных наземных проектах - например, при создании подвесного моста, который мог бы через Гибралтарский пролив связать Испанию с Марокко. Используется же нейлоновый кевлар для удержания нефтяных платформ на морском дне!

В США с 2005 года проводятся ежегодные соревнования Space Elevator Games, организованные фондом [Spaceward](#) при поддержке [NASA](#).

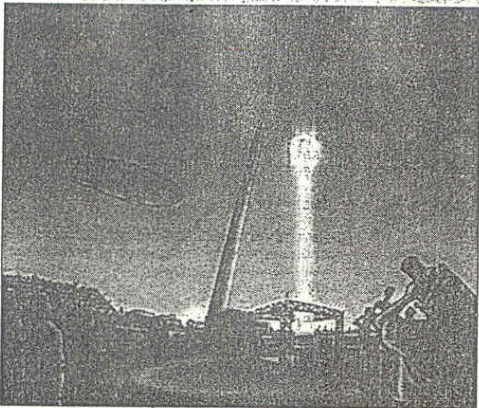
В этих состязаниях существуют две номинации: «лучший трос» и «лучший робот (подъёмник)». В конкурсе подъёмников робот должен преодолеть установленное расстояние, поднимаясь по вертикальному тросу со скоростью не ниже установленной правилами.

2005 год

К ЗВЕЗДАМ НА ЛИФТЕ

В ближайшие недели НАСА объявит о Премиях столетия (Centennial Prizes), которыми намечено поощрять развитие новых технологий для исследования космоса. Первым стартует конкурс на осуществление футуристической идеи космического лифта. С подробностями NewScientist.com.

Главная деталь космического лифта - сверхлегкий и сверхпрочный трос, по которому будет подниматься условная кабина, движимая мощнейшим пучком света. Создание такого пучка составляет суть второго конкурса. Победитель в каждом из объявленных состязаний получит по 50 тысяч долларов, а общий фонд Премии столетия сейчас составляет 400 тысяч долларов. Как считает один из администраторов НАСА Крейг Стейдле, на протяжении более 200 лет премии играли ключевую роль в стимулировании но-



вых достижений в науке, технике и конструкторском деле. Разработки, поддержанные премией, помогут, как ожидается, реализовать проект НАСА под названием Vision for Space Exploration, предусматривающий, в частности, создание обитаемой базы на обратной стороне Луны.

«Это волнующее начало всей затеи: инновации, почерпнутые из этих состязаний, будут способствовать прогрессу в создании аэрокосмических материалов и структур, приведут к новым методам работы на поверхностях планет и даже к развитию футуристических концепций вроде космических подъемников и спутников на солнечной энергии», - считает один из менеджеров программы Брент Спонберг (Brant Sponberg).

Создатели троса для космического лифта - материаловеды, ведущие поиск очень легкого, почти невесомого и одновременно невероятно прочного волокна. В конкурсе на создание технологии беспроводной передачи энергии, очевидно, будут участвовать физики, способные преобразовывать излучение от некоего источника в электричество. Предполагаемая скорость космического подъемника - преодоление 50 метров за 3 минуты. Итоги первых этапов обоих конкурсов будут подведены к концу 2005 года.

**В соревнованиях 2007 года
нормативы были следующими:
длина троса — 100 м,
минимальная скорость — 2 м/с.**

Space Elevator Games

2007 год.

Приз \$4 млн

Движок: 100 м с $v=1,8$ м/сек

Трос: кольцо диаметром 2м весом 2 г

Груз: 720 кг

Общий призовой фонд соревнований Space Elevator Games в 2009 году составлял 4 миллиона долларов.

В конкурсе на прочность троса участникам необходимо предоставить двухметровое кольцо из сверхпрочного материала массой не более 2 грамм, которое специальная установка проверяет на разрыв.

Для победы в конкурсе прочность троса должна минимум на 50 % превосходить по этому показателю образец, уже имеющийся в распоряжении у NASA.

Пока лучший результат принадлежит тросу, выдержавшему нагрузку вплоть до 0,72 тонны.

2009 год.

Задача — построить лифт, который поднимется по тросу на высоту **1 км** со скоростью **не ниже 5 м/с** для получения главного приза **\$1.1 млн.**
и **не ниже 2м/с** для получения **\$0.9 млн.**

На соревнованиях [Space Elevator Games](#) с 4 по 6 ноября 2009 года прошло состязание, организованное Spaceward Foundation и NASA, в Южной Калифорнии, на территории центра Драйдена (Dryden Flight Research Center), в границах знаменитой [авиабазы Эдвардс](#).

Зачётная длина троса составила 900 метров, трос был поднят при помощи вертолёта.

Лидерство заняла компания [LaserMotive](#) представившая подъёмник со скоростью **3,95 м/с**, что очень близко к требуемой скорости.

Всю длину троса лифт преодолел за **3 минуты 49 секунд**, на себе лифт нес полезную нагрузку **0,4 кг**.

Лифты питаются от энергии лазерного пучка.

Управление этим пучком для обеспечения непрерывного питания — серьезная задача, которую сегодня удалось решить только одной из трех заявившихся на конкурс команд — [LaserMotive](#).

В [августе 2010 года](#) компания [LaserMotive](#) провела демонстрацию своего последнего изобретения на AUVSI Unmanned Systems Conference в Денвере, штат Колорадо. Новый вид лазера поможет более экономично передавать энергию на большие расстояния, лазер потребляет всего несколько ватт.

В этих соревнованиях не принимает участие компания [Liftport Group](#), получившая известность благодаря своим заявлениям запустить космический лифт в 2018 году (позднее этот срок был перенесён на 2031 год).

Liftport проводит собственные эксперименты, так в 2006 году роботизированный подъёмник взбирался по прочному канату, натянутому с помощью воздушных шаров.

Из полутора километров подъёмнику удалось пройти путь лишь в 460 метров.

В августе-сентябре 2012 г компания запустила проект по сбору средств на новые эксперименты с подъемником на сайте [Kickstarter](#). В зависимости от собранной суммы планируется подъем работа на 2 или более километров .

Успехи 2014 года?

Планы ?

Проект НАСА:

Запуск 12 апреля 2018 года

Стоимость 7-12 млрд \$

Высота 100 000 км

**Трос выдержит нагрузку 65-120
ГПа**

(для справки: сталь – 1 ГПа, max 5;

кевлар – 2,6 – 4,1 ГПа;

**кварцевое волокно – не более 20
ГПа;**

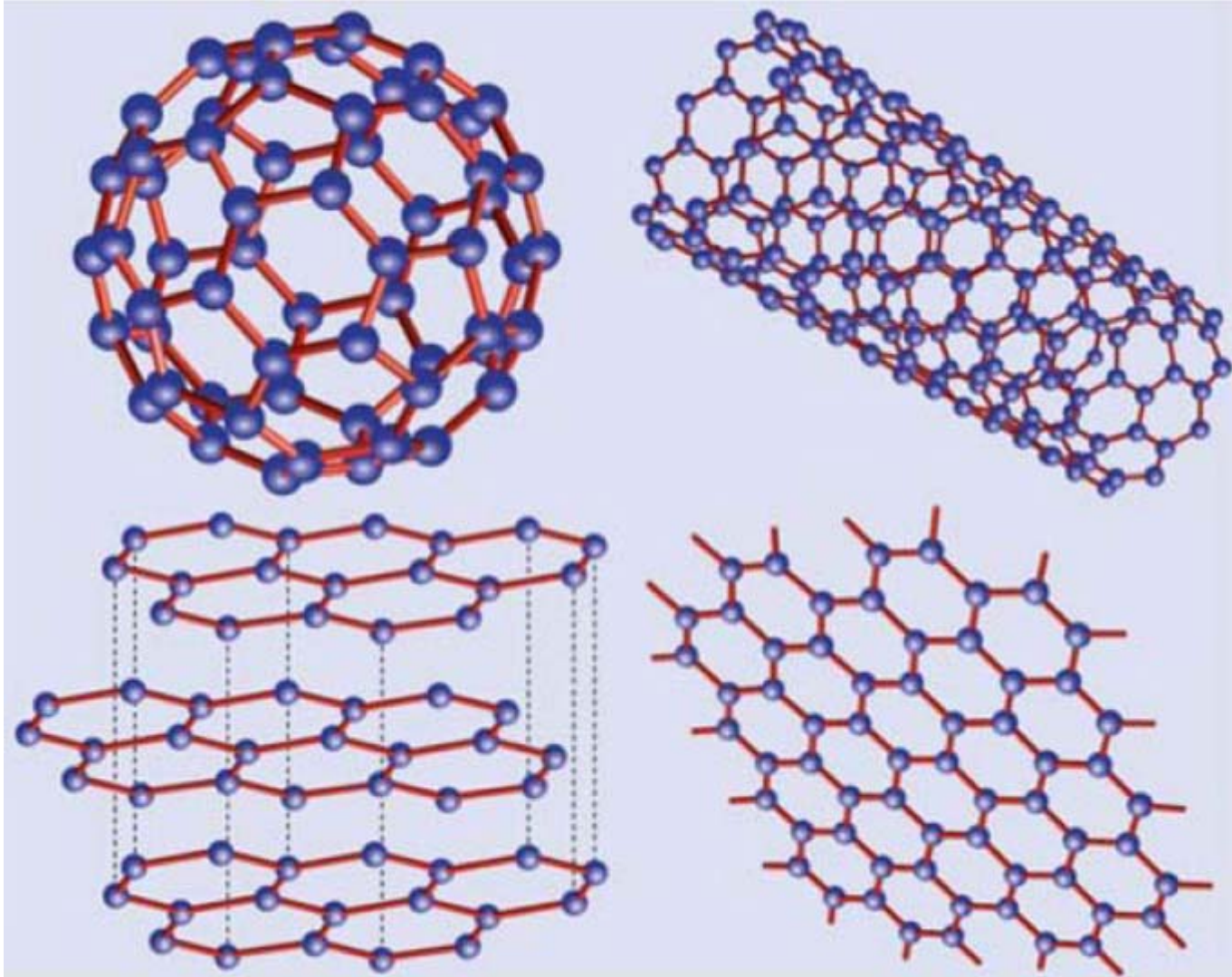
одностенная нанотрубка – 52 ГПа;

сплетённые трубки – 120 ГПа)

**Компания Liftport Group
заявила о планах запустить
космический лифт в 2018
году**

**(позднее этот срок был перенесён
на 2031 год).**

**В феврале 2012 года
строительная корпорация
«Обаяси» (Япония) объявила о
планах по созданию
космического лифта к 2050
году посредством
использования углеродных
нанотрубок.**



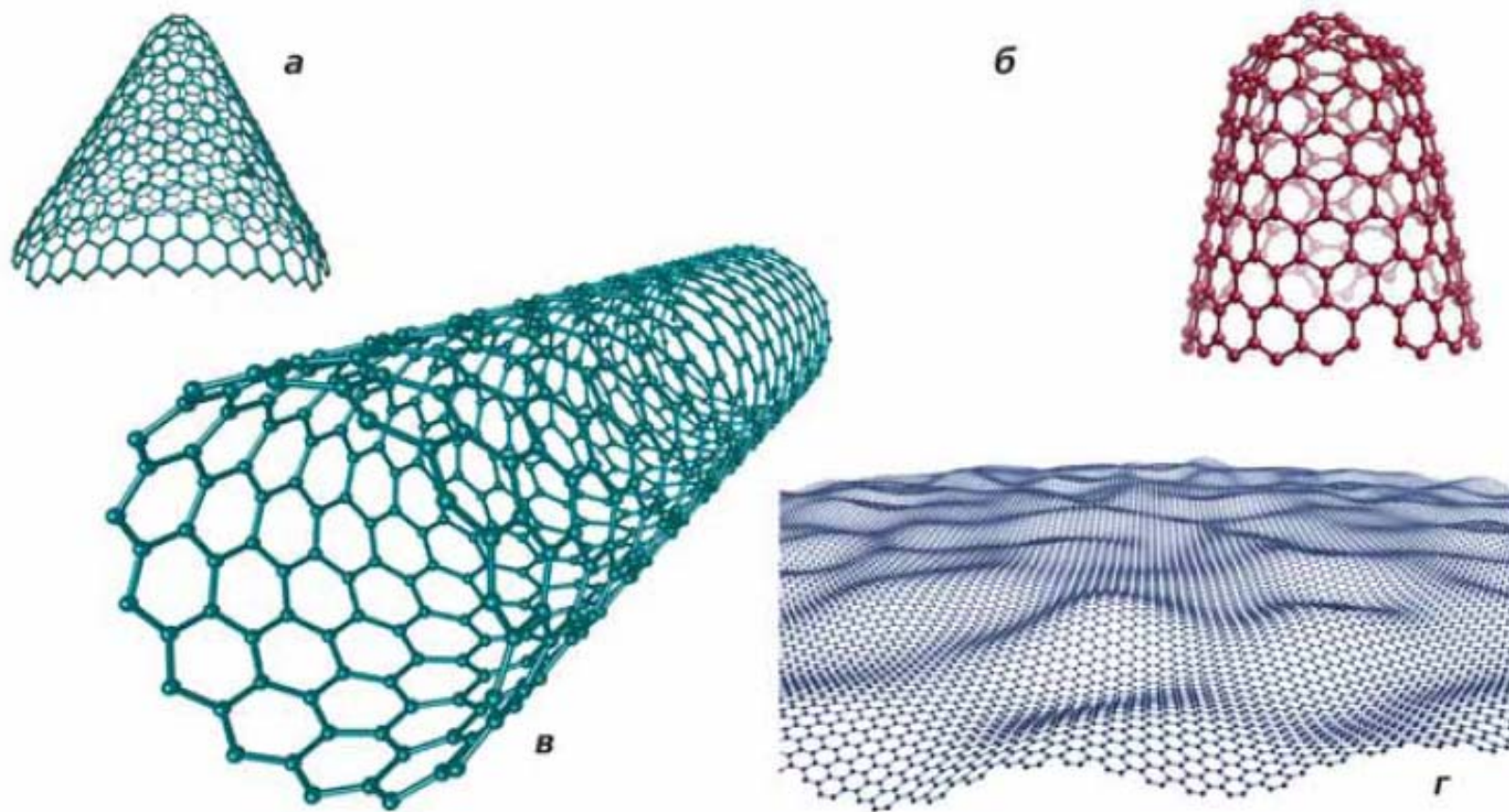


Рис. 5. Некоторые наноструктуры углерода: *a* – нанокон, *б* – нанохорн, *в* – нанотрубка, *г* – графен