

Лекция 1

Углеродные наносистемы

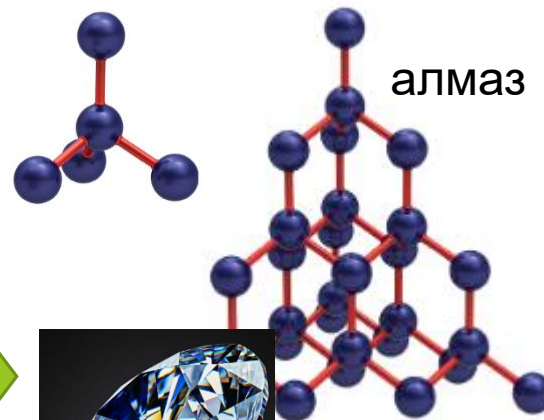
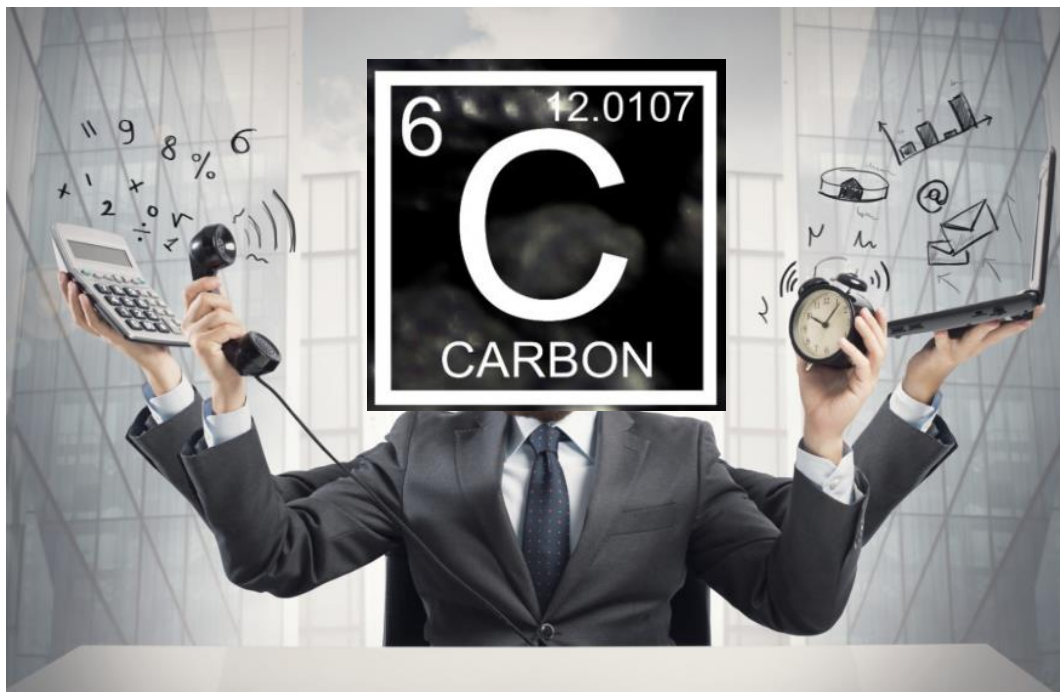
Распространенность химических элементов



* Массовая доля на миллион.

Углерод

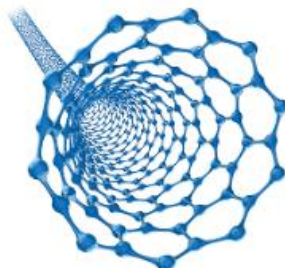
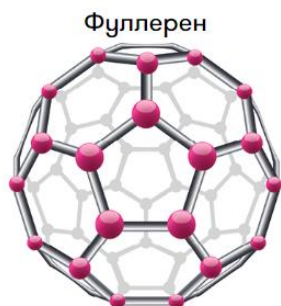
Углерод – химический элемент, занимающий шестое место в периодической таблице Менделеева.



Углеродная нанотрубка



соединения



Оксиды, кислоты, соли	Галогениды	Азотсодержащие производные	Сульфиды	Карбиды
CO , CO_2 H_2CO_3 , $(\text{HCO}_3)^-$ M_2CO_3 , $(\text{M}^{\text{II}}\text{OH})_2\text{CO}_3$, где $\text{M}^{\text{II}} =$ Be , Mg , Zn , Pb , Cu , Ni , Co	CF_4 , CCl_4 $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$ $(\text{CF}_2)_x$ тефлон	$\text{M}^{\text{I}}\text{CN}$, $(\text{CN})_2$, $\text{M}^{\text{I}}\text{CNO}$, $(\text{SCN})_2$, $\text{M}^{\text{I}}\text{CNS}$, $\text{NH}_2 - \text{C} \equiv \text{N}$, $\text{H} - \text{C} \equiv \text{N}$, $\text{NH}_2 \text{C} = \text{O}$ комплексные соединения: $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и др.	CS_2 , CS , H_2CS_3 , K_2CS_3	LaC_2 , CaC_2 , Ag_2C_2 , Al_4C_3 , Fe_3C , CoC , NbC , WC_2 , VC , (B_4C) и др.

Алмаз. История >3000 лет

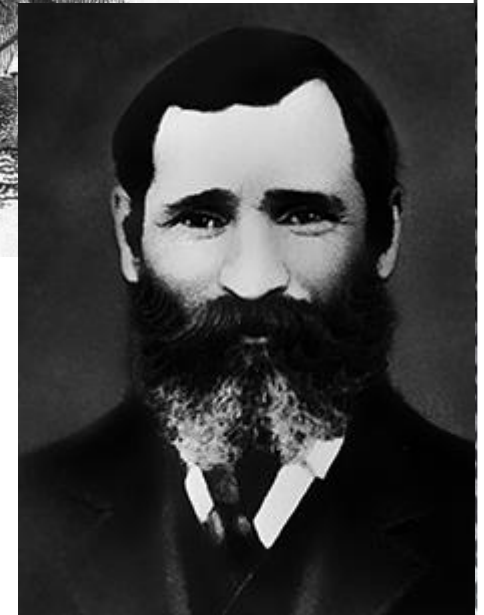


Считается, что первые алмазы были обнаружены в индийских реках еще в IV веке до нашей эры. В 327 году до нашей эры Александр Македонский привез алмаз из Индии в Европу.

В 1725 г. были найдены алмазы в Бразилии.

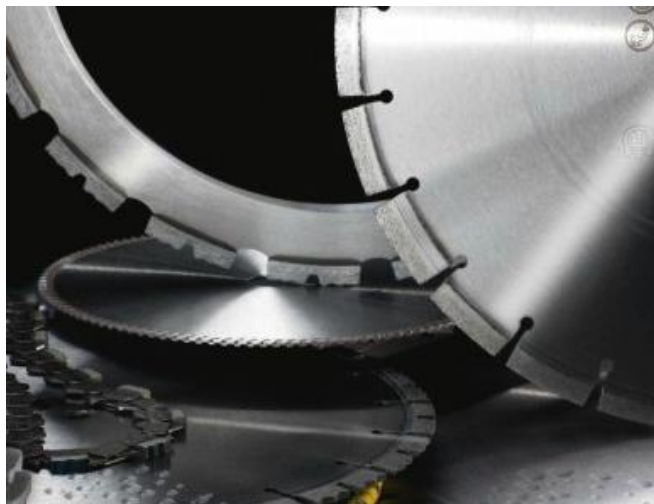
В 1867 году алмазы были найдены в Кимберли (Южная Африка). Сегодня ЮАР — одна из главных алмазодобывающих стран.

Русские алмазы были обнаружены на Среднем Урале лишь в 1829 году.



Эрасмус Якобс

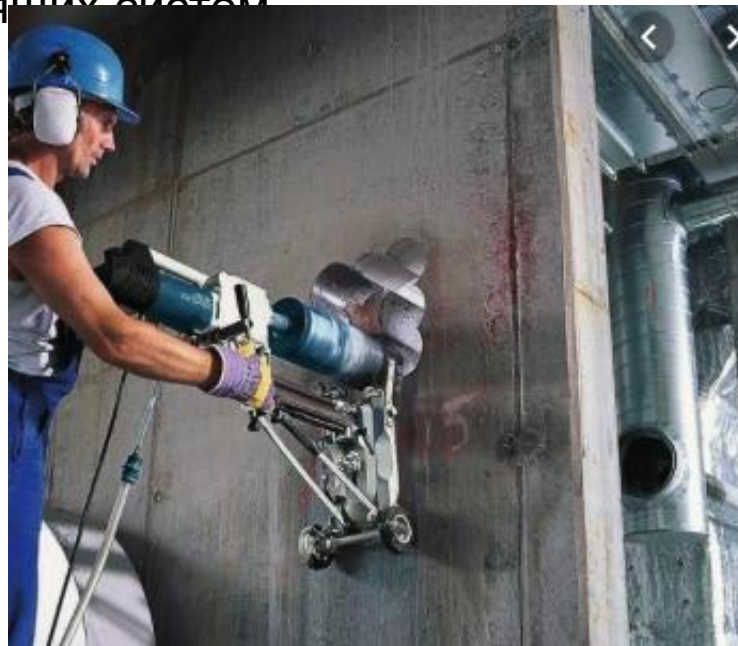
Алмаз. Применение



Ножницы для резки по металлу, и стеклорезы, и инструменты для шлифовки. Они отличаются высокой точностью резки, и скорость работы при их использовании значительно выше.



При бурении нефтяных скважин применяются алмазные сверла (или буры). Алмазное сверление незаменимо при строительстве водопроводящих систем.



В космической сфере алмазное покрытие применяется для увеличения показателей прочности летательных аппаратов. Хирургические скальпели — особенные инструменты, требующие повышенной точности и высокого качества работы.

Графит. История >500 лет

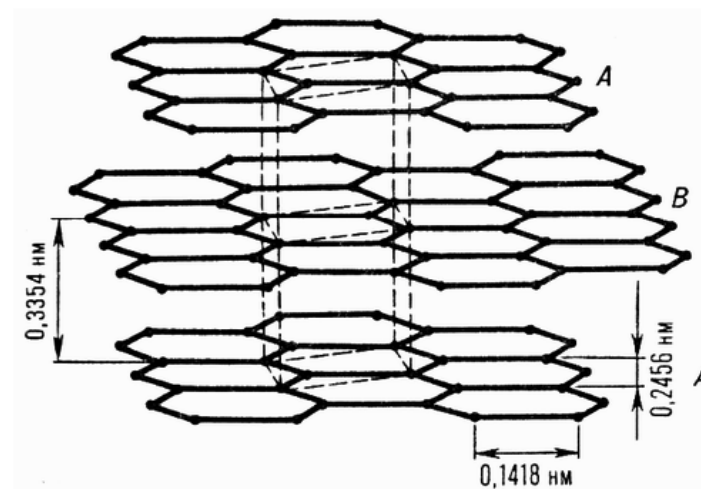


Графит известен с древних времён, однако точных сведений об истории его использования получить не удаётся. Одним из наиболее ранних свидетельств применения графита является глиняная посуда культуры Боян-Марица (4000 лет до н. э.).

Графит был впервые обнаружен в Камбрии в Северной Англии в начале шестнадцатого века. С этого времени потребности в добыче графита все возрастали.



Шахта в Онтарио



Графит. Применение

Первое документально подтвержденное использование графита в качестве карандаша произошло в 1565 году.

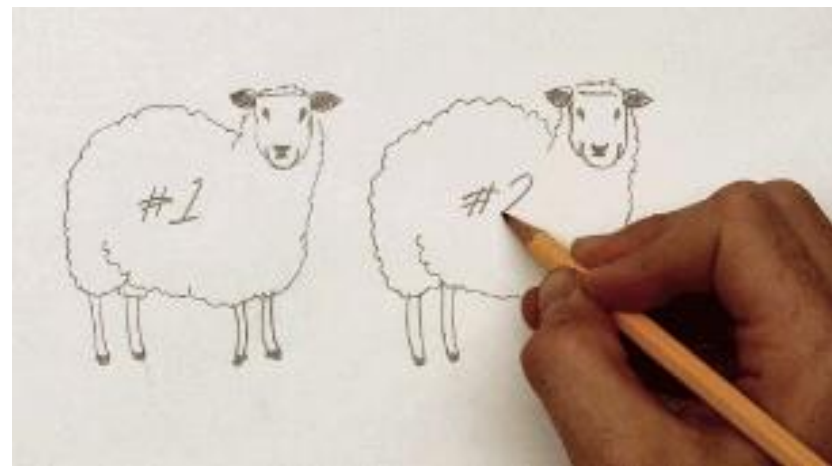
Правительство Англии взяло на себя ответственность за добычу графита, когда было обнаружено, что он также служит отличной формой для производства пушечного ядра.

Металлургия – из него изготавливают формы;

Машиностроение – используется для производства труб, электропечей и тепловой техники; из графита изготавливают подшипники

Атомная энергетика – используется в атомных реакторах;

Химическая промышленность – изготовление красок, теплообменников для работы в агрессивной среде.

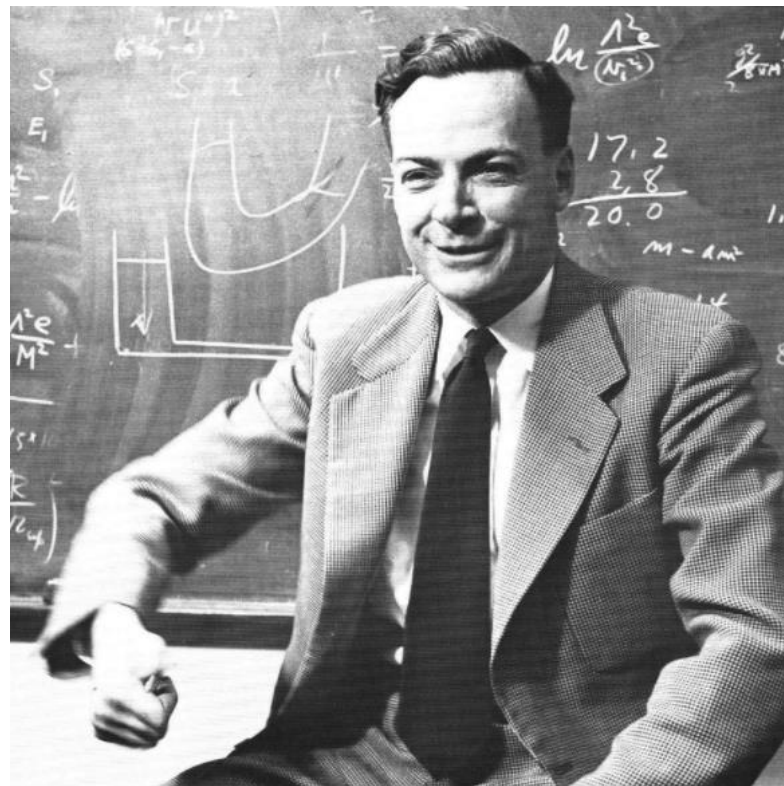


Ричард Фейнман

Пророк нанотехнологической революции

Идея о том, что вполне возможно собирать устройства и работать с объектами, которые имеют наноразмеры, была впервые высказана в выступлении речи лауреата Нобелевской премии Ричарда Фейнмана в 1959 году в Калифорнийском технологическом институте ("Там, внизу, полно места!"). Слово «внизу» в названии лекции означало в «мире очень малых размеров».

Тогда Фейнман сказал, что когда-нибудь, например, в 2000 г., люди будут удивляться тому, что до 1960 г. никто не относился серьёзно к исследованиям наномира. По словам Фейнмана человек очень долго жил, не замечая, что рядом с ним живёт целый мир объектов, разглядеть которые он не в состоянии. Ну, а если мы не видим эти объекты, то мы не можем и работать с ними.



Новое время. Карбин



1960

«Открытие третьей аллотропной формы углерода – карбина – является одним из ярких научных достижений, и мы гордимся тем, что сделано это в стенах нашего института»

академик Ю.Н.Бубнов

*Институт элементоорганических соединений (ИНЭОС)
РАН*

Василий Владимирович **Коршак** и Алексей Михайлович **Сладков** стали первооткрывателями. По предложению Сладкова, назвали «карбин»* (от лат. *carboneum*(углерод) с окончанием «ин», принятым в органической химии для обозначения ацетиленовой связи)

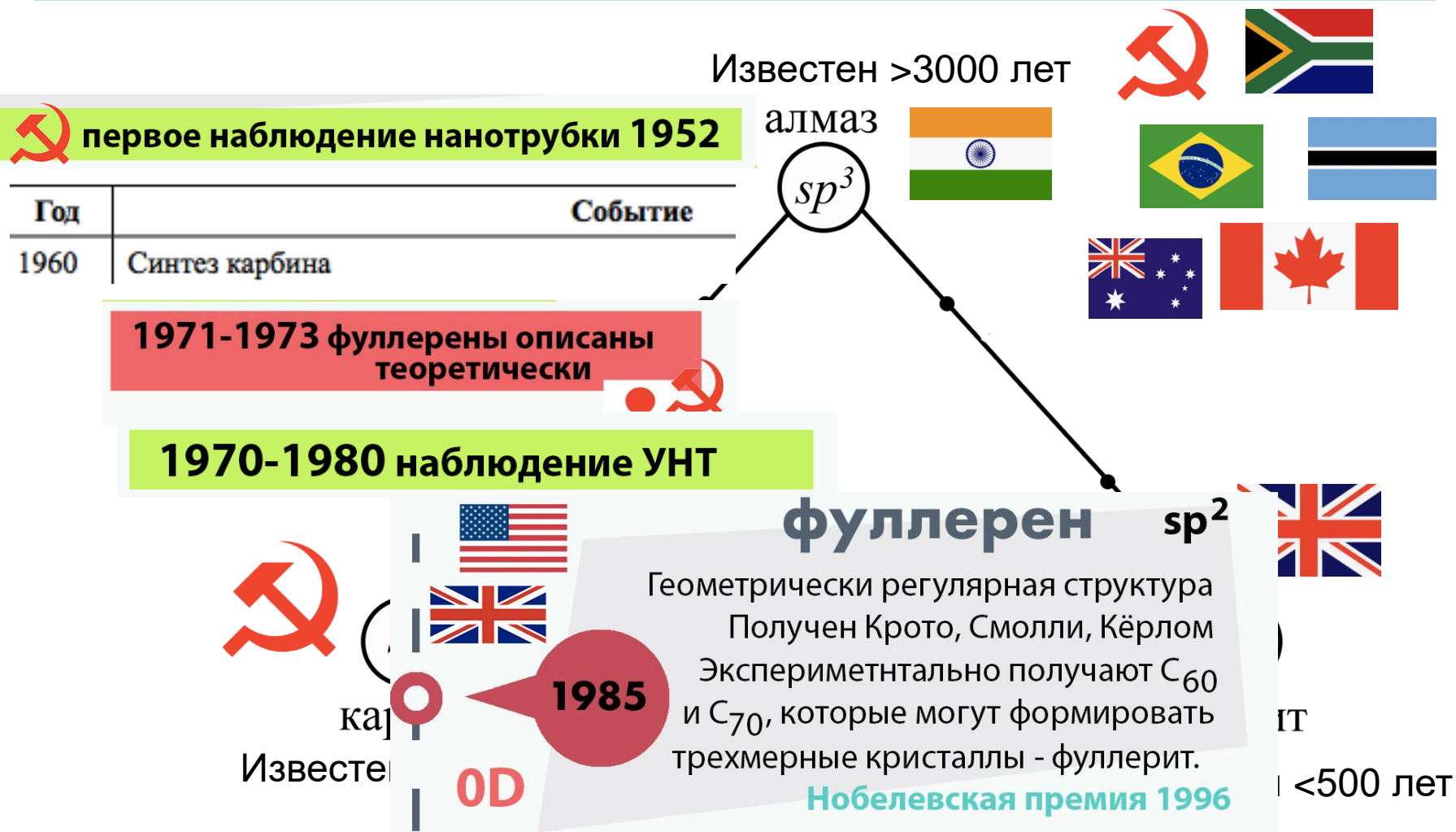
Для того чтобы разорвать цепочку карбина, надо приложить усилие порядка **10 нН**. (2013 г.)

Применение: медицина, оптика, электроника, космонавтика, авиация,



Аллотропия углерода

Аллотропия - способность химического элемента существовать в виде двух или нескольких простых веществ, отличающихся лишь числом атомов в молекуле, либо строением.



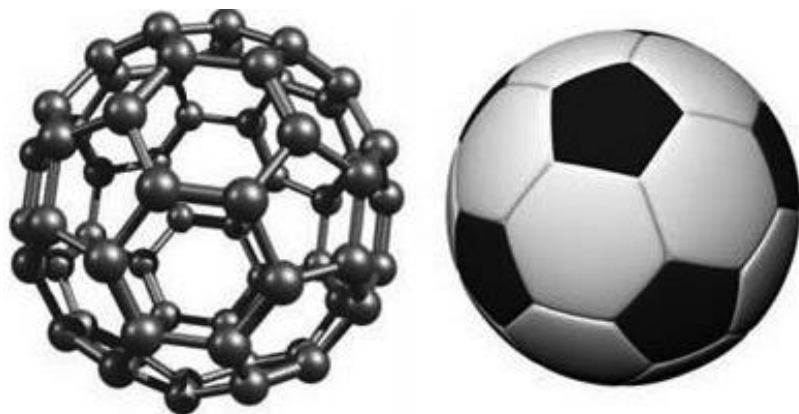
Фуллерен. 1985



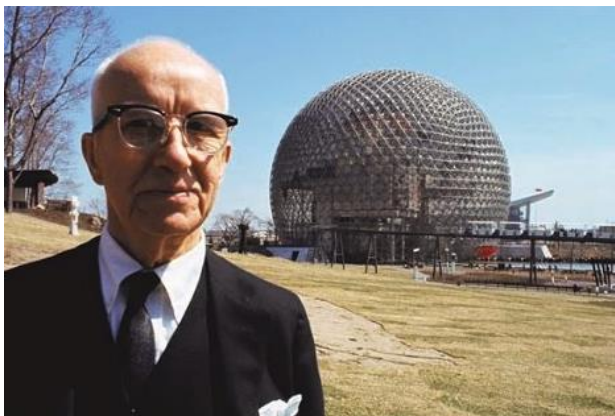
1971



1973



**Нобелевская премия по химии
1996**



Их используют при синтезе новых соединений в оптике и при производстве проводников.



Группа учёных, исследовавших фуллерены (справа налево): Шон О'Брайен, Ричард Смолли, Роберт Кёрл, Харольд Крото, Джим Хит.

Аллотропия углерода

Год	Событие
1960	Синтез карбина
1980	Первое наблюдение углеродных нанотрубок
1985	Синтез фуллерена C ₆₀

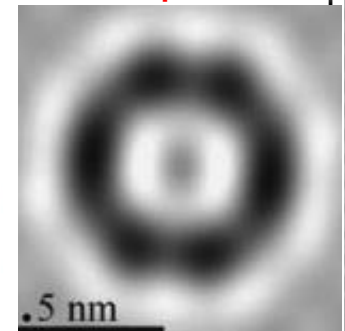
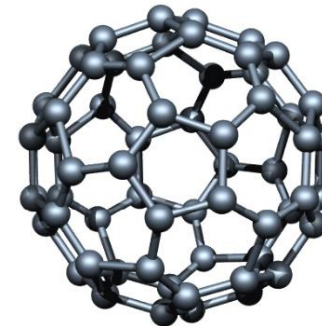
Известен >3000 лет

алмаз

sp^3

Nature. (1985) 318, pp 162–163
Nature. (1991) 353, pp 147–149.

Нобелевская премия
1996



многостенные УНТ sp^2

Несколько графитовых цилиндров,
вставленных вдруг в друга.

Получены Иджимой.

Легче получить, чем одностенные.

Свойства хуже, чем у одностенных.

1991

1D

1992 первое наблюдение онионов

одностенные УНТ

sp^2

Протяженные структуры в виде
полого цилиндра - свернутый в
трубку графитовый слой.

Отличаются хиральностью.

Получены Дрессельхаузом и Иджимой.

1993

1D

Премия Кавли 1998

sp^2

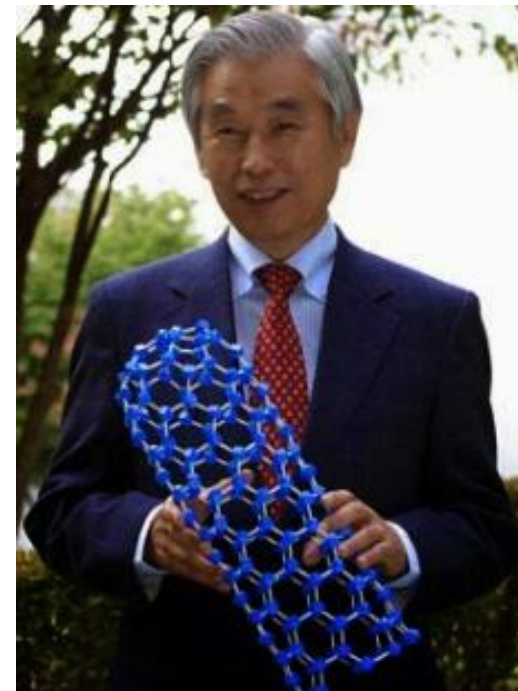
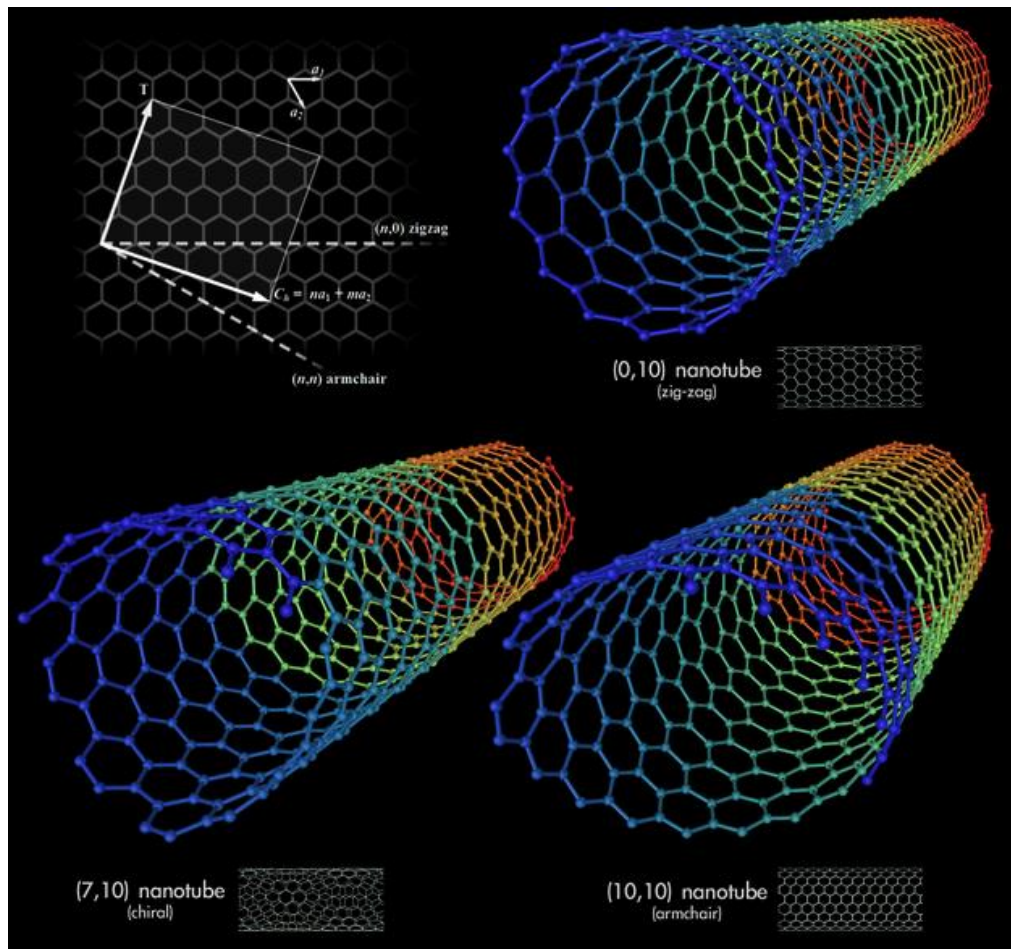
графит

Известен <500 лет

Нанотрубки. 1991-1993



1952, 1977



Сумио Иджима

Премия Кавли 1998

Механические применения: сверхпрочные нити, композитные материалы, нановесы.

Применения в микроэлектронике: транзисторы, нанопровода, прозрачные проводящие поверхности, топливные элементы.

Аллотропия углерода

Год	Событие
1960	Синтез карбина
1980	Первое наблюдение углеродных нанотрубок
1985	Синтез фуллерена C ₆₀
1991	Синтез многостенных углеродных нанотрубок
1992	Первое наблюдение онионов
1993	Синтез одностенных углеродных нанотрубок

Известен >3000 лет

алмаз

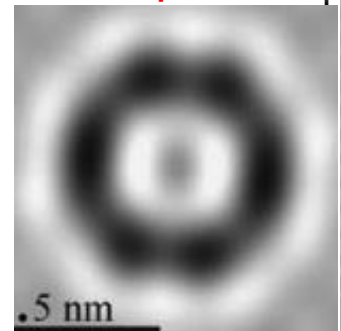
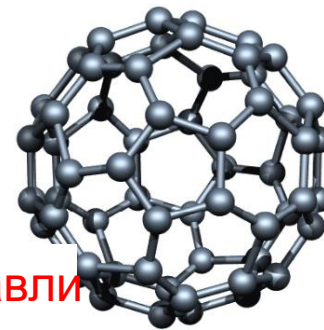
sp^3

Nature. (1985) 318, pp 162–163

Nature. (1991) 353, pp 147–149

Нобелевская премия

1996



первое наблюдение пиподов 1998

ГРАФЕН sp^2

Моноатомный слой атомов углерода
Получен А. Геймом и К. Новоселовым
Уникальные электро- и тепло-
проводность. Самый прочный и
самый легкий материал.



2004

2D

Нобелевская премия 2012

Известен <60 лет

Премия Кавли
2008



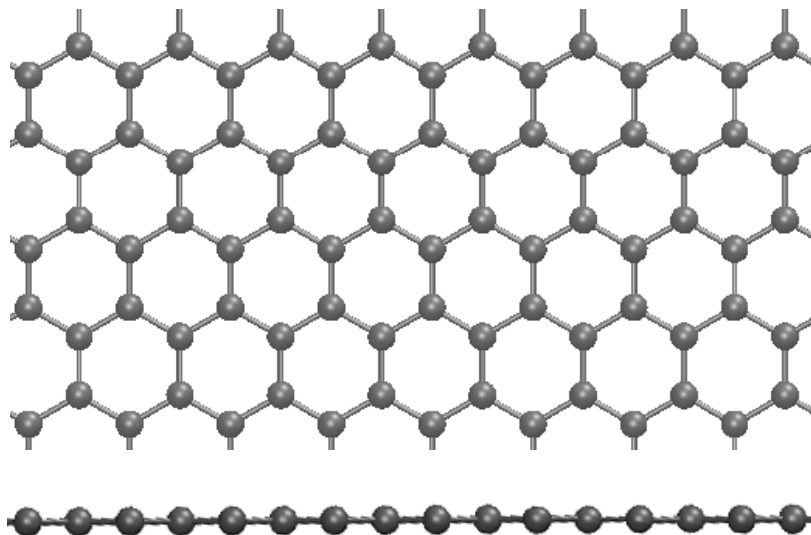
sp^2

графит

Известен <500 лет

Nature. (1993) 363, pp 603–605

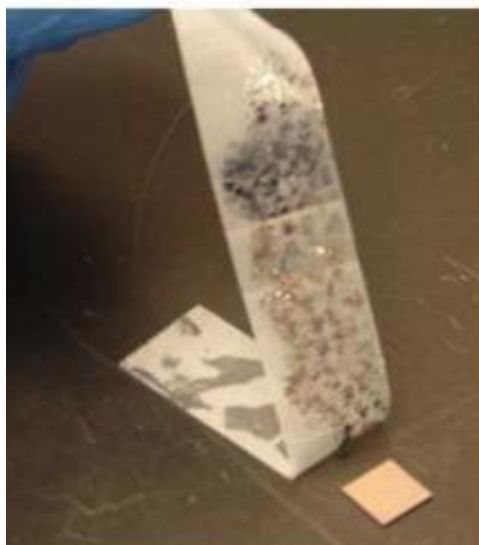
Графен. 2004



Нобелевская премия 2012



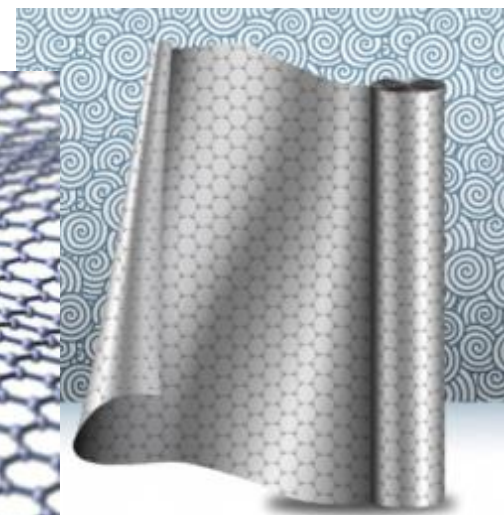
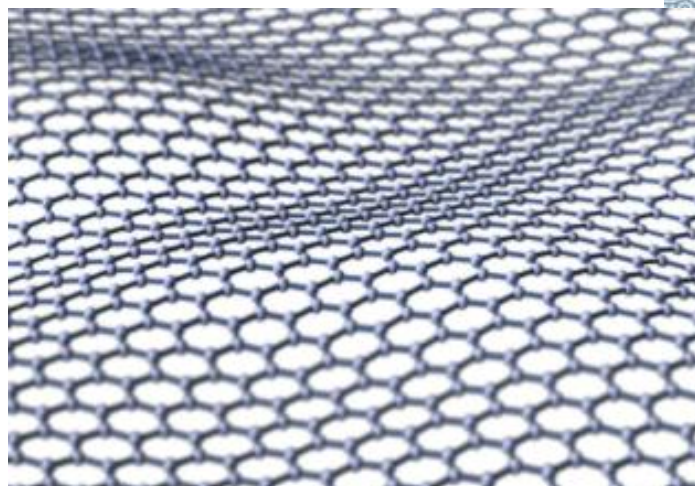
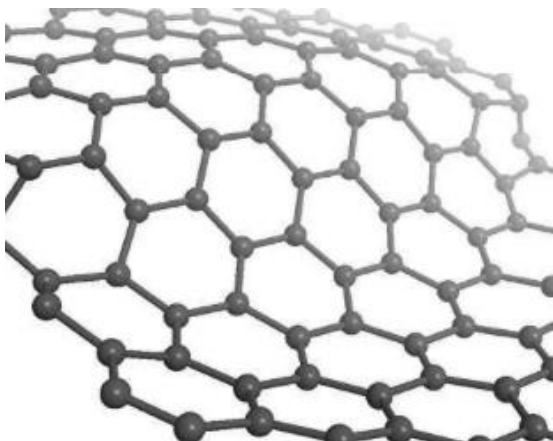
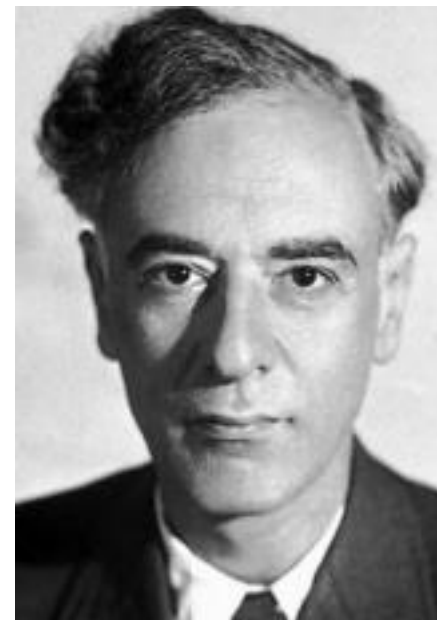
Андрей Гейм и Константин Новоселов



Слово «графен» и определение материала было введено еще в 1962 г. немецким химиком Хансом-Петером Боем (Hanns-Peter Boehm). Идея отделить один слой графена с помощью скотча возникла благодаря Олегу Шкляревскому.

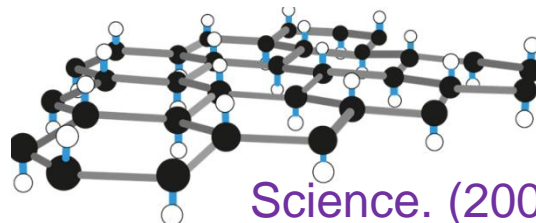
Противоречие Ландау

Графен представлен как плоский двумерный лист атомов углерода, однако в действительности по его поверхности бегут изгибные волны – складки, которые стремятся перевести его в «скомканное» состояние. Такие волны возникают у всех образцов графена больше 40-70 Ангстрем. В противном случае экспериментальное получение графена противоречит хорошо известной теореме Ландау, которая гласит, что одномерная и двумерная фазы термодинамически неустойчивы. Действительно, долгое время считалось, что двумерные материалы, подобные графену, в природе существовать не могут



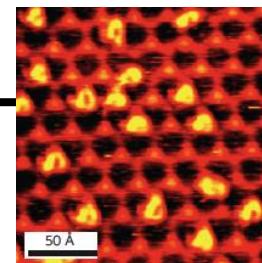
Аллотропия углерода

Год	Событие
1960	Синтез карбина
1980	Первое наблюдение углеродных нанотрубок
1985	Синтез фуллерена C ₆₀
1991	Синтез многостенных углеродных нанотрубок
1992	Первое наблюдение онионов
1993	Синтез одностенных углеродных нанотрубок
1998	Первое наблюдение пиподов
2004	Синтез графена
2009	Синтез графана



алмаз

sp^3



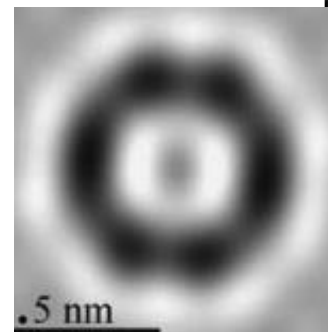
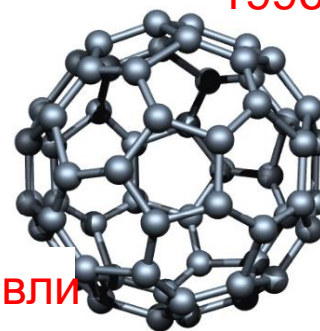
Science. (2009) 323, pp 610–613

Nature. (1985) 318, pp 162–163

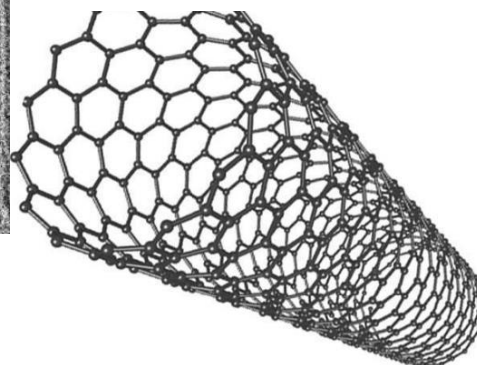
Nature. (1991) 353, pp 147–149

Нобелевская премия

1996



Премия Кавли
2008

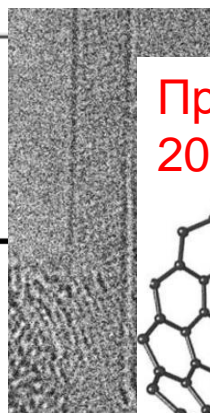
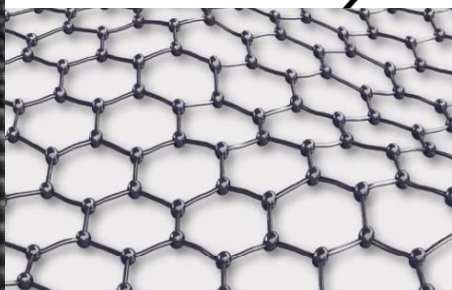
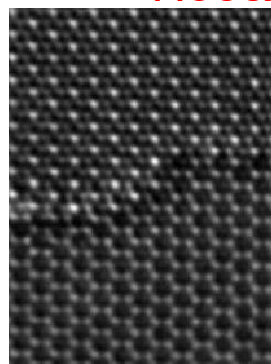


sp^2

графит

Известен <500 лет

Нобелевская премия
2012



Science. (2004) 306, pp 666-669

Nature Materials. (2007) 6, pp 183–191

Nature. (1993) 363, pp 603–605



[MOLECULAR FORMS]

THE MOTHER OF ALL GRAPHITES

Graphene (*below, top*), a plane of carbon atoms that resembles chicken wire, is the basic building block of all the "graphitic" materials depicted below. Graphite (*bottom row at left*), the main component of pencil "lead," is a crumbly substance that resembles a layer cake of weakly bonded

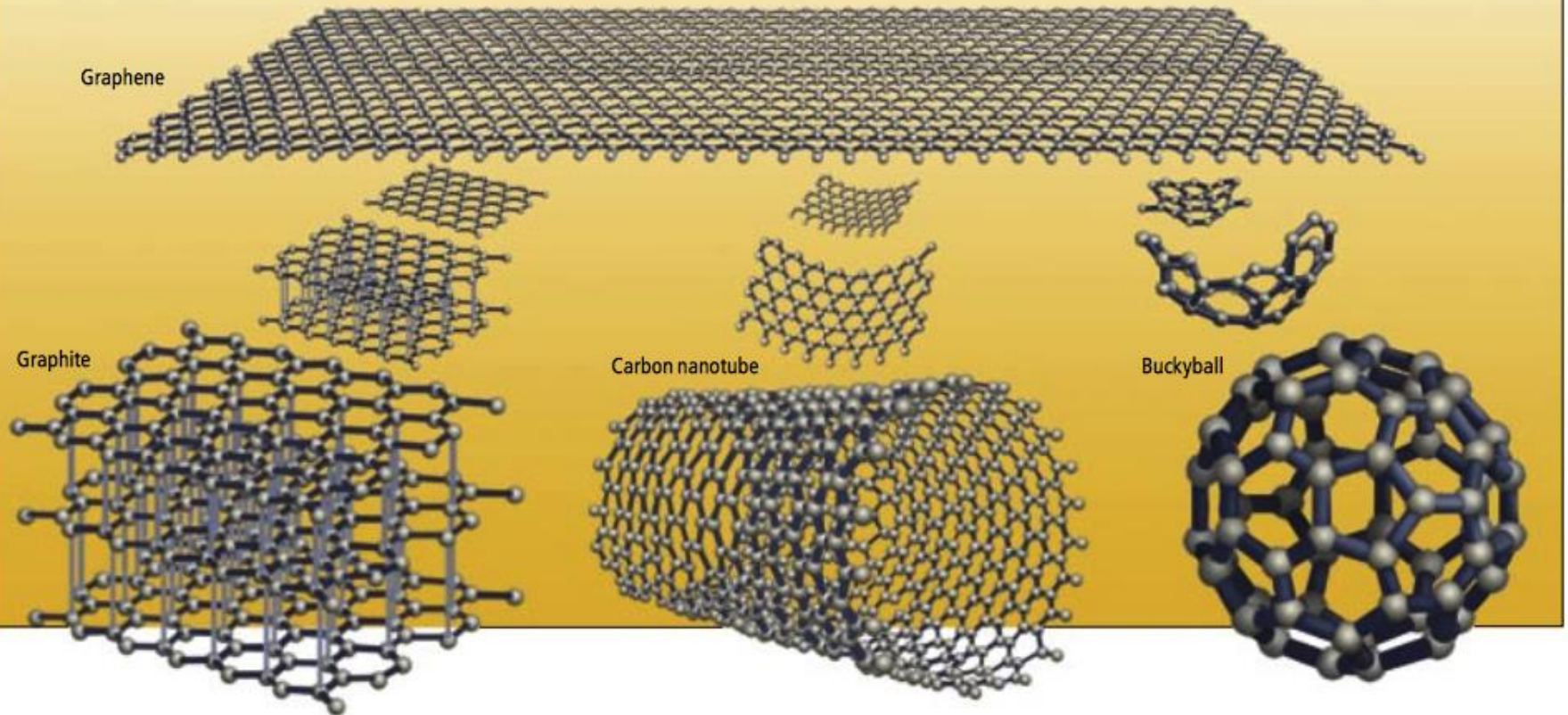
graphene sheets. When graphene is wrapped into rounded forms, fullerenes result. They include honeycombed cylinders known as carbon nanotubes (*bottom row at center*) and soccer ball-shaped molecules called buckyballs (*bottom row at right*), as well as various shapes that combine the two forms.

Graphene

Graphite

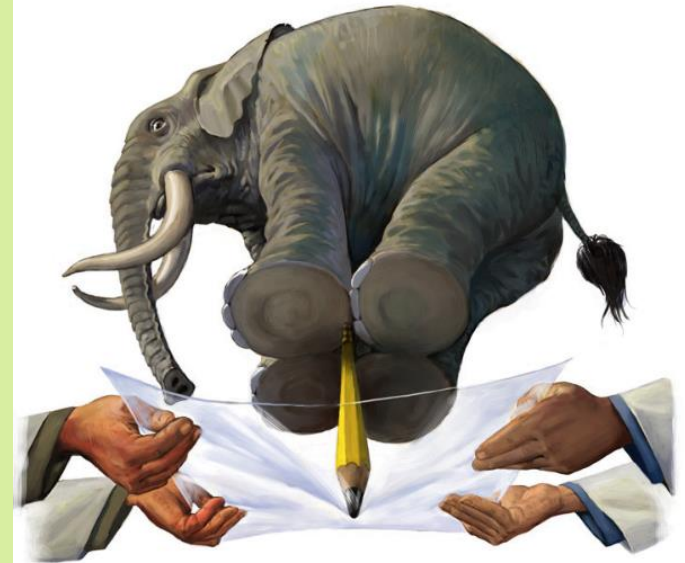
Carbon nanotube

Buckyball



Графен. Свойства

- Ультратонкий
- Сверхпрочный, в 200 раз прочнее стали
- Прозрачный, поэтому не имеет цвета
- Гибкий
- Высокая электропроводность
- Высокая теплопроводность
- Высокая химическая активность



HIGH ELECTRICAL
CONDUCTIVITY



200X STRONGER
THAN STEEL



THIN AND
LIGHTWEIGHT



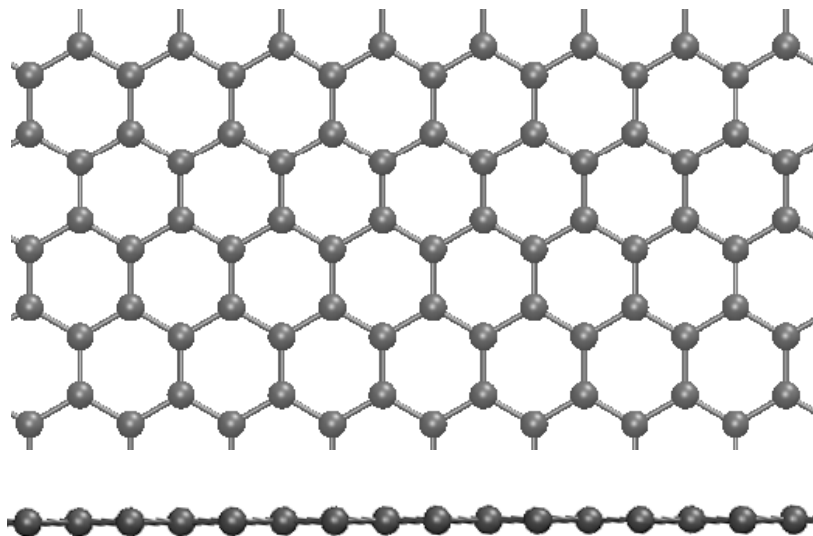
HIGH THERMAL
CONDUCTIVITY



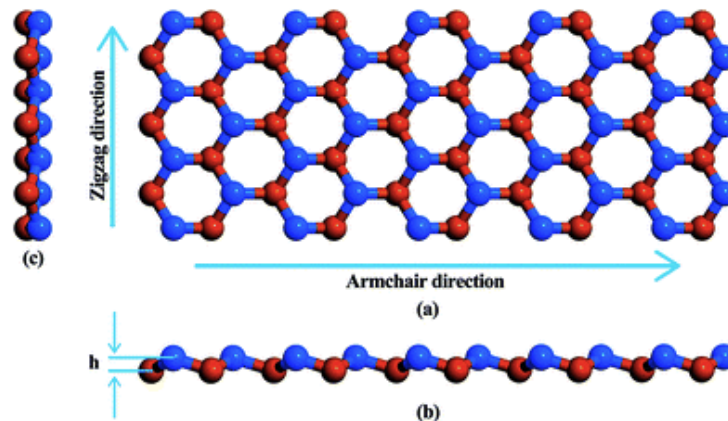
VERY HIGH
TRANSPARENCY

Флатландия

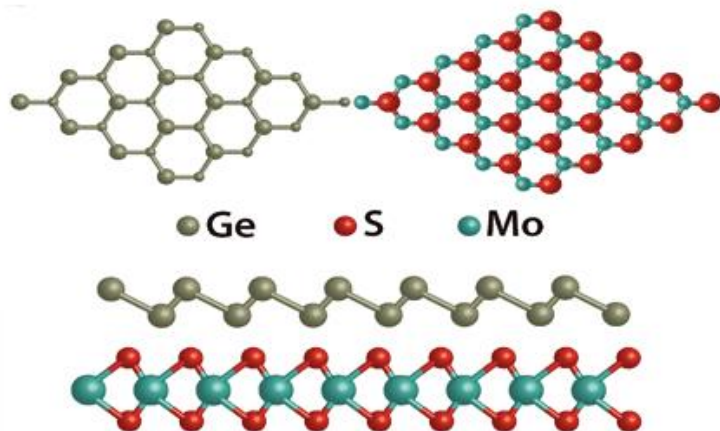
Графен – атомы углерода



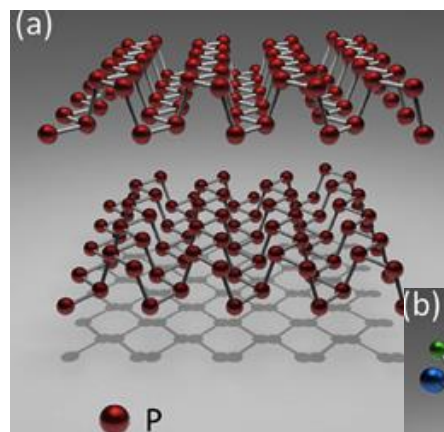
Станен – атомы олова



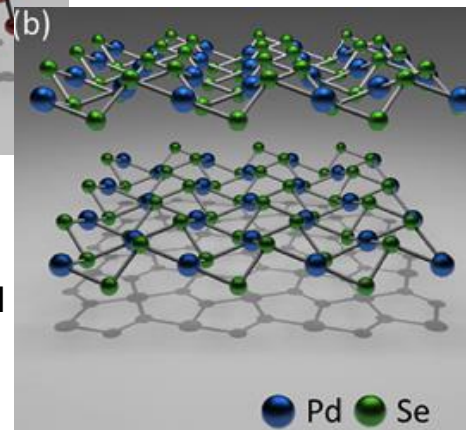
Германен и дисульфид молибдена



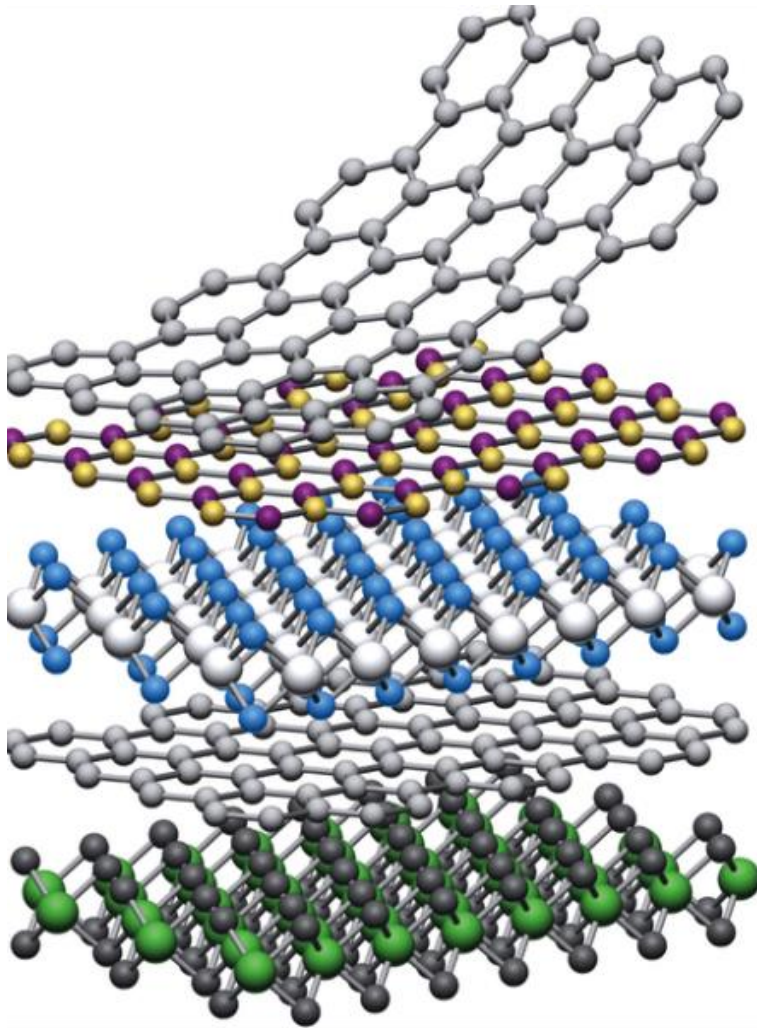
Фосфорен

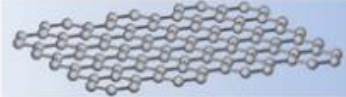

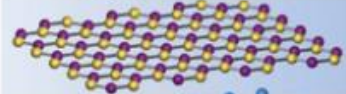

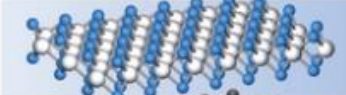
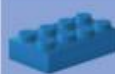
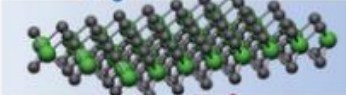
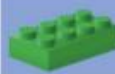
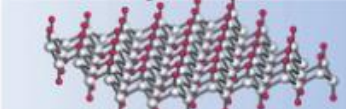



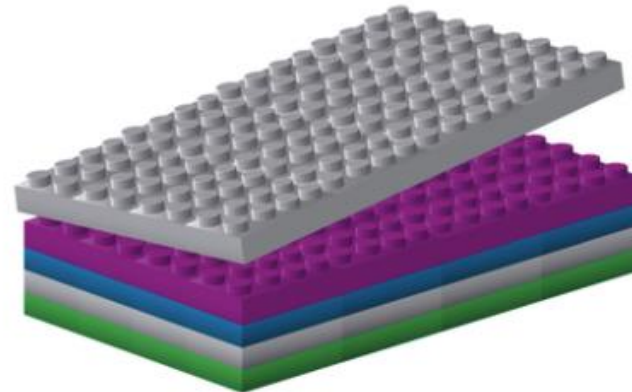
Селенид палладия



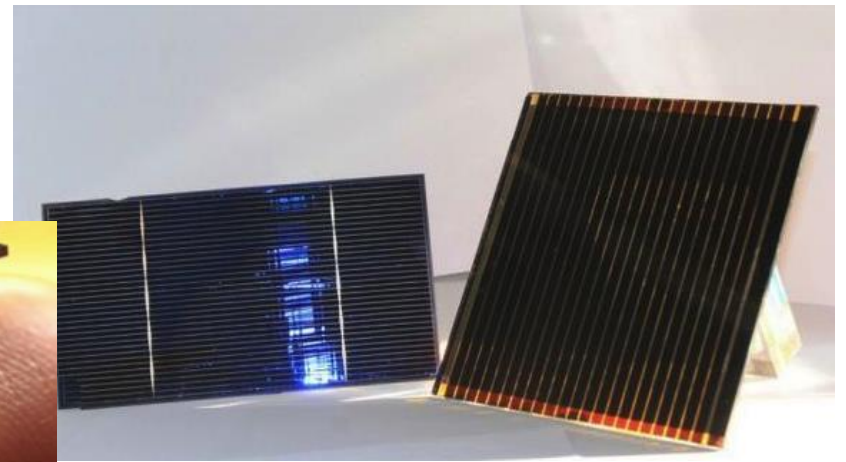
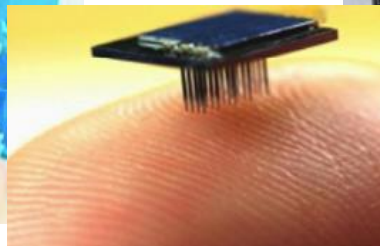
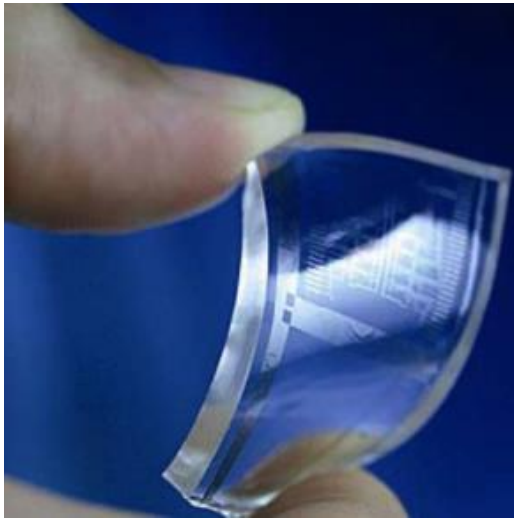
Из Флатландии в квазидвумерный мир



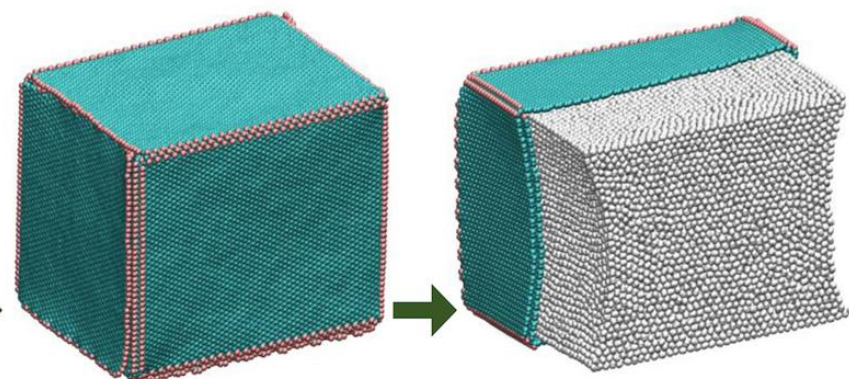
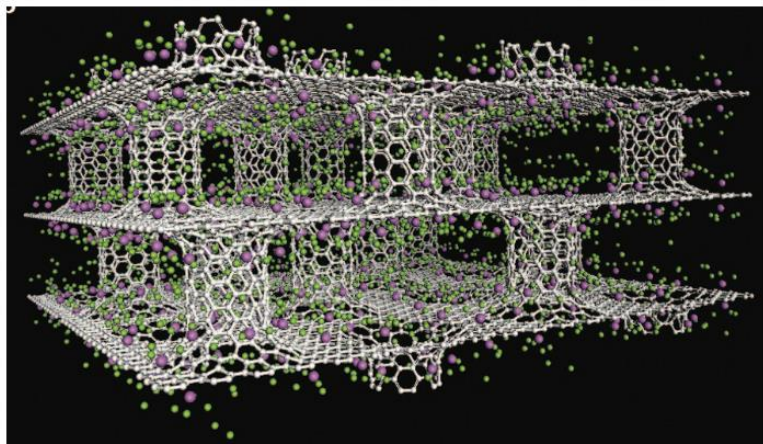
	Graphene	
	hBN	
	MoS ₂	
	WSe ₂	
	Fluorographene	



Будущее человечества

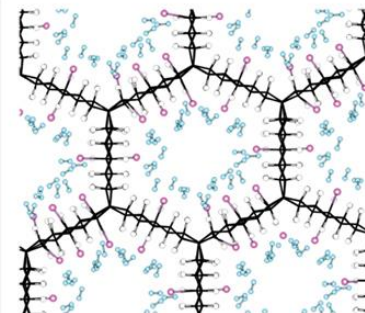
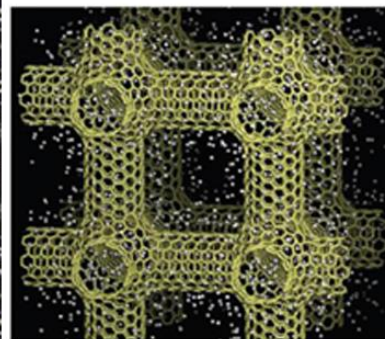
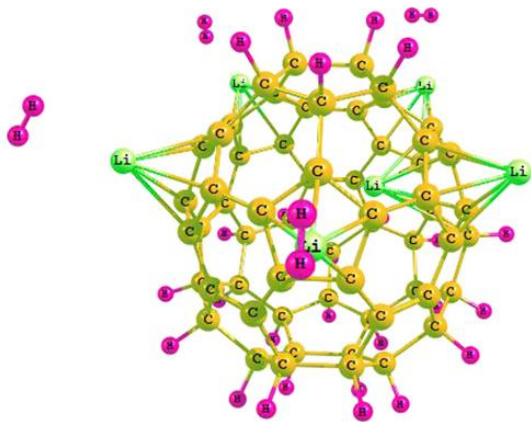


Применение: водородная энергетика

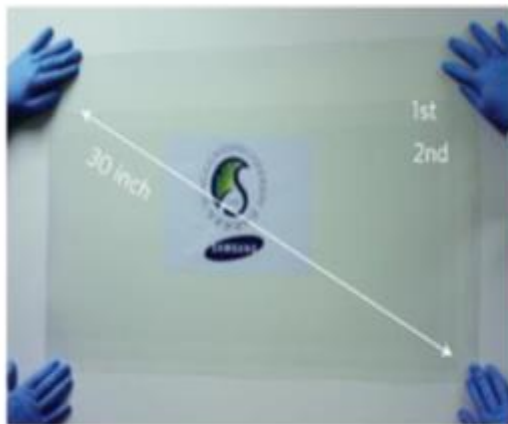


Graphene Nanocage

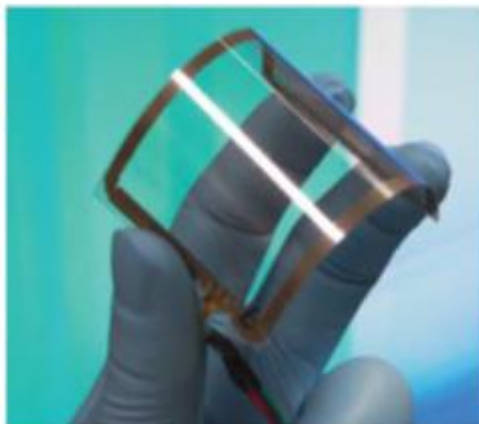
Molecular Storage



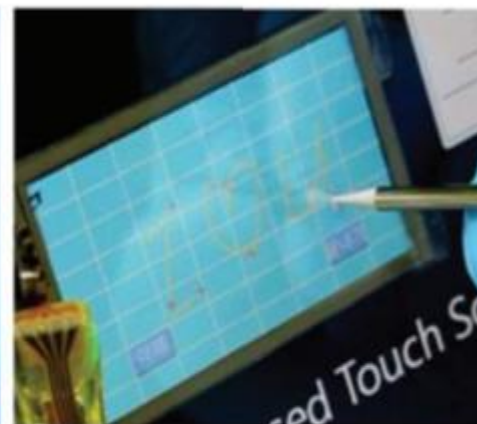
Применение: гибкая электроника



(A)



(B)

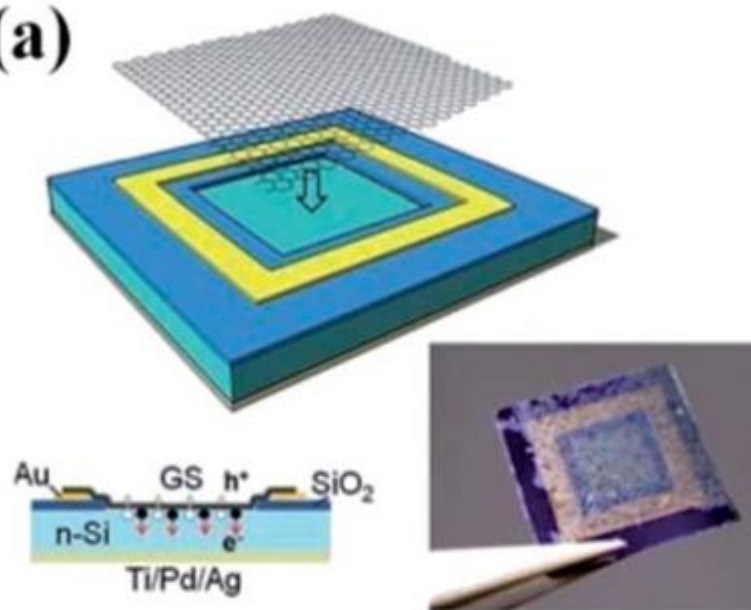


(A)

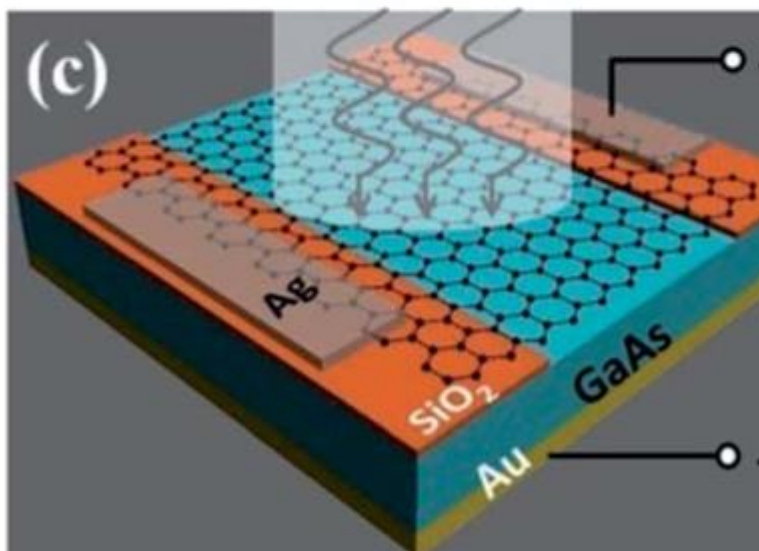


Применение: солнечные батареи

(a)



(c)



The End