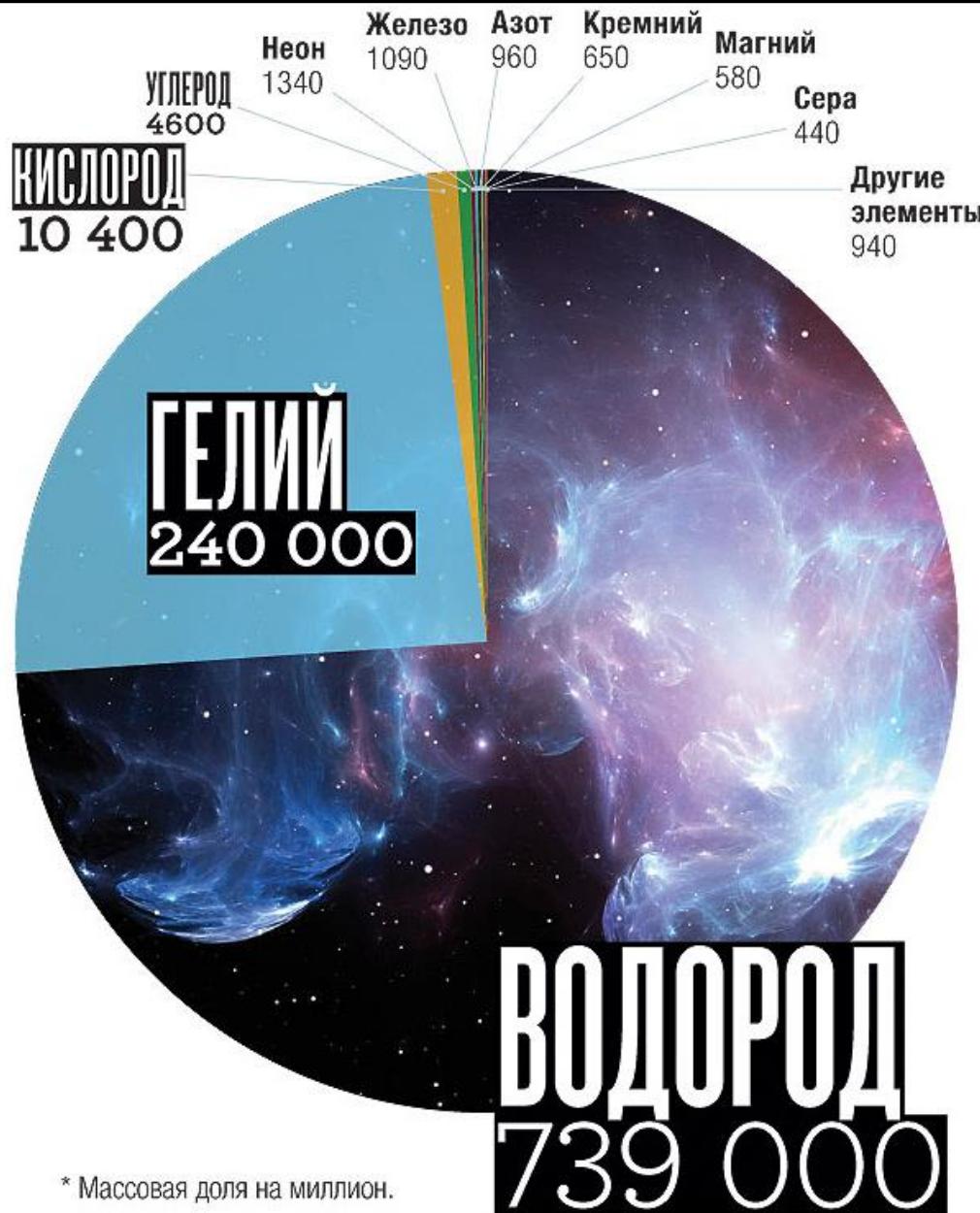


# **Лекция 1**

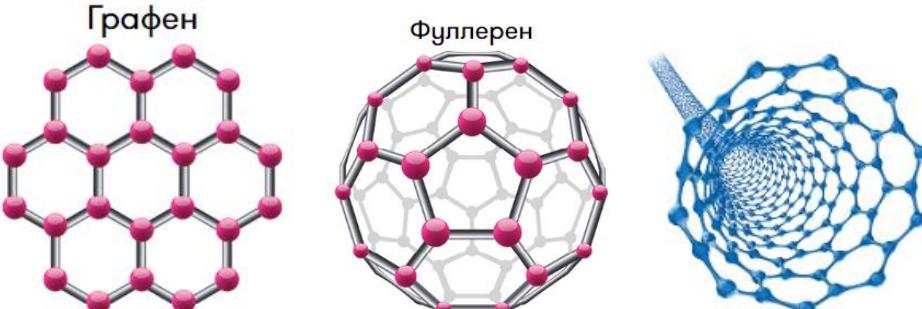
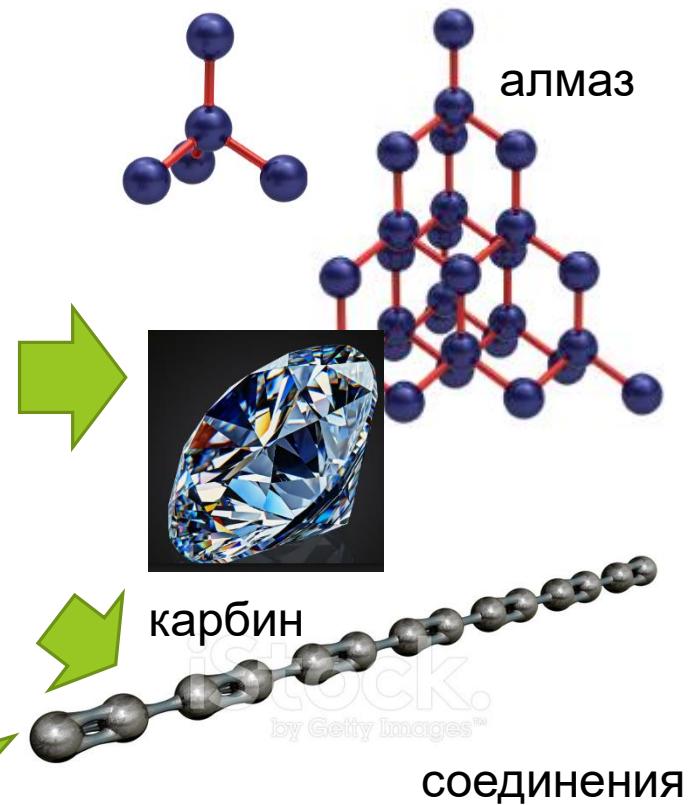
# **Углеродные наносистемы**

# Распространенность химических элементов



# Углерод

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



Оксиды, кислоты, соли	Галогениды	Азотсодержащие производные	Сульфиды	Карбиды
$\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ $\text{H}_2\text{CO}_3$ , $(\text{HCO}_3)^-$ $\text{M}^{\text{I}}\text{CO}_3$ , ..  $(\text{M}^{\text{II}}\text{OH})_2\text{CO}_3$ , где $\text{M}^{\text{II}} =$ = $\text{Be}$ , $\text{Mg}$ , $\text{Zn}$ , $\text{Pb}$ , $\text{Cu}$ , $\text{Ni}$ , $\text{Co}$	$\text{CF}_4$ , $\text{CCl}_4$ $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$ $(\text{CF}_2)_x$ тетрафтор	$\text{M}^{\text{I}}\text{CN}$ , $(\text{CN})_2$ , $\text{M}^{\text{I}}\text{CNO}$ , $(\text{SCN})_2$ , $\text{M}^{\text{I}}\text{CNS}$ , $\text{NH}_2 - \text{C} \equiv \text{N}$ , $\text{H} - \text{C} \equiv \text{N}$ ,  $\text{NH}_2$ $\text{NH}_2$ комплексные соединения: $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и др.	$\text{CS}_2$ , $\text{CS}$ , $\text{H}_2\text{CS}_3$ , $\text{K}_2\text{CS}_3$	$\text{LaC}_2$ , $\text{CaC}_2$ , $\text{Ag}_2\text{C}_2$ , $\text{Al}_4\text{C}_3$ , $\text{Fe}_3\text{C}$ , $\text{CoC}$ , $\text{NbC}$ , $\text{WC}_2$ , $\text{VC}$ , $(\text{B}_4\text{C})$ и др.

# Алмаз. История >3000 лет

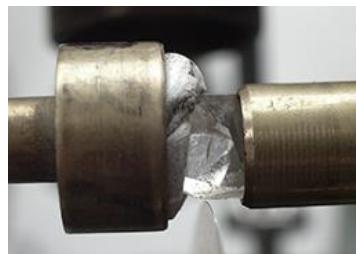
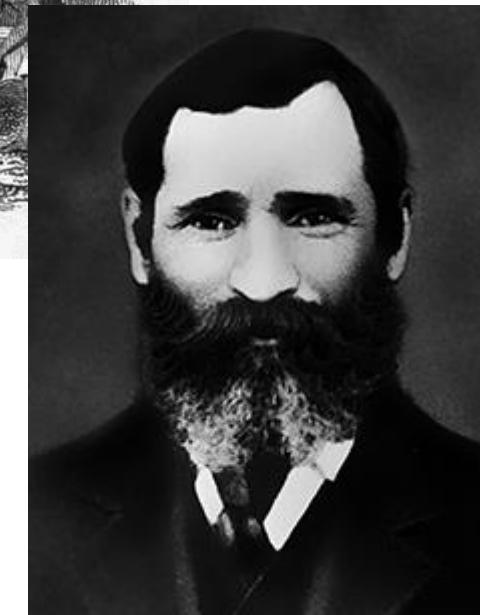


Считается, что первые алмазы были обнаружены в индийских реках еще в IV веке до нашей эры. В 327 году до нашей эры Александр Македонский привез алмаз из Индии в Европу.

В 1725 г. были найдены алмазы в Бразилии.

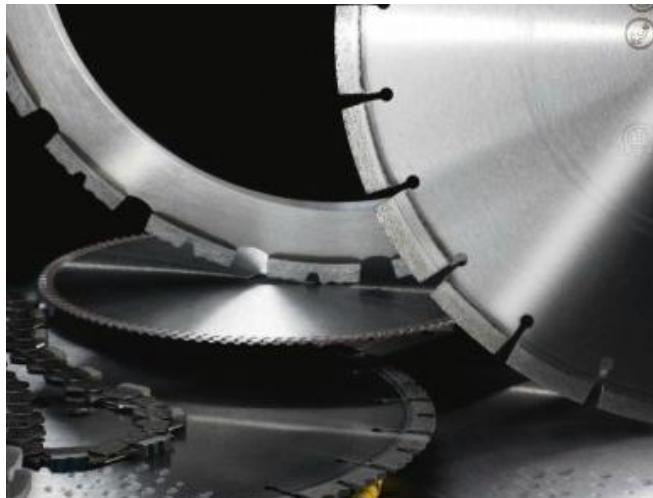
В 1867 году алмазы были найдены в Кимберли (Южная Африка). Сегодня ЮАР — одна из главных алмазодобывающих стран.

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



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

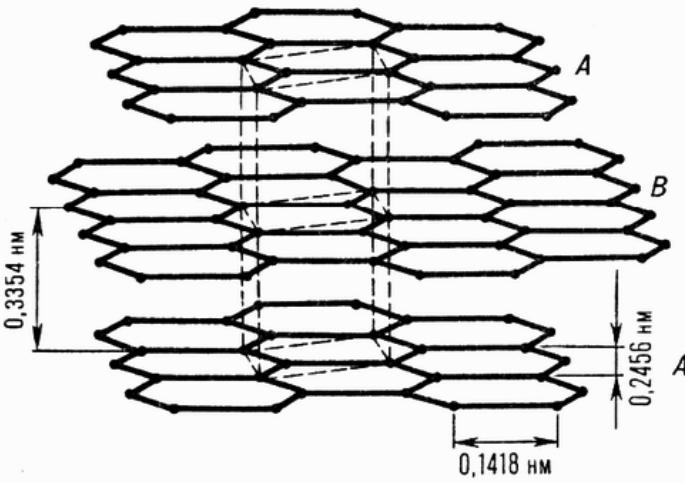


Графит известен с древних времён, однако точных сведений об истории его использования получить не удаётся. Одним из наиболее ранних свидетельств применения графита является глиняная посуда культуры Боян-Марица (4000 лет до н. э.).

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



Шахта в Онтарио



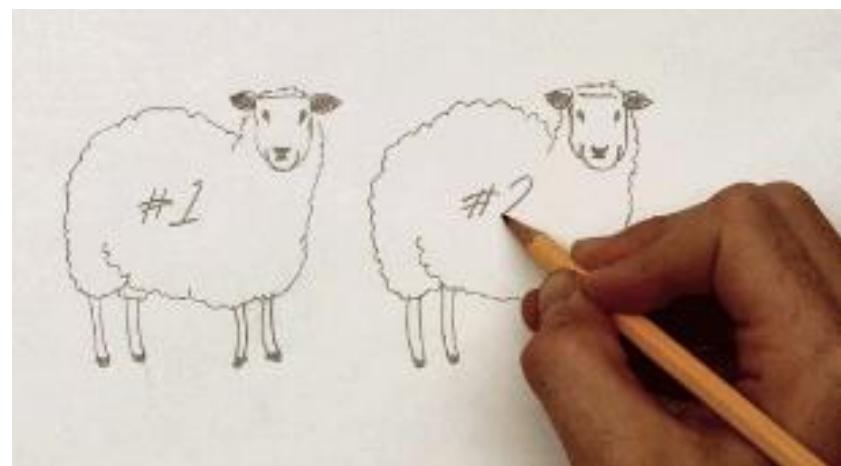
# Графит. Применение

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



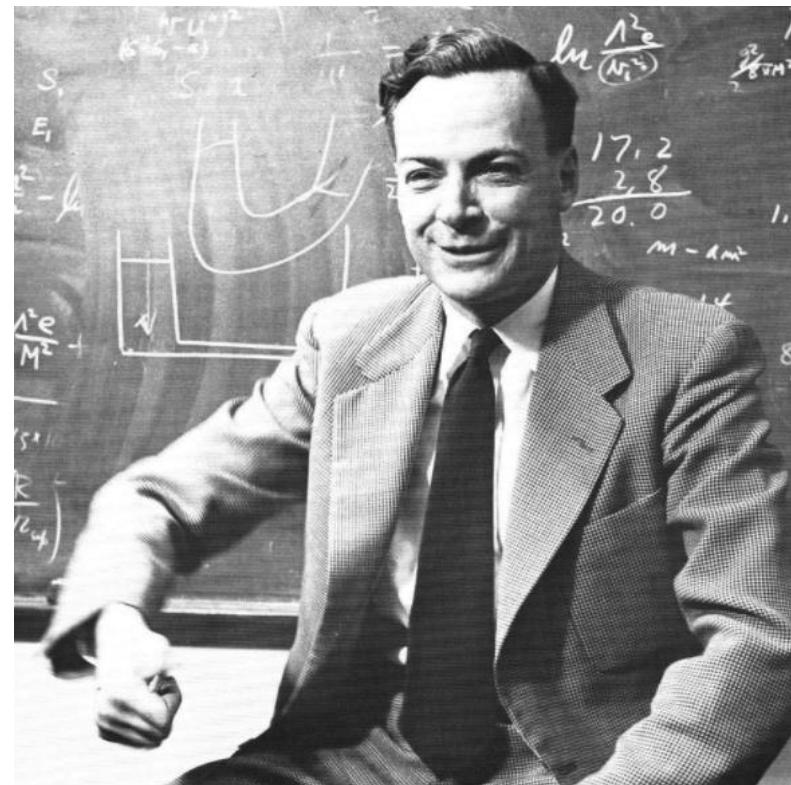
**Атомная энергетика** – используется в атомных реакторах;

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

# Ричард Фейнман

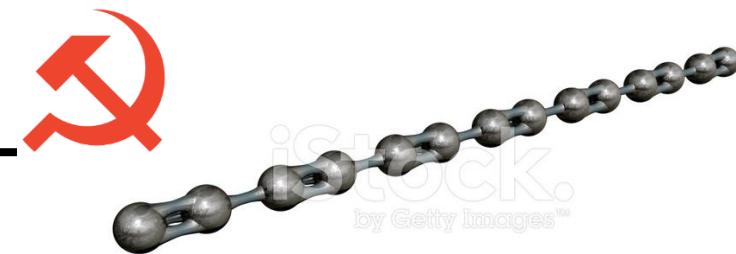
## Пророк нанотехнологической революции

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)

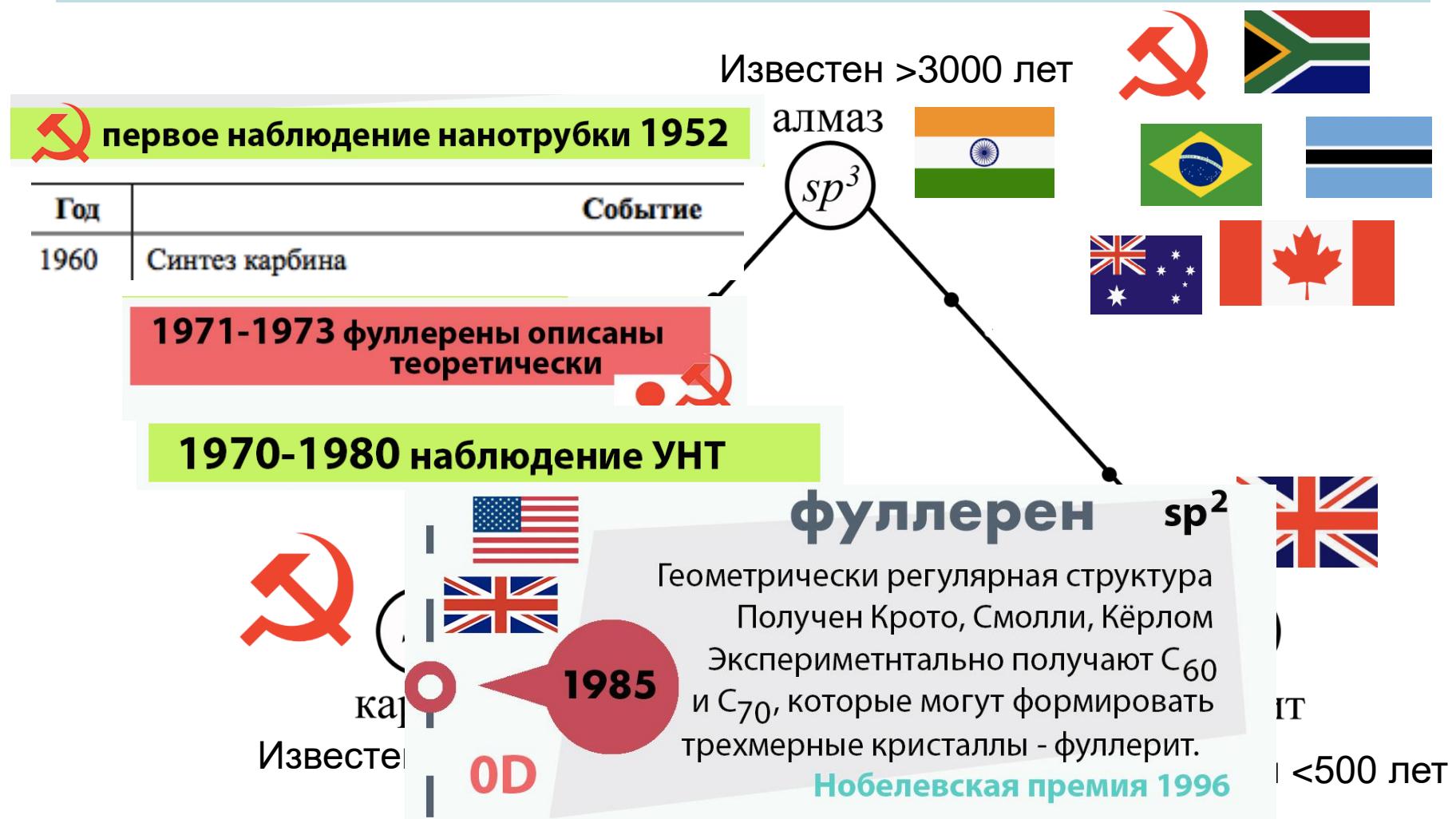
Для того чтобы разорвать цепочку карбина, надо приложить усилие порядка 10 нН. (2013 г.)

**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

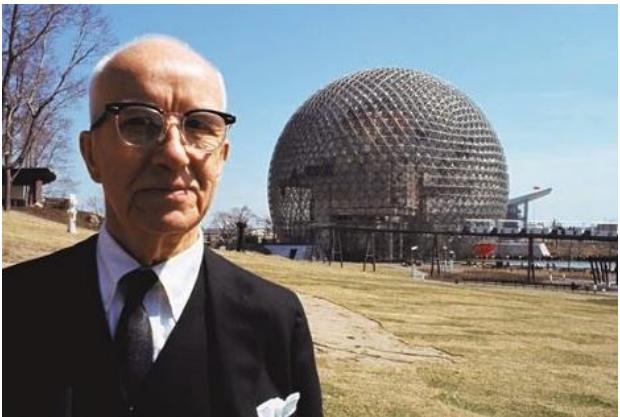


1971

1973



**Нобелевская премия по химии  
1996**



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

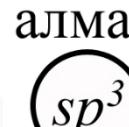


Группа учёных, исследовавших фуллерены (справа налево): Шон О'Брайен, Ричард Смолли, Роберт Кёрл, Харольд Крото, Джим Хит.

# Аллотропия углерода

Год	Событие
1960	Синтез карбина
1980	Первое наблюдение углеродных нанотрубок
1985	Синтез фуллерена C60

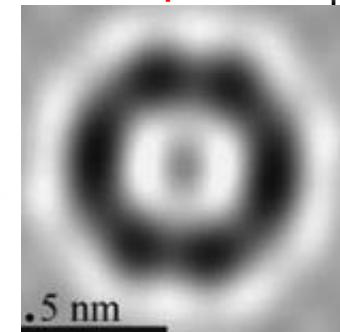
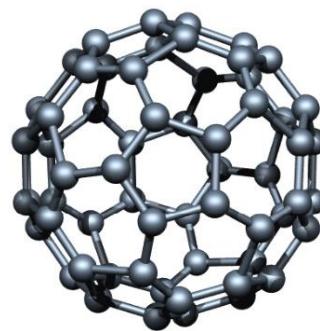
Известен >3000 лет



алмаз  
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

Из

1D



## одностенные УНТ

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

Получены Дрессельхаузом и Иджимой.

Премия Кавли 1998

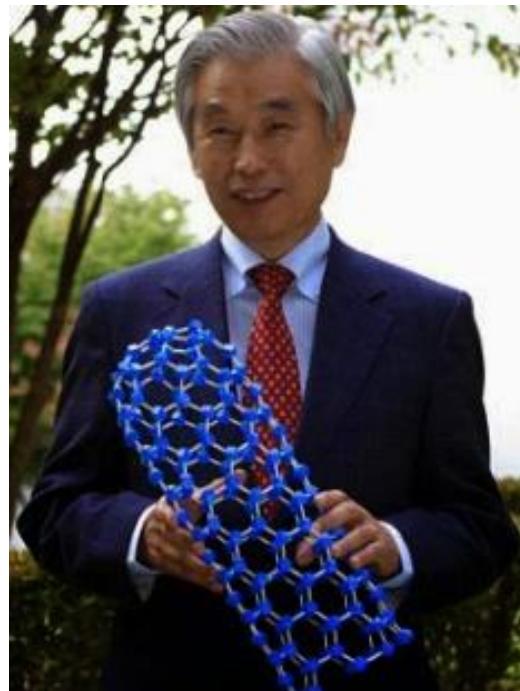
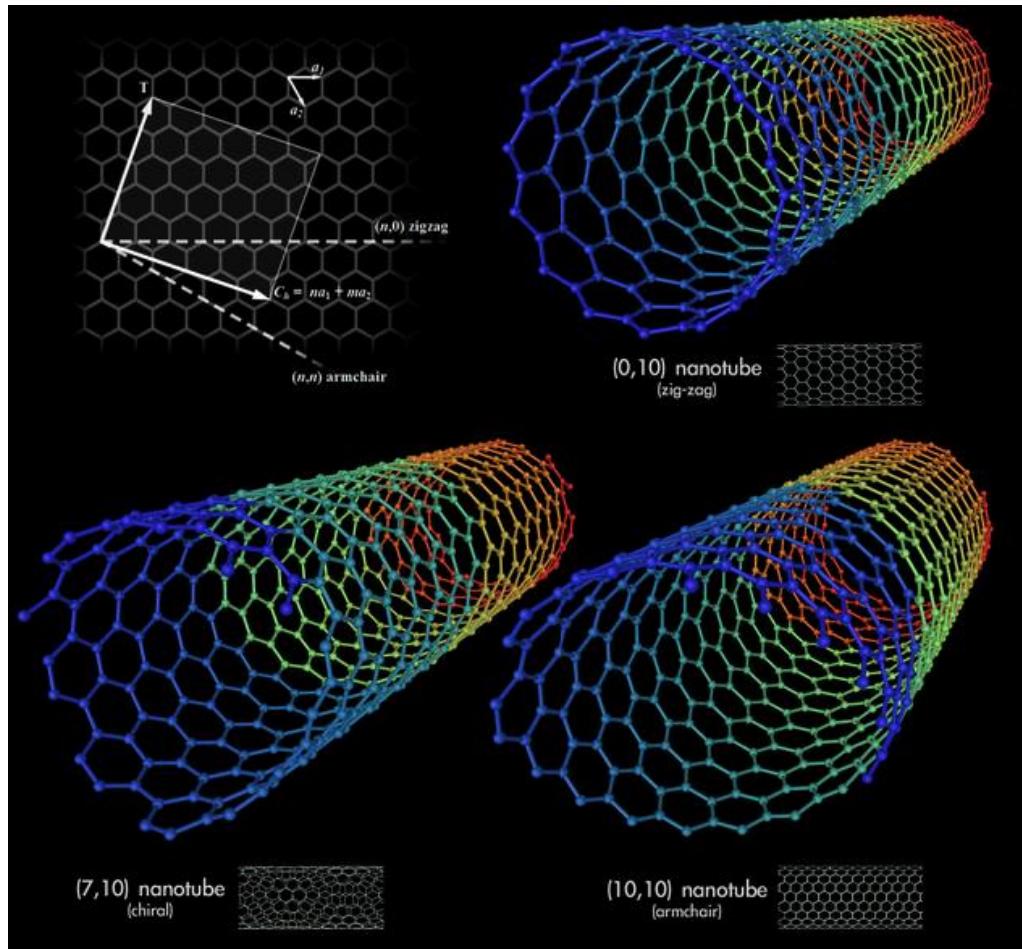


графит

Известен <500 лет



# Нанотрубки. 1991-1993



Сумио Иджима

**Премя 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 C60
1991	Синтез многостенных углеродных нанотрубок
1992	Первое наблюдение онионов
1993	Синтез одностенных углеродных нанотрубок

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.



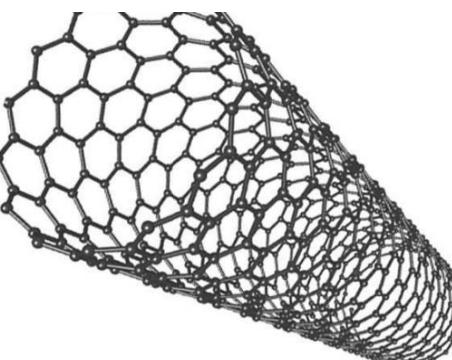
2004

2D

Нобелевская премия 2012

Известен <60 лет

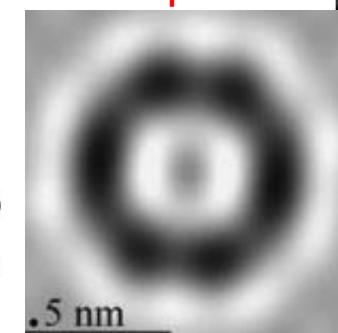
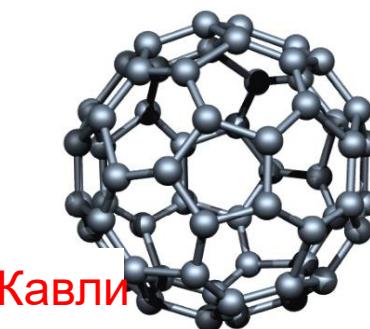
Премия Кавли  
2008



Nature. (1993) 363, pp 603–605

Известен >3000 лет

$sp^3$



алмаз

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

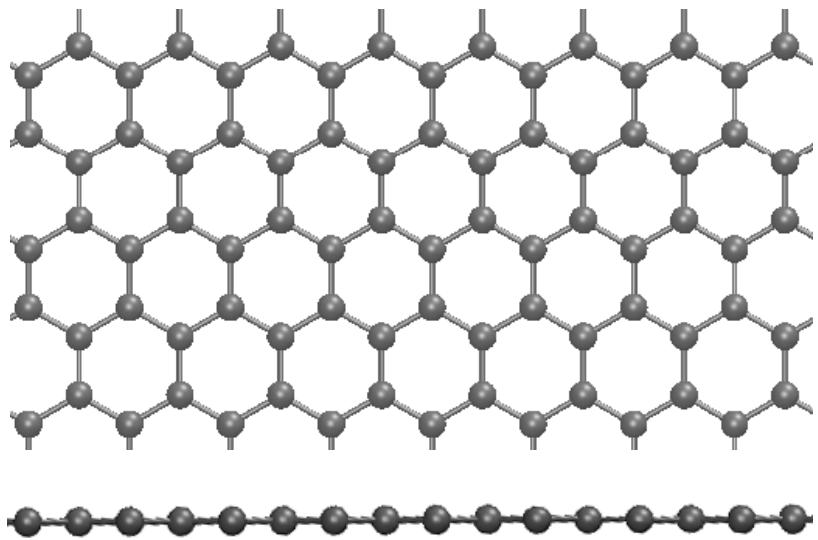
Нобелевская премия  
1996

$sp^2$

графит

Известен <500 лет

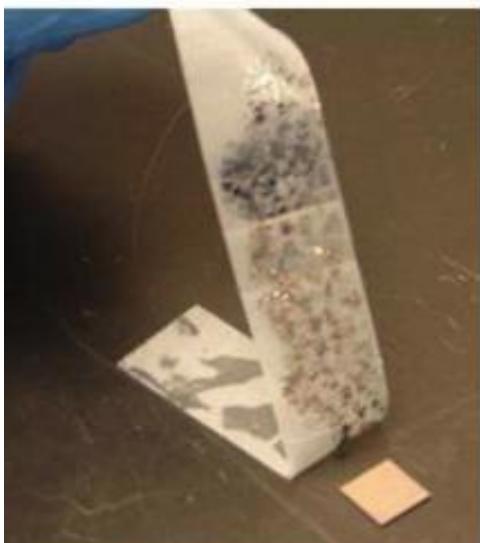
# Графен. 2004



**Нобелевская премия 2012**



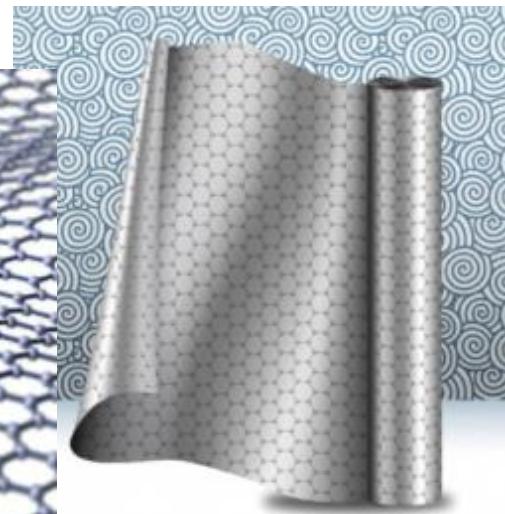
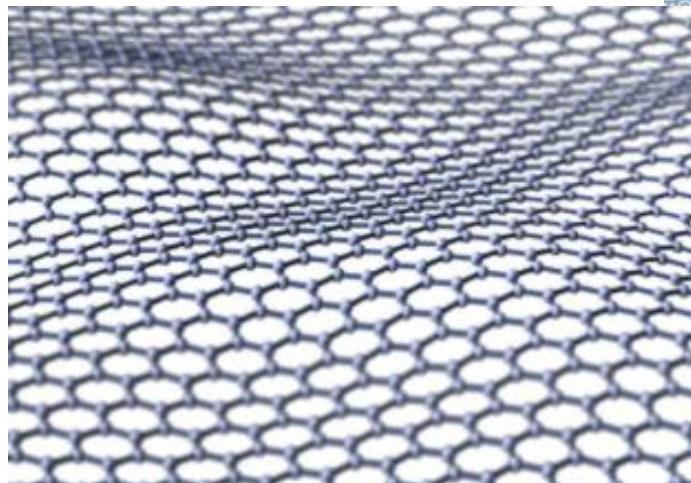
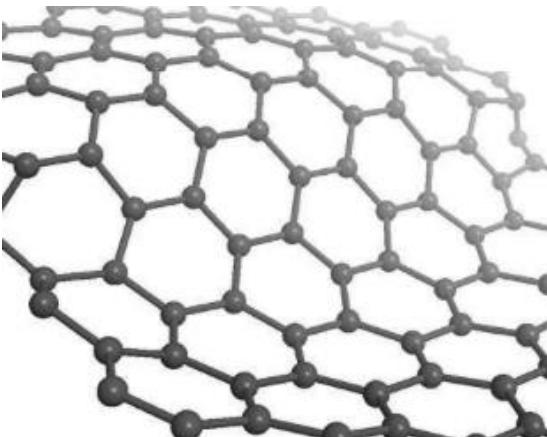
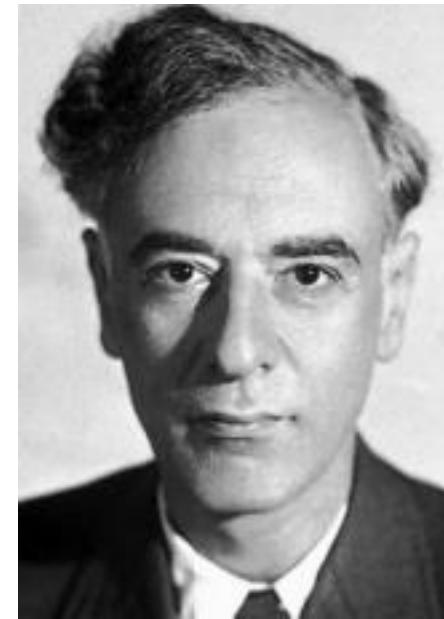
Андрей Гейм и Константин Новоселов



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

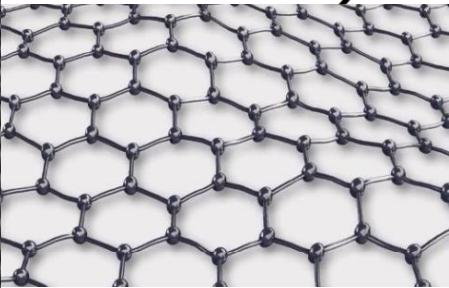
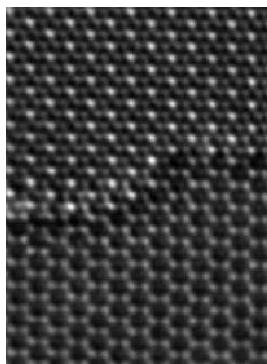
# Противоречие Ландау

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 глафена 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

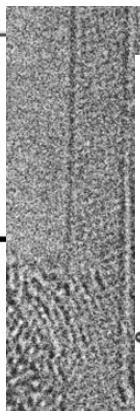


# Аллотропия углерода

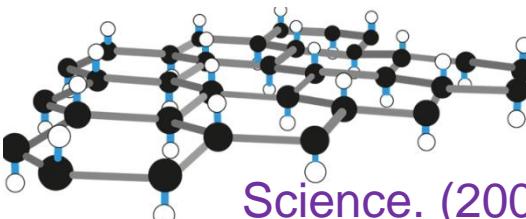
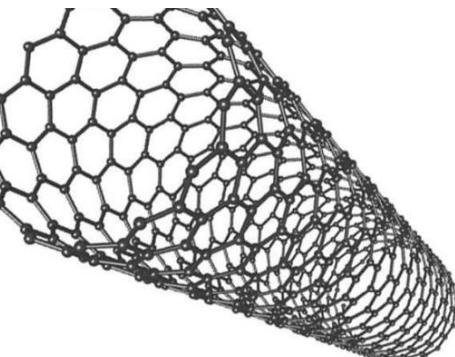
Год	Событие
1960	Синтез карбина
1980	Первое наблюдение углеродных нанотрубок
1985	Синтез фуллерена C60
1991	Синтез многостенных углеродных нанотрубок
1992	Первое наблюдение онионов
1993	Синтез одностенных углеродных нанотрубок
1998	Первое наблюдение пиподов
2004	Синтез графена
2009	Синтез графана



Нобелевская премия  
2012

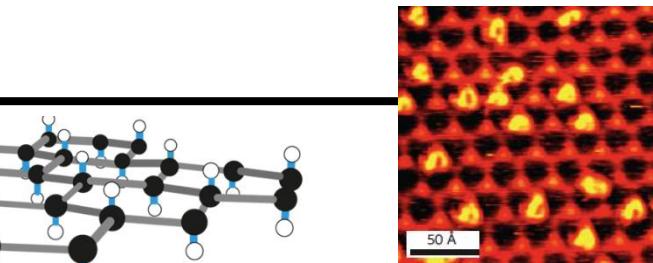


Премия Кавли  
2008



алмаз

$sp^3$



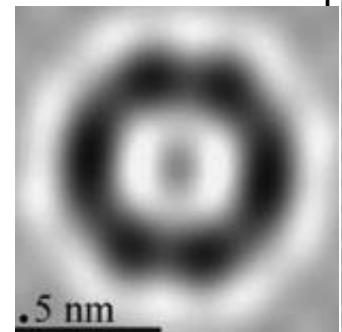
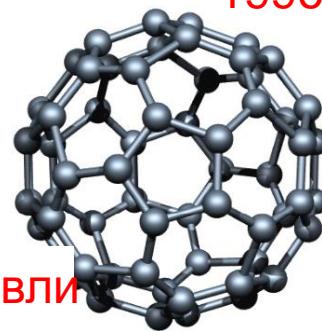
Science. (2009) 323, pp 610–613

Nature. (1985) 318, pp 162–163

Nature. (1991) 353, pp 147–149.

Нобелевская премия

1996



.5 nm

$sp^2$

графит

Известен <500 лет

Science. (2004) 306, pp 666-669

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

Nature. (1993) 363, pp 603–605

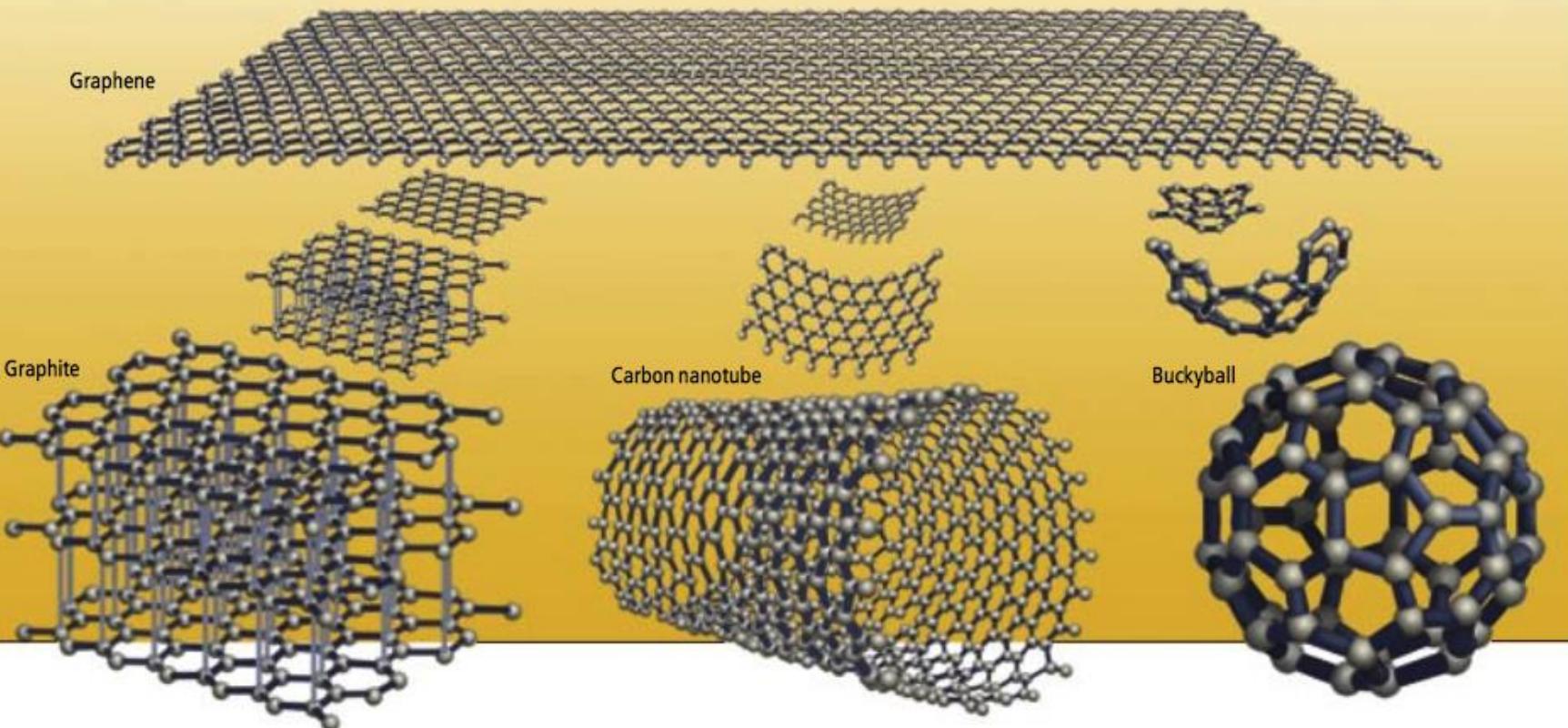


[MOLECULAR FORMS]

## THE MOTHER OF ALL GRAPHITES

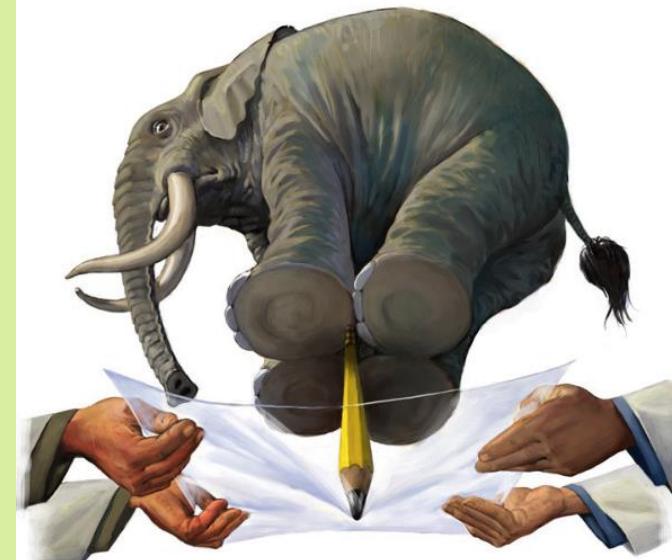
Graphene (*below, top*), a plane of carbon atoms that resembles chicken wire, is the basic building block of all the "graphitic" materials depicted below. Graphite (*bottom row at left*), the main component of pencil "lead," is a crumbly substance that resembles a layer cake of weakly bonded

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.



# 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



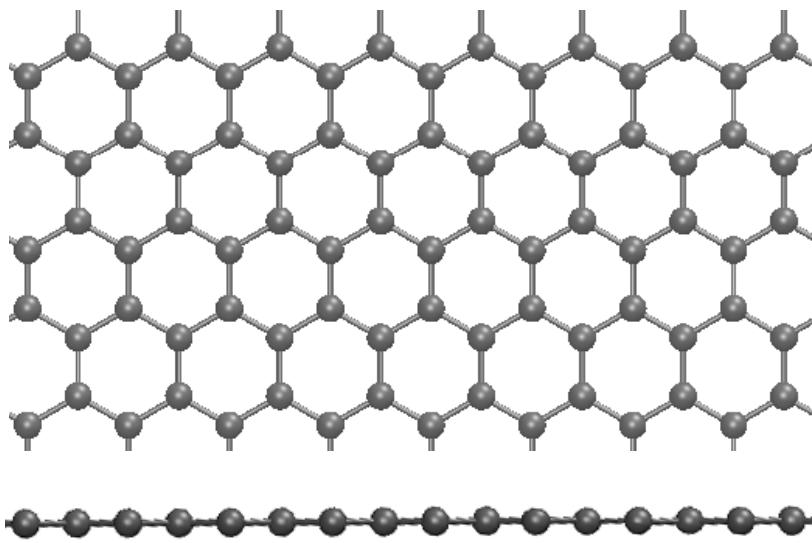
HIGH THERMAL CONDUCTIVITY



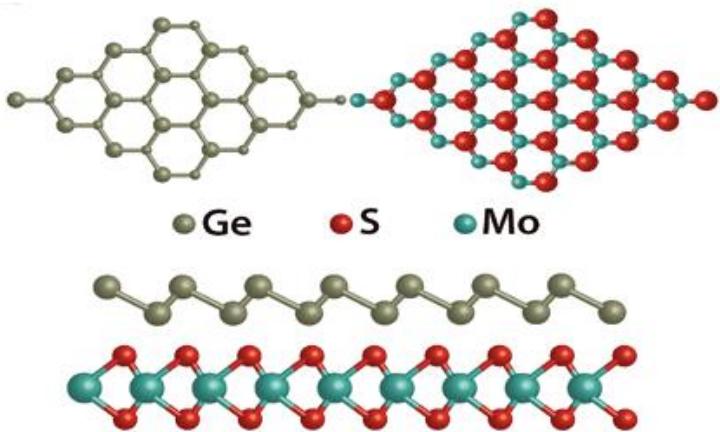
VERY HIGH TRANSPARENCY

# Флатландия

Графен – атомы углерода



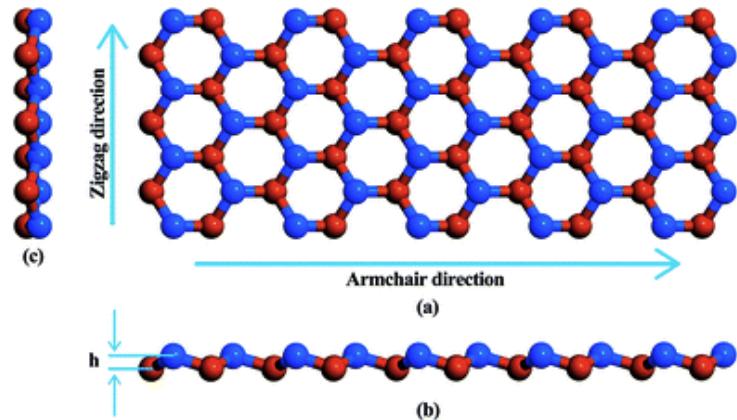
Германен и дисульфид молибдена



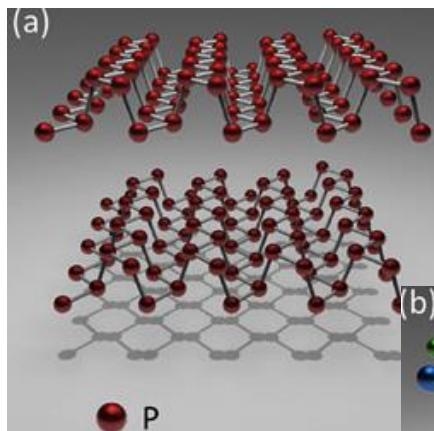
20

L. Zhang et al., Phys. Rev. Lett. (2016)

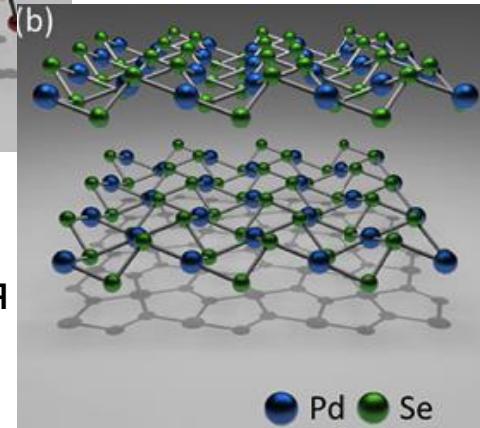
Станен – атомы олова



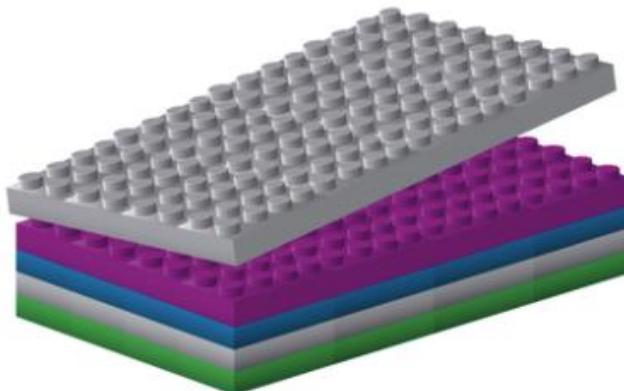
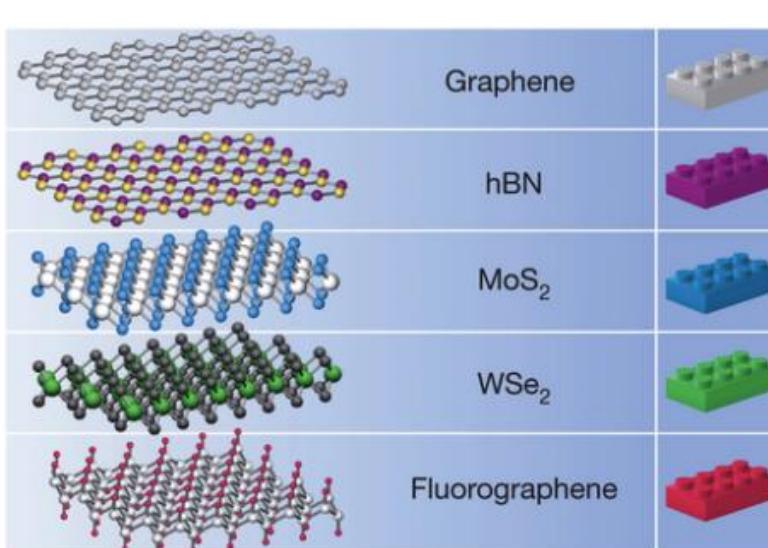
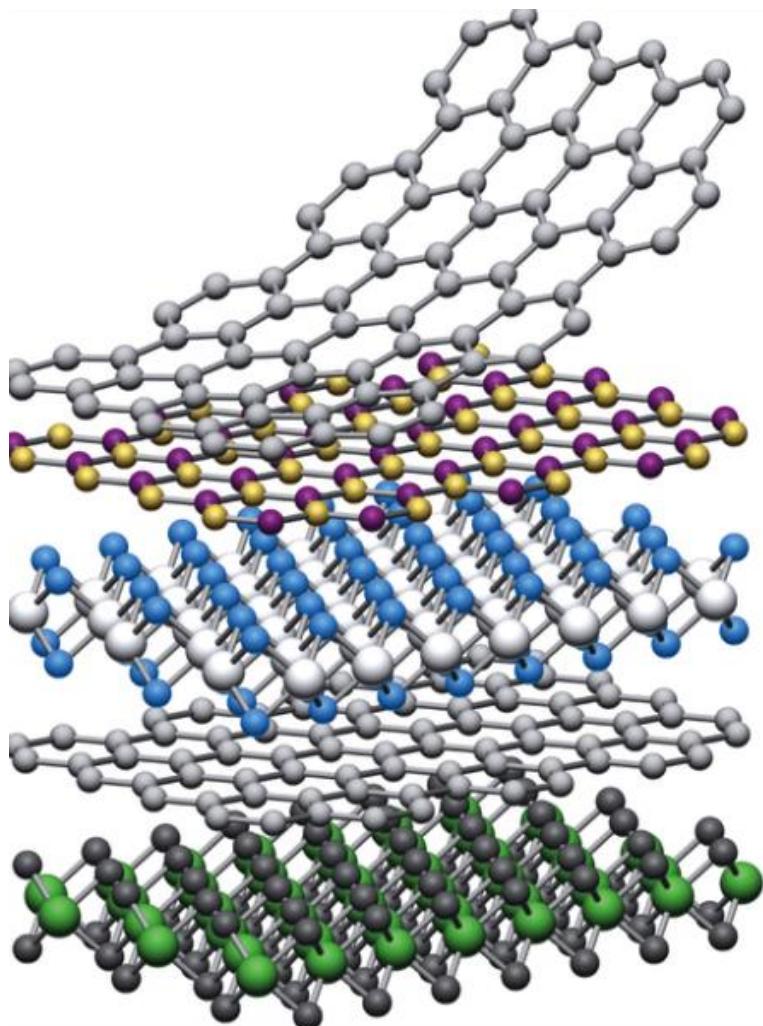
Фосфорен



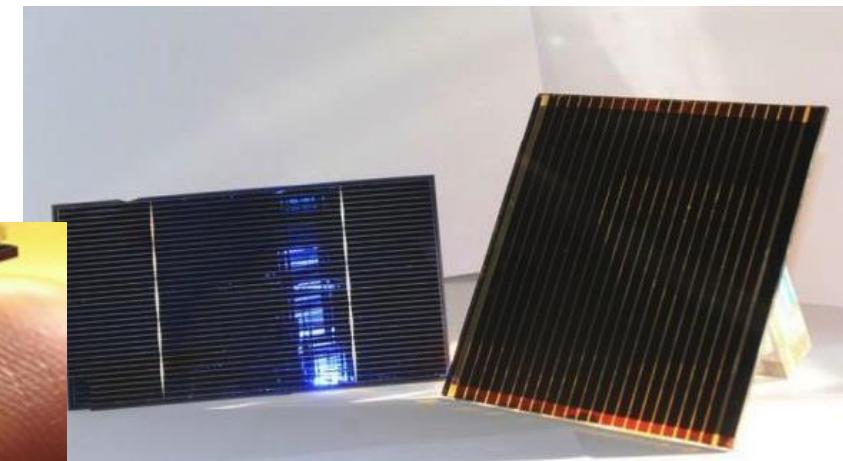
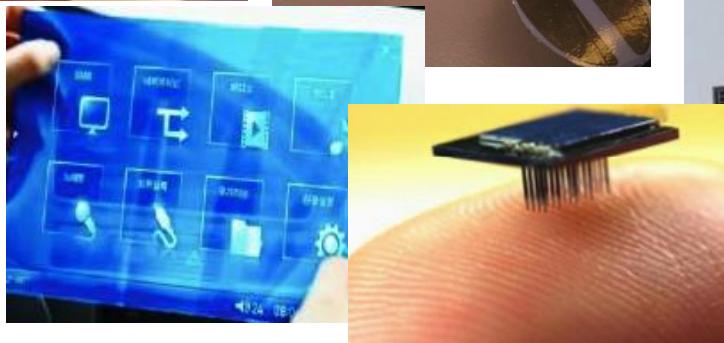
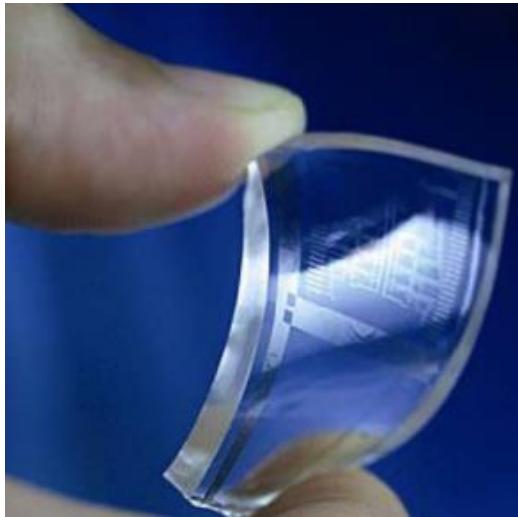
Селенид палладия



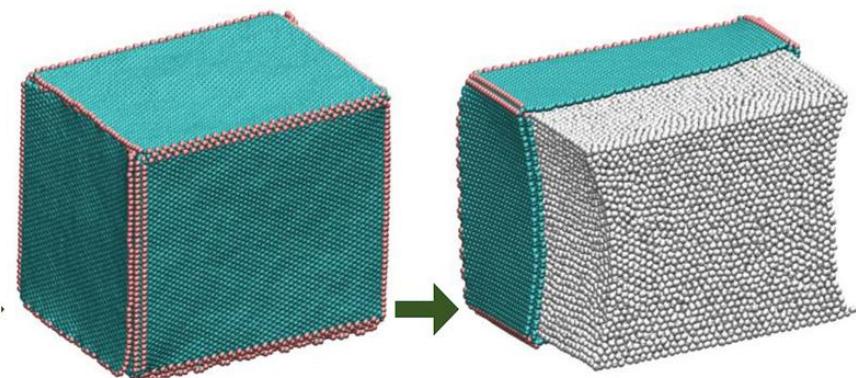
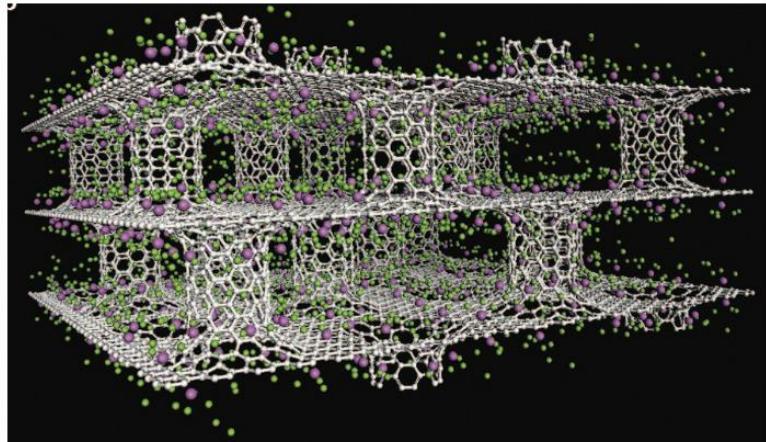
# Из Флатландии в квазидвумерный мир



# Будущее человечества

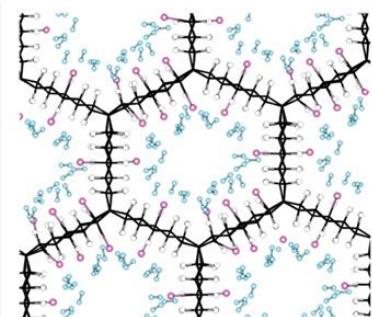
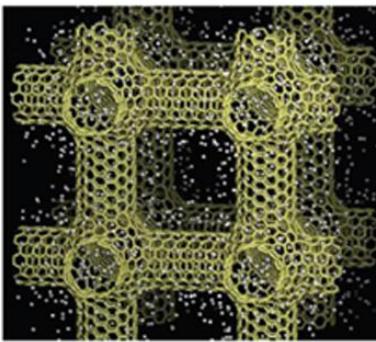
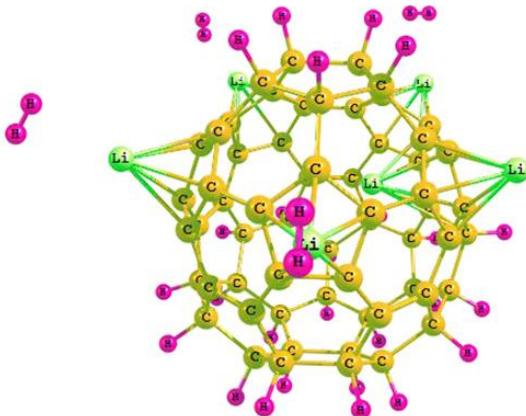


# Применение: водородная энергетика

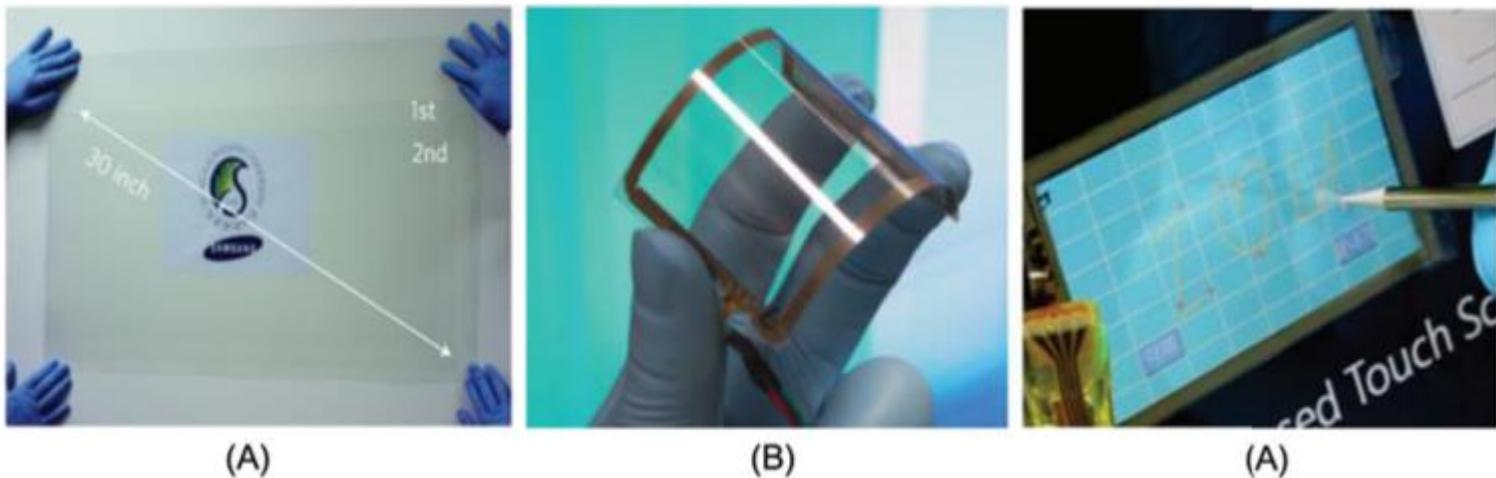


Graphene Nanocage

Molecular Storage

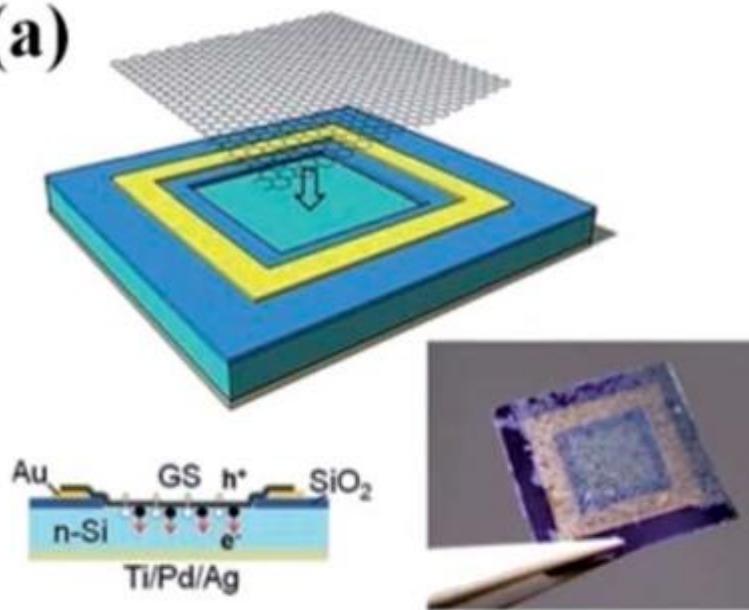


# Применение: гибкая электроника

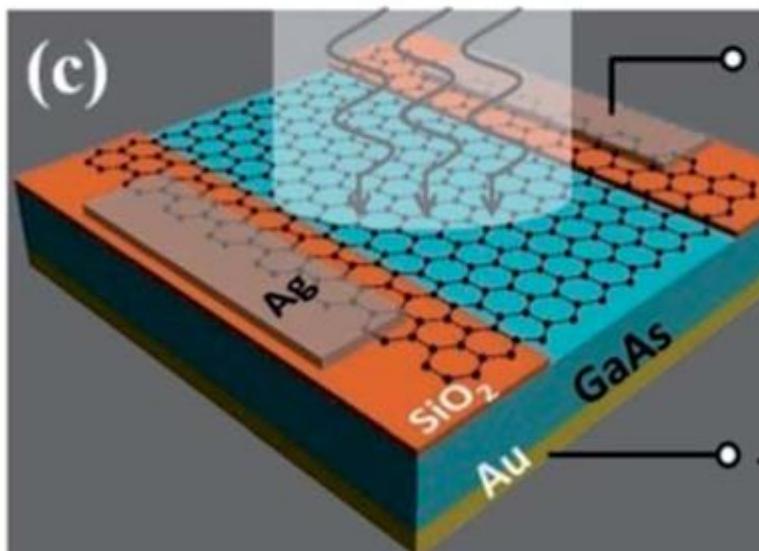


# Применение: солнечные батареи

(a)



(c)



# The End