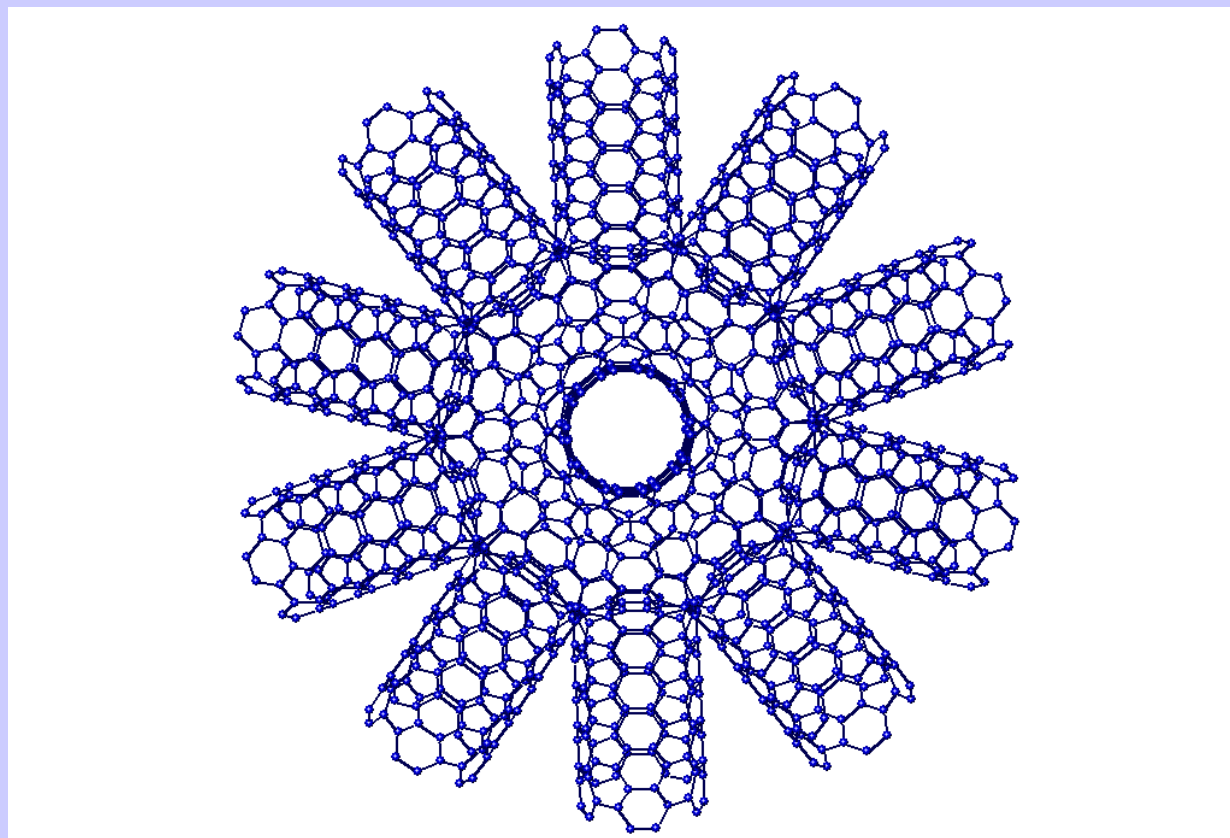


Углеродные наноматериалы с точки зрения школьной программы

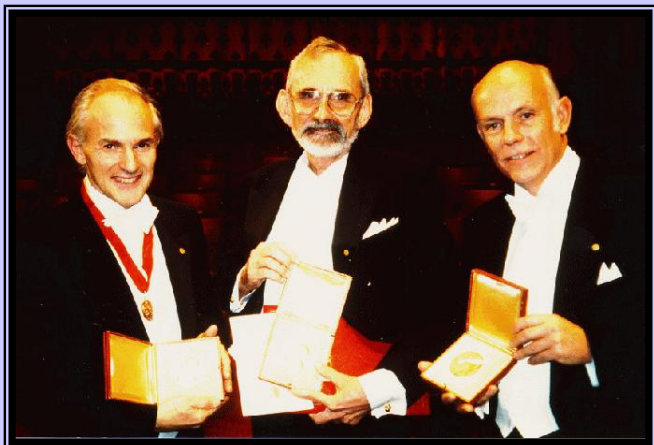
Проф., д.х.н. М.В.Коробов



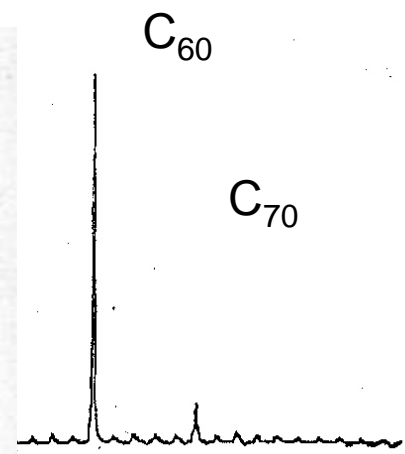
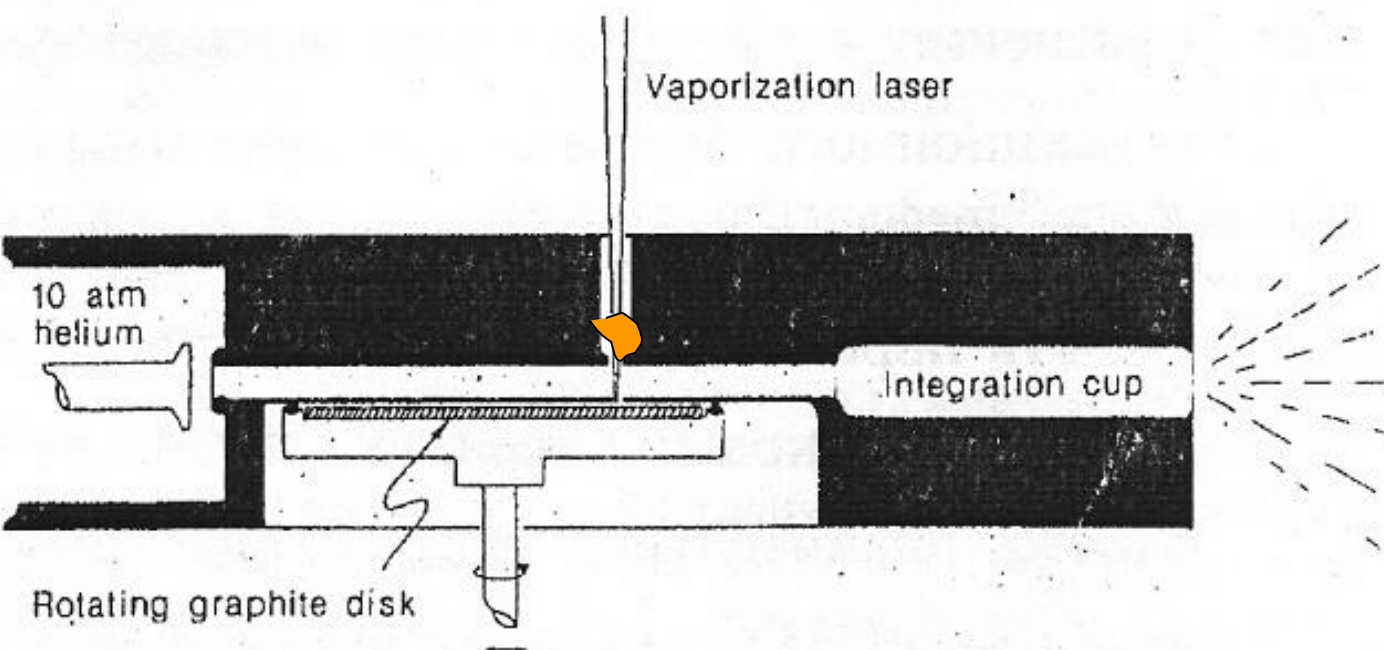
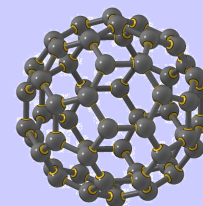
29 Ноября 2018

C₆₀: Buckminsterfullerene

H. W. Kroto^{*}, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl
& R. E. Smalley



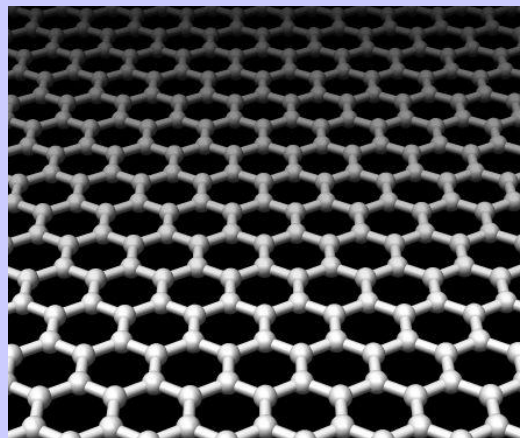
C₆₀



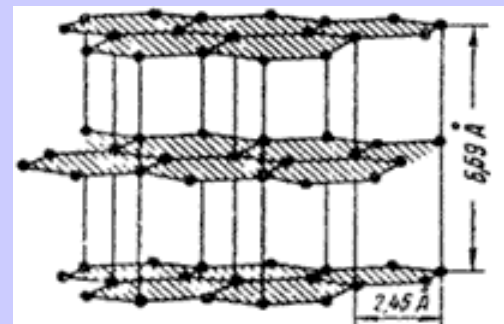
Графен (2004)



✓ Одна графитовая плоскость; 0.0077 нм



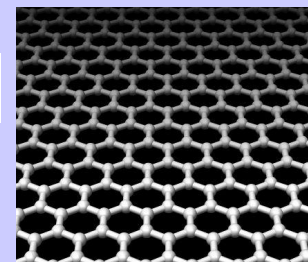
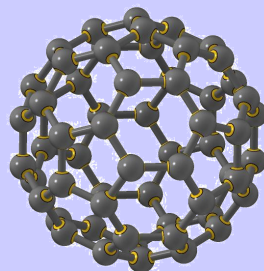
Графен



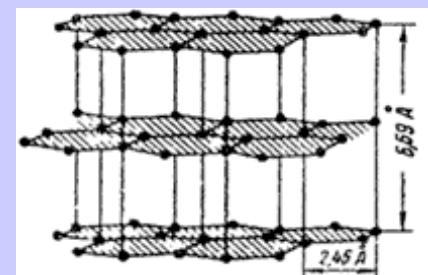
Графит и его
плоскости

Разные формы существования углерода

^{12}C



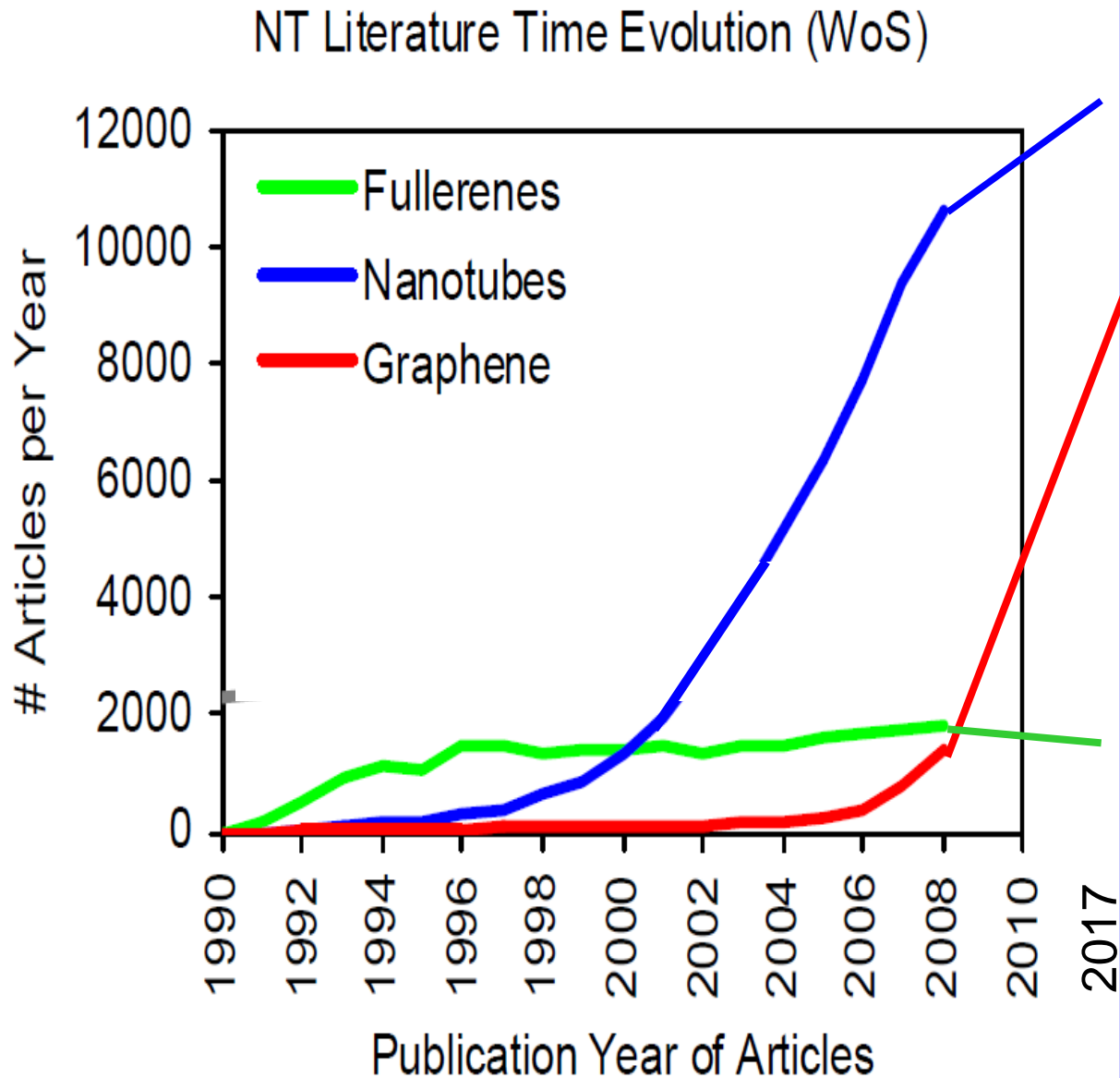
алмаз



графит

✓ Названия и терминология

Количество научных статей

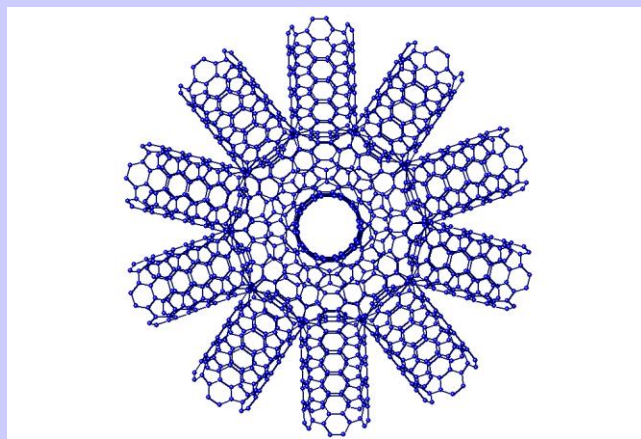


Н А Н О

*Наночастица, наноматериал, нанокompозит,
нанокатализ, нанотрубка, нанорога....*

Фуллерены и графен – с точки зрения школьной программы

29 Ноябрь 2018

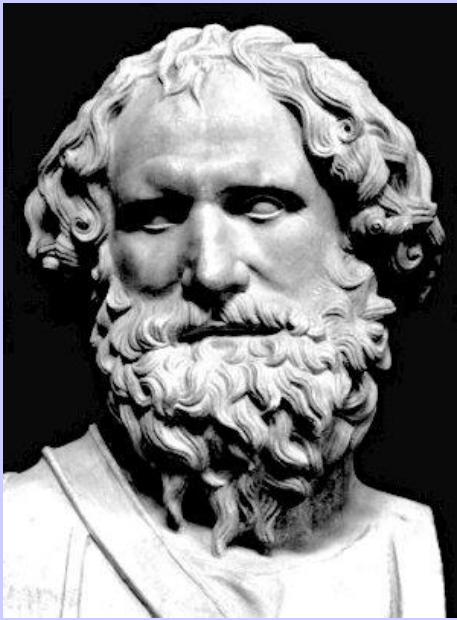


Фуллерен

1. Обратимые и необратимые химические реакции. Химическое равновесие. Смещение химического равновесия под действием различных факторов. Тепловой эффект химической реакции. Термохимические уравнения.
2. Скорость химической реакции, ее зависимость от различных факторов
3. Изотопы, изомеры, *аллотропные модификации*, гомологи.
4. Установление молекулярной и структурной формулы.
5. Гибридизация атомных орбиталей углерода.

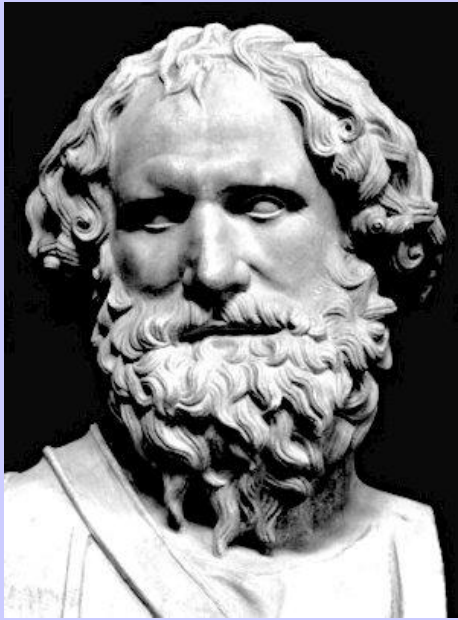
Графен.

1. Наночастица.
2. Наноматериал, размерность наноматериала.
3. Гидрофильность, гидрофобность.
4. Агрегация наночастиц.



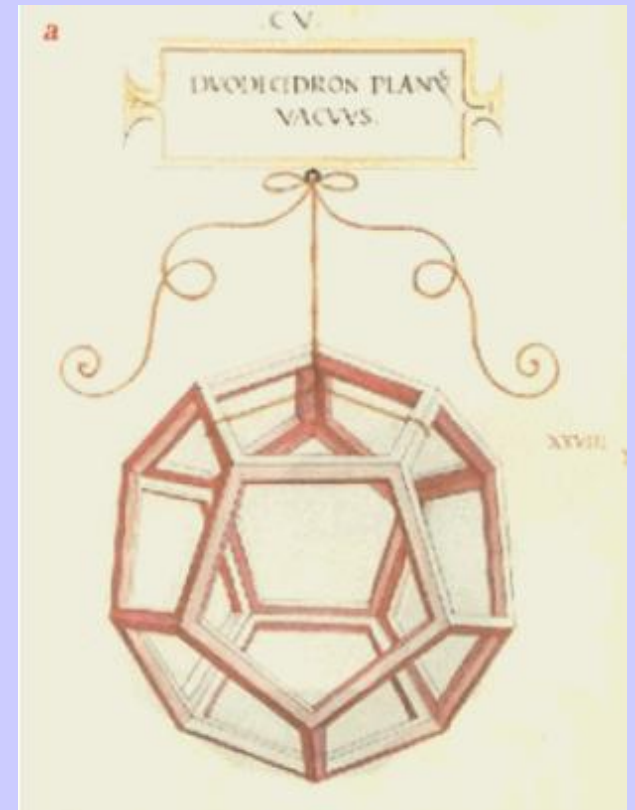
Фуллерены:

Синтез и идентификация.

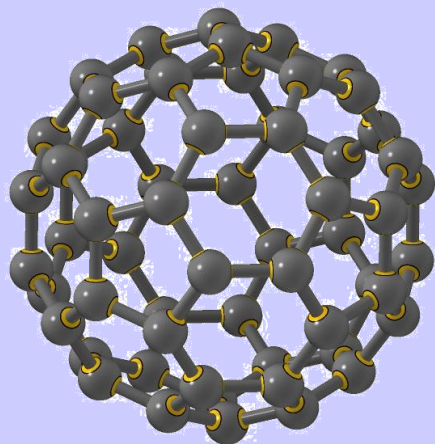


«Божественная пропорция»

C_{60} – усеченный икосаэдр,
одно из 13 тел Архимеда



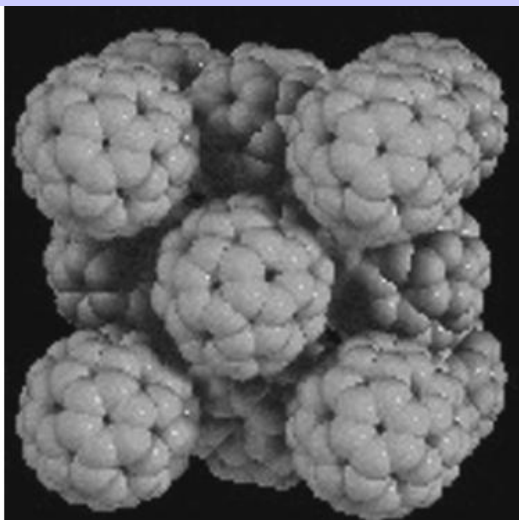
Фуллерен



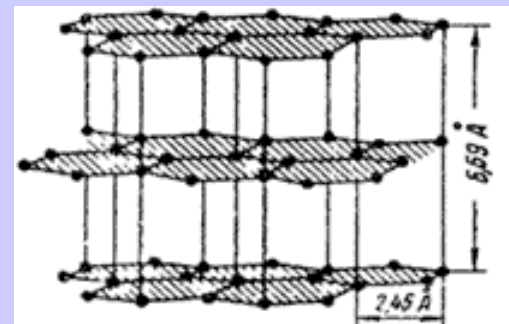
C_{60}

✓ Молекула, $d \sim 0.7$ нм. Сфера, полая внутри. Толщина стенки: ~ 0.1 нм. Атомы углерода сложены в пяти- и шестиугольники (12+20).

✓ Образует кристалл



Кристалл C_{60}



✓ Научные основы

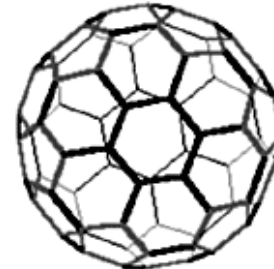
Семейство фуллеренов



$C_{60}(\bar{3}5m)$



$C_{70}(\bar{1}0m2)$



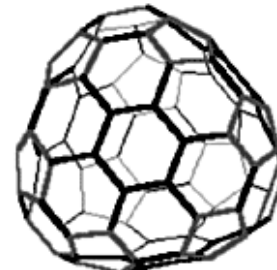
$C_{72}(\bar{1}2m2)$



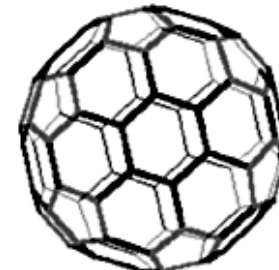
$C_{76}(\bar{4}3m)$



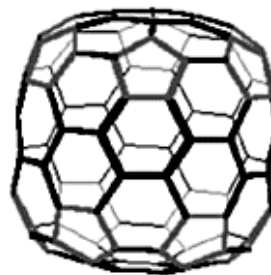
$C_{80}(\bar{3}5m)$



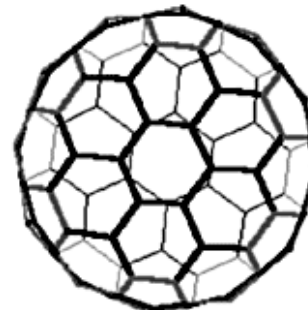
$C_{84}(\bar{4}3m)$



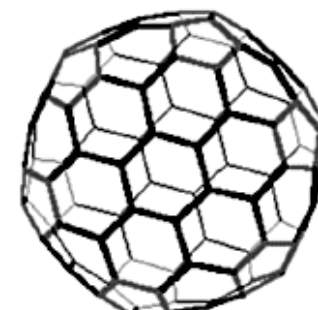
$C_{84}(6/mmm)$



$C_{96}(\bar{1}2m2)a$



$C_{96}(\bar{1}2m2)b$

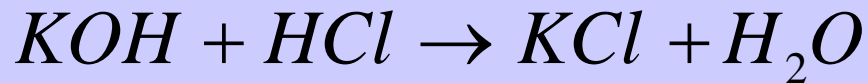
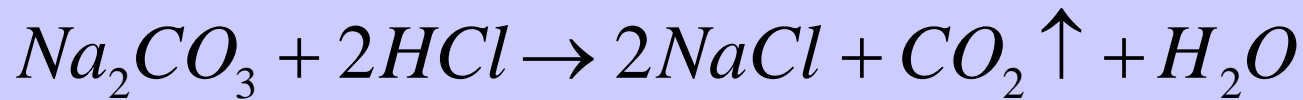
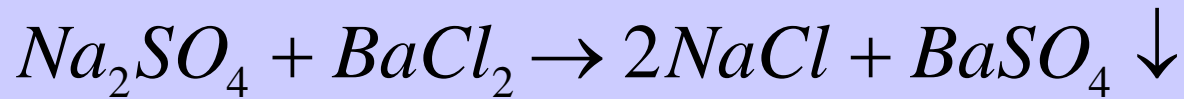


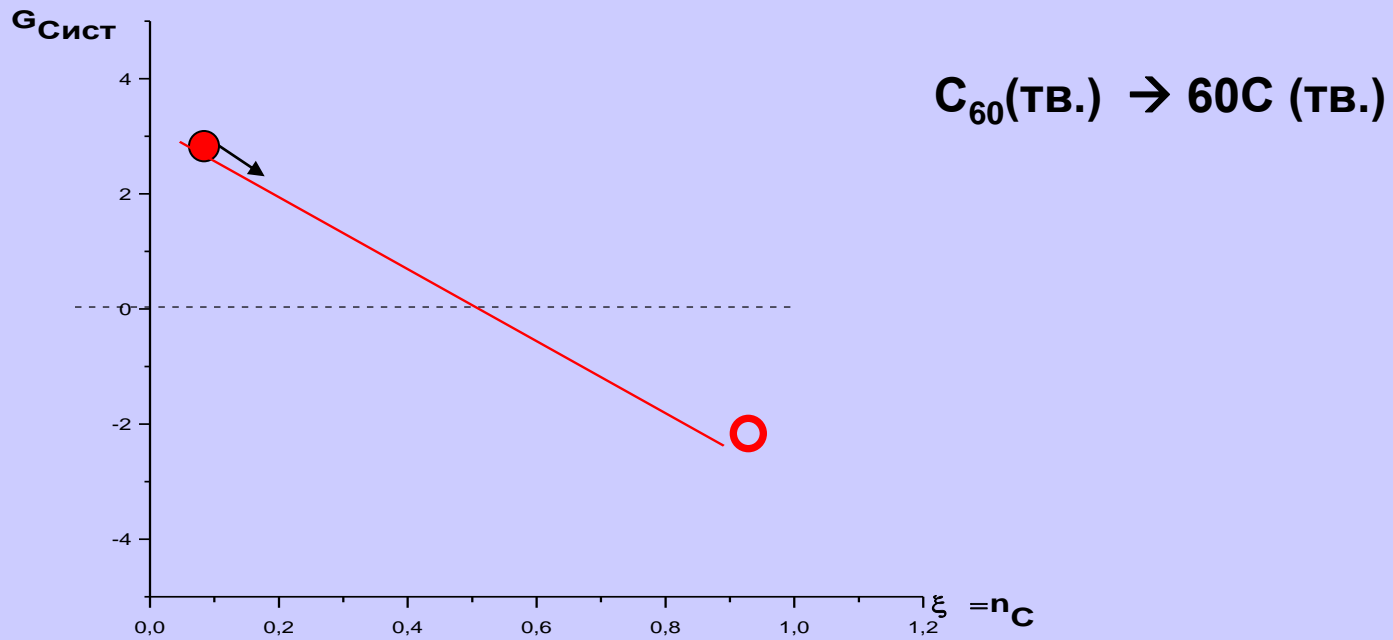
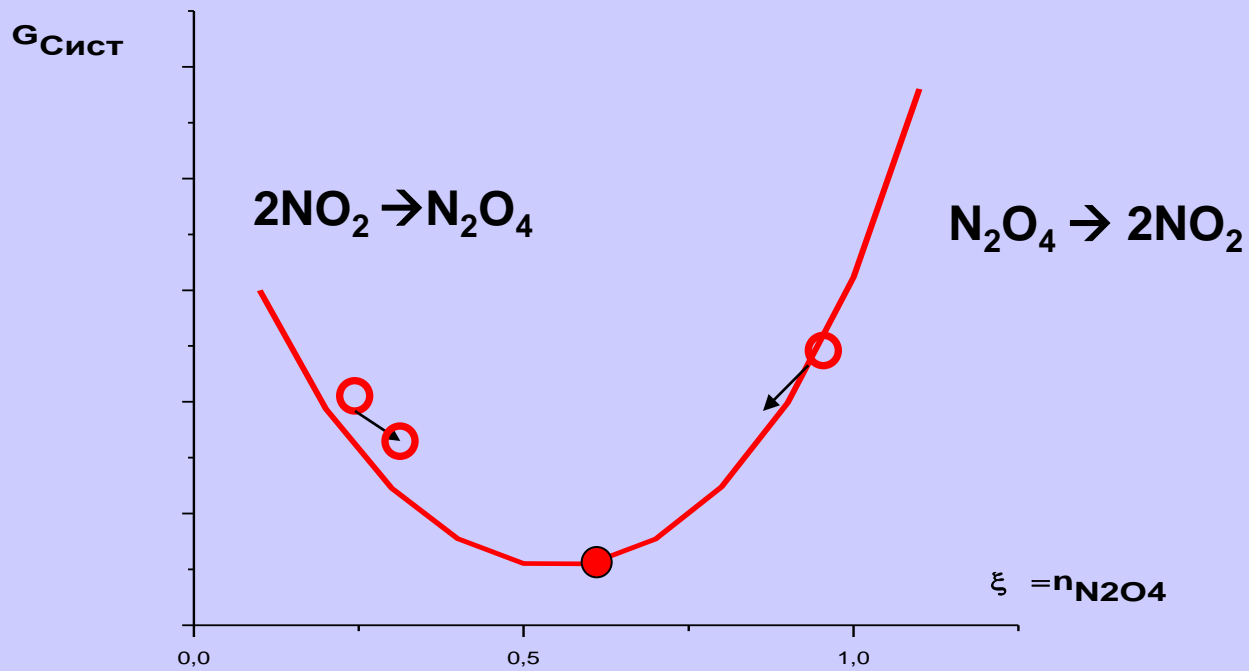
$C_{96}(6/mmm)$

ФУЛЛЕРЕНЫ?

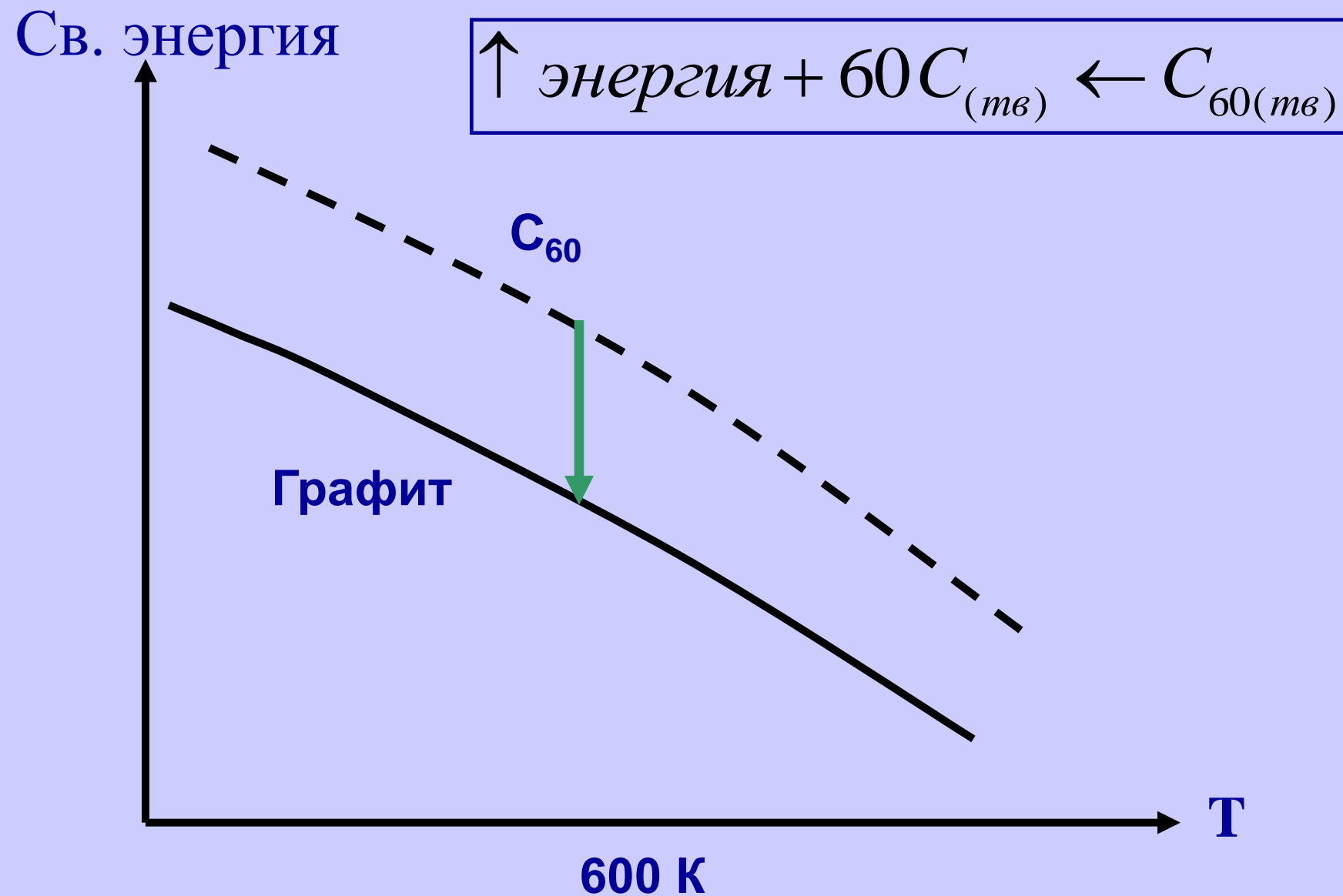
**ПОЧЕМУ ОНИ ВОООБЩЕ
СУЩЕСТВУЮТ ?**

Необратимая реакция – это реакция протекающая только в одном направлении и завершающаяся полным превращением исходных веществ

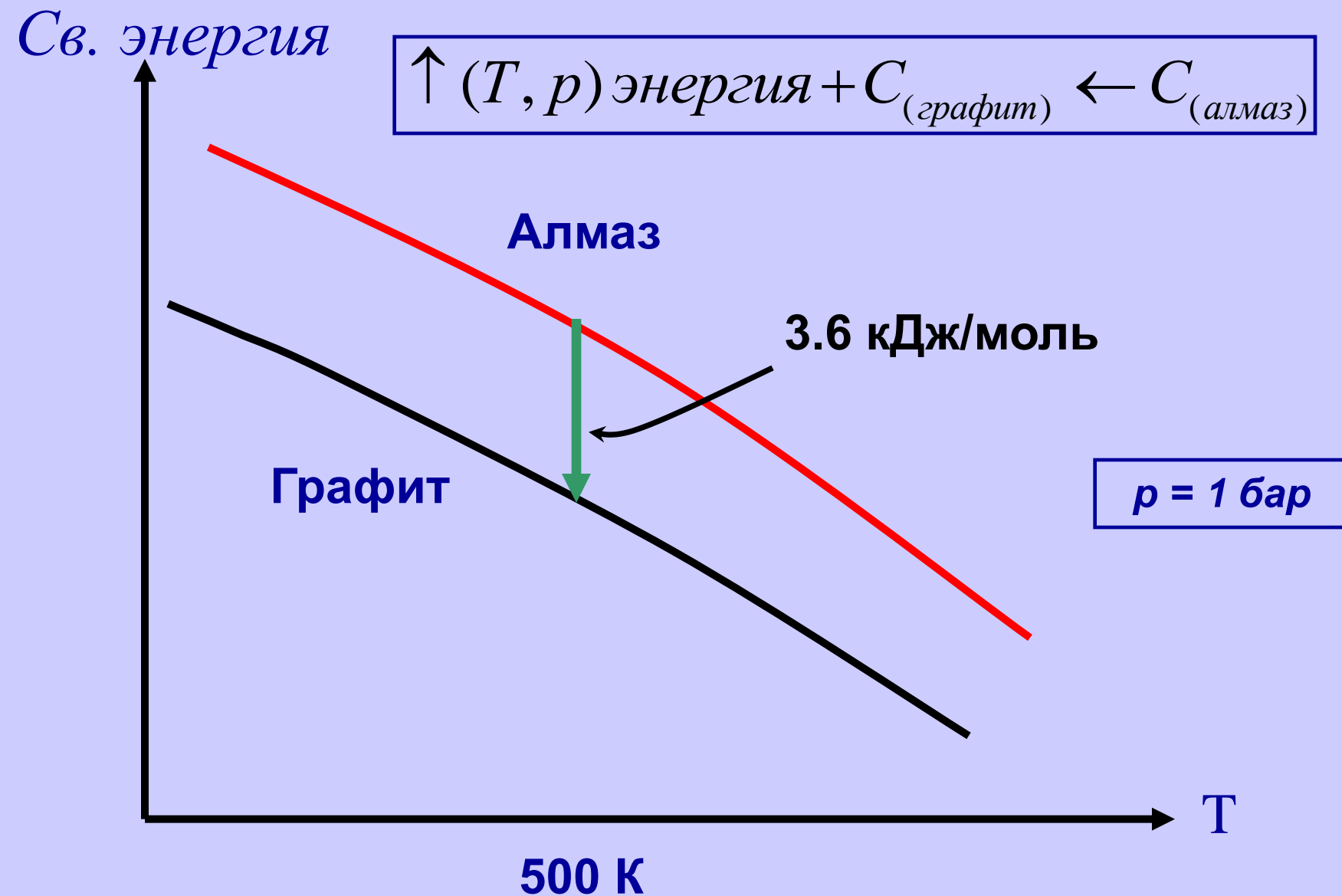




Фуллерен - графит, необратимое превращение.

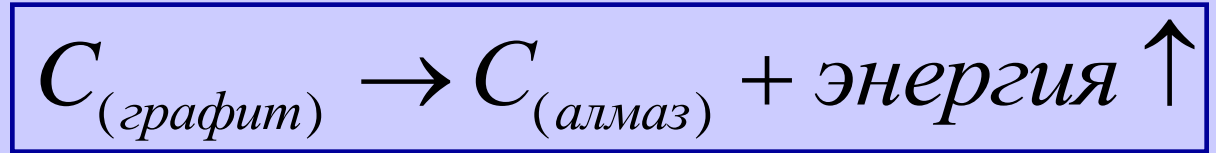


Алмаз - графит, необратимое превращение? Кинетические затруднения...



Синтез алмаза, необратимое превращение графит – алмаз

Св. энергия



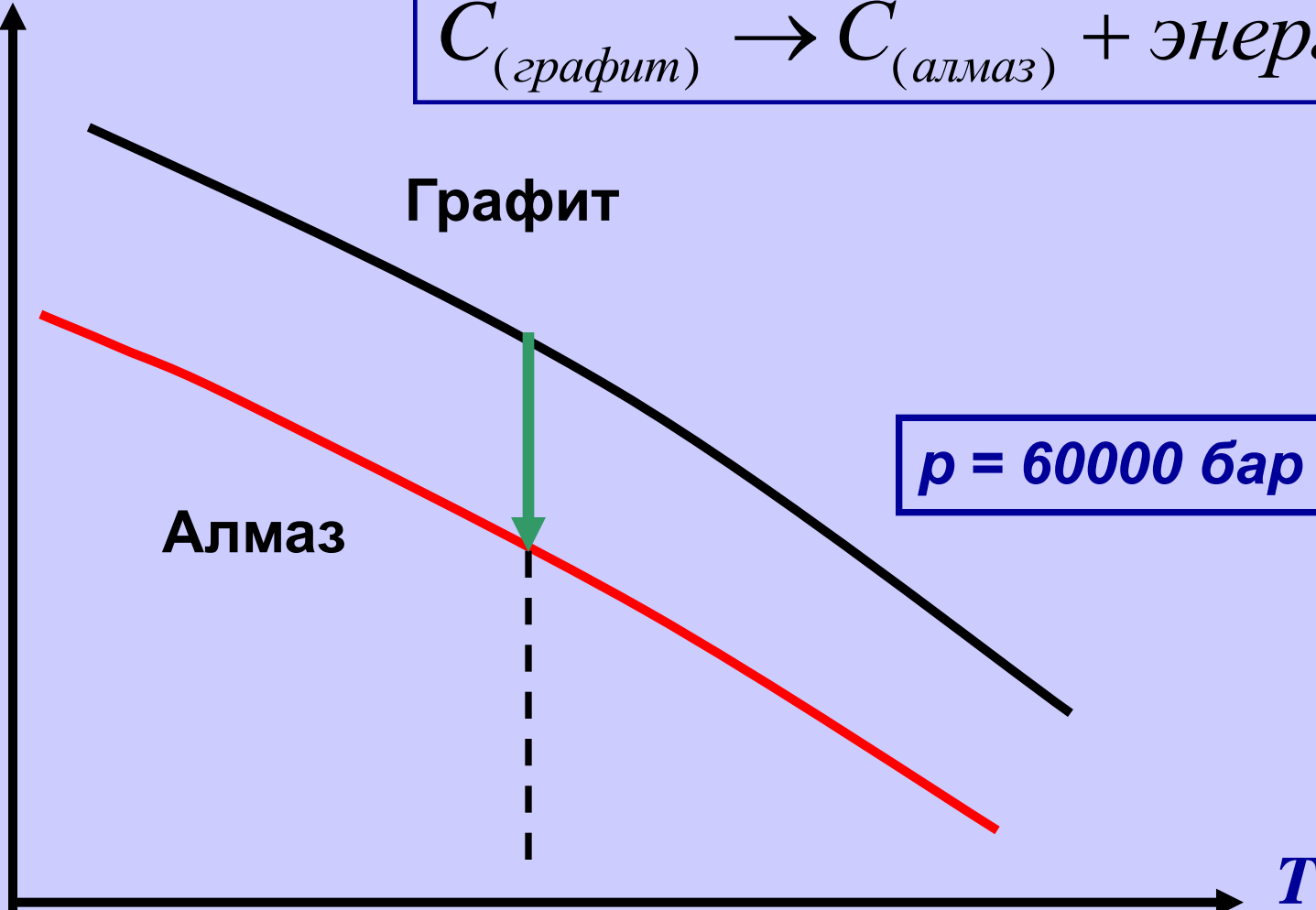
Графит

Алмаз

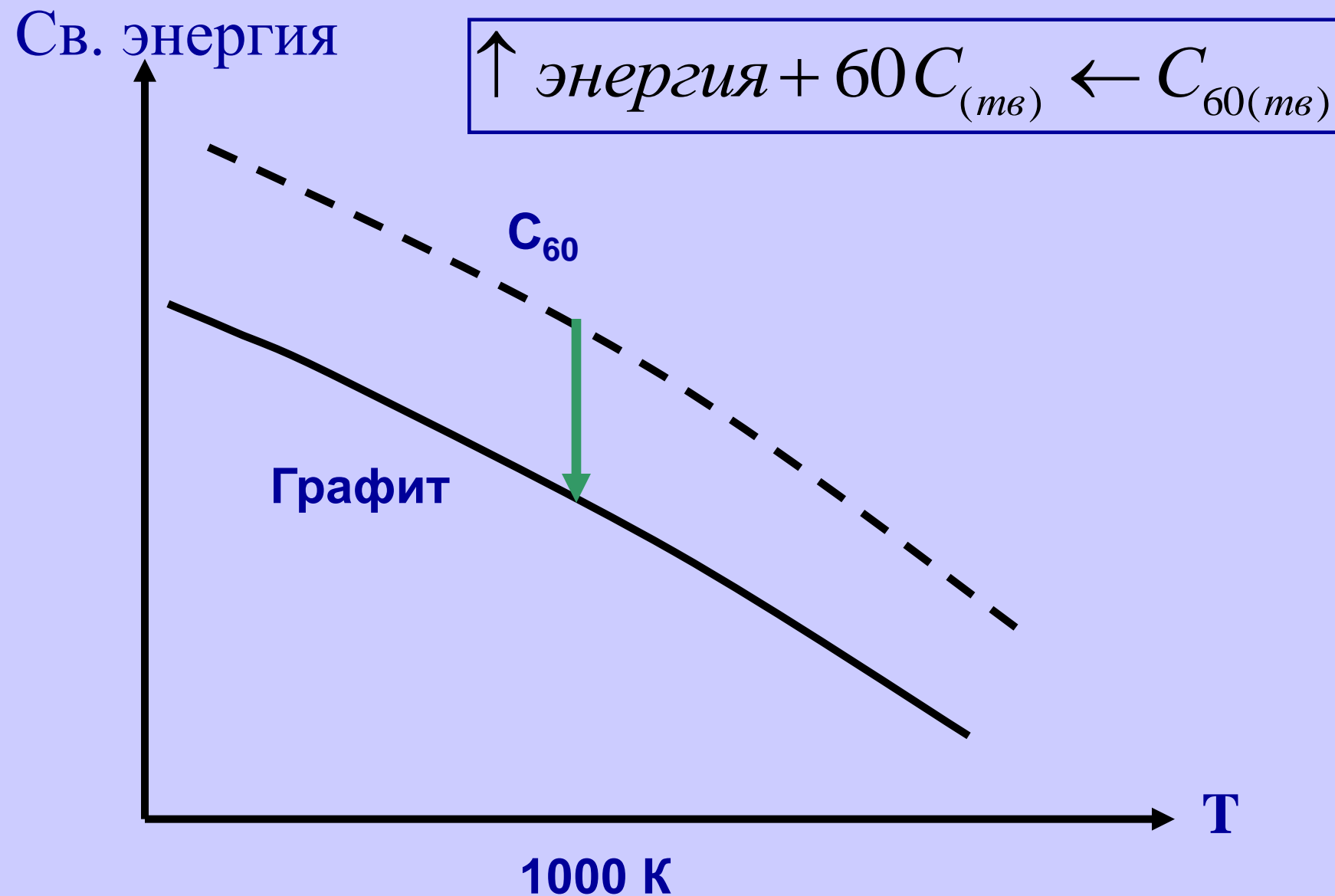
$p = 60000 \text{ бар} = \text{const}$

2000 К

T

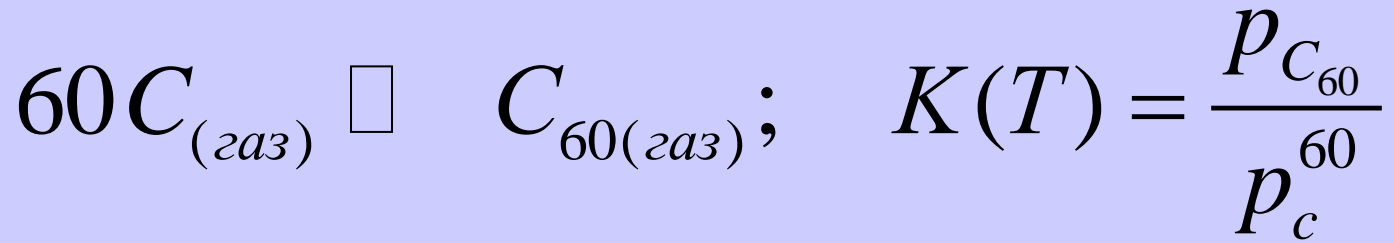


Фуллерен - графит, необратимое превращение. Всегда! Кинетические затруднения ??

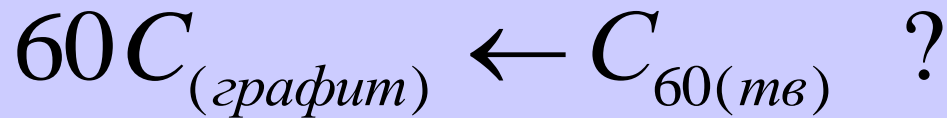


Химическое равновесие.

Смещение химического равновесия под действием различных факторов.

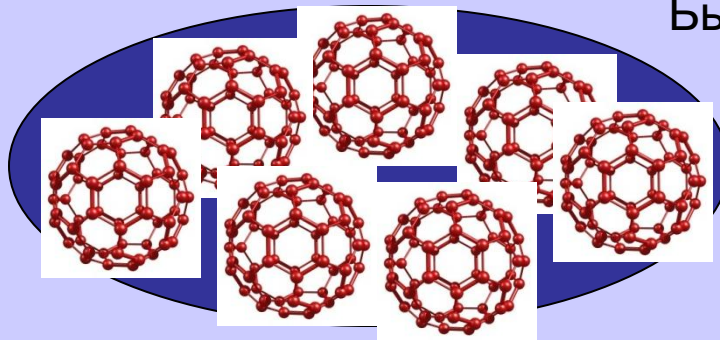
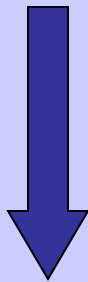
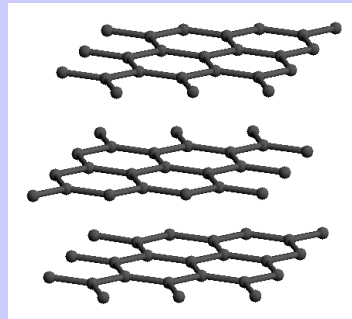


Факторы смещения равновесия: T, p_c



Как получить фуллерен ?

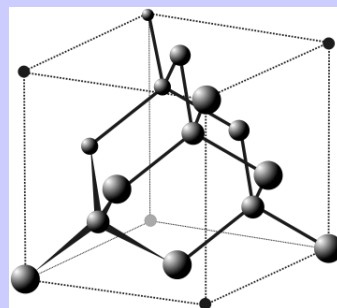
G



Быстрое уменьшение p и T



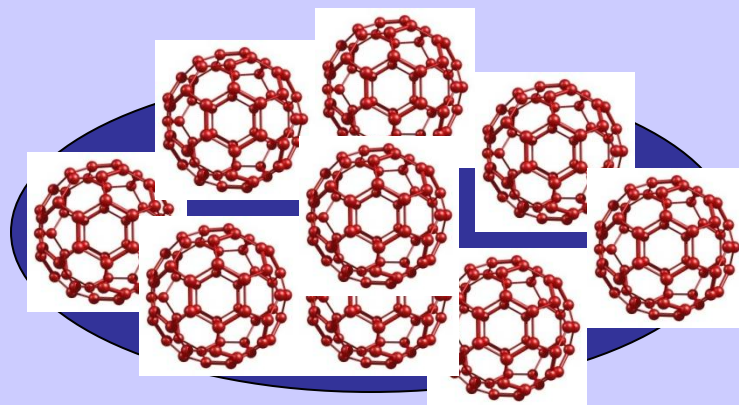
«Закалка» !



Условия:

Высокие p и T

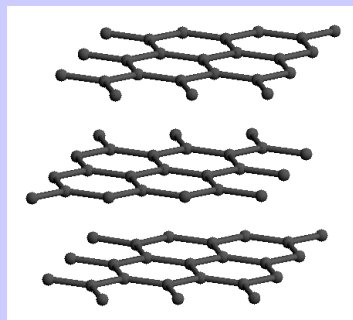
При нормальных p и T фуллерен должен превратиться в графит,
но процесс идет слишком медленно!

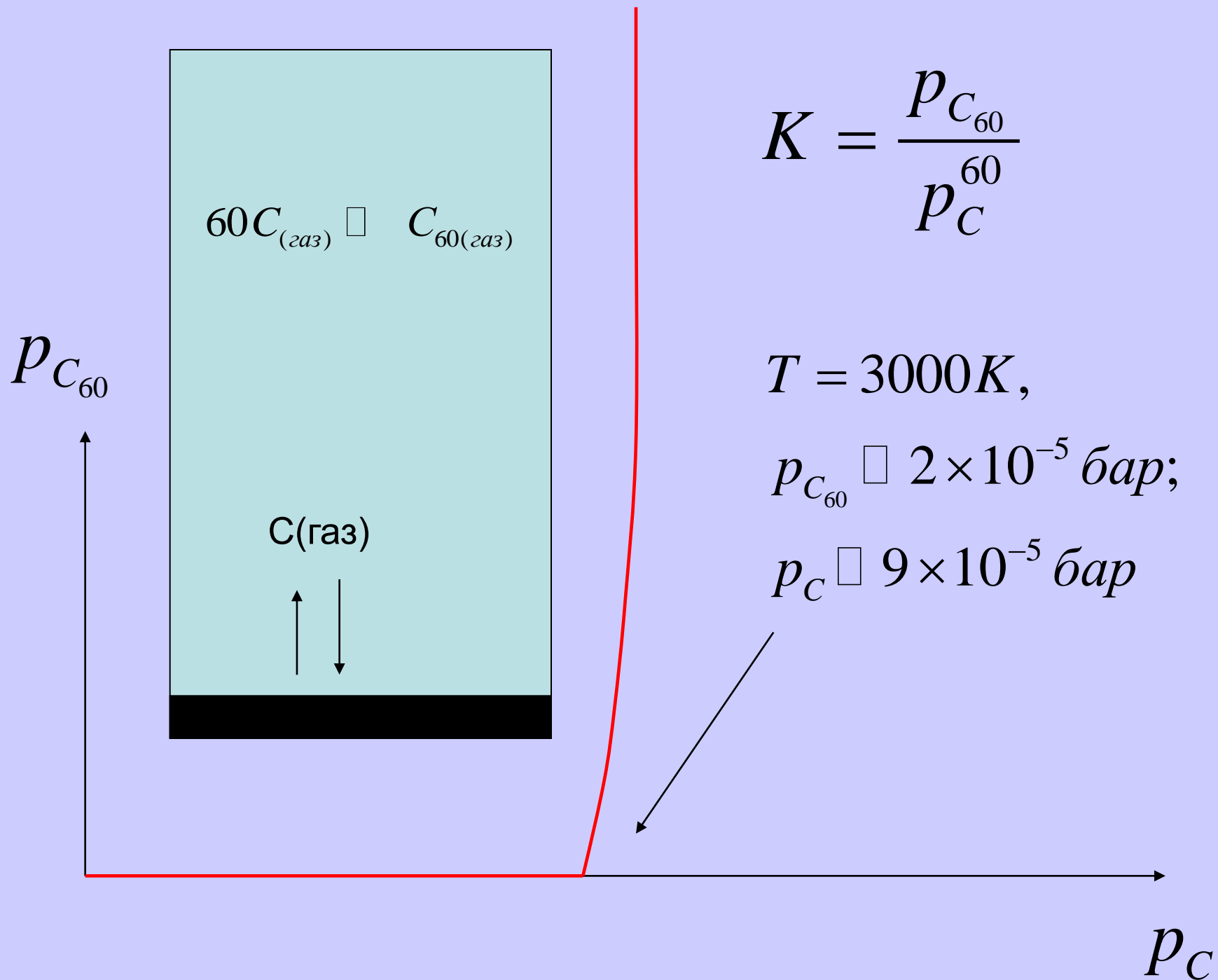


Условия:

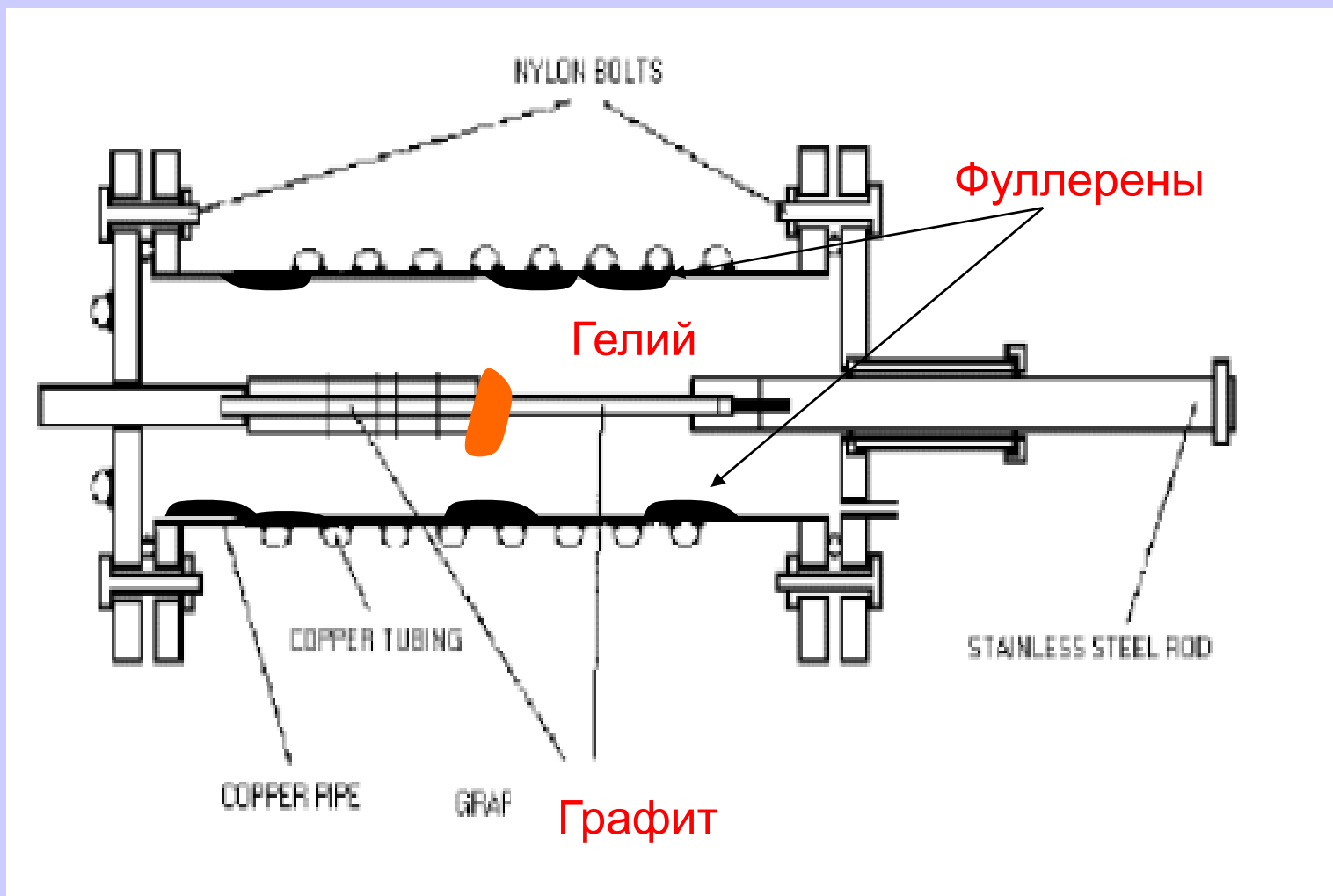
$T = 20^{\circ}\text{C}$, $p = 1$ атм

Практически не идет !



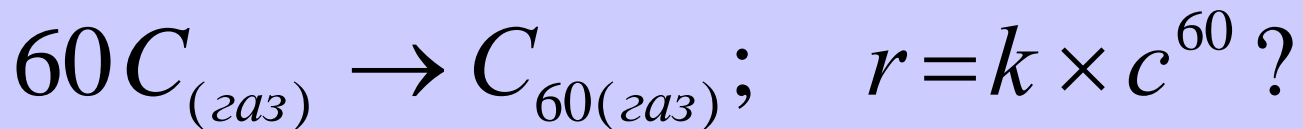


Установка Кретчмера



Гелий: 100 торр Разряд: 10-15 секунд

Скорость химической реакции,
ее зависимость от различных факторов



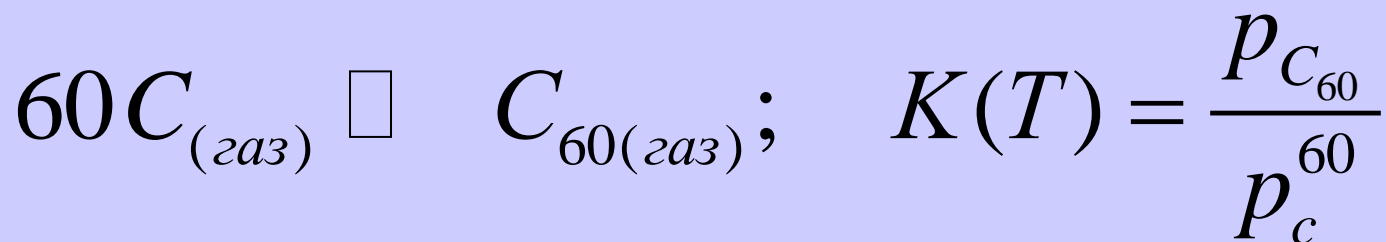
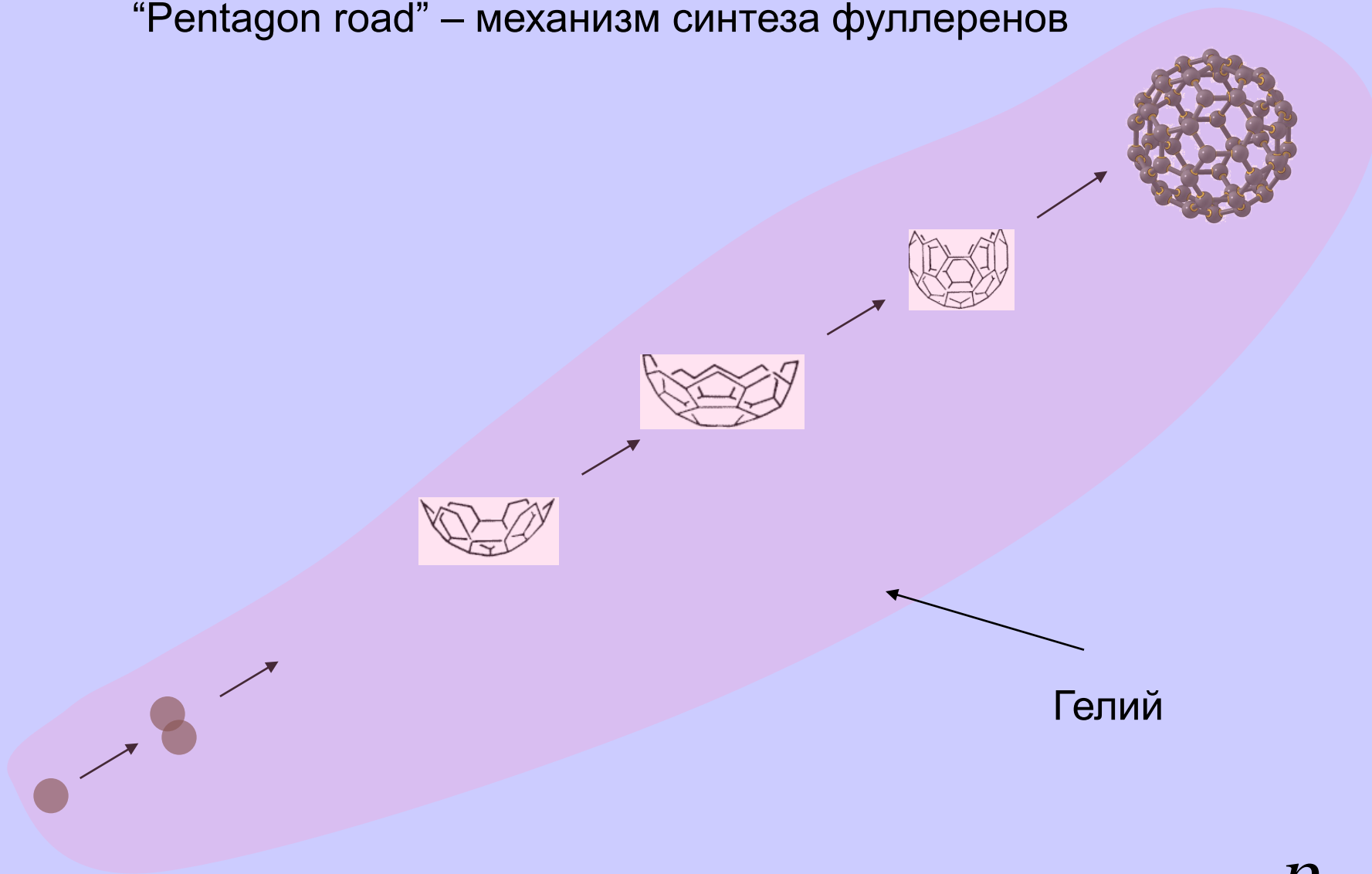
$$r = k_2 c_X c_{C_2}$$

$\cdot C = C^\bullet$ – радикал.

“Pentagon road” – механизм синтеза фуллеренов

1. Последовательное присоединение мелких фрагментов (возможно, C_2).
2. На каждой стадии успевают образоваться структура с наименьшей свободной энергией (*помогает гелий!*), т.е.
 - a) Только пяти- и шестиугольники в структуре.
 - b) Максимальное число пятиугольников
 - c) Пятиугольники не граничат друг с другом.

“Pentagon road” – механизм синтеза фуллеренов



О фуллеренах

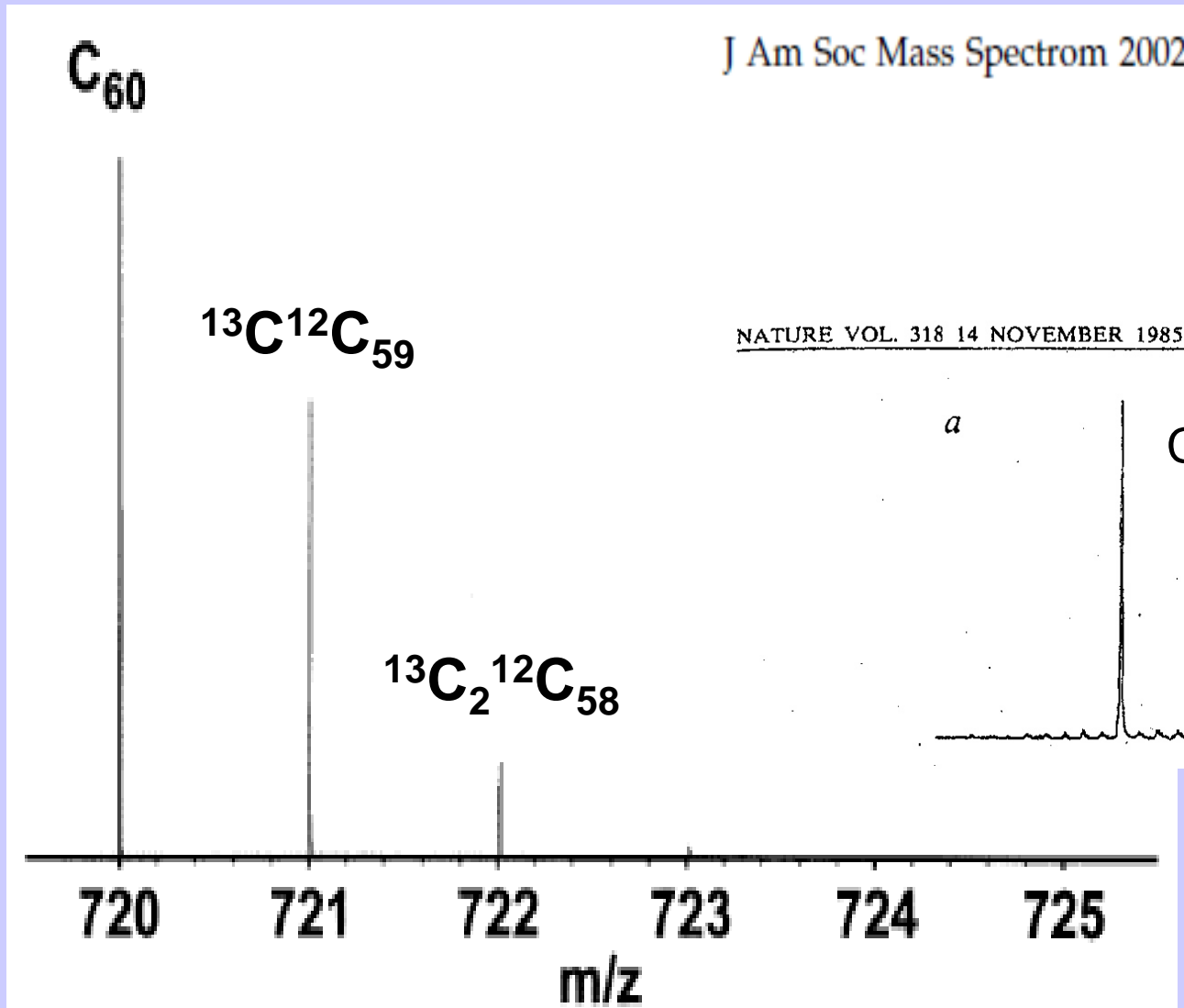
и других углеродных *нано-*:

✓ Фуллеренов нет в природе. Они не являются формами с минимальной свободной энергией

✓ Обнаружение *фуллеренов* в экспериментах – случайность и большое достижение. Точной теории синтеза не существует, направленный синтез пока невозможен.

✓ При синтезах *фуллеренов* используют «закалку»...

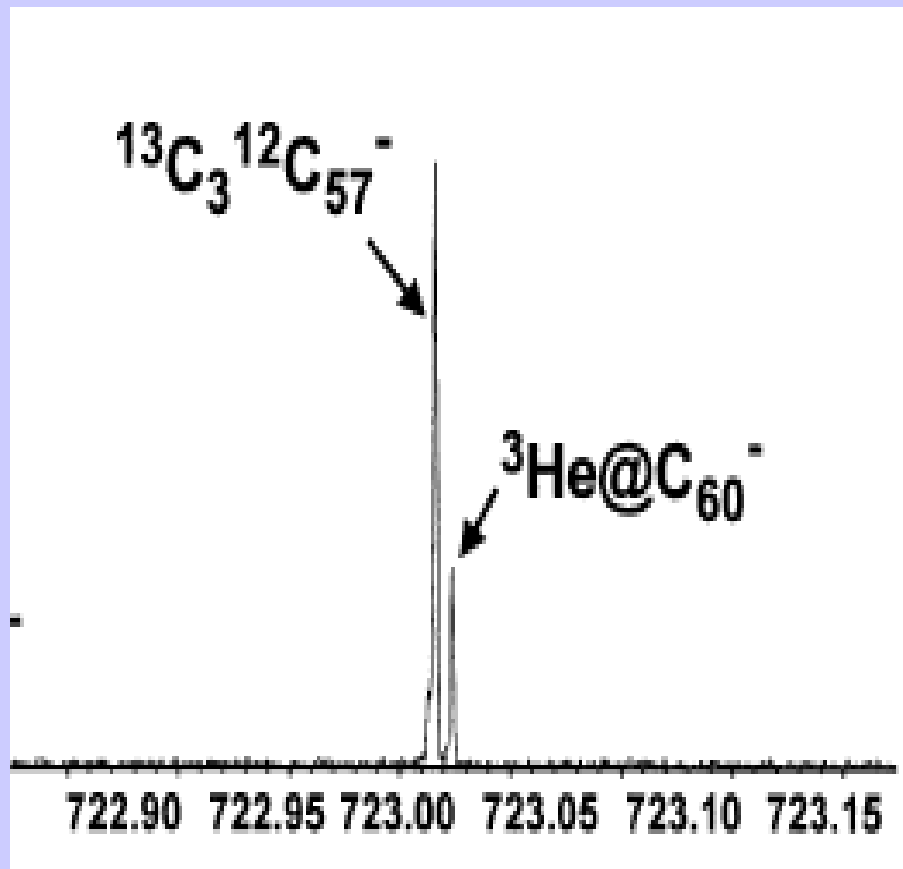
ИЗОТОПЫ : ^{12}C , ^{13}C



Установление молекулярной формулы.

Установите формулу предельной одноосновной карбоновой кислоты, если при реакции 30 г с избытком карбоната натрия выделился газ, который при пропускании через известковую воду даст 10 г осадка.

Установление молекулярной формулы. Масс - спектр



$$^{13}\text{C}_3\ ^{12}\text{C}_{57} = 723,009$$

$$^3\text{He}\ ^{12}\text{C}_{60} = 723,016$$

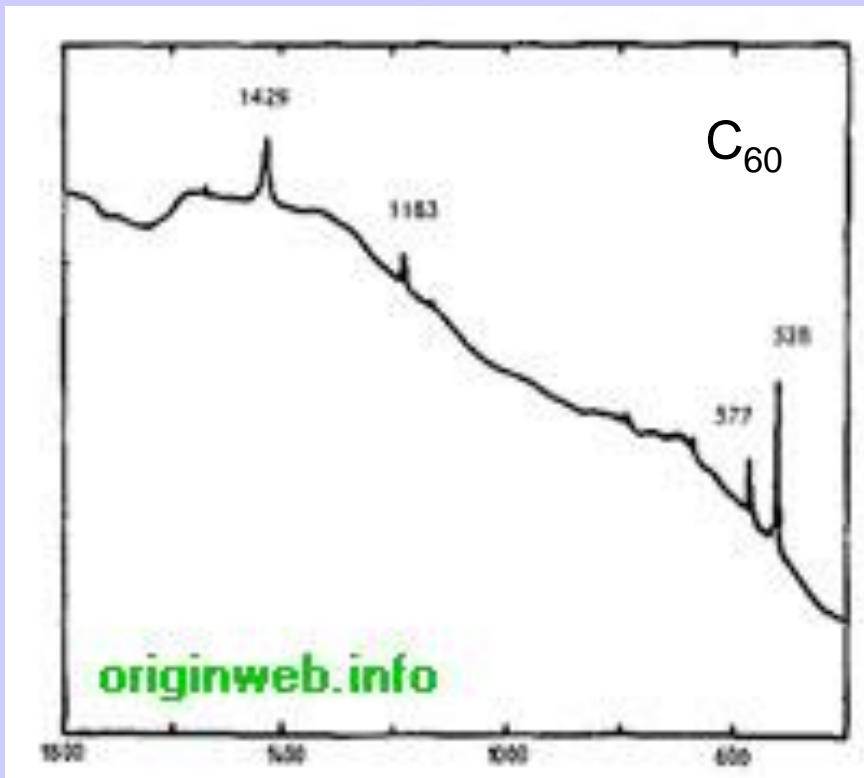
Разница в массах: 0,00098%

Установление структурной формулы

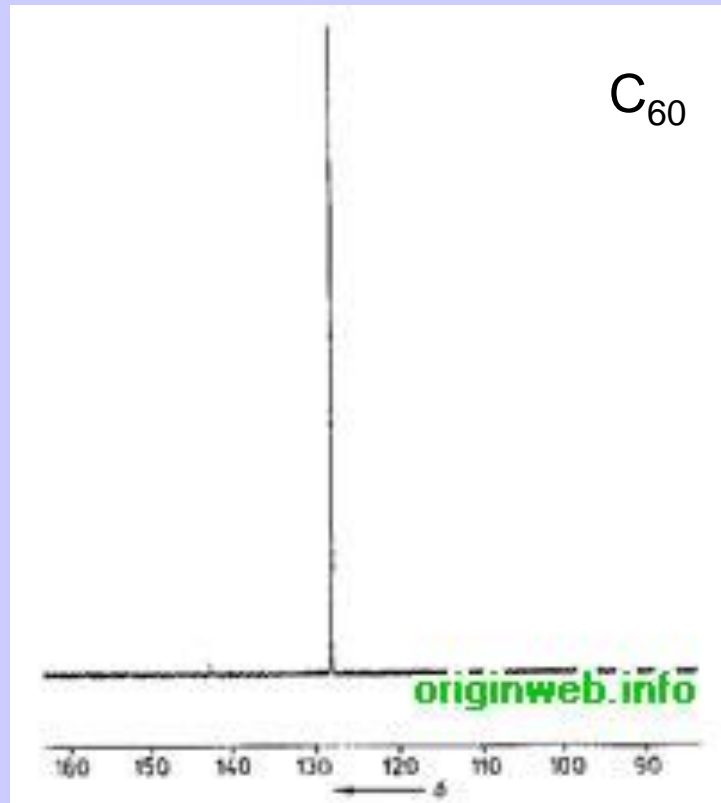
Дана формула окисла азота, N_2O_5 .

Найти валентность азота в этом соединении.

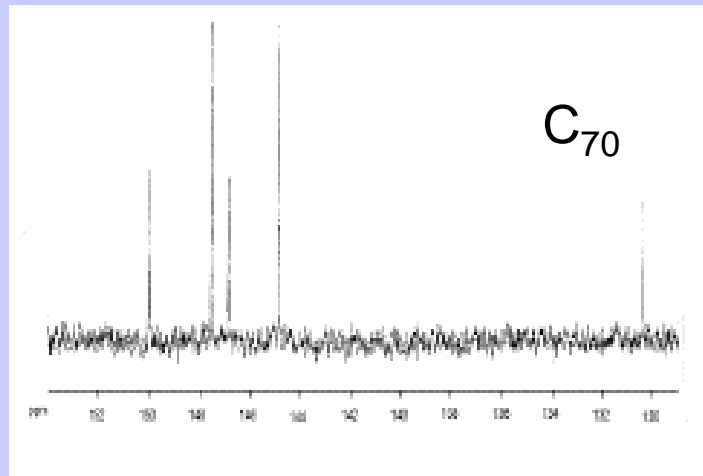
Установление структурной формулы, ЯМР ^{13}C , ИК - спектр



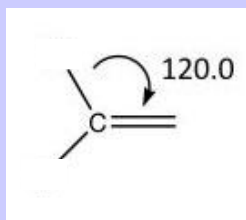
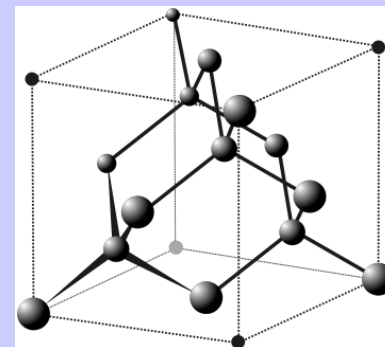
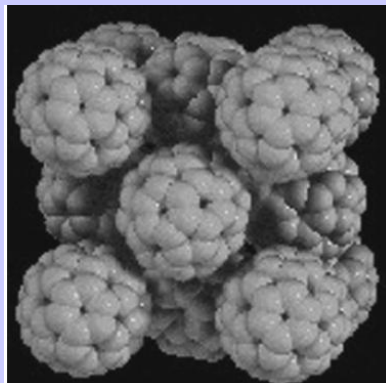
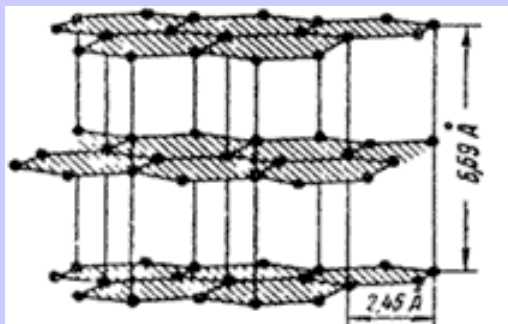
ИК-спектр



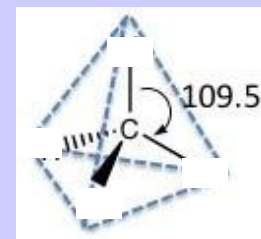
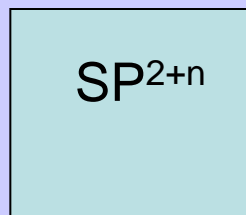
^{13}C ЯМР



Гибридизация атомных орбиталей углерода



sp^2

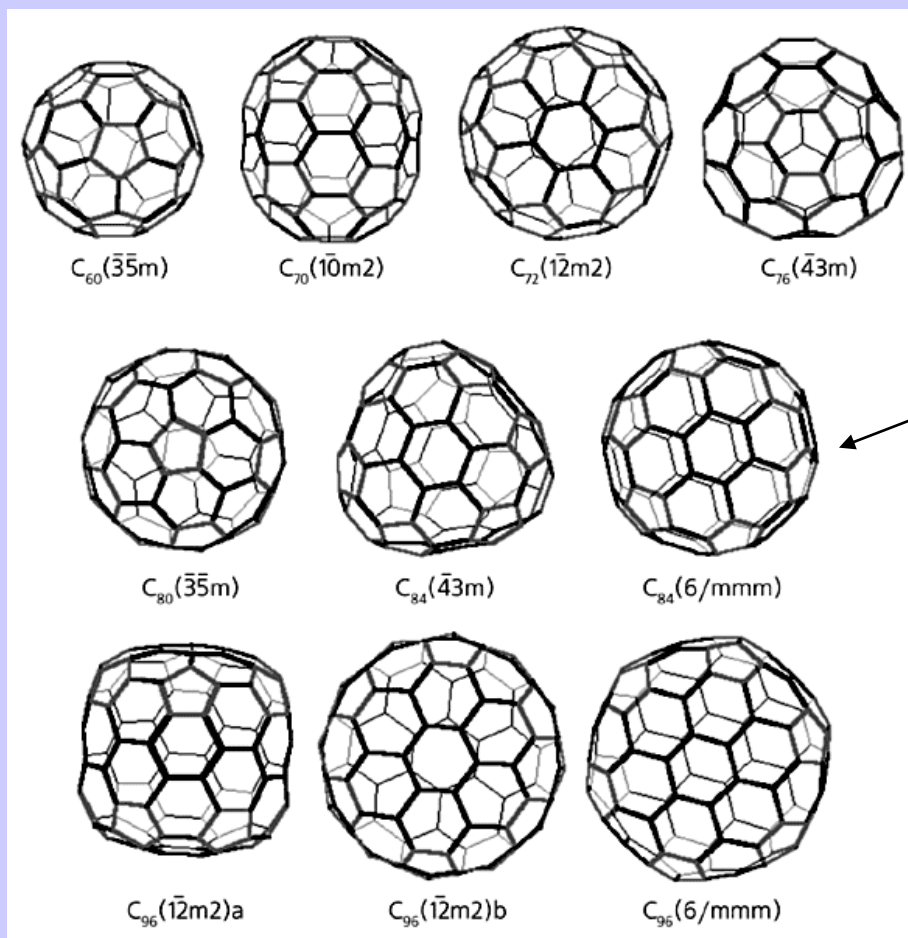


sp^3

Научные основы

ИЗОМЕРЫ и ГОМОЛОГИ

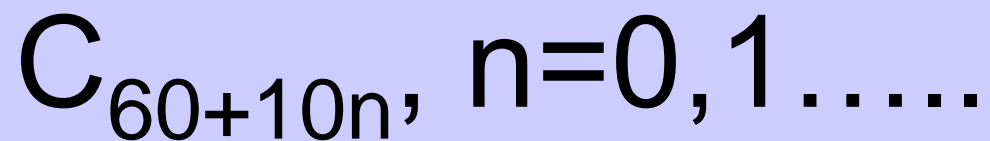
ИЗОМЕРЫ — молекулы или ионы, имеющие одинаковый состав и молекулярную массу, но различающиеся строением или расположением атомов в пространстве.



24 изомера



Фуллерены – гомологи? Не все..



Гомологический ряд — ряд химических соединений одного структурного типа....

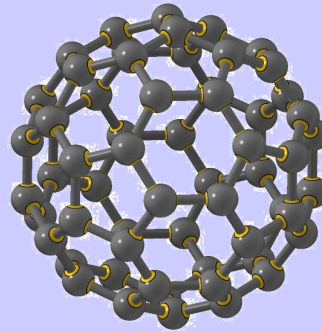
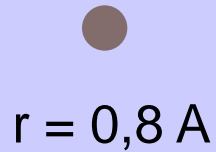
Аллотропия углерода

Аллотропия – различные формы существования химического элемента в газе, жидкости и твердом состоянии

C

C₆₀

В газе:



.....

r = 5 Å

В жидкости:

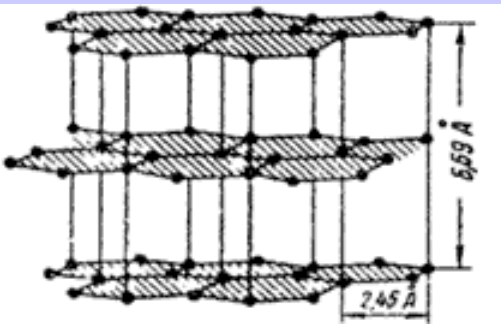
?

В тв. состоянии:

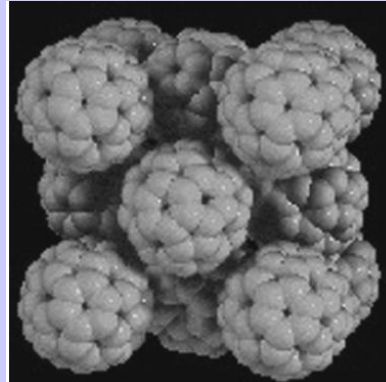


Аллотропия углерода в тв. состоянии.

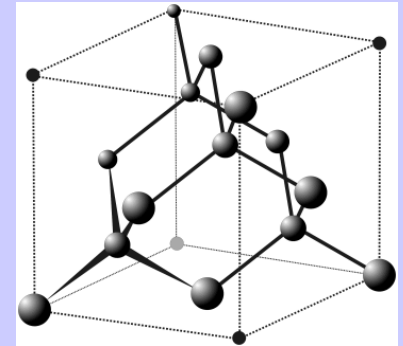
Аллотропные формы (3D):



Графит

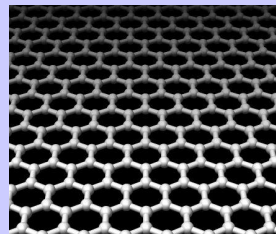


Фуллерен



Алмаз

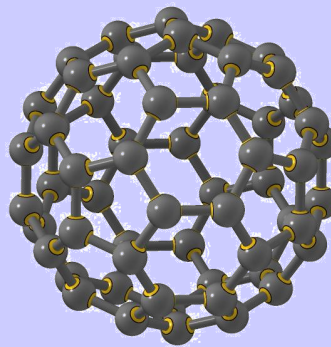
Аллотропная форма (2D): графен



Графен

Что такое «наночастица»?

Изолированный твердофазный объект, имеющий отчетливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трех измерениях составляют от 1 до 100 нм.



ФУЛЛЕРЕНЫ: НАУКА

Очень краткий курс химии C₆₀

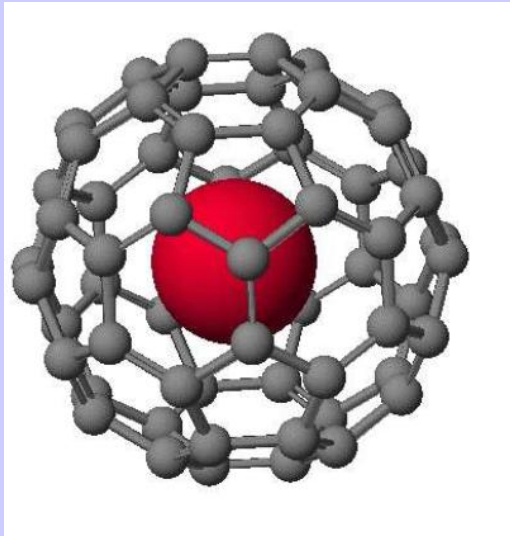


Пяти- и шестиугольники.

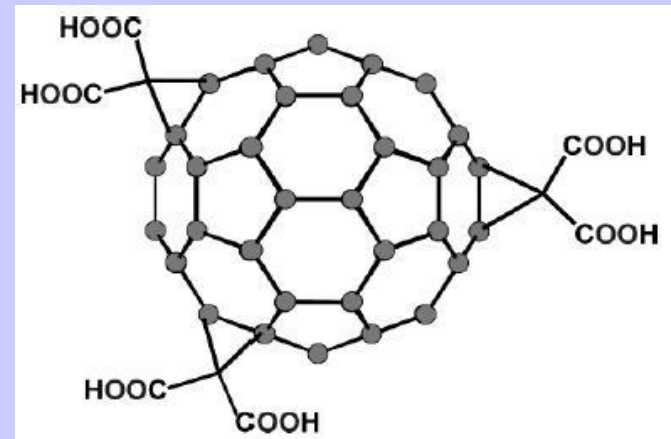
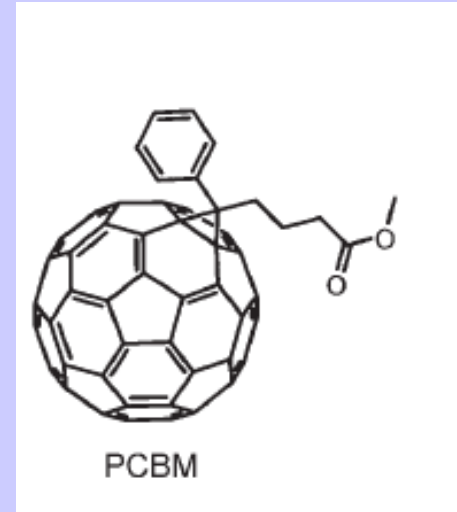
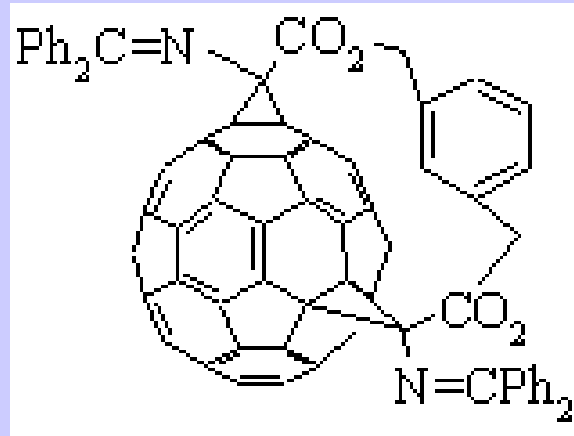
Двойные связи.

Производные фуллеренов

Эндо-фуллерен



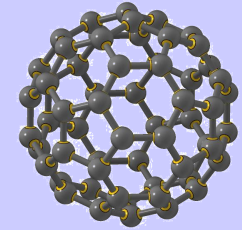
Экзо-фуллерены



✓ Названия и терминология

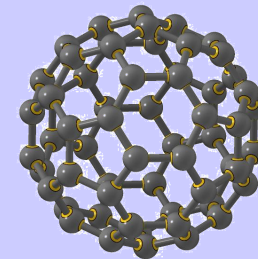
Применение фуллеренов

1996, ECS, 2017



- ✓ Сверхтвердые материалы
- ✓ Хранение водорода,
- ✓ Сверхпроводимость,
- ✓ Солнечные батареи, 44,5%; 9-25% (Si); 5% (фуллерены)
- ✓ Медицина,
- ✓ Органические проводники,
- ✓ Сенсоры,
- ✓ Смазки и т.д.

Полезные для медицины свойства C_{60}



✓ Способность «захватывать» свободные радикалы

($E_A = 2.65$ эВ), Антиоксидант. Болезни Паркинсона, Альцгеймера

✓ Фотофизические свойства

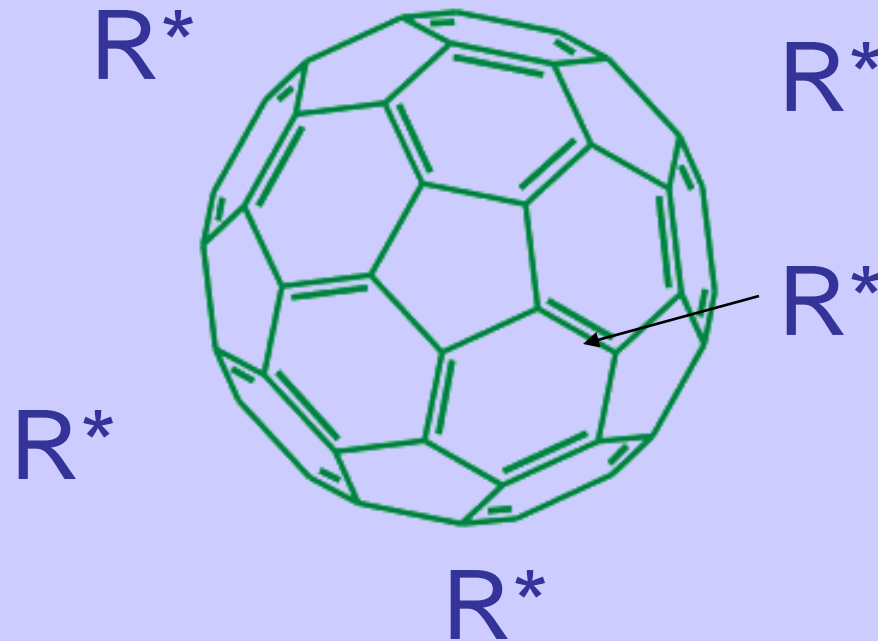
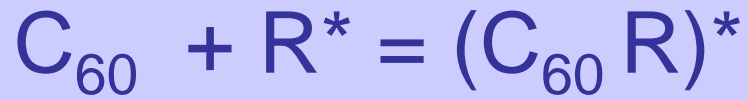
($\tau_{trip} = 135$ μ s), Сенсбилизация. Фотодинамическая терапия

✓ Способность образовывать эндоэдрылы

($Gd@C_{82}$), Контрастный агент, МРТ

✓ Токсичность ?

Антиоксидант

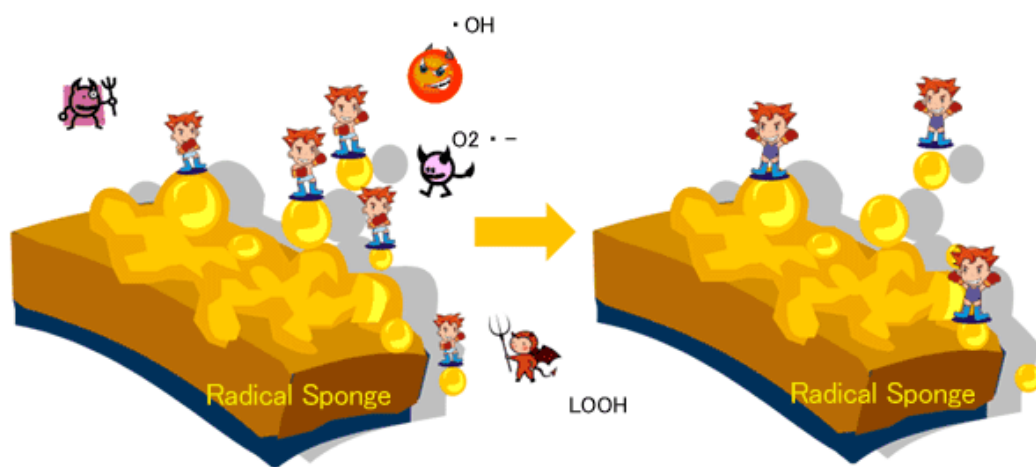


В водном растворе!



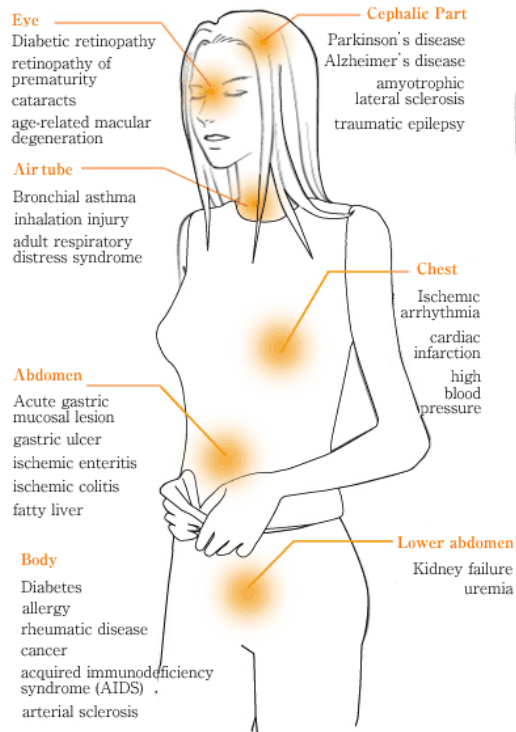
Vitamin C₆₀ Bioresearch Corporation (Japan)

Radical sponge image

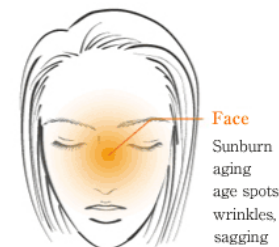


Free radicals are removed like a sponge,
and the health of the skin and body is restored.

Illness caused by free radicals



Skin problems caused by free radicals



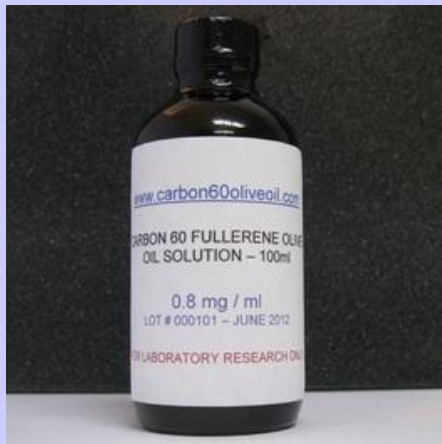
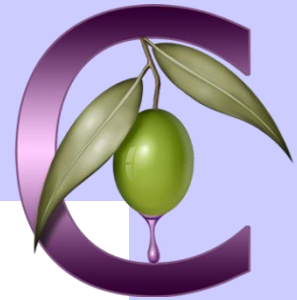
«Фуллереновая губка для радикалов»: лосьоны, кремы для кожи .

**Радикал – частица с неспаренным
валентным электроном**

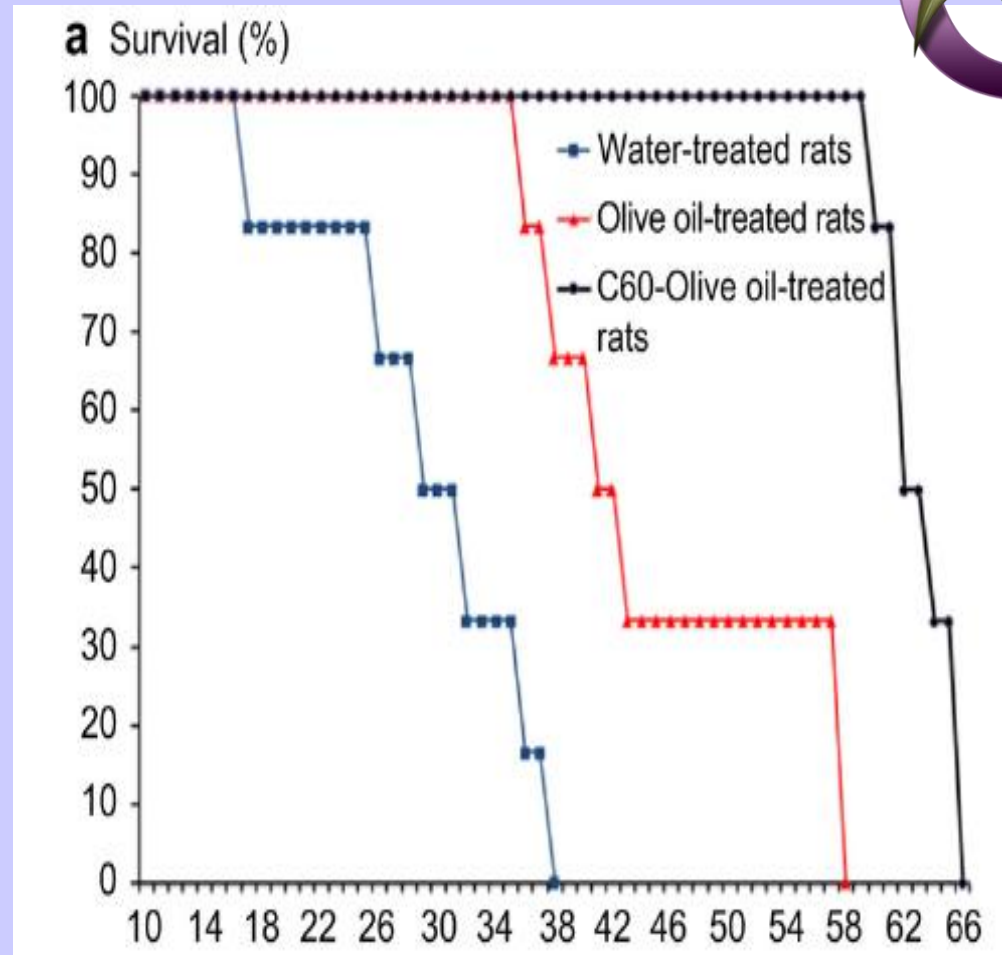


Продолжительность жизни крыс.

Доза C₆₀ = 1 мг/кг



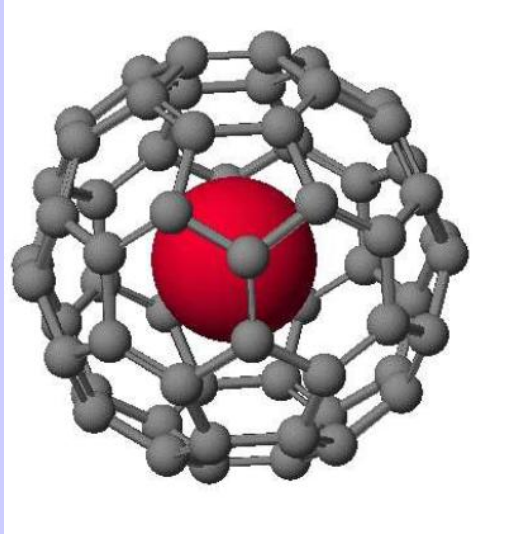
%



Месяцы

Контрастный агент, МРТ

Эндо-фуллерен



Gd@C_{82}

«Гадофуллерен»

Коммерческий препарат

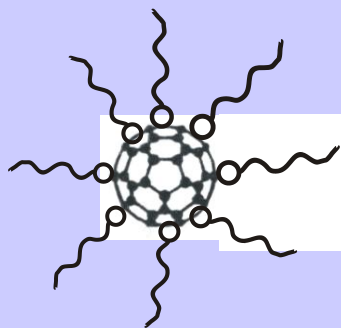
Gd-
diethylenetriaminepentaacetate-
bis-(methamide),
(Gd-DTPA-BMA)

✓ Названия и терминология

Как «растворить» фуллерен в воде ?

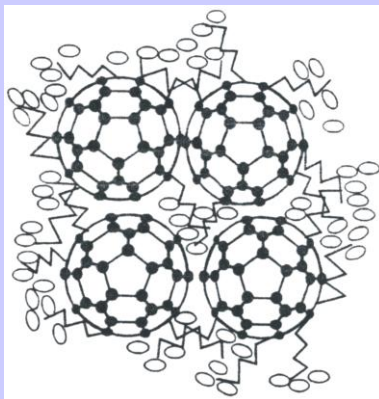
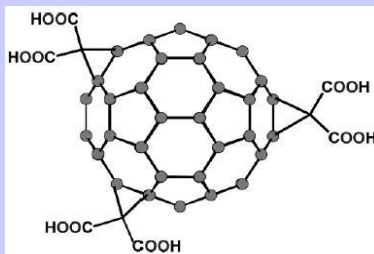


Солюбилизация



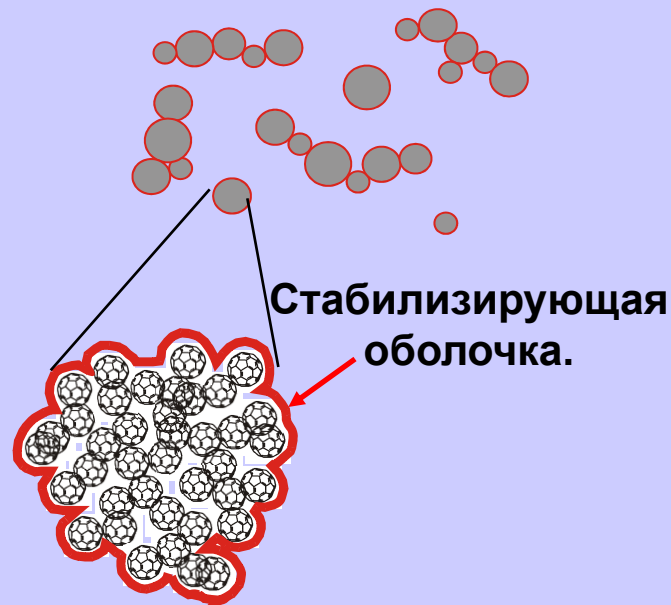
Оболочка ПАВ
(поливинилпирролидон,
Тритон X-100)

Химические производные



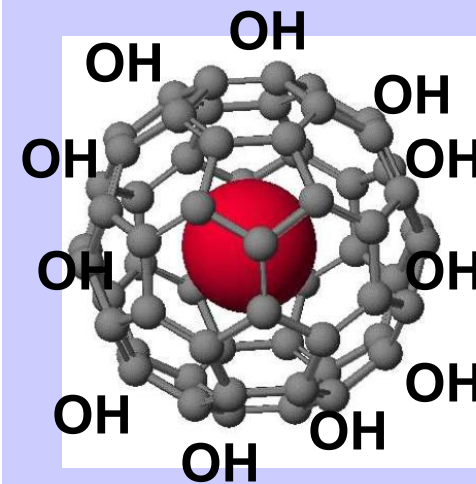
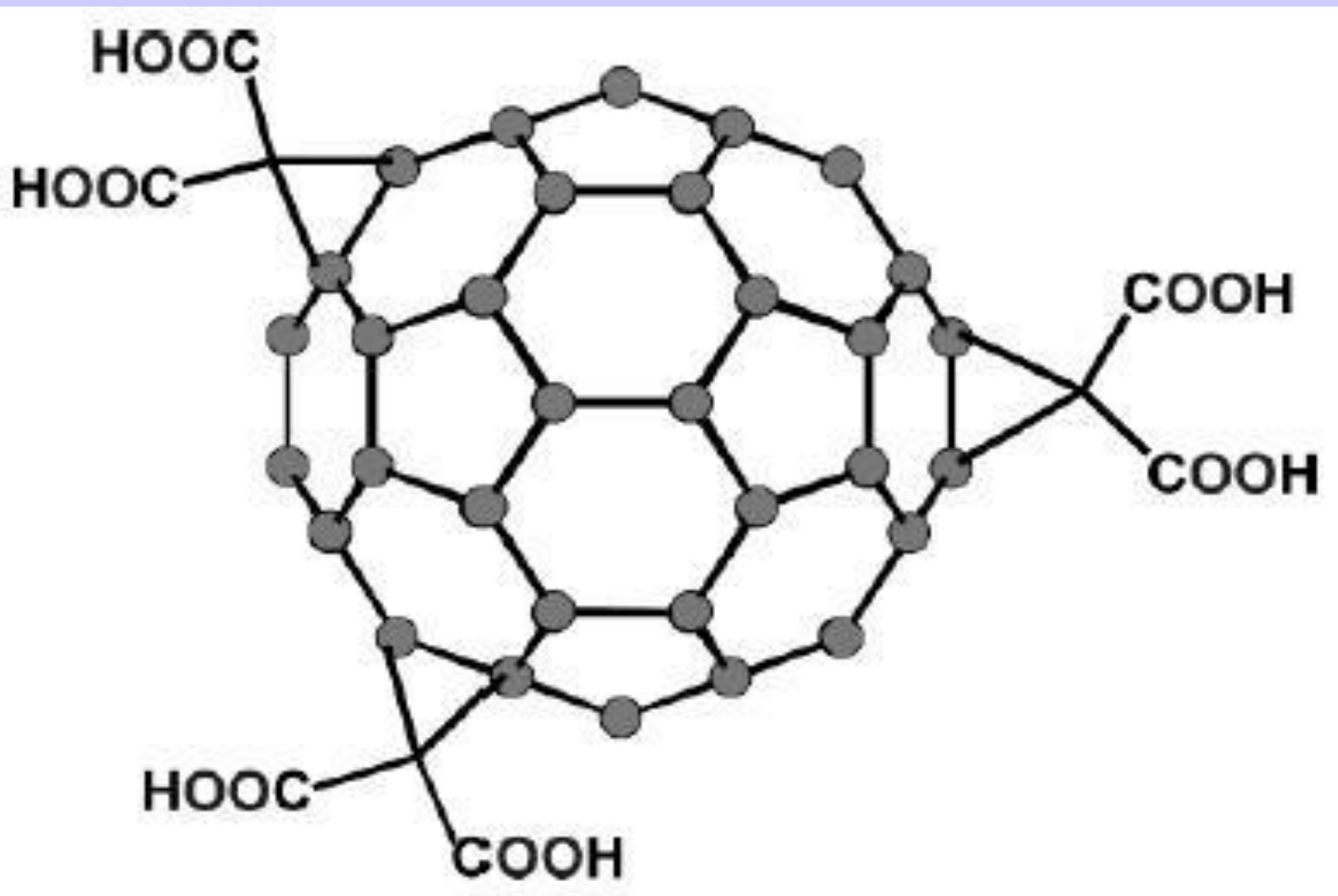
$\langle R \rangle \approx 50$ нм

Дисперсии



$\langle R \rangle \approx 36$ нм

Перевод в H_2O : потеря *нано* свойства?



2009

Растворимость: до 70 мг/мл; Размер кластера: $d = 40 - 80$ nm (TEM)
 $\sim 5 \cdot 10^5$ молекул в кластере (Nano Letters, 2004)



<http://fortunita.info>



ШУНГИТ - ПРИРОДНЫЙ АКТИВАТОР ВОДЫ

Шунгит - уникальный минерал, возраст которого более 2 млрд. лет. Единственное месторождение **шунгита с природными фуллеренами** находится в Карелии.

Шунгитовая вода действует на организм многопланово...

Помогает восстановить иммунный и энергетический статус при синдроме хронической усталости...

Доказано, что **фуллерены** препятствуют возникновению и развитию атеросклероза.

Не менее интересный факт: **шунгитовая вода** снимает похмелье...

Справка: Шунгит – {C(аморфный) + SiO₂}, месторождения в Карелии

УЧЕНЫЙ ИЗ ХАРЬКОВА ИЗОБРЕЛ ЛЕКАРСТВО ОТ РАКА

Новиданный углерод

Углерод, ну что может быть тут интересного? Сколько раз нам повторяли в школе: «Углерод встречается в природе в двух видах — это либо алмаз, либо графит». Попутно объяснили, у алмаза атомы расположены в виде сетки, поэтому алмаз — самое твердое вещество. И мы убеждались: да, режет стекло! А у графита атомы лежат в плоскости в виде шестигранников, связаны они друг с другом слабо, поэтому могут использоваться как смазка или как карандаш.

Однако в 1973 году необычные химик Дмитрий Бочар и Елена Галлерн подумали, что квантовая химия теоретически допускает существование и новой разновидности углерода, молекула которой должна быть сферой футбольного мяча, сфера, составленная из шестигранников или пятигранников.

А в 1985 году в лаборатории Сасовского университета англичанин Гарольд Крото при исследовании паров графита, который он прожег мощным лазерным лучом, действительно обнаружил молекулу углерода, точно такую, которую предсказывали в Москве 12 лет назад. Он назвал ее фуллереном.

Петра I спасла целебная вода

...На берегу Онежского озера, в глухих лесах Толвуевского погоста, чаша в заточенной знающей неволях — источник Мар-

тиецкой воды, в миру Божья Ксения Романова. До смерти у нее было семеро детей, но все умерли, а на пороге после купания в источнике, вода которого была настояна на черном камне, она родила мальчика Михаила, тогда самого Михаила Федоровича, который и положил за-

Марицкими водами, названный в честь Бога войны Марса.

Шунгит —

КОМАНЬ-ЗАГАДКА

Железистые источники в России велико множество, но целебные свойства Марицкой вод ведь известны. А во потому ли, что она проходит через этот странный черный камень шунгит? А камень был действительно странен. По своему минеральному составу он содержал почти всю Периодическую таблицу Менделеева.

Исследования показали, что он залегает на самых древних пластах земной коры (как, впрочем, и весь Кольский полуостров), его возраст — около 2 миллиардов лет. Тогда на Земле не было еще ничего живого, не было людей, из которых мог бы образоваться уголь или каменный уголь, другие углеродистые соединения, в забегав вперед, надо сказать, что шунгит именно углеродистое соединение. Удивительно было и то, что месторождение шунгита в районе Марицкой воды — единственное на земном шаре! Откуда он взялся? Существует несколько ответов на этот вопрос — от протозоицкого (шунгит — это деятельность примитивных микроорганизмов древних морей) до космогенного (шунгит — древний метеорит, приземлившийся на Землю из зоны астероидов, расположенной между Марсом и Юпитером).

Семён Цитурский, бывший советский учёный, работающий

теперь в Арizonском университете США, обнаружил, что в образцах шунгита, которые он привез на память о Марицкой воде, есть фуллерен, правда, в количестве весьма малом — до 0,1%. Именно благодаря ему вода, проходя через шунгитовые породы, приобретает целебные свойства. Кольцо открытий XVIII — XX веков, от царя Петра до Гарольда Крото, казалось бы, замкнулось.

В России и на Украине над фуллереном сейчас работают десятки научных групп в 10 городах. Одним из лидеров в изучении необычных свойств фуллерена, предложившим уникальную, не имеющую аналогов в мире разработку этой темы, стал Григорий Владимирович Андрицкая, старший научный сотрудник Института терапии АМН Украины в Харькове.

Фуллерен нецелебный

Фуллерен, как одна из разновидностей углерода, растворяется только в органических жидкостях. Но для того чтобы понять его биологические и медицинские возможности, необходимо было иметь его водные растворы. Это и сделал Григорий Андрицкая в 1993 году. Точнее, ему удалось «настроить» фуллерен в структуру воды. И вот что оказалось: в воде все целебные свойства фуллерена резко усиливаются. Фуллерен не токсичен, не подавляет здоровые клетки, а наоборот, помогает работать всем биологическим структурам организма.

Дальше начинается натуральная сказка. Фуллерен оказался самым мощным и длительно действующим антиоксидантом. Благодаря этому созданные на основе фуллерена препараты

помогают лечить самые разнообразные воспалительные, вирусные, аллергические и другие заболевания: астму, грипп, бешеные, ожоги, язвы, которые часто трудно поддаются стандартной терапии.

Например, недавно в эксперименте над животными выяснилось, что фуллерен способен препятствовать возникновению и тормозит развитие атеросклероза.

В лечении последних двух лет группа Андрицкого при минимальной спонсорской поддержке не ведет совместных исследований в двух (для контроля) лабораториях НИИ экспериментальной биологии и терапии Российской научной академии: одного центра, которым руководит доктор медицинских наук профессор Игорь Сергеевич Буренин. Крысам вводили разные дозы, и половину... крышки лечили малыми дозами водного раствора фуллерена.

— Я посмотрел результаты и не поверил своим глазам, — рассказывает Игорь Сергеевич. — Рост опухоли замедлился на 30-70%, а срок жизни крыс, которым лечили, увеличился в 2 раза!

— Изучение водных растворов фуллерена, — добавляет Андрицкая, — действительно является многогранным и очень интересным. В них могут проявиться определенные самые серьезные проблемы физики, химии, биологии, медицины, в общем, и вопросы происхождения жизни на Земле...

Создается впечатление, что фуллерен стремится к тому, чтобы уничтожить все, что мешает нам быть здоровыми.

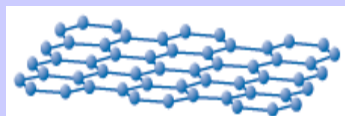
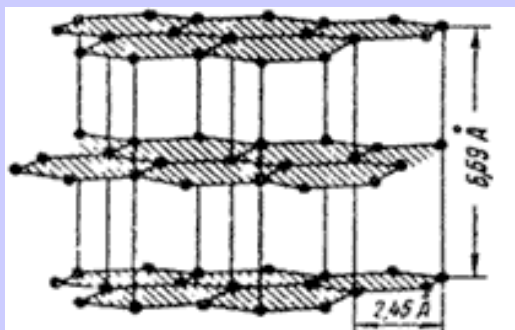
В апреле в Москве, а в мае в Филдальфии состоялся международный симпозиум, на котором Андрицкая с коллегами озвучил все для работы. Его доклад — настоящее сенсация.



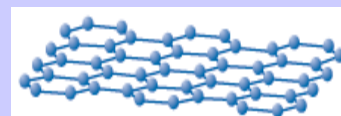
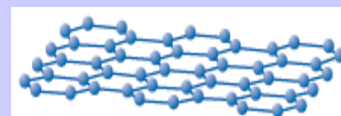
Исследователи (слева направо): Л. Державская, В. Клочев, А. Рославов и Г. Андрицкий. В центре — водный раствор фуллерена



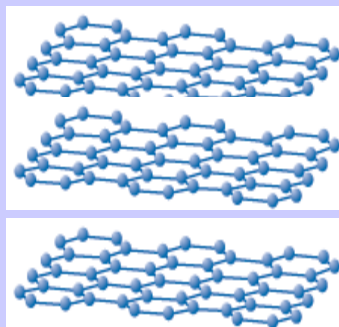
Графен



$n = 1$



$n = 2$



$n < 10$

✓ Названия и терминология

ГРАФЕН?

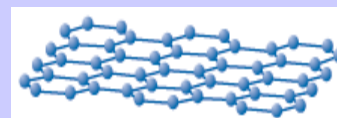
**ОН ВООБЩЕ не ДОЛЖЕН
СУЩЕСТВОВАТЬ !**



Графен



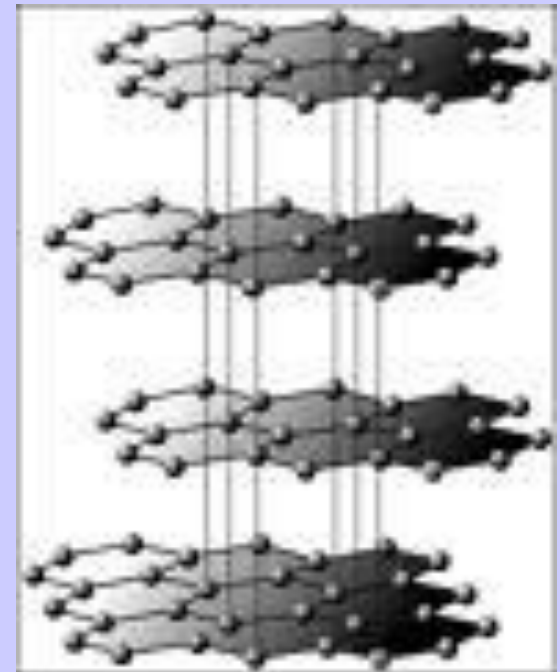
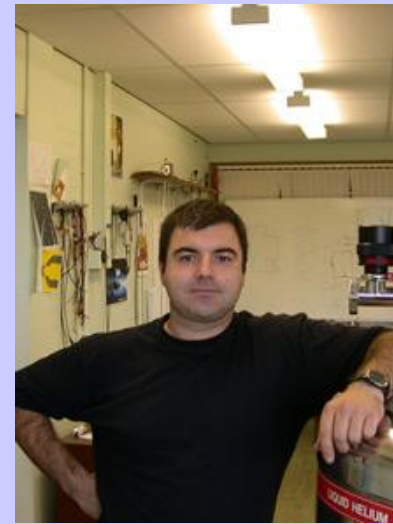
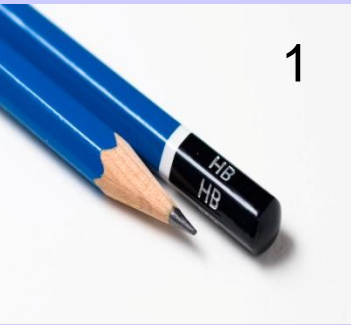
Двумерный материал ?



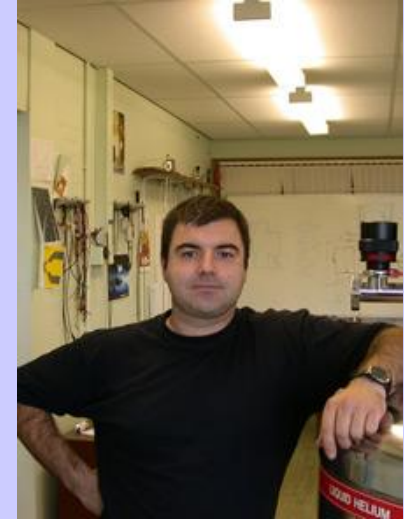
$n = 1$

✓ Названия и терминология

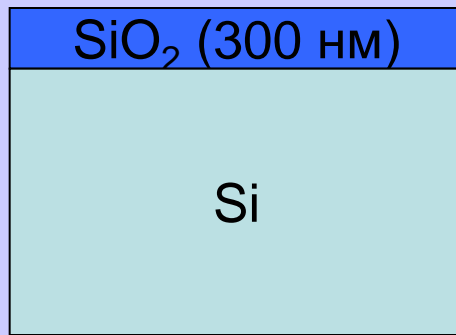
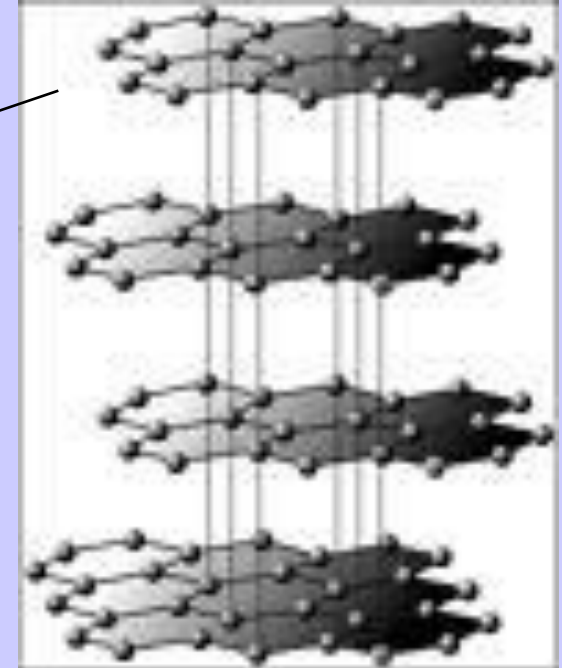
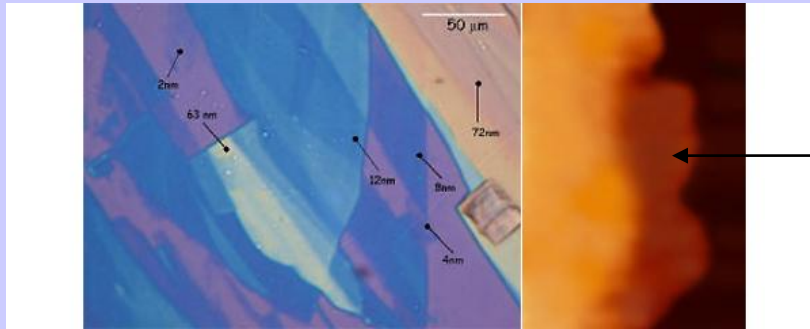
Графен: метод отщепления одного слоя



Графен: метод отщепления одного слоя

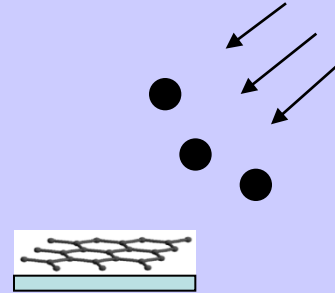


АСМ

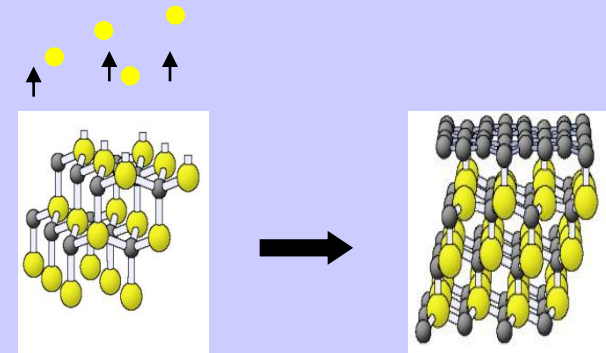


Четыре способа получения графена

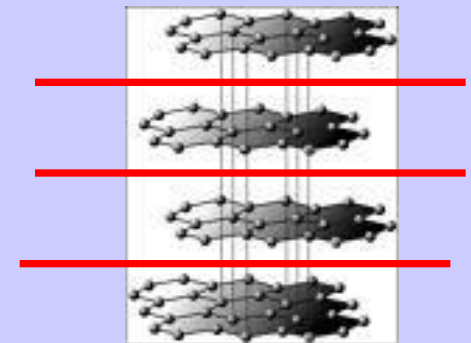
- Получение из пара (эпитаксиальный рост)



- Удаление второго компонента (Si-C)



- Физико-химическое отделение от графита
- Микромеханический отделение



Что такое *«наноматериал»*?

Наноматериал, - собирательный термин, которым обозначают различные низкоразмерные структуры.

Материал: химическое вещество, но не настоящее !

Оно «грязновато», неоднородно.

Нет точного состава, но некоторые свойства воспроизводятся

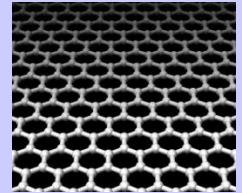
Размерность углеродного нано. Что это?

У материала – 3 размера (длина, ширина, высота).
Хотя бы один из них должен быть «нано» ($\sim 10^{-9}$ м).

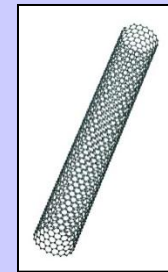
У графита и алмаза такого размера нет
Не нано! (3D материалы)



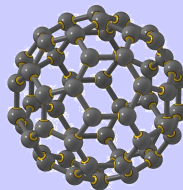
У графена один такой размер
(2D наноматериал)



У нанотрубки их два
(1D наноматериал)



У фуллерена все размеры - «нано»
(0D наноматериал)

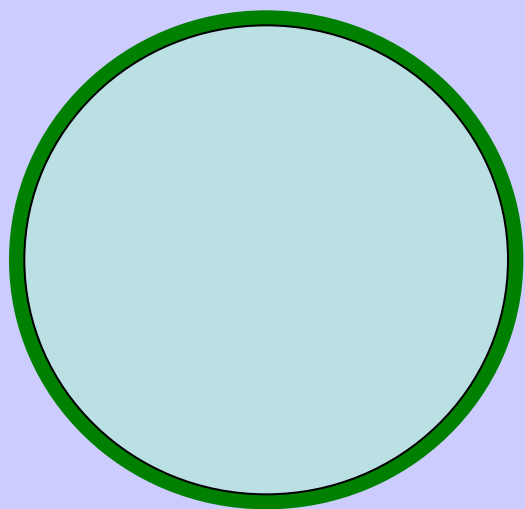


D = 3 – «нано»

✓ Названия и терминология

Нано? Что в нем особенного?

✓ У нанобъекта меняются или возникают *новые* физические и химические свойства, которых нет у объектов больших (макрообъектов).



Атомы: ● ○

Температура плавления,
Электропроводность
Реакционная способность
Каталитическая активность
Механическая прочность
и т.п.

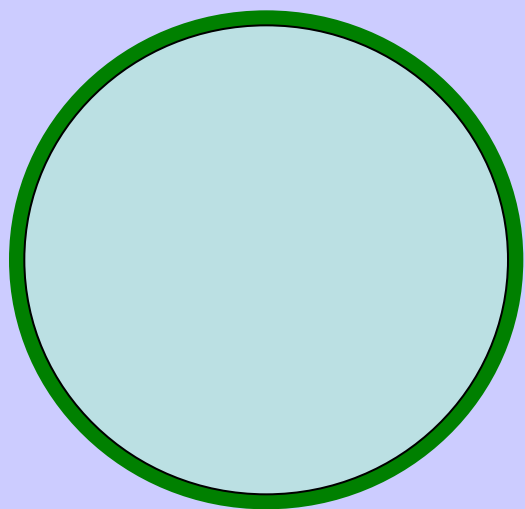
Нанофаза, (Wunderlich, 2008)

✓ Научные основы

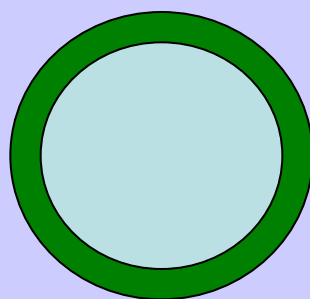
Нано? Что в нем особенного?

✓ У нанобъекта количество атомов на поверхности и в объеме *сопоставимо*.

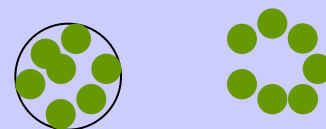
АТОМЫ: ● ○



$R = 1 \text{ м: } 3 \cdot 10^{-7} \%$



$R = 10^{-6} \text{ м: } 0.3 \%$



$R = 10^{-8} \text{ м: ?}$

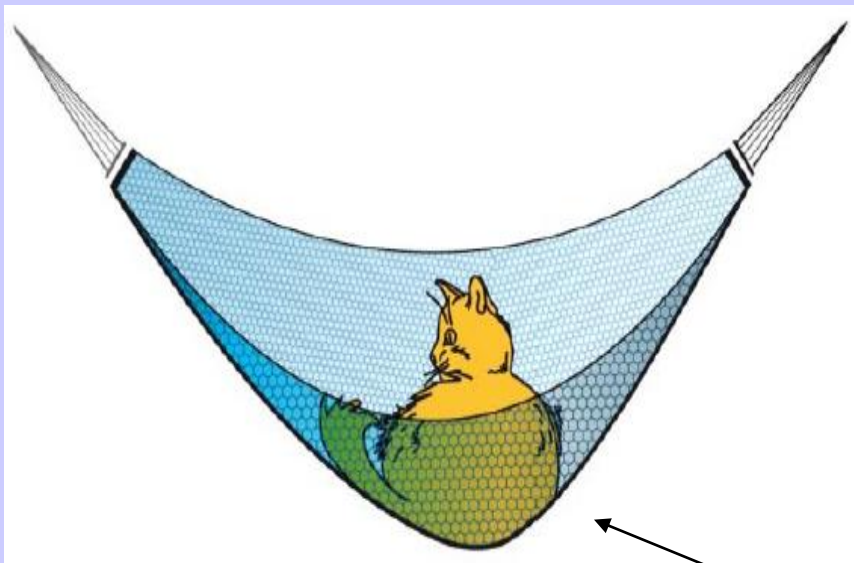
✓ Научные основы

Механические, термические и электрические свойства графена



- Прочность на разрыв – в десять раз выше, чем у стали (42 Н/м)
- Удельная поверхности – 2680 м²/г
- Теплопроводность – в десять раз выше, чем у меди. (5000 Ватт/м/град)
- Проводимость – $96 \cdot 10^6$ См м⁻¹ (чуть выше, чем у меди)
- «Квантовые» эффекты, связанные с электропроводностью (*квантовый эффект Холла, релятивистские эффекты*)

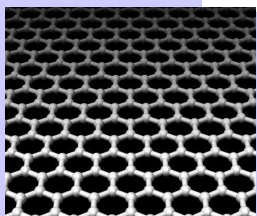
Механическая прочность графена



Гамак и усы



Кот!



Вес кота: 4 кг. Вес гамака: 1 мг, меньше чем вес кошачьих усов

Прочность на разрыв: 42 Н/м. Сталь: 0.4 Н/м

Электронные устройства из графена едва ли
появятся в ближайшие 20 лет...

Сегодня графен будет использоваться
в композиционных материалах...

А. Гейм, К. Новоселов, 2007.

Композит, нанокомпозит

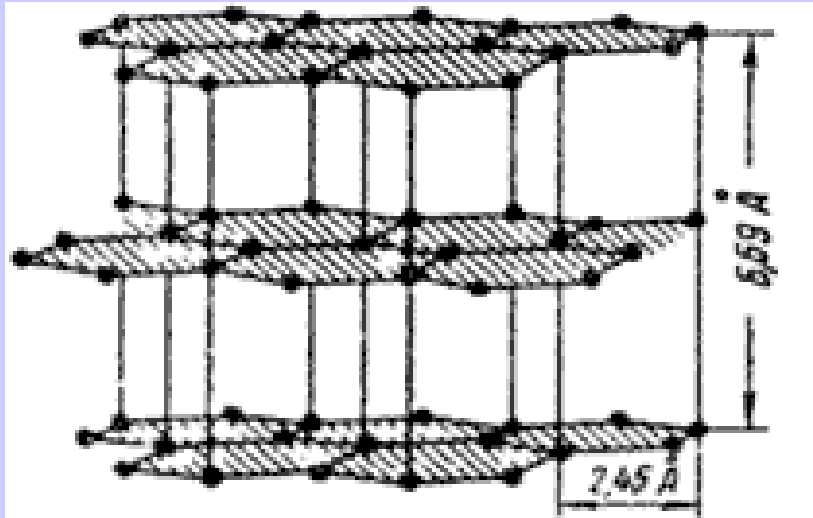
Композит *иначе* композиционный материал (англ. [composite](#))- материал, состоящий из двух или более фаз с четкой межфазной границей.

Нанокомпозит (англ. [nanocomposite](#)) — композитный материал, в котором хотя бы одна из фаз имеет усредненный размер обособленных элементов (частиц, [кристаллитов](#), волокон, пластин и т. д.) менее 100 нм хотя бы в одном измерении.

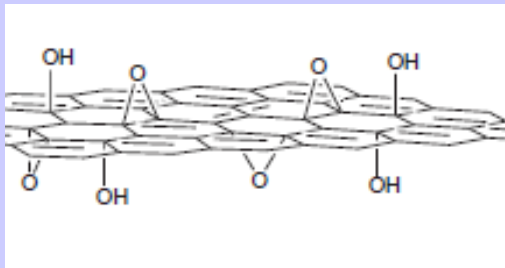
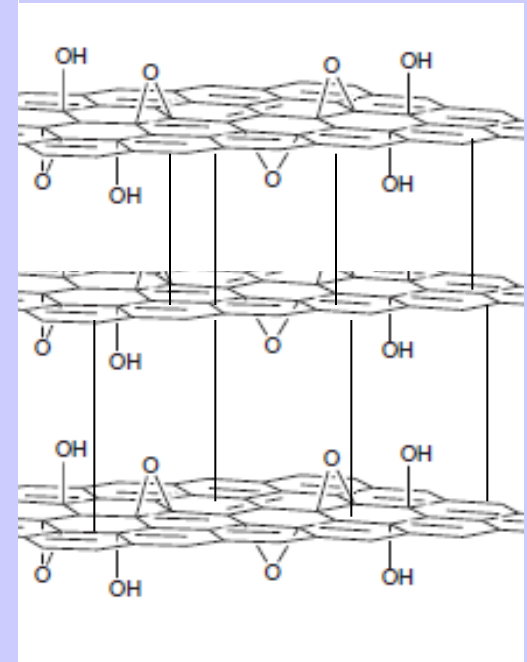
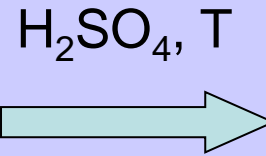
ОКСИД ГРАФИТА, XIX век....

Оксид графита, оксид графена.... CO_xH_y

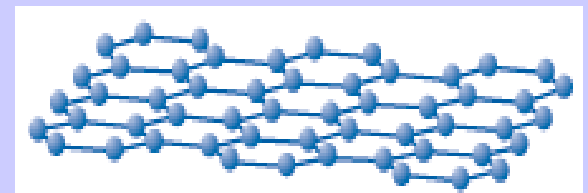
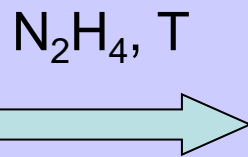
Графит, гидрофобен !



Оксид графита, гидрофилен!



Оксид графена



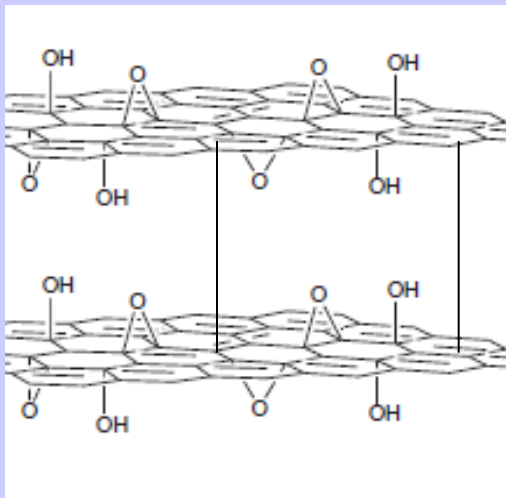
Графен

Гидрофильность и гидрофобность

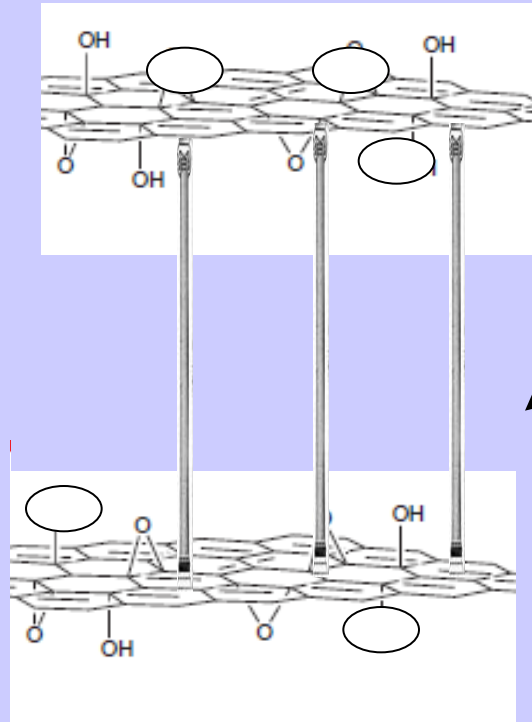
Гидрофильность — характеристика интенсивности молекулярного взаимодействия вещества с водой, способность хорошо впитывать воду, а также высокая смачиваемость поверхностей водой. Вещество стремится к контакту с водой!

Гидрофобность — это физическое свойство вещества (молекулы), которая «стремится» избежать контакта с водой

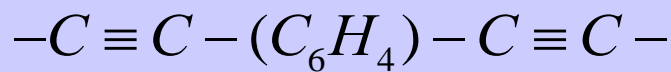
Композит: «Материал с колоннами»



Оксид графена



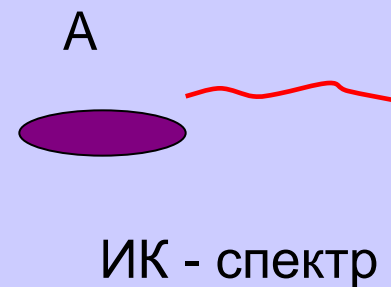
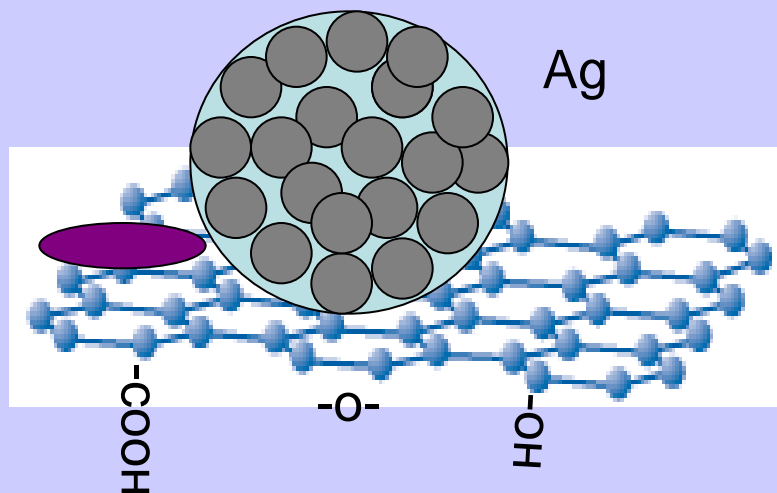
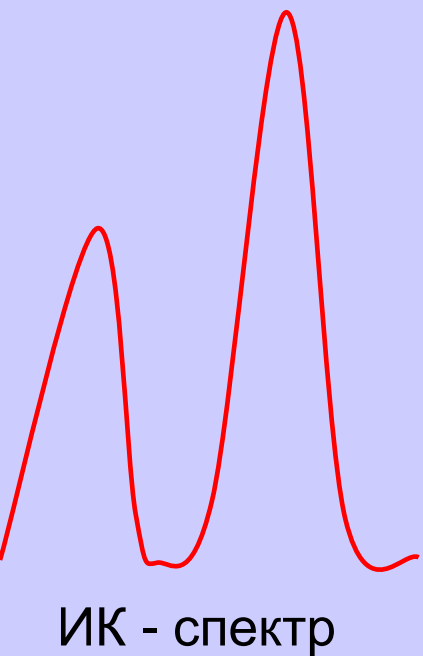
Материал с колоннами



1,4- диэтинилбензол

Цель – хранение водорода.

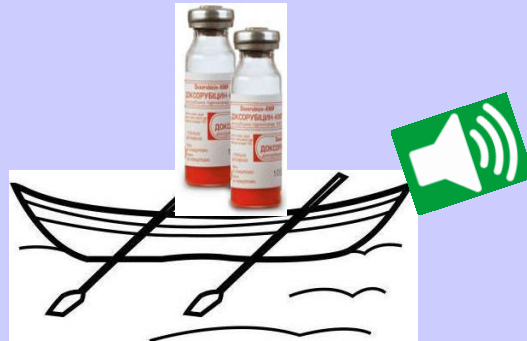
Композит: Аналитическая платформа



Нанокompозит: оксид графита + серебро.

Цель – определение низких концентраций вещества А.

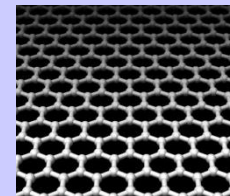
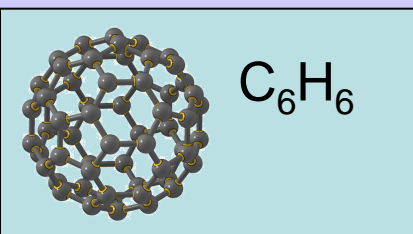
Композит: платформа для доставки лекарств



1. Иммуобилизует молекулу лекарственного препарата
2. *Образует устойчивый раствор в воде*
3. Не токсичен.
4. Снабжены меткой, испускают сигнал

Большая поверхность, гидрофильность!

В заключении – о двух понятных
проблемах
углеродных нано...

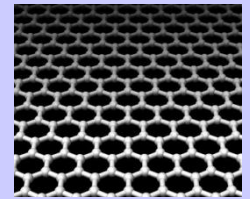
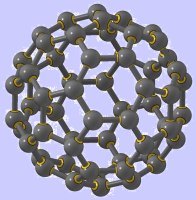


*Растворение всех нано – проблема,
а растворение в воде – отдельная проблема.*

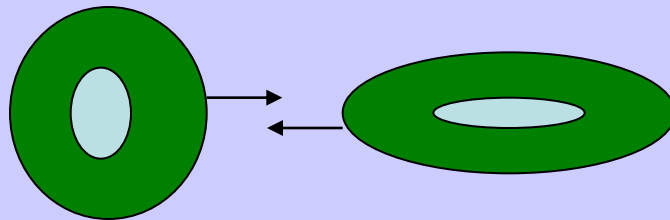
Химическая модификация поверхности

Использовать поверхностно-активные вещества

Приготавливать дисперсии (коллоидные растворы)

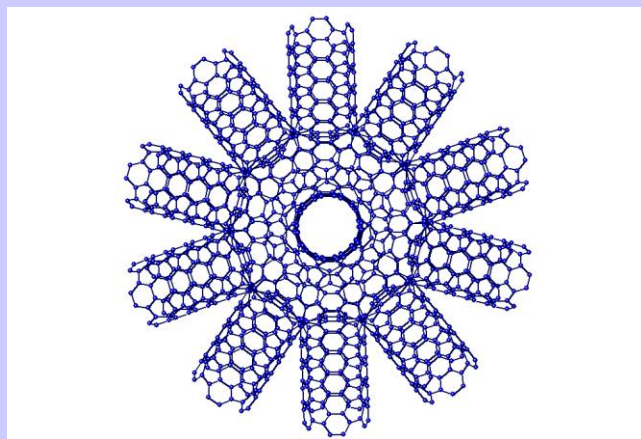


Агрегация всех *нано* – огромная проблема.



Фуллерены и графен – с точки зрения школьной программы

korobov.chem.msu.ru



Нано ЕГЭ
«Графен и Фуллерен»

Графен: каким из свойств *не* обладает?

- а) Гидрофилен,
- б) 2D наноматериал,
- в) Прочнее стали
- г) Гибридизация sp^2 .

Почему нельзя получить *алмазен*,
двумерный материал на основе алмаза ?

1) Из-за его гидрофобности

2) Из-за его гибридизации

3) Из-за его аллотропности

4) Из-за его наноразмерности

Какой из чисто углеродных материалов имеет наименьшую свободную энергию при комнатной температуре и атмосферном давлении?

- а) алмаз,
- б) графит,
- в) фуллерен C_{60} ,
- г) графен.

Какое из превращений невозможно
направить в обратную сторону?

а) алмаз \rightarrow графит,

б) графит \rightarrow алмаз,

в) фуллерен C_{60} (тв) \rightarrow 60 С (графит,тв),

г) С (графит,тв) + $xO_2 \rightarrow CO_{2x}$ (оксид графита,тв)

Чем похожи структуры графена и фуллерена?

- а) в них есть шестиугольники,
- б) в них есть пятиугольники,
- в) гибридизация атомов углерода – sp^2 ,
- г) у них одинаковая наноразмерность.

Сколько изотопомеров у молекулы
 C_{70} ?

а) 2

б) 1

в) 70

г) 71

Теплота сгорания одного моля графита
равна (-393.51 кДж, теплота выделяется!).

Теплота сгорания одного моля фуллерена
 C_{60} равна:

а) (+40 кДж),

б) (-300 кДж),

в) (-25944 кДж),

г) (+10257 кДж)

Какая из перечисленных ниже пар – гомологи?

а) графит и графен,

б) фуллерен C_{70} и фуллерен C_{84} ,

в) одностенные и двустенные нанотрубки,

г) ни одна из пар а)-в).

Какую гибридизацию имеет атом углерода в графене?

а) sp^2

б) sp^3

в) sp^4 ,

г) sp^{2+X}

Кто здесь гидрофилен?

- а) графит
- б) фуллерен
- в) графен,
- г) ни один из трех

Фуллерен C_{60} добавляют в кремы для кожи. На каком химическом свойстве фуллеренов основано это применение?

- а) молекула фуллерена способна захватывать свободные радикалы;
- б) молекула фуллерена адсорбирует грязь и очищает поры;
- в) молекула фуллерена адсорбирует тепло и снижает температуру кожи;
- д) молекулы фуллерена стабилизируют другие компоненты крема.

Фуллерен - это

а) Шар, радиусом 1 микрон,

б) Радикал,

в) Наноматериал

г) Наночастица.