



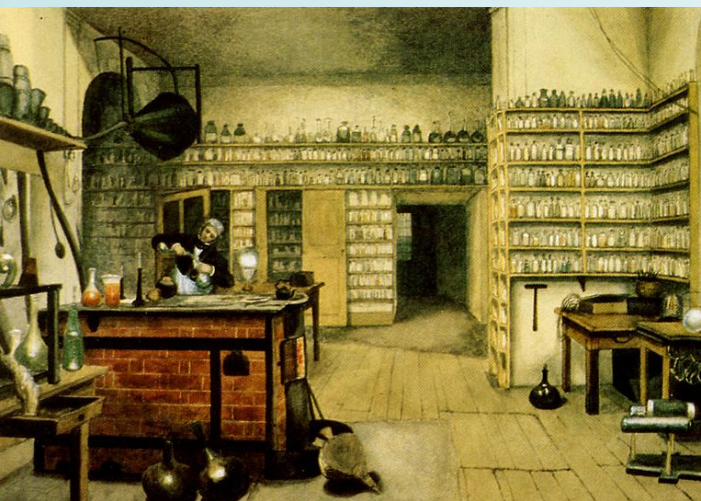
Загадка бензола

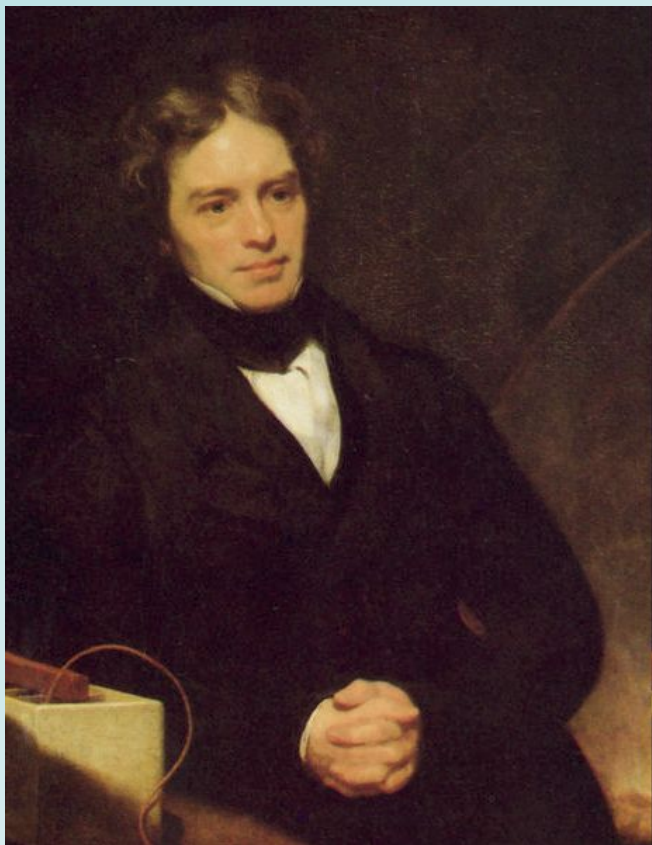
профессор СПбГУ,
доктор химических наук
Карцова Анна Алексеевна

Санкт-Петербург
2010



1825 г. Майкл Фарадей
из светильного газа C_6H_6
«карбюрированный водород»





**Майкл Фарадей
(1791 - 1867)**

- ❖ Английский физик и химик,
- ❖ член Лондонского королевского общества.
- ❖ Один из основателей количественной электрохимии.

1823 г. впервые получил

*жидкие хлор,
сероводород,
оксид углерода(IV),
аммиак,
оксид азота(IV).*

1825 г. - открыл бензол,
изучил его физические и
химические свойства.

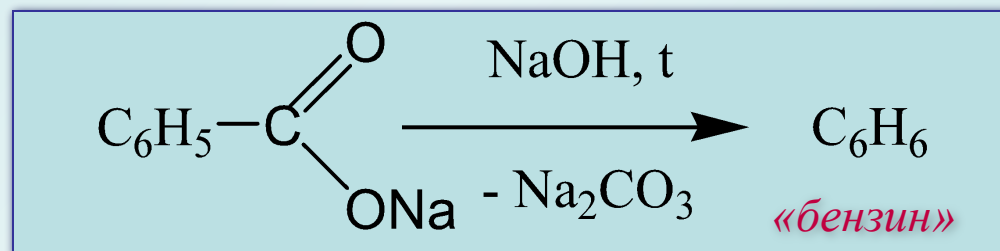
- ❖ Положил начало исследованиям каучука.
- 1833 - 1836 гг.** - установил количественные законы электролиза.



1825 г. Майкл Фарадей
из светильного газа C_6H_6
«карбюрированный водород»



Митчерлих



О. Лоран «фенол»
(греч. *«файно»* - «освещать»)
 C_6H_5 - *«фенил»*

Либих - «бензол»

Бензол. Физические свойства

Бесцветная, летучая жидкость

Температура кипения $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Плотность $0,86\text{ г/см}^3$

$T_{\text{пл}} = +5,5^{\circ}\text{C}$ C_6H_6

$T_{\text{пл}} (\text{толуола}) = -95^{\circ}\text{C}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_3$

Горит коптящим пламенем

«С»=93%

Характерный запах!



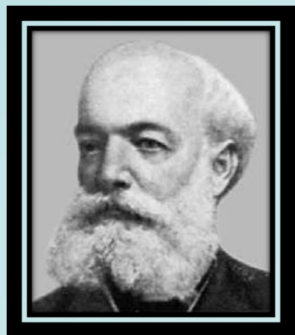
«...Я сидел и писал учебник, но работа продвигалась плохо. Я подвинул мое кресло к камину и задремал. Снова атомы запрыгали перед моими глазами... Длинные цепи иногда тесно группировались и поворачивались подобно змеям.

Но что это? Одна из змей ухватила свой собственный хвост. И эта фигура завертелась перед моими глазами, как бы насмехаясь надо мной. Как от вспышки молнии, я пробудился.

Остаток ночи я провел, обдумывая следствие из гипотезы ...»

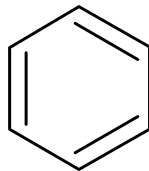
А. Кекуле

1845 г. Структурные формулы бензола

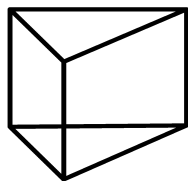
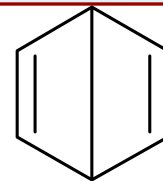


Август Кекуле
(1829-1896)
Немецкий химик
органик. Предложил
в **1865 г.** структурную
формулу бензола

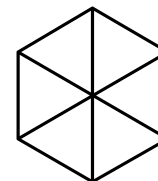
1865 г.
Кекуле



Бензол
Дьюара



«призман»
Ладенбурга

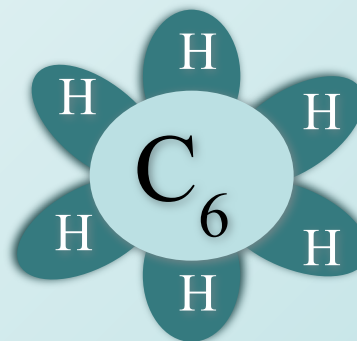


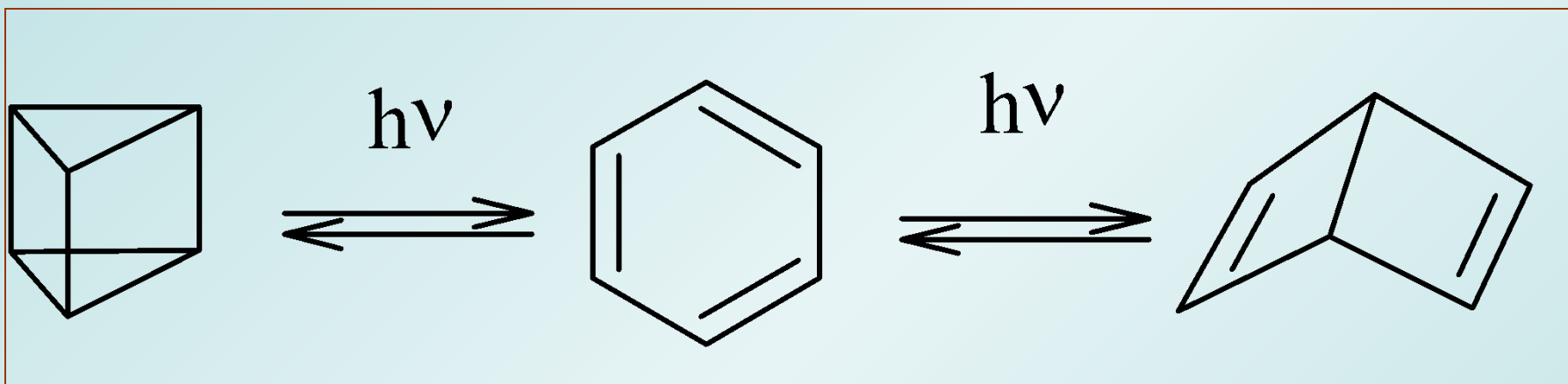
Клаус

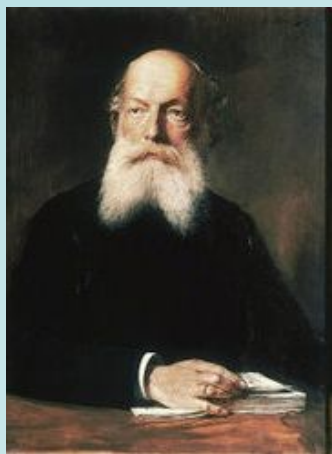


Армстронг

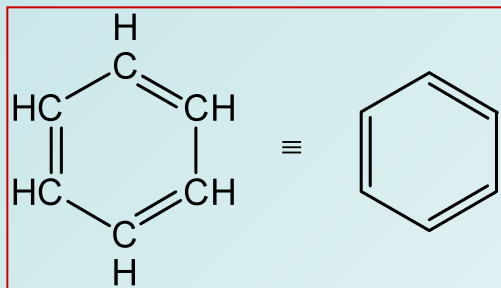
1861 г. Лошмидт





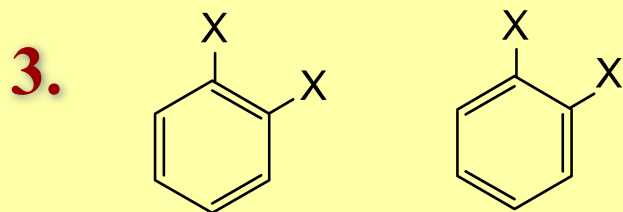
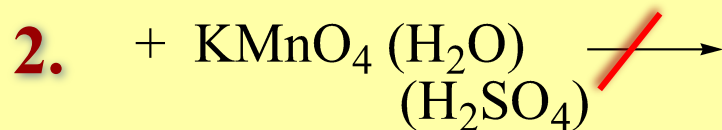
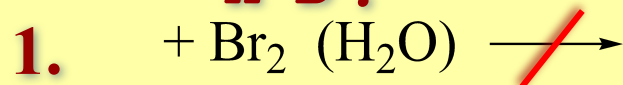


1865 г. А. Кекуле



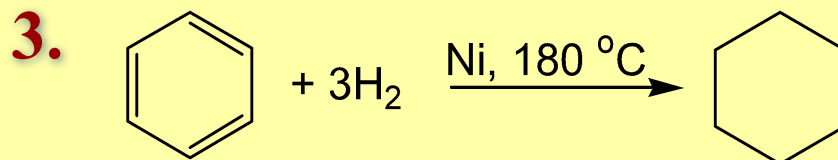
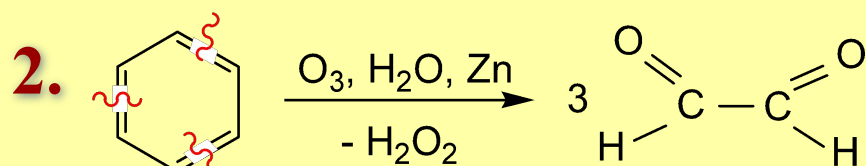
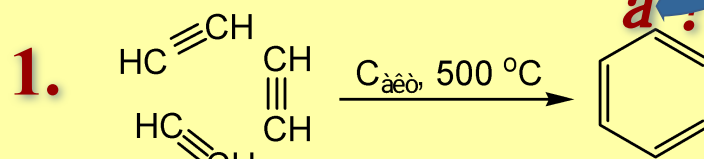
Формула Кекуле и ее противоречивость

**ПРОТ
ИВ!**



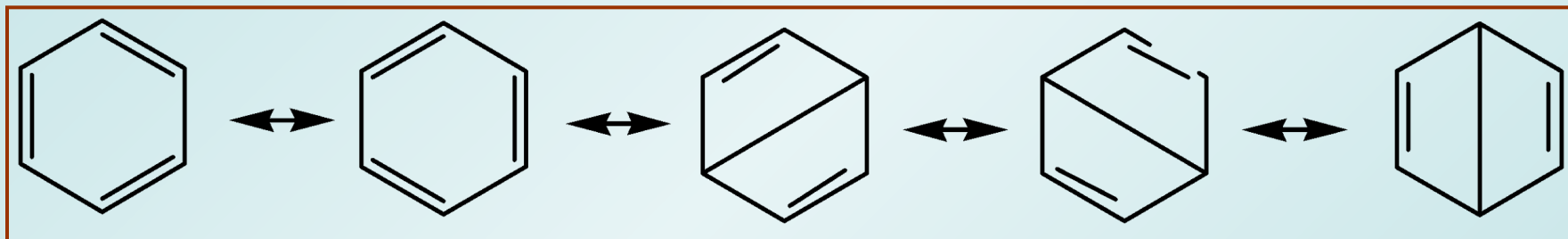
3

а!



Электронное и пространственное строение бензола

Л. Полинг. Теория резонанса



Строение молекулы бензола

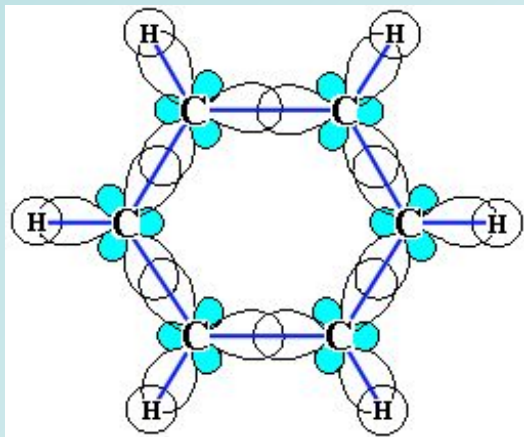


Схема образования **σ -связей** в молекуле бензола с участием sp^2 – гибридных орбиталей атомов углерода

Длина C-C связи
0,140 нм

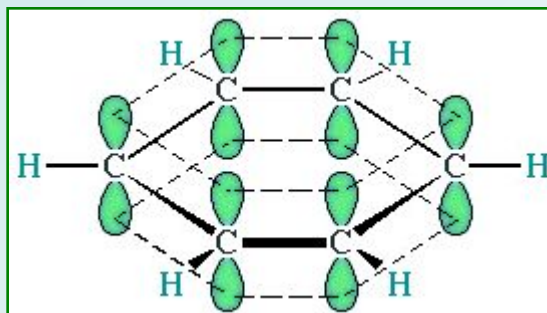
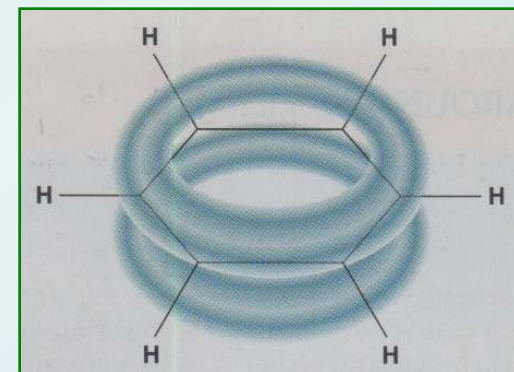
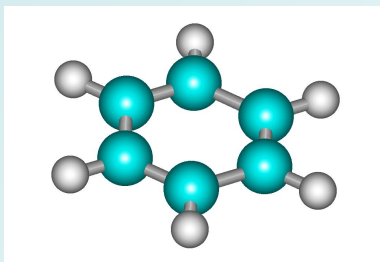


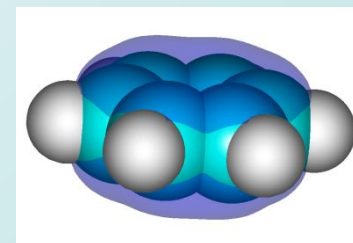
Схема образования **π -связей** в молекуле бензола



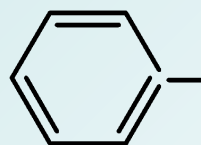
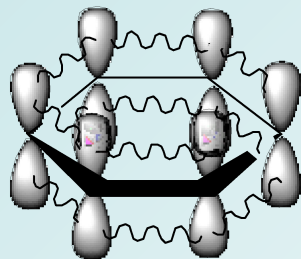
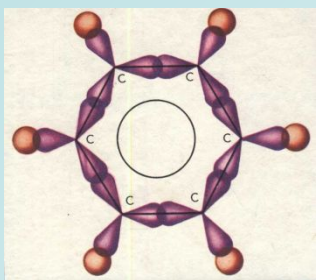
Делокализация электронной плотности в молекуле бензола



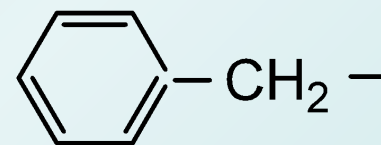
Модели молекул бензола:
шаростержневая (слева) и масштабная
(справа)



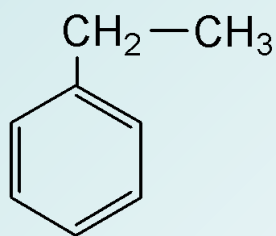
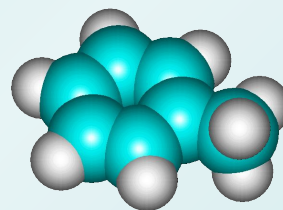
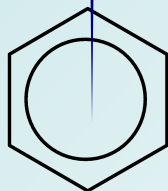
Масштабная модель молекулы бензола с
обозначением делокализованного π -
электронного облака



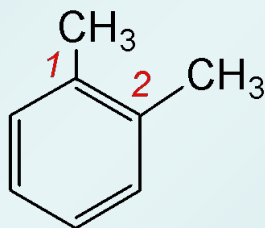
ô ái èè-



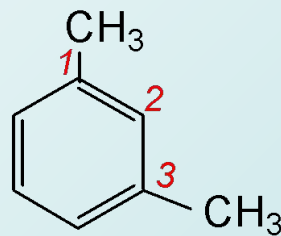
ái çèè-



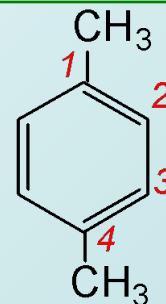
ýòèéáái ç î ë



1,2-äèì àòèéáái ç î ë
î -êñèêî ë

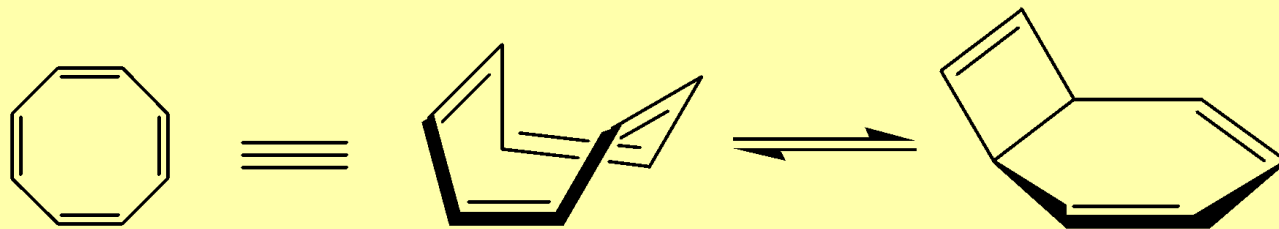
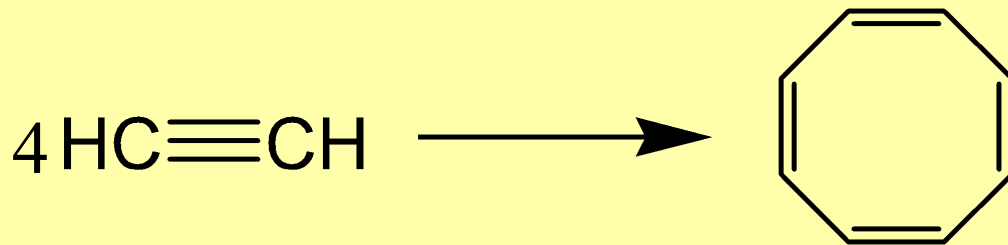
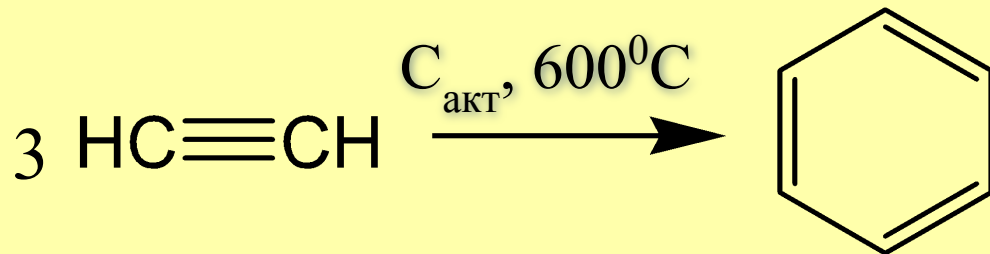


1,3-äèì àòèéáái ç î ë
ì -êñèêî ë



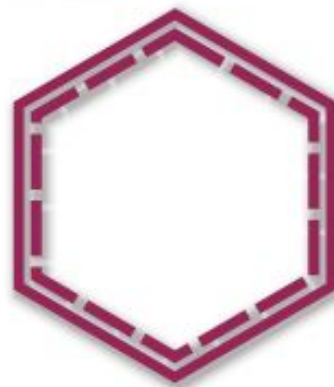
1,4-äèì àòèéáái ç î ë
î -êñèêî ë

Новая проблема?



циклооктатетраен

Строение молекулы бензола



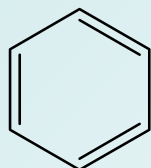
Ароматичность

Правило Хюккеля

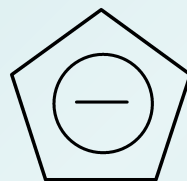
Циклические плоские сопряженные полиеновые системы, содержащие $(4n+2)$ делокализованных π -электронов, где $n=0,1,2,3$ и т.д.



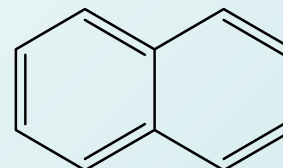
$n=0$



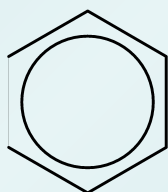
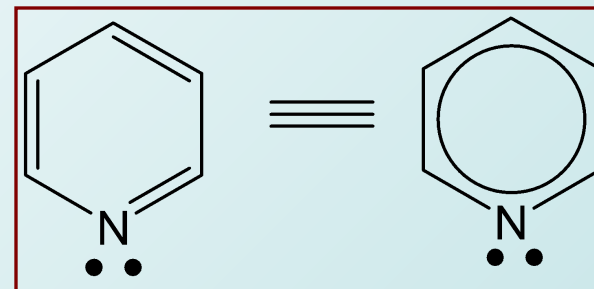
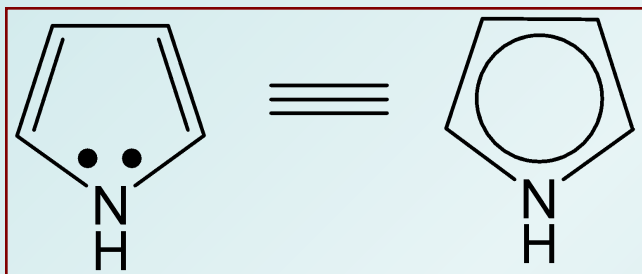
$n=1$



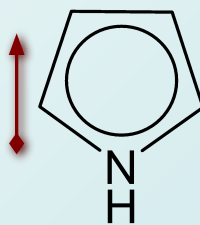
$n=1$



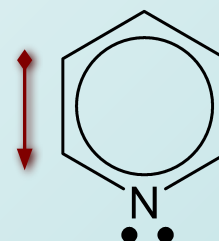
$n=2$



$\mu=0$

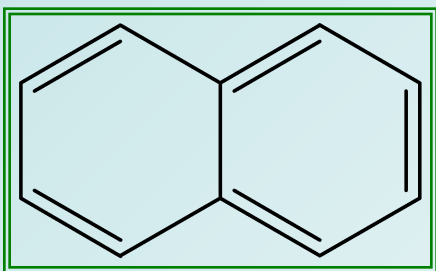


$\mu>0$

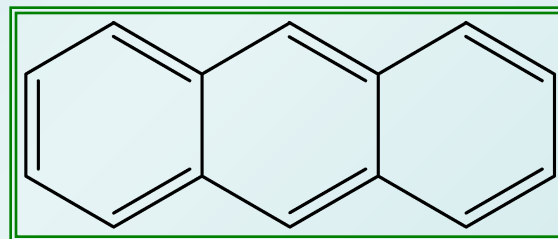


$\mu>0$

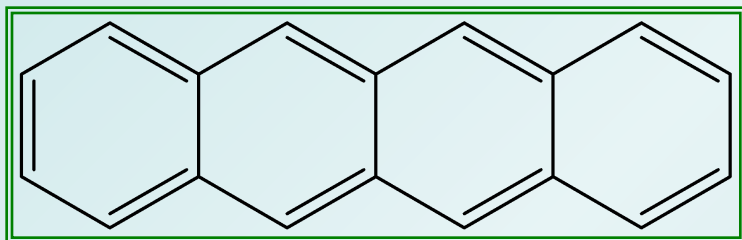
Конденсированные ароматические структуры



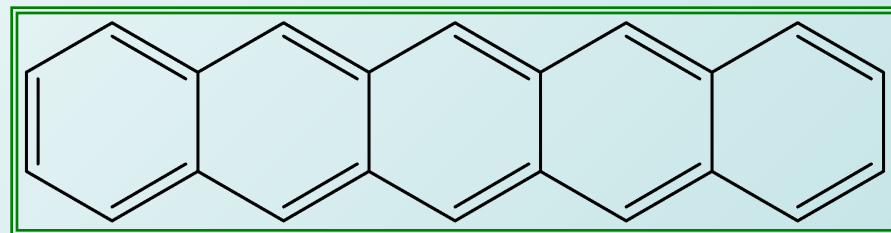
Нафталин



Антрацен

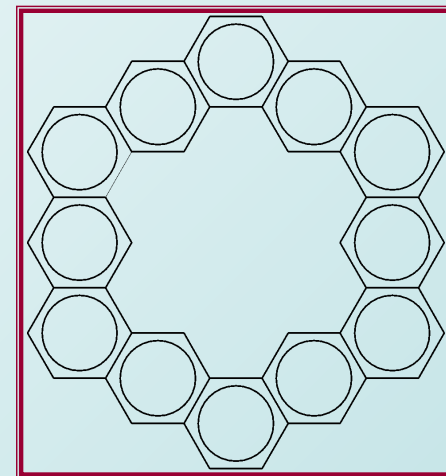
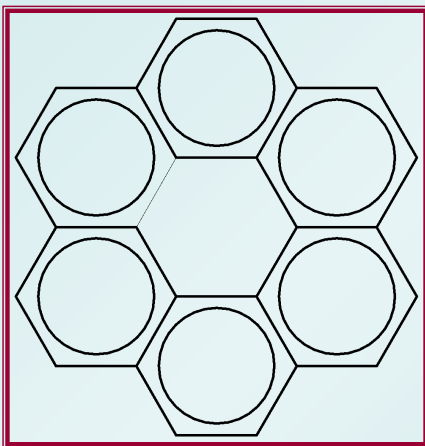
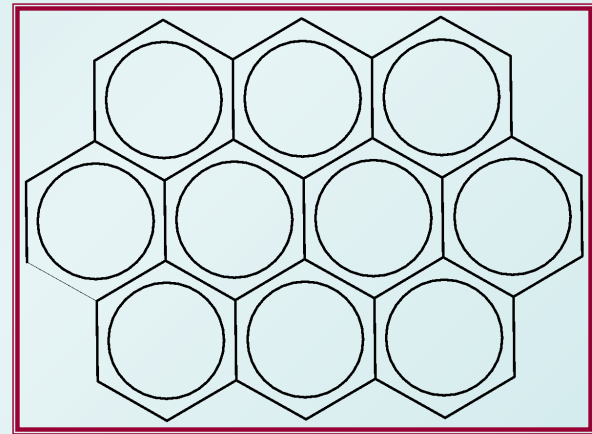
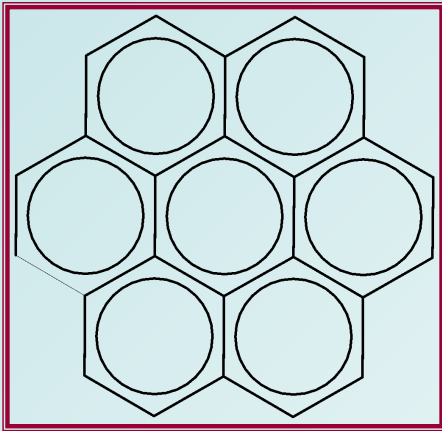


Тетрацен



Пентацен

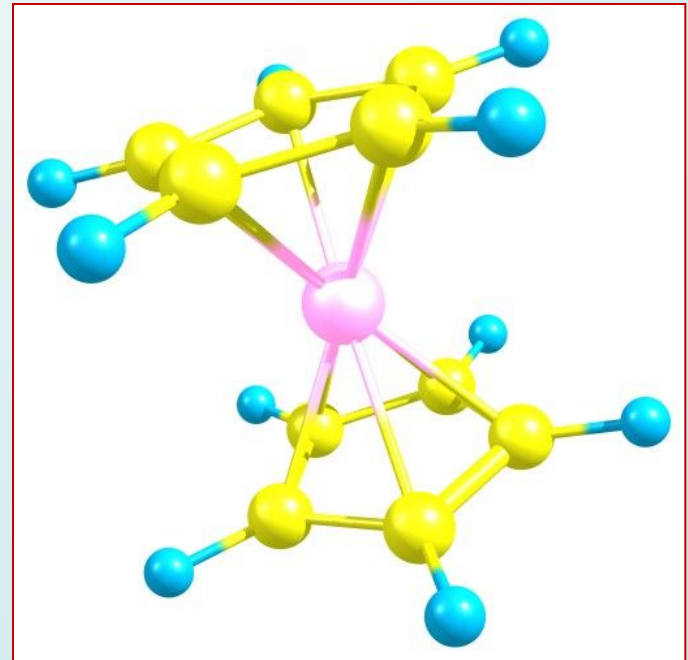
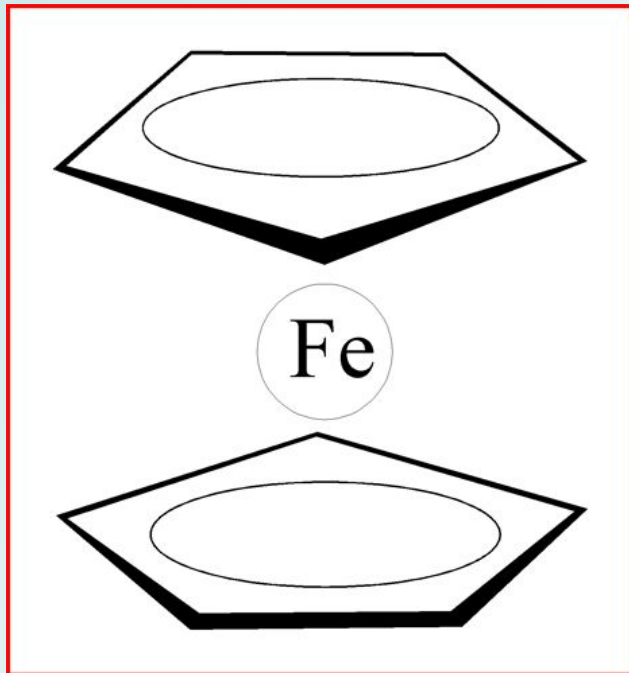
Циркуллены



Кекулен

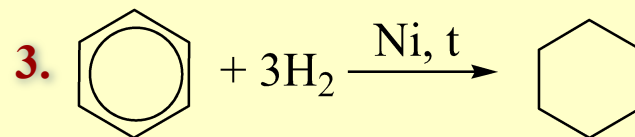
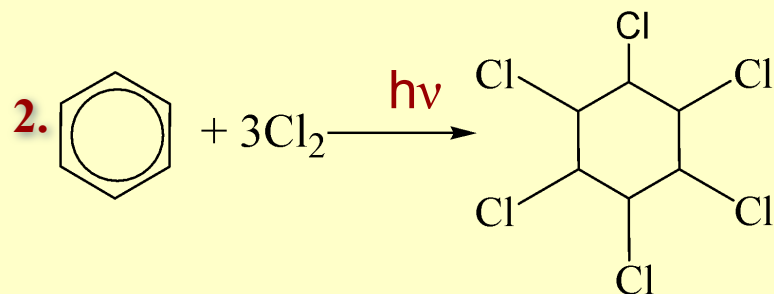
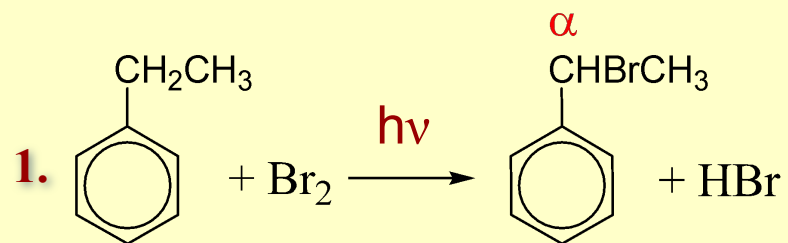
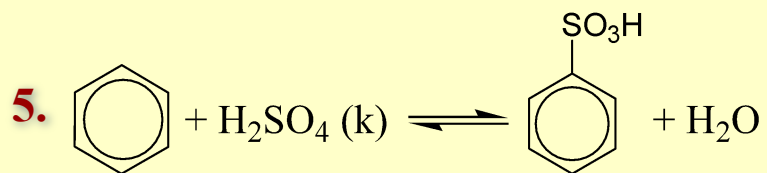
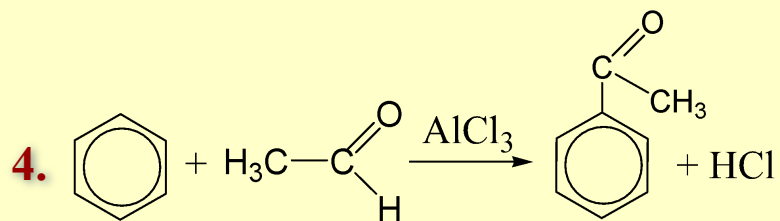
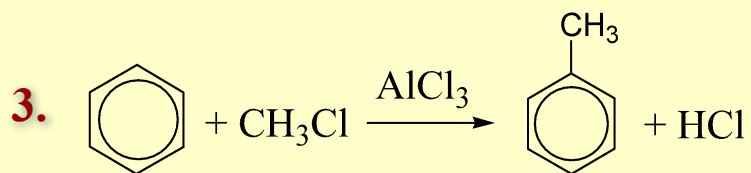
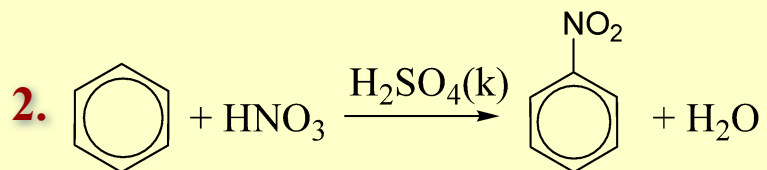
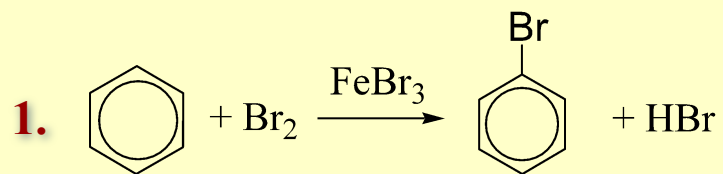
Молекула «бутерброд»

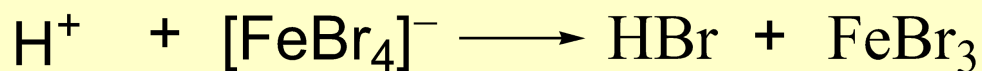
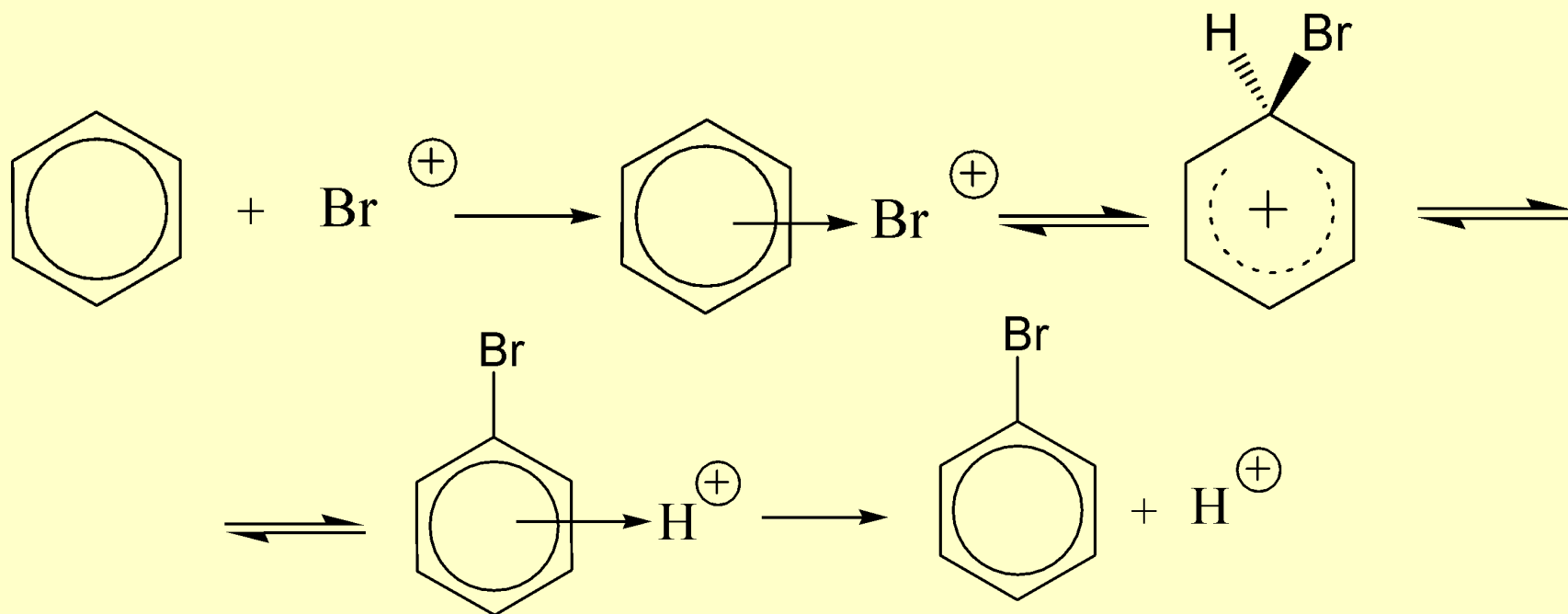
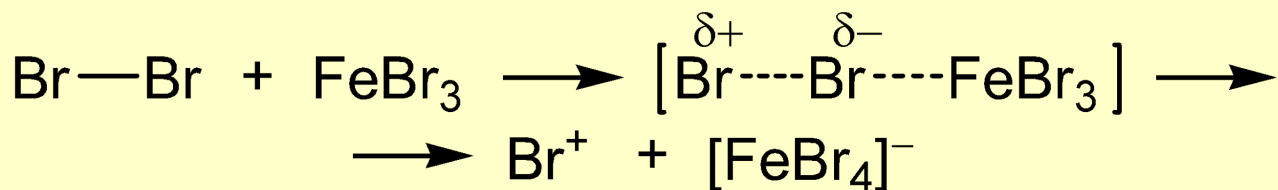
Ферроцен используют для получения ферроцерона – лекарственный препарат при лечении заболеваний, вызванных дефицитом железа в организме.



Дициклопентадиенилжелезо

Химические свойства бензола

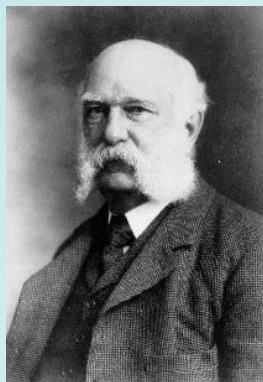




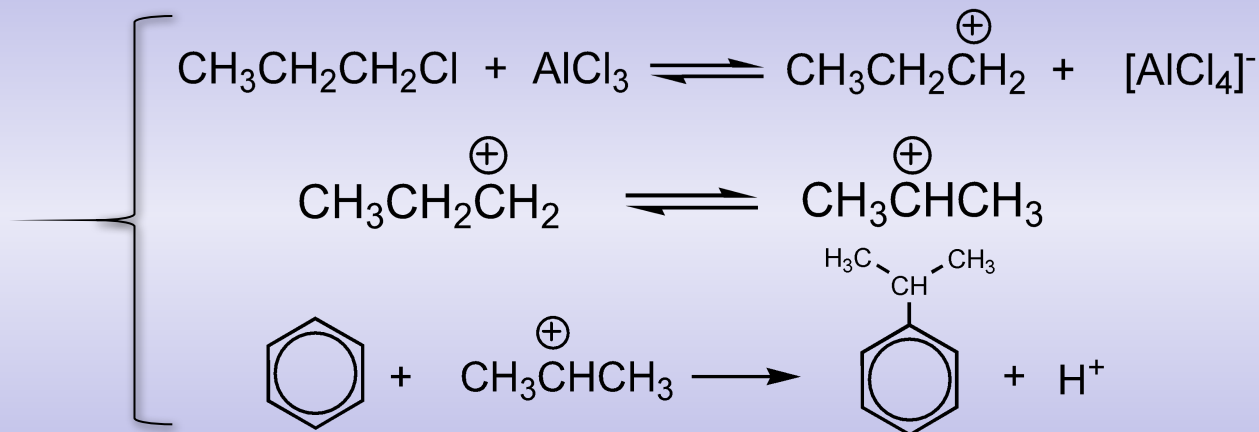
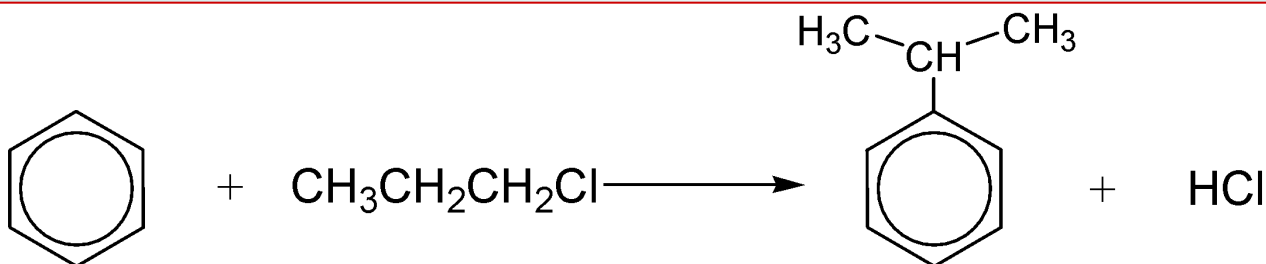
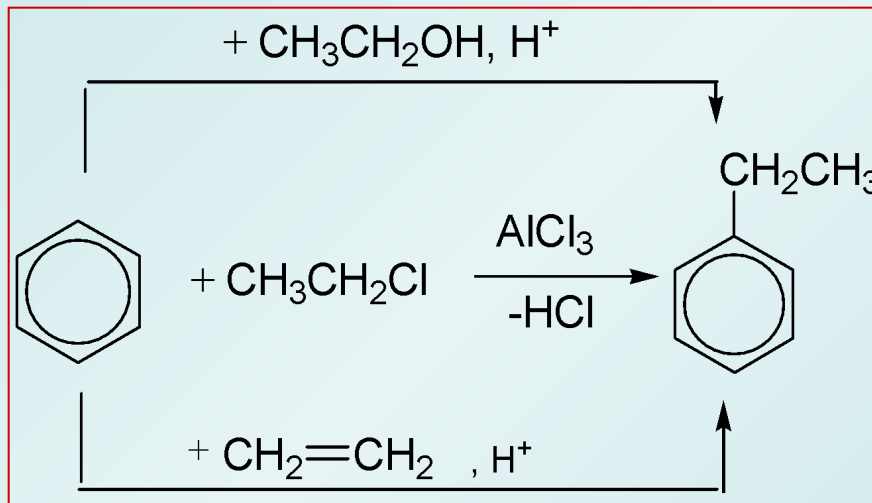
Реакция алкилирования (Реакция Фриделя — Крафтса)

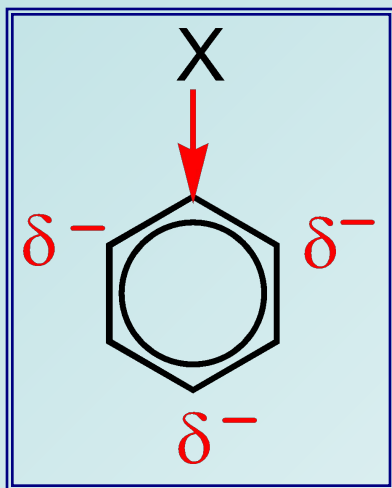


Шарль Фридель
(1832-1899)



Джеймс Мейсон
Крафтс (1839-1917)



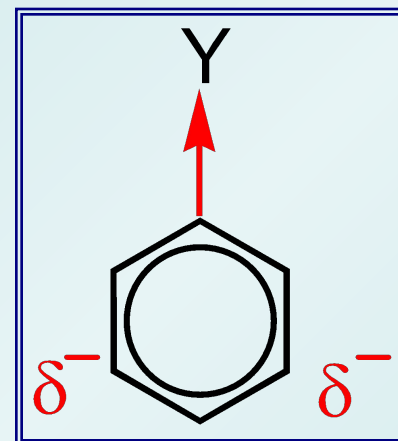
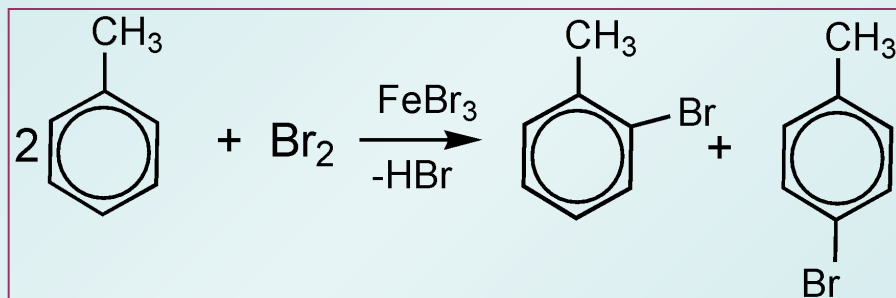


X:

a) *R*-, -OH, -NH₂, -NHR, -NR₂, -OR

б) F-, Cl-, Br-, I-

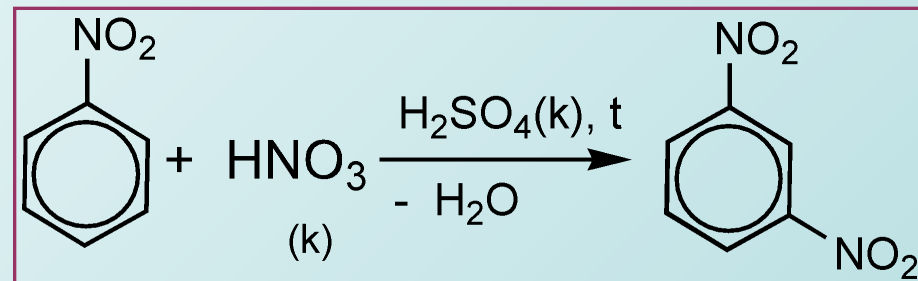
орто-, пара- ориентанты



Y:

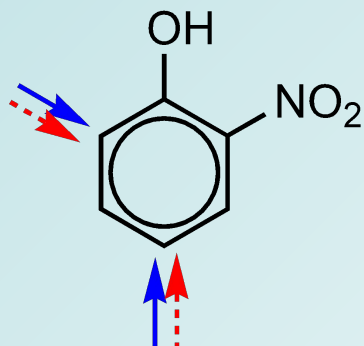
R- - NO₂, -COOH, -C(=O)H, -SO₃H

мета- ориентанты

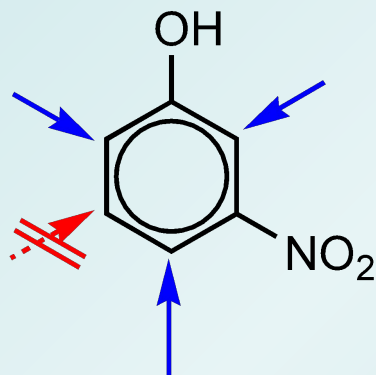


Согласованная и несогласованная ориентация

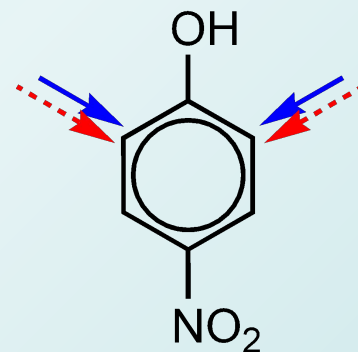
1



согл.

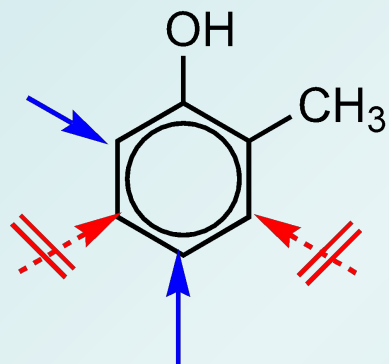


несогл.

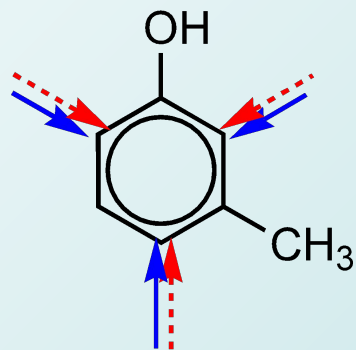


согл.

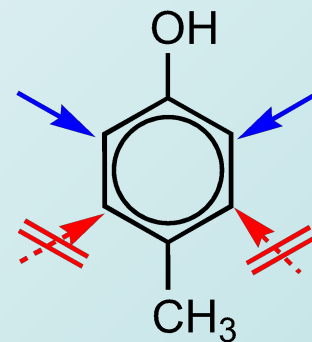
2



несогл.



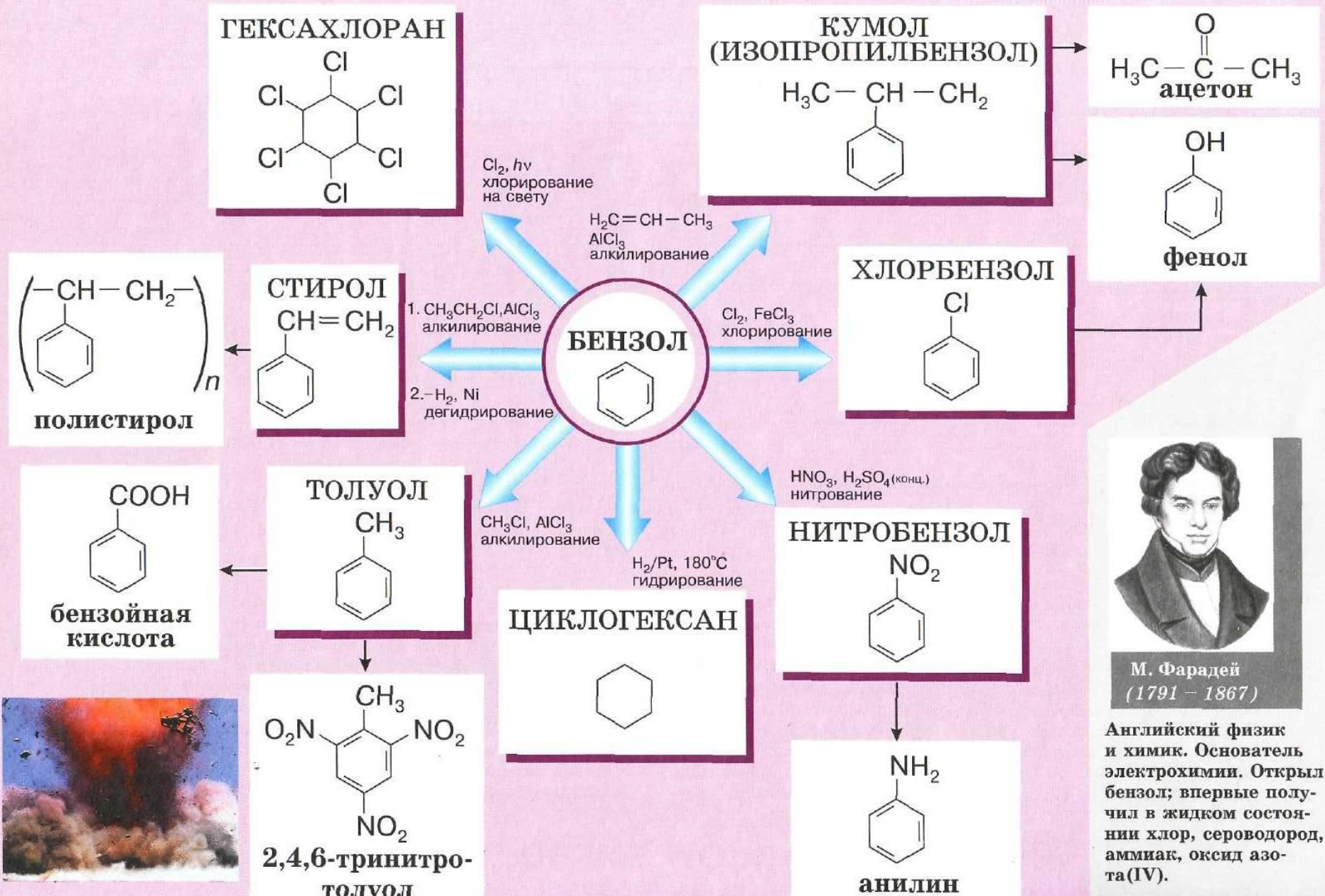
согл.



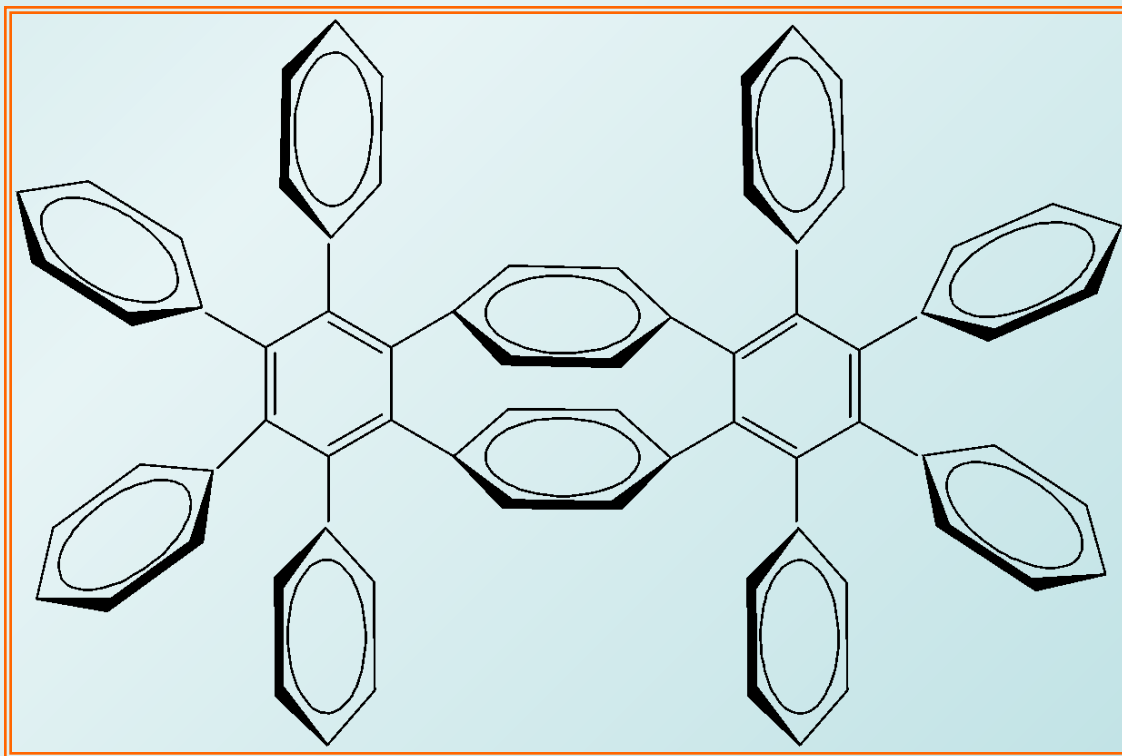
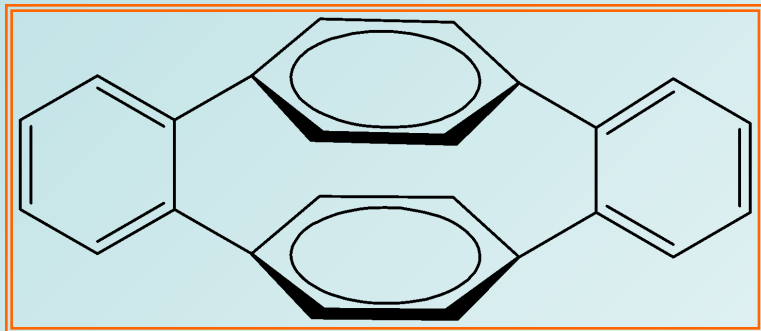
несогл.

2

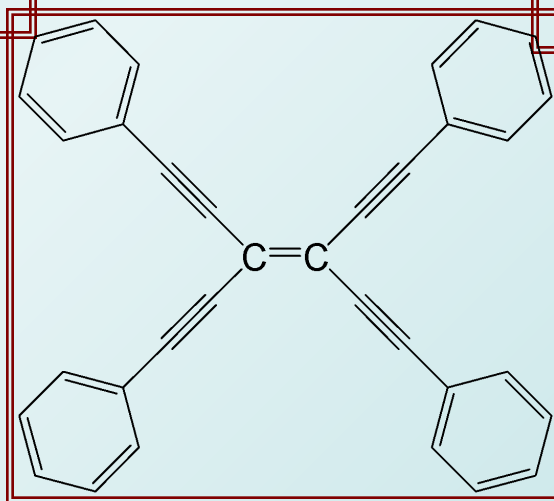
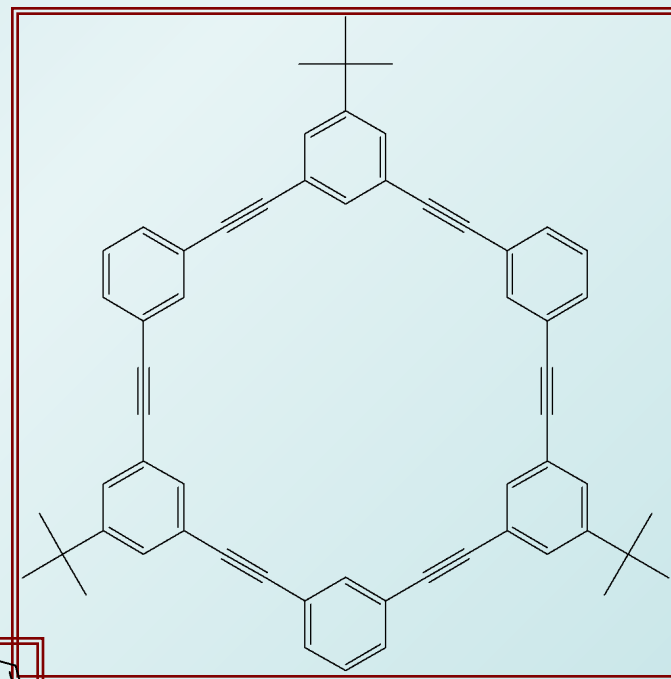
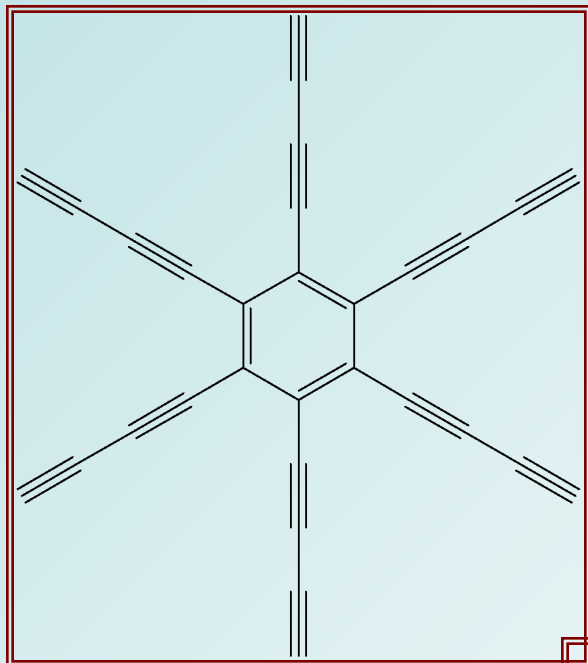
3



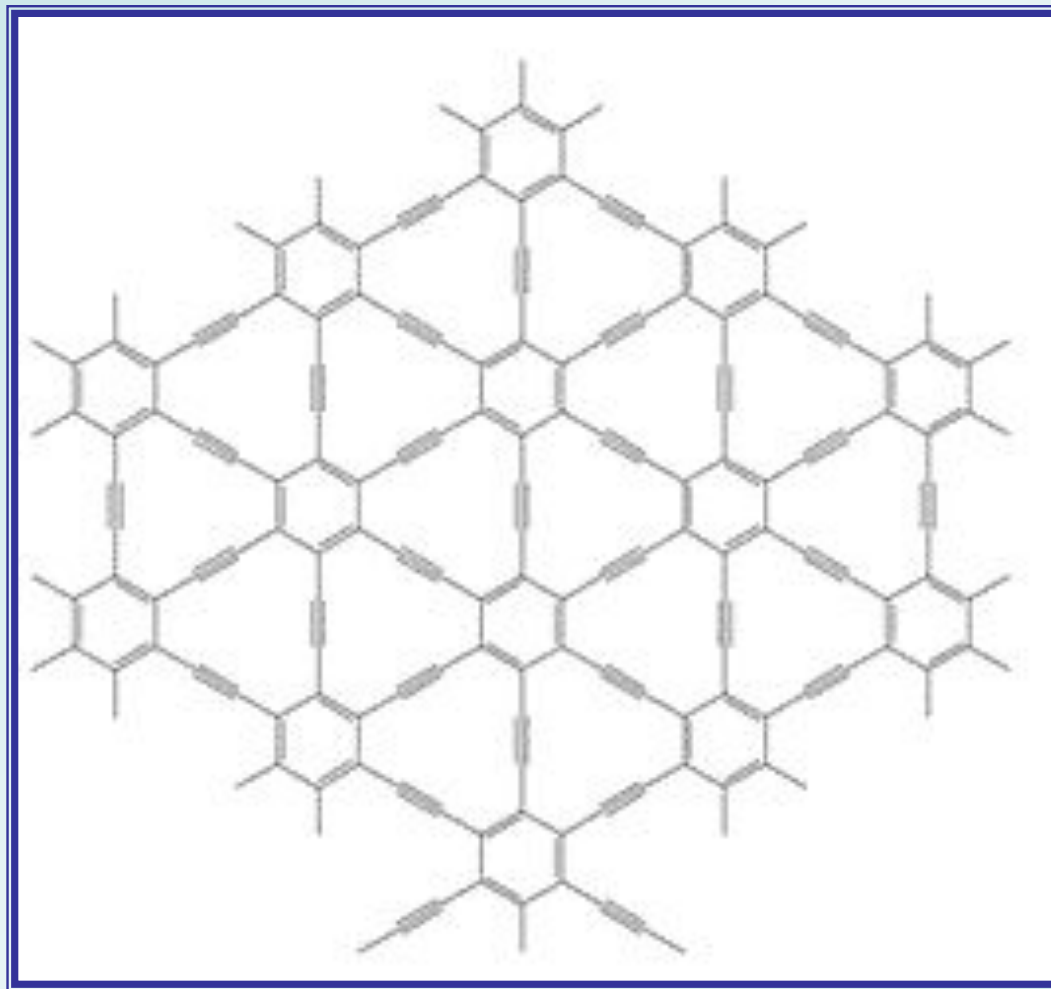
Циклофаны



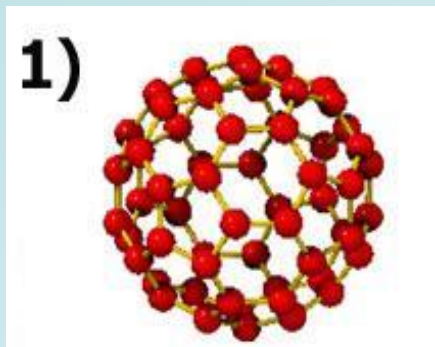
Высокосопряженные системы



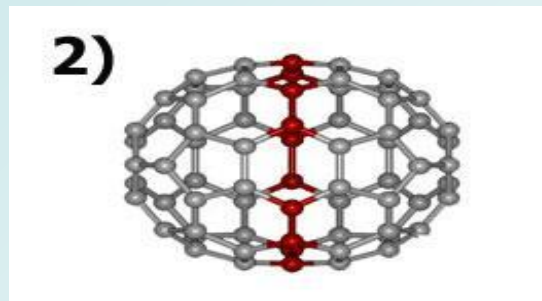
Графин



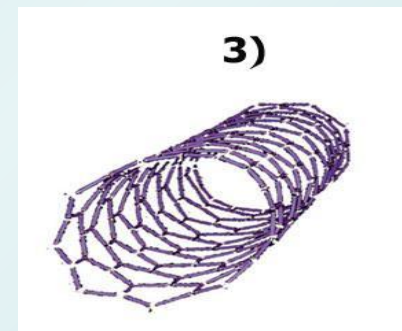
Основные типы фуллероидных наночастиц



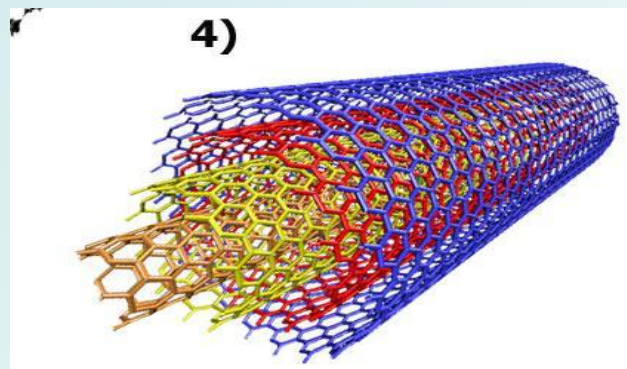
Фуллерен C-60
(0,67 nm)



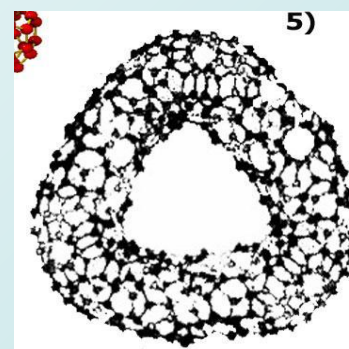
Фуллерен C-70
(0,69 nm)



Однослойные углеродные нанотрубки (диаметр 1 nm)



Многослойные углеродные нанотрубки (диаметр 6-60 nm)

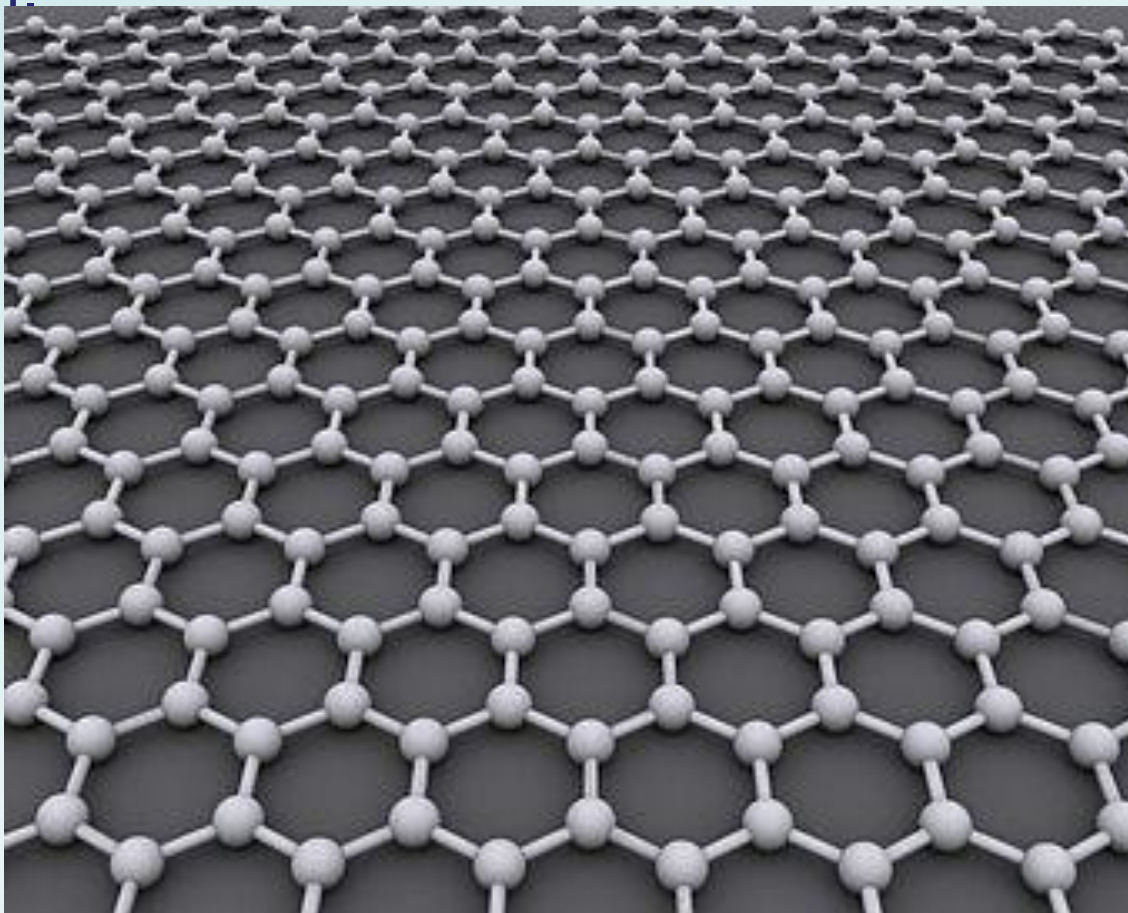


Астралены
(средний размер – 45 nm)

Графен

Нобелевская премия по физике, 2010

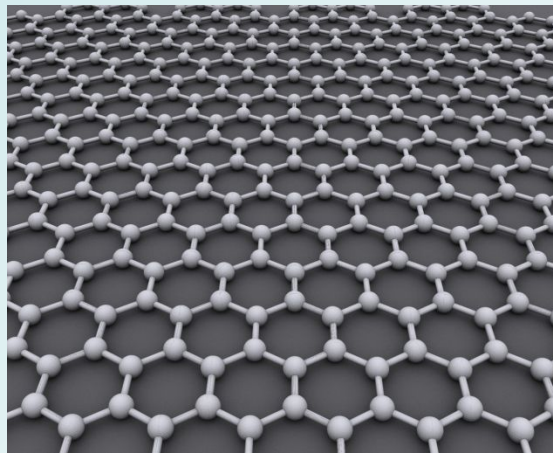
Г.



2010 г. – Нобелевская премия по физике за открытие и исследование **графена** - двумерной формы углерода.



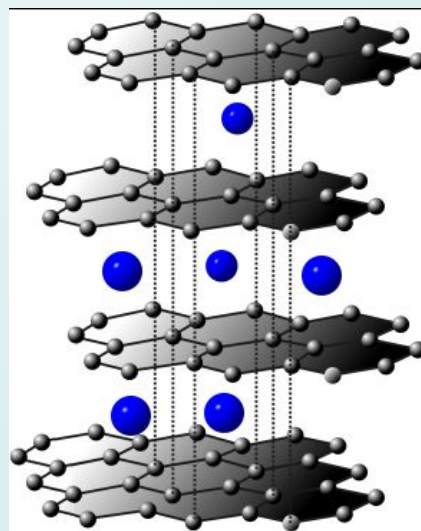
**Константин Сергеевич
Новосёлов**



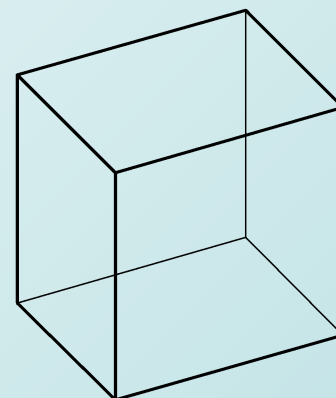
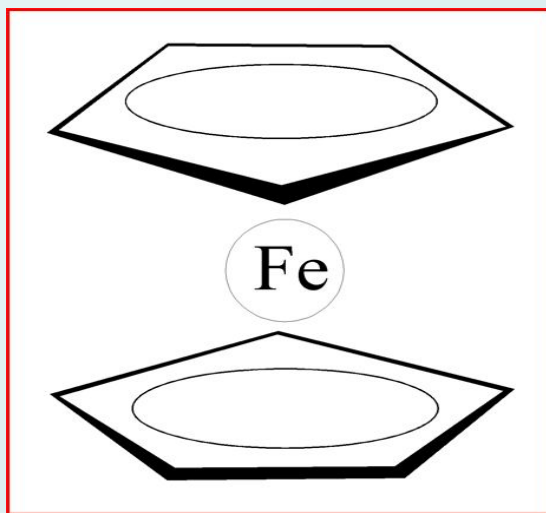
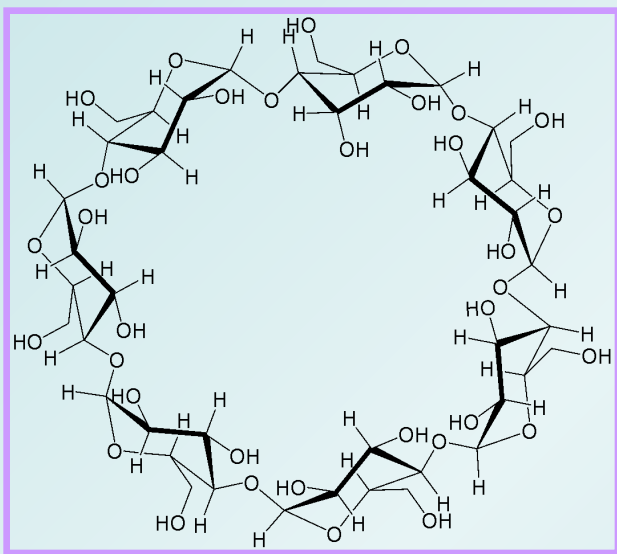
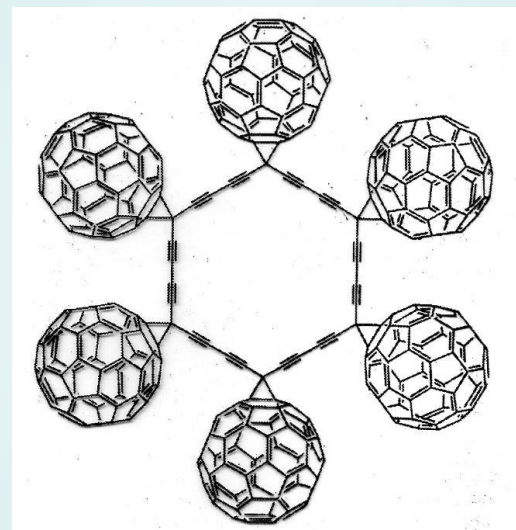
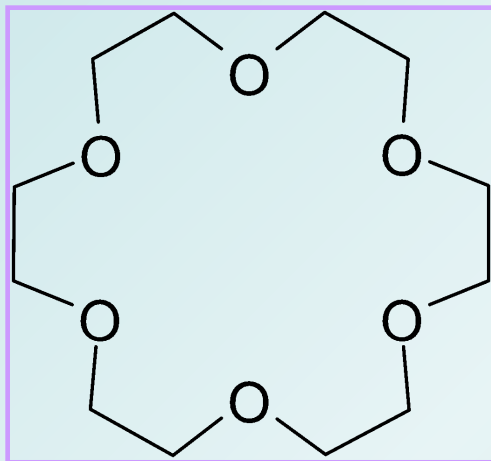
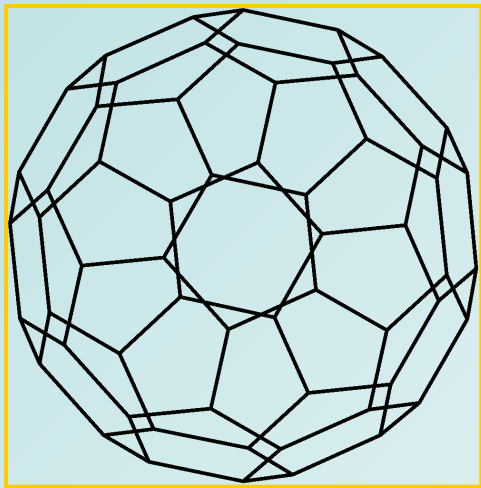
Идеальная кристаллическая структура графена представляет собой гексагональную кристаллическую решётку.



Андрей Гейм



Слои интеркалированного графита можно легко отделить друг от друга.





**Спасибо за
внимание!**