

# ОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ

ГР ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ И ПРОФОРИЕНТАЦИИ  
КАФЕДРА ХИМИИ



## АРЕНЫ

1. Строение, изомерия.
2. Физические и химические свойства.
3. Получение.

Лектор: доктор биологических наук,  
профессор, зав. кафедрой химии Степанова  
Ирина Петровна

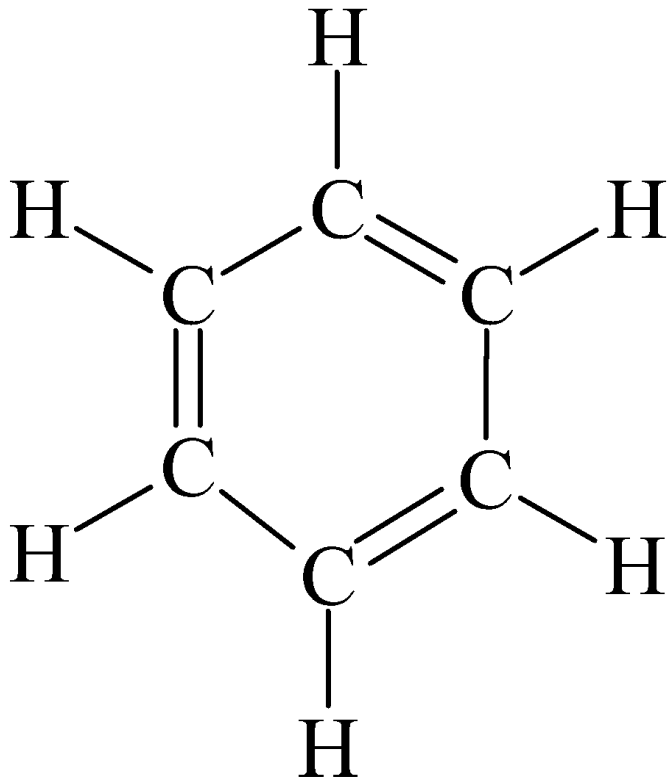
## Арены

Ароматические соединения (арены) — большая группа соединений карбоциклического ряда, молекулы которых содержат устойчивую циклическую группировку из шести атомов углерода (бензольное кольцо), обладающую особыми физическими и химическими свойствами.

Общая формула гомологического ряда аренов  $C_n H_{2n-6}$ .

Арен  
ы

## Бензол



Тест

ы

# Общая формула гомологического ряда ароматических углеводородов:



Тест

ы

К соединениям с общей формулой

$C_n H_{2n-6}$  относится:

1) бутадиен

3) стирол

2) толуол

4) гексен

**Формулы только ароматических углеводородов записаны в ряду:**

1)  $C_6H_6$ ,  $C_6H_{12}$ ,  
 $C_6H_{14}$ ;

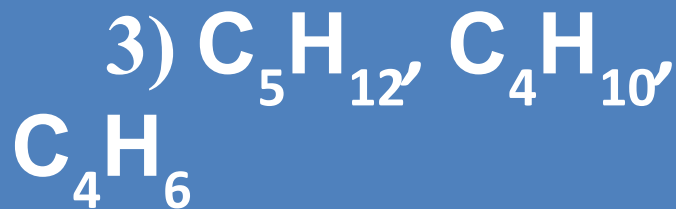
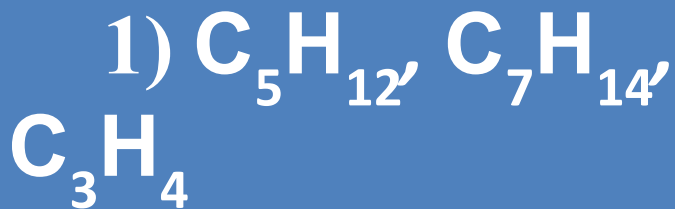
3)  $C_6H_6$ ,  $C_7H_{12}$ ,  $C_8H_{10}$ ;

2)  $C_6H_6$ ,  $C_7H_8$ ,  
 $C_8H_{10}$ ;

4)  $C_6H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_4H_{10}$ .

Тест

**Последовательности алкан –циклоалкан – арен может соответствовать ряд веществ:**



Арен  
ы

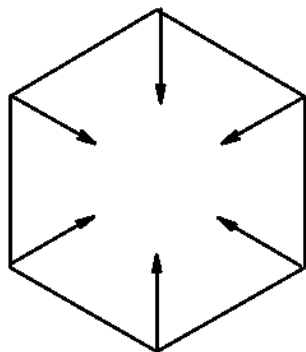
**1825 год. При термическом разложении ворвани (китового жира) образуется вещество, которое называется “бикарбюрет водорода”**

**М. Фарадей**

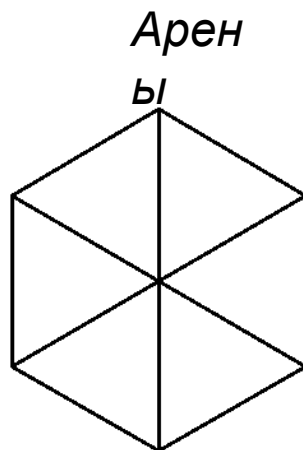
**В 1833 году Э. Митчерлих получил то же вещество разложением бензойной кислоты и дал ему название “бензин”.**

**Сейчас это вещество носит название бензол, а в англоязычной литературе используется слово “benzene”.**

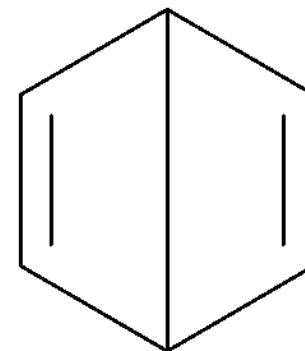




Claus (1867)

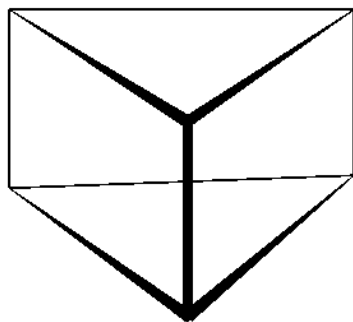


H. E. Armstrong (1887)

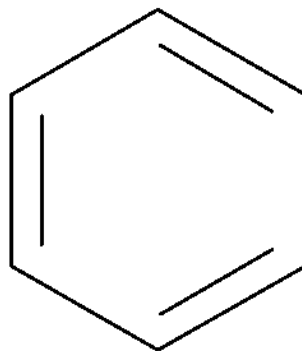


J. Dewar (1867)

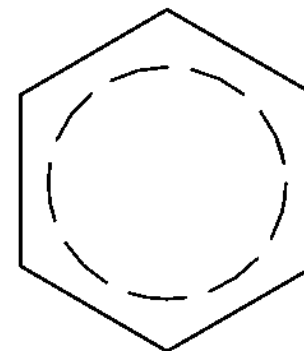
A. von Baeyer (1888)



A. Ladenburg (1869)

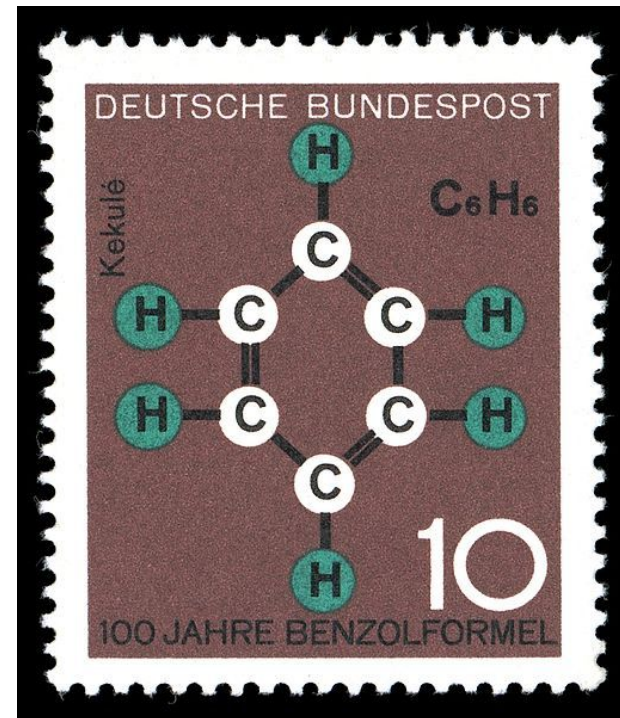


A. Kekule (1865)



F. K. J. Thiele (1899)

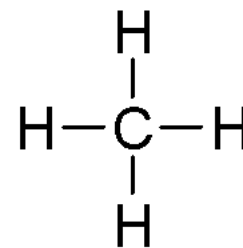
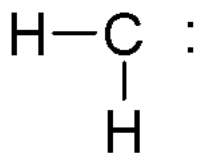
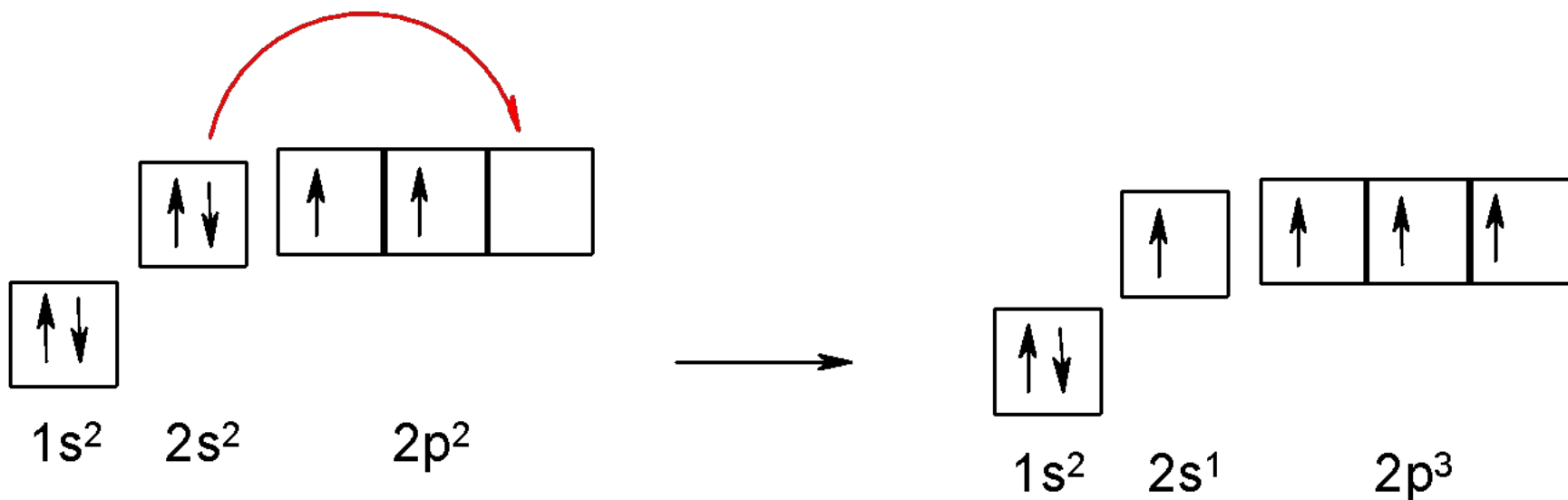
Арен  
ы



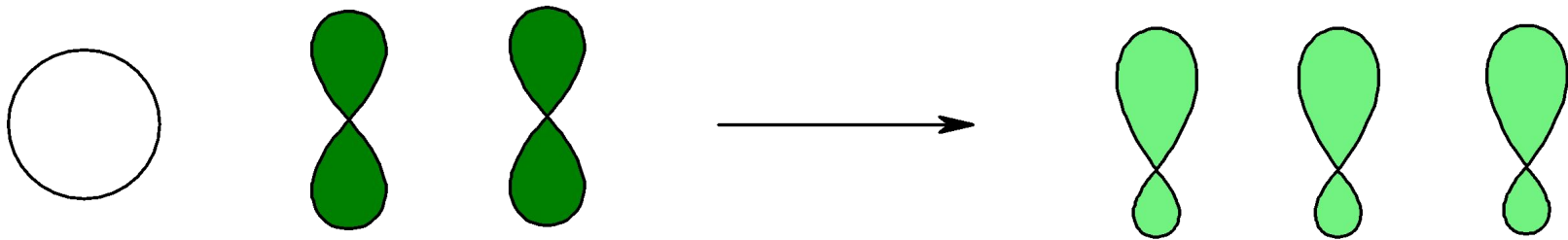
Памятник немецкому  
химику Августу Кекуле в  
Бонне

# Гибридизация аренов

## Электронное строение атома углерода



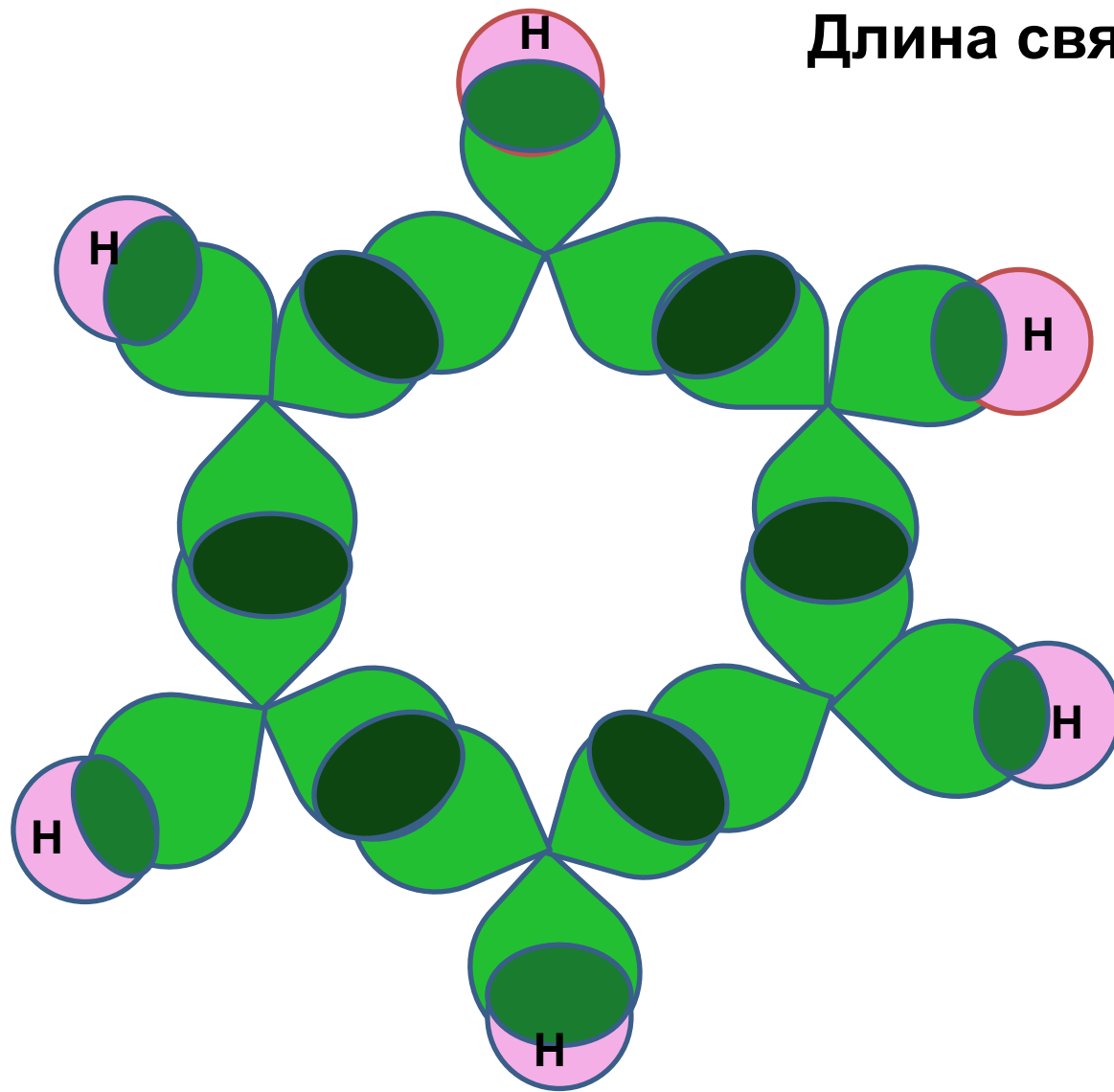
Атом углерода в аренах находится в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Энергии одной  $2s$  и двух  $2p$ -орбиталей выравниваются, при этом образуются 3 одинаковые  $sp^2$ -орбитали и остаётся одна негибридная  $p$ -орбиталь:



Арены

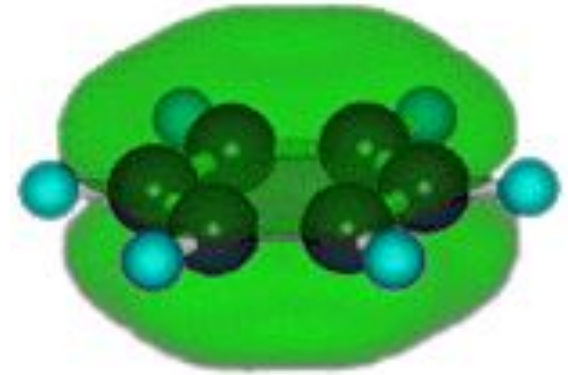
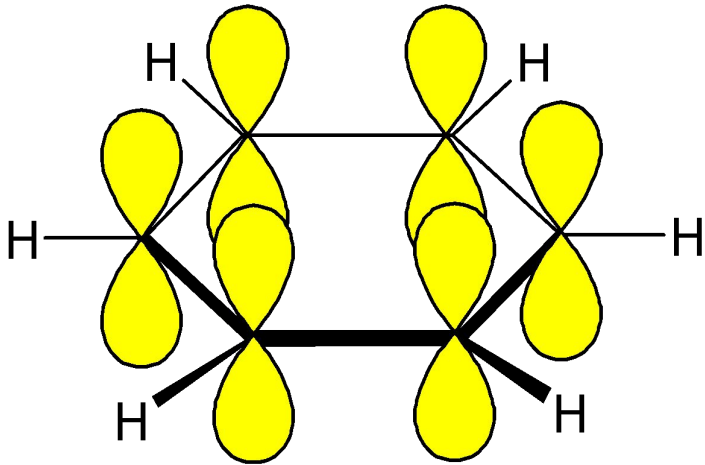
$sp^2$ -Гибридные орбитали участвуют в образовании  $\sigma$ -связей.

Длина связи C-C - 0, 140нм



6  $\sigma$      $SP^2-SP^2$   
6  $\sigma$      $S-SP^2$

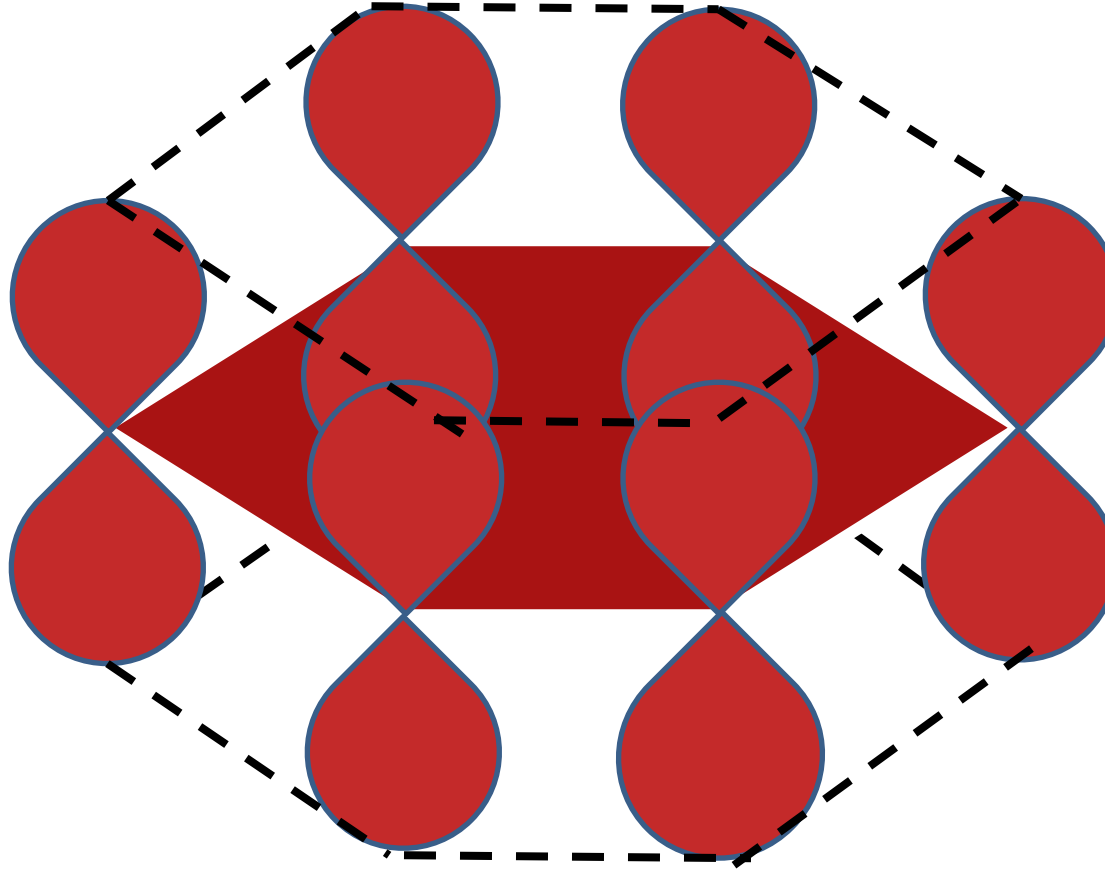
**Шесть негибридных орбиталей  
перекрываются с образованием общего  
 $\pi$ -электронного облака:**



перекрывающиеся p-электроны  
облако

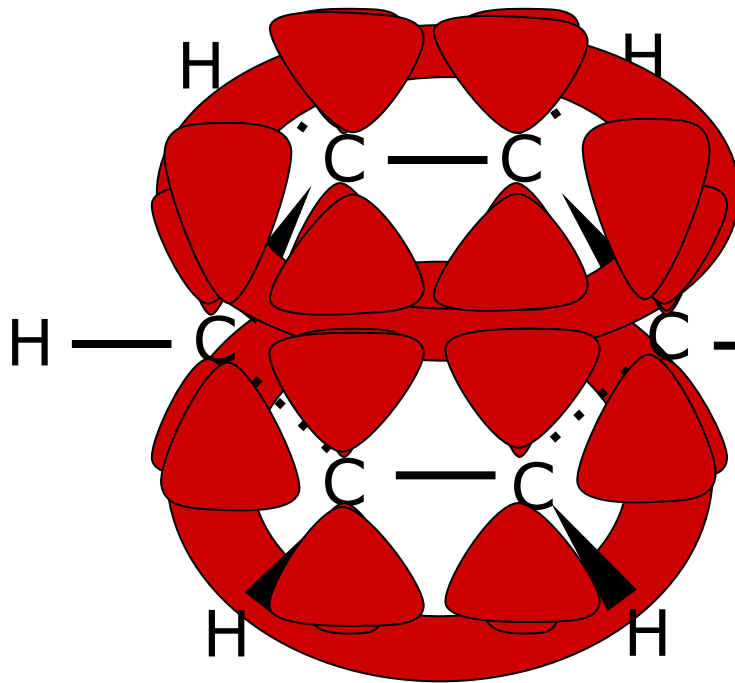
общее  $\pi$ -электронное

Арены



общее  $\pi$ -электронное облако

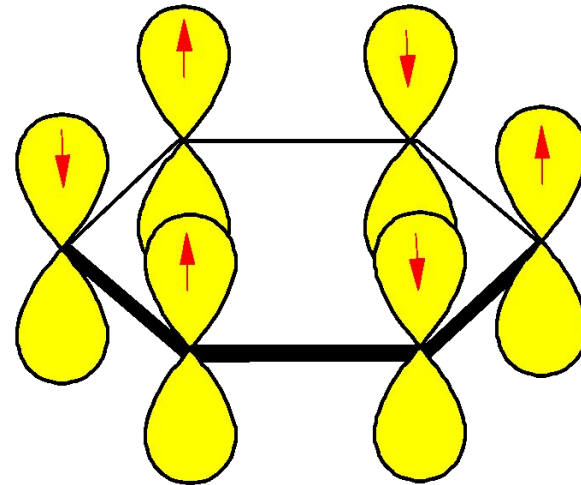
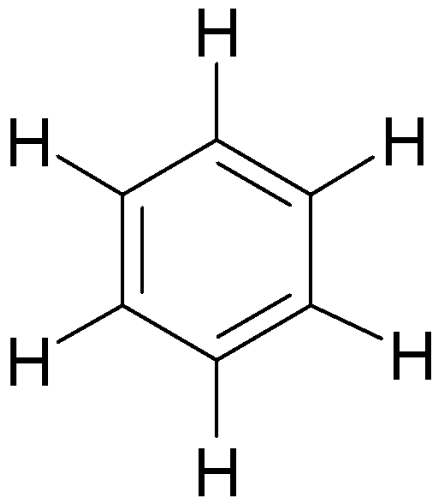
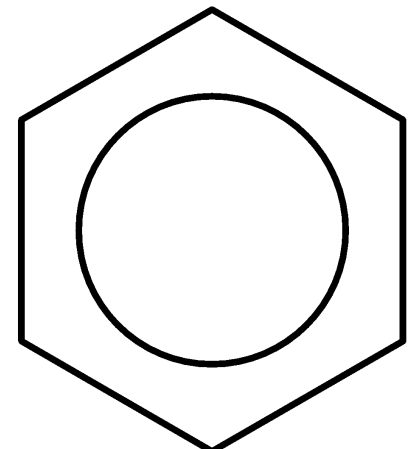
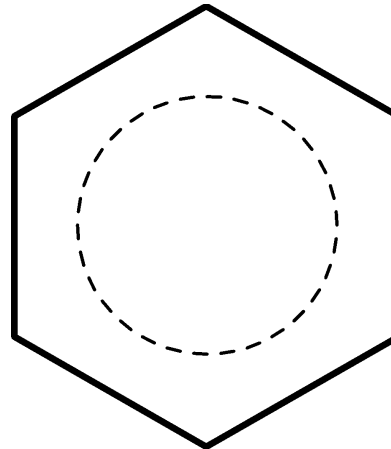
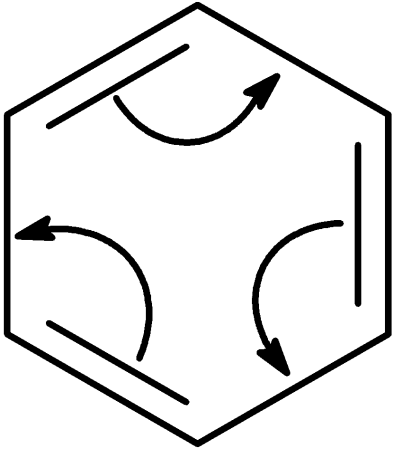
# Строение молекулы бензола



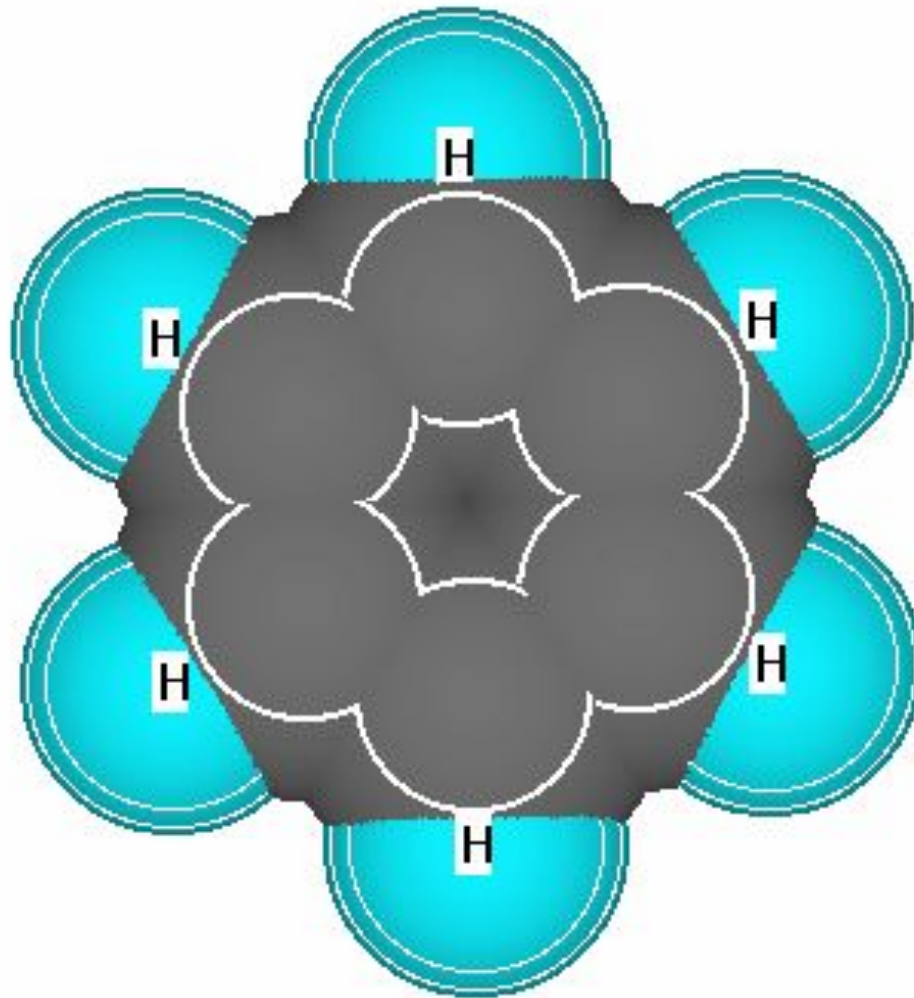
**6 электронов в  
делокализованной  
π СВЯЗИ**



# Строение молекулы бензола



## Строение молекулы бензола



Тест

**Атомы углерода в бензоле находятся в  
гибридизации:**

1)  $sp^3$

3)  $sp$

2)  $sp^2$

4)  $sp^3$  и  $sp^2$

Тест

**В молекуле толуола атомы углерода  
находятся в гибридизации:**

1)  $sp^3$

3)  $sp$

2)  $sp^2$

4)  $sp^3$  и  $sp^2$

Тест

ы

**Молекула бензола имеет строение:**

1) тетраэдрическое

3) линейное

2) угловое

4) плоское

Тест

**Валентный угол и длина связи С-С в молекулах аренов соответственно равны:**

а)  $120^{\circ}$  и 0.154 нм;

в)  $120^{\circ}$  и 0.134 нм;

б)  $120^{\circ}$  и 0.140 нм;

г)  $109^{\circ}28'$  и 0.154 нм.

Тест

**Число  $\sigma$ -связей в молекуле бензола равно:**

1) 6

3) 10

2) 8

4) 12

Тест

**Число  $\sigma$ -связей в молекуле толуола равно:**

1) 6

3) 12

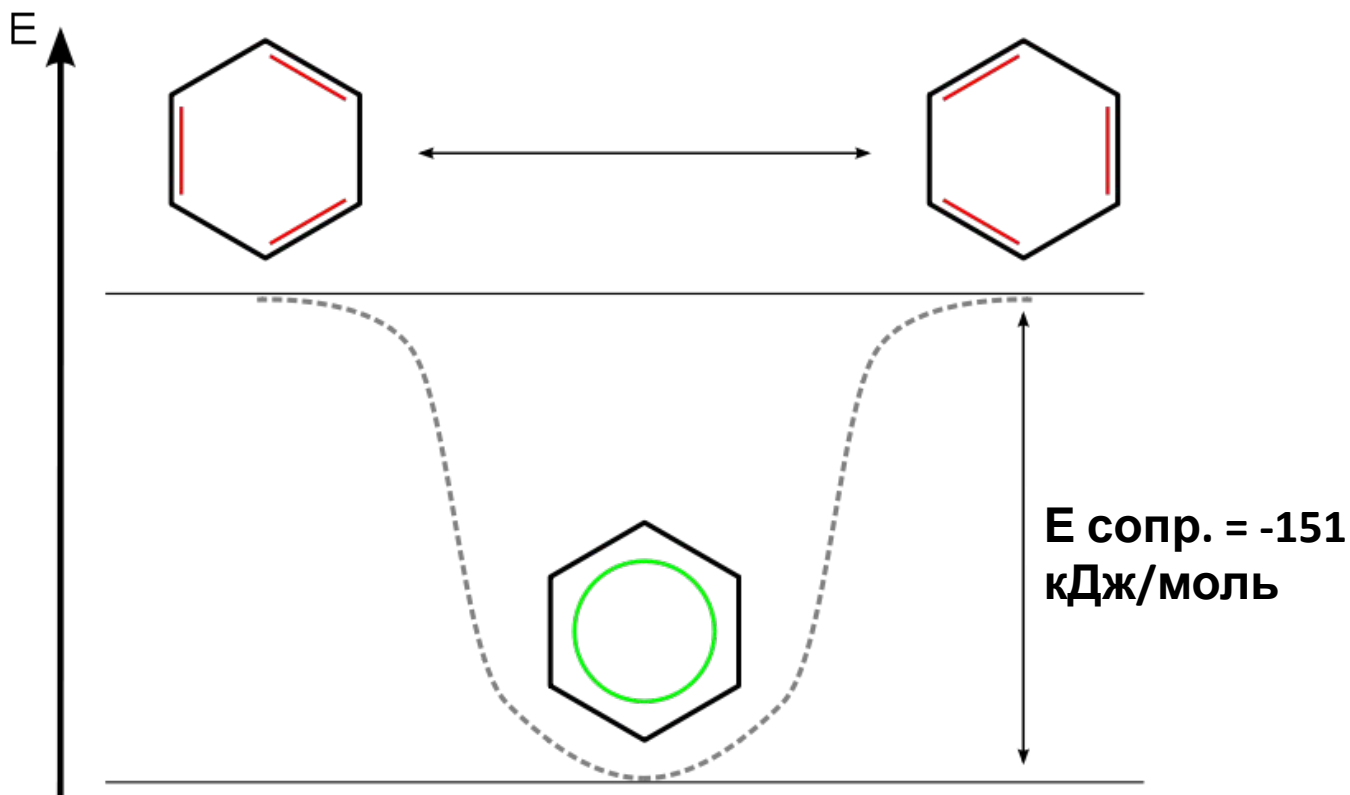
2) 8

4) 15



Арен

Делокализация приводит к значительному уменьшению энергии. Разница энергий называется энергией сопряжения

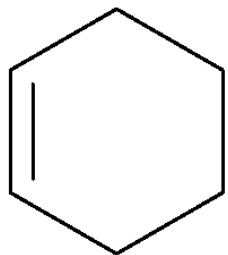


Делокализованная  
 $\pi$ -электронная  
система

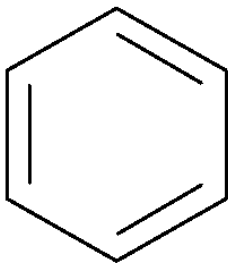
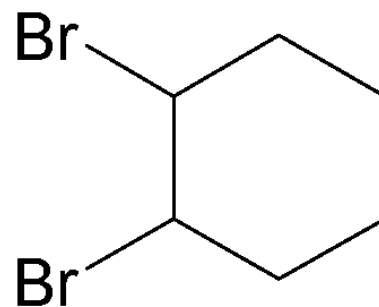
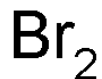
Арен

ы

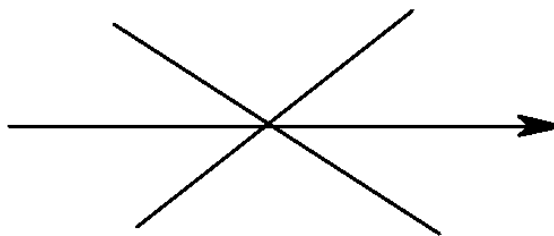
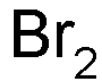
**«Ароматичность» – совокупность особых свойств бензола (высокая термодинамическая стабильность).**



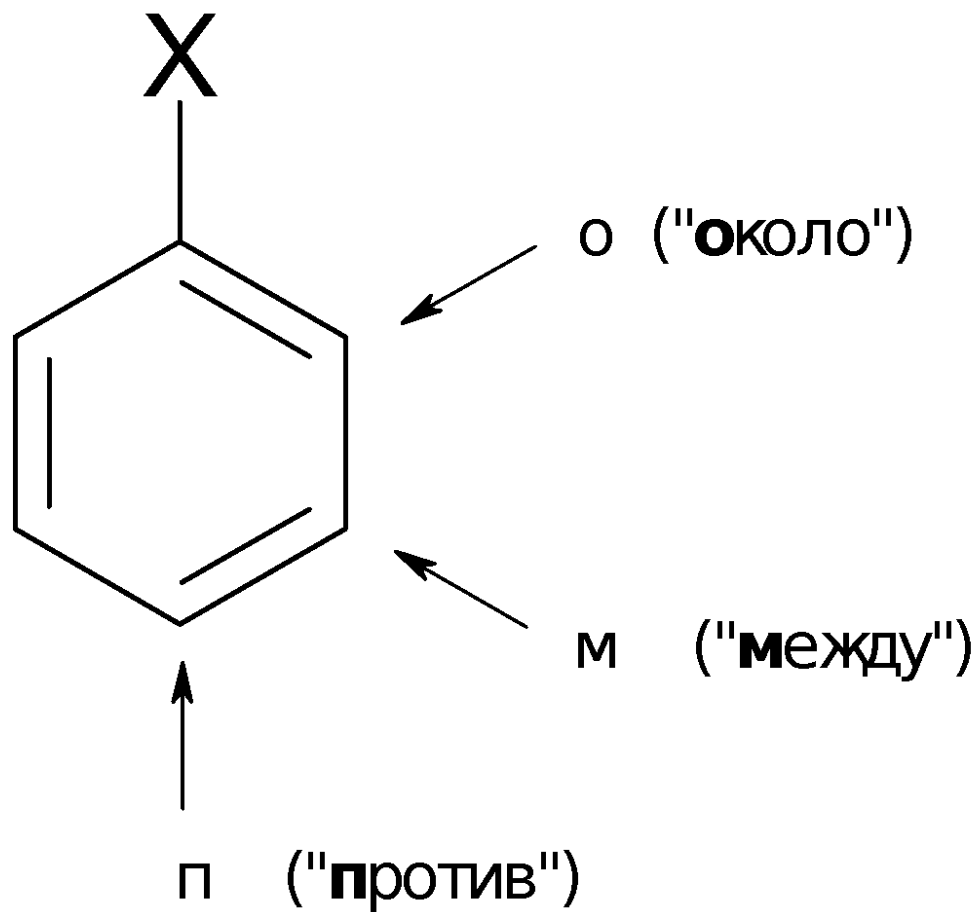
+



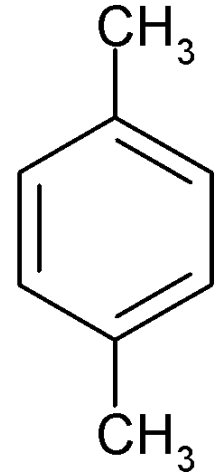
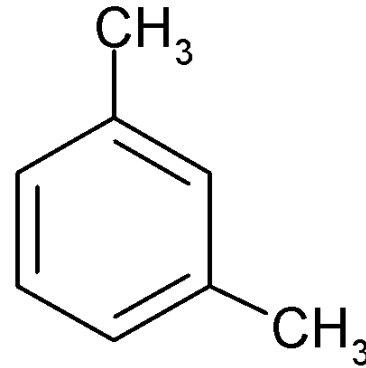
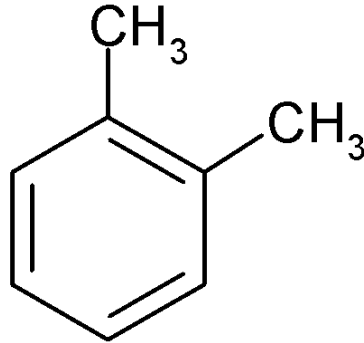
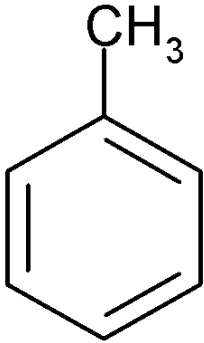
+



# Номенклатура аренов



Номенклатура  
аренов

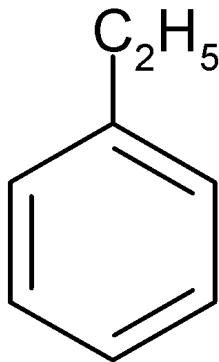


метилбензол  
толуол

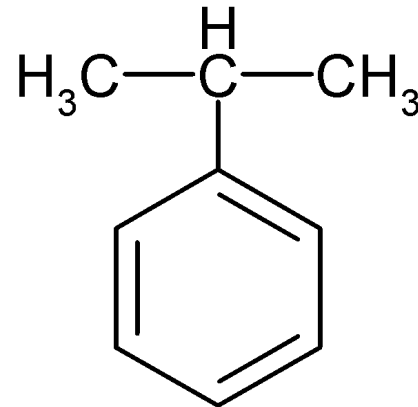
1,2-диметилбензол  
о-ксилол

1,3-диметилбензол  
м-ксилол

1,4-диметилбензол  
п-ксилол



этилбензол

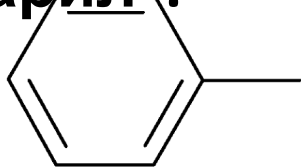


изопропилбензол (кумол)

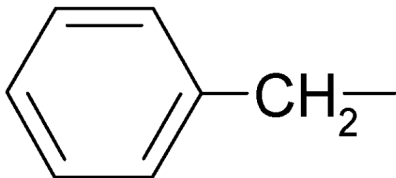
Номенклатура  
аренов

**Ароматические радикалы имеют общее название**

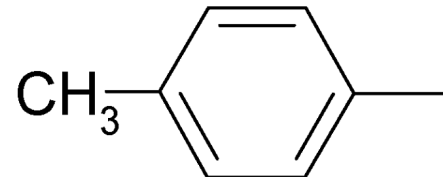
**"арил".**



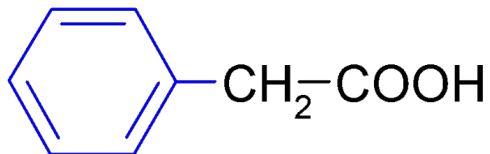
*фенил*



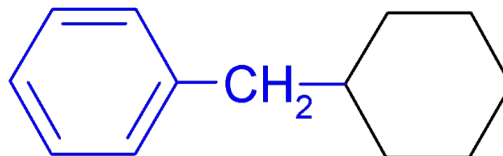
*бензил*



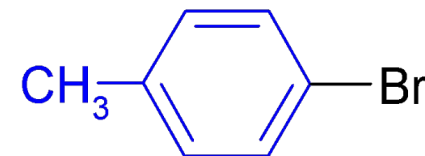
*п-толил*



*фенилуксусная кислота*



*бензилциклогексан*







*п-*

*толилбромид*

*(метаболит фенилаланина)*

Тест

Установите соответствие между формулой вещества и его названием.

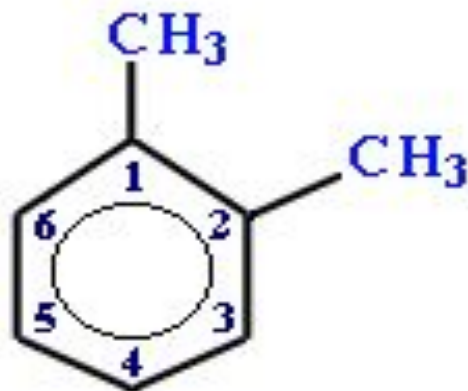
	ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА	НАЗВАНИЕ
А)	 -C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	1) толуол
Б)	 -CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2) стирол
В)	 -CH = CH <sub>2</sub>	3) кумол
Г)	 -CH <sub>3</sub>	4) этилбензол
		5) п-ксилол

А	Б	В	Г

# Структурная изомерия аренов

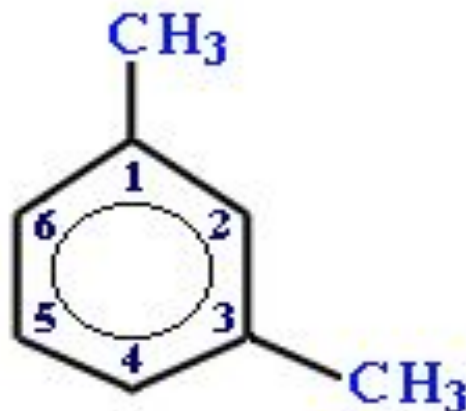
1) положения заместителей для *ди-, три- и тетра-*замещенных бензолов (например, *о-, м- и п-*ксилолы).

1,2-Диметилбензол



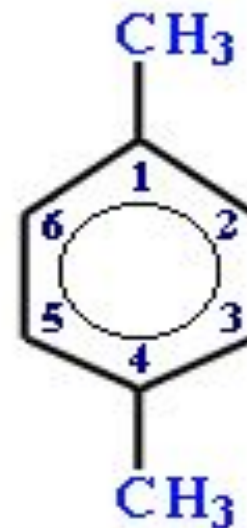
*орто*-ксилол  
(*о*-ксилол)

1,3-Диметилбензол



*мета*-ксилол  
(*м*-ксилол)

1,4-Диметилбензол



*пара*-ксилол  
(*п*-ксилол)

*Структурная изомерия  
аренов*

**2) Изомерия углеродного скелета алкильного заместителя, содержащего не менее 3-х атомов углерода. Например, пропилбензол и изопропилбензол.**

**3) Изомерия заместителей. Этилбензол и диметилбензолы имеют одинаковую молекулярную формулу:  $C_8H_{10}$ .**



*Тест*

**Изомером 1,3-диметилбензола  
является:**

**1) стирол**

**3)**

**изопропилбензол**

**2) мета-ксилол**

**4) этилбензол**

Тест

ы

## Бензол и толуол являются:

1) структурными  
изомерами

3) гомологами

2)  
геометрическими  
изомерами

4) одним и тем же  
веществом

Тест

ы

## Метилбензол и толуол являются:

1) структурными  
изомерами

3) гомологами

2)  
геометрическими  
изомерами

4) одним и тем же  
веществом

Тест

ы

## Фенилметан и бензол являются:

1) структурными  
изомерами

3) гомологами

2)  
геометрическими  
изомерами

4) одним и тем же  
веществом

*Тест*

**Изомером 1,2-диметилбензола  
является:**

1) пропилбензол

3) 1,4-  
диметилбензол

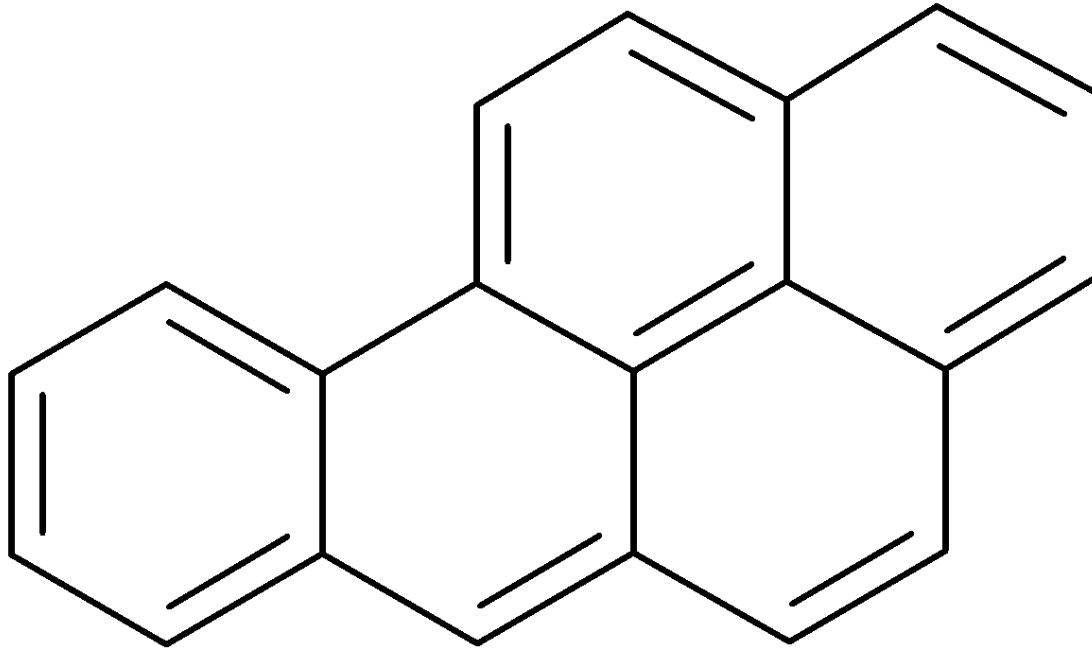
2) орто-ксилол

4) кумол

## Физические свойства



Первые члены гомологического ряда бензола (например, толуол, этилбензол и др.) — бесцветные жидкости со специфическим запахом. Они легче воды и нерастворимы в ней. Хорошо растворяются в органических растворителях.

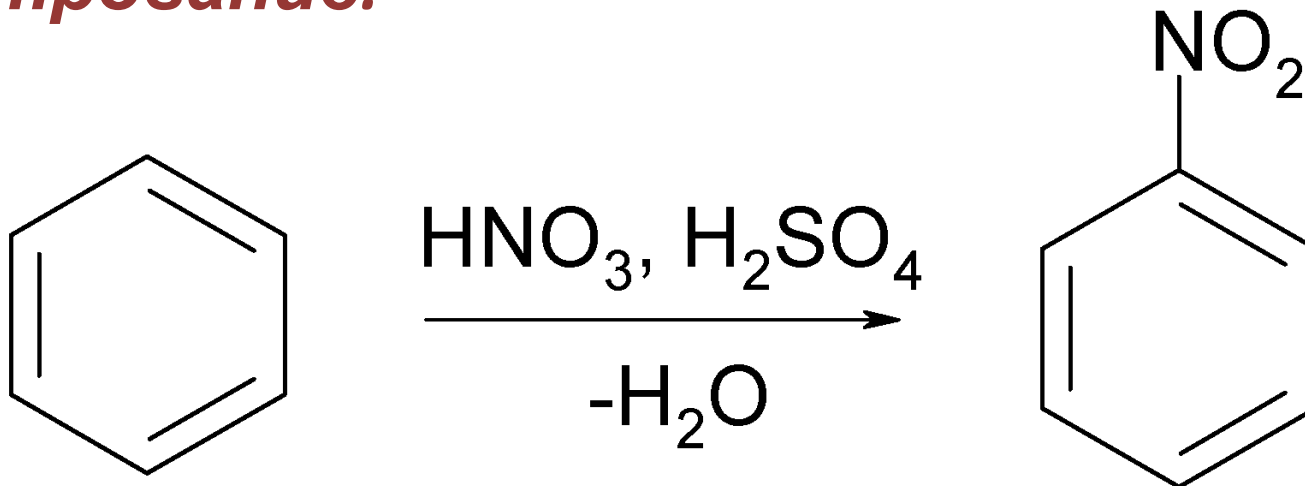


***Бензопирен – мощный канцероген.***

# Химические свойства

## I. Реакции замещения в бензольном кольце

### 1) Нитрование:



**нитробенз**

**ол**  
Нитробензол,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ , желтоватая маслянистая жидкость с характерным миндальным запахом.

Применяется для получения анилина, в производстве красителей, как растворитель и окислитель.



*Тест*

**Превращение бензола в нитробензол осуществляется с помощью реакций:**

**1)  
присоединения**

**3) замещения**

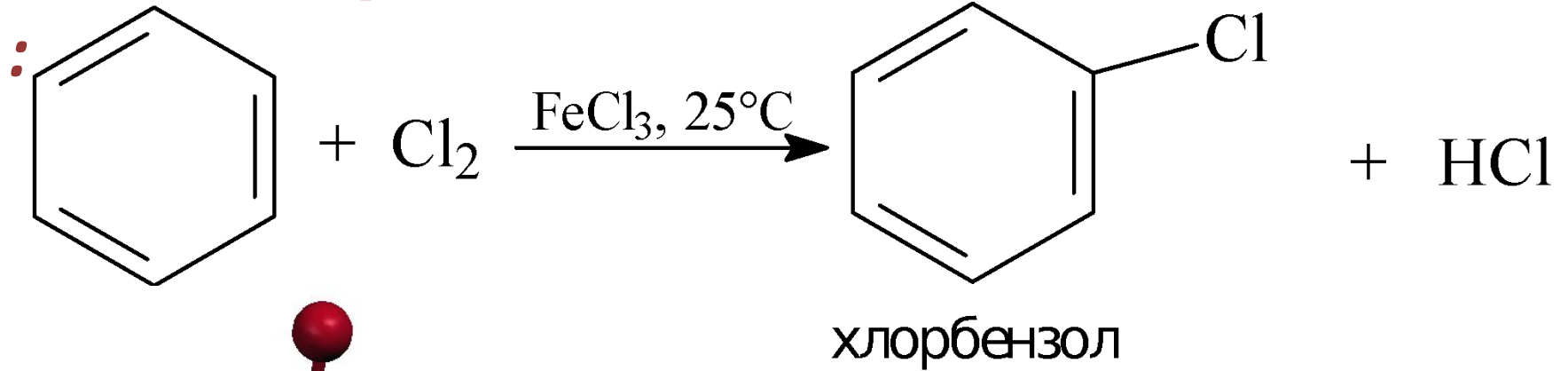
**2) обмена**

**4) окисления**

Химические  
свойства

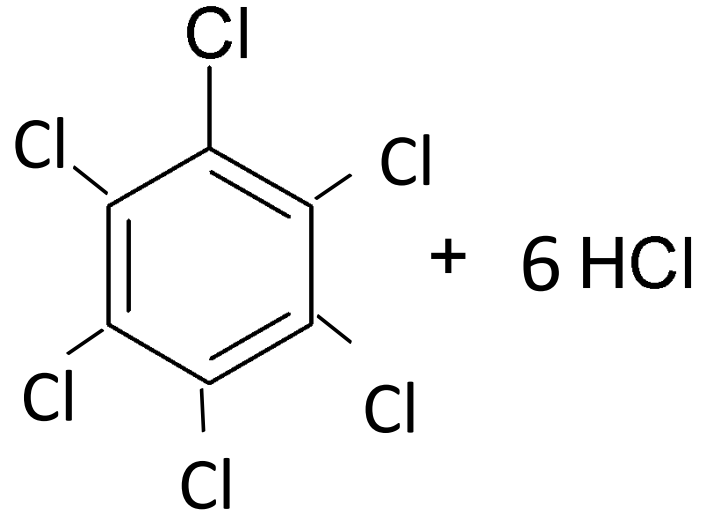
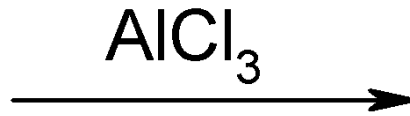
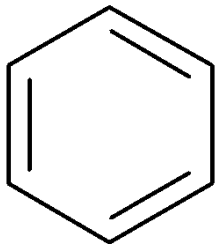
2)

**Галогенирование**

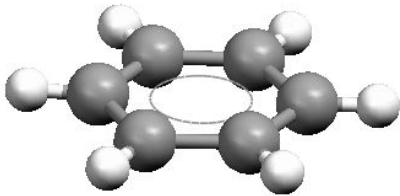


Химические  
свойства

## Галогенирование:



гексахлорбенз  
ол



*Тест*

**Взаимодействие бензола с хлором в присутствии хлорида алюминия относится к реакциям:**

1) пиролиза

3) разложения

2) замещения

4) присоединения

Тест

**Продуктом взаимодействия бензола с хлором в присутствии хлорида алюминия является:**

1) хлорбензол

3)

гексахлорбензол

2)

1,3,5-  
трихлорбензол

4)

гексахлорциклогекса  
н

Тест

**Продуктом взаимодействия бензола с хлором в присутствии бромида железа(III) является:**

1) хлорбензол

3)

гексахлорбензол

2)

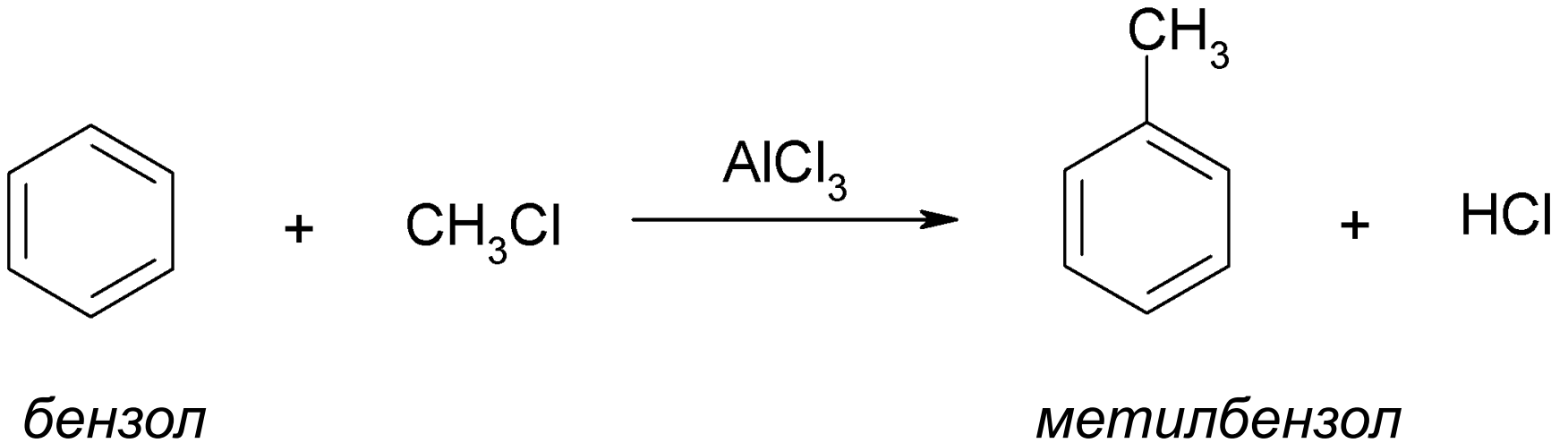
1,3,5-  
трихлорбензол

4)

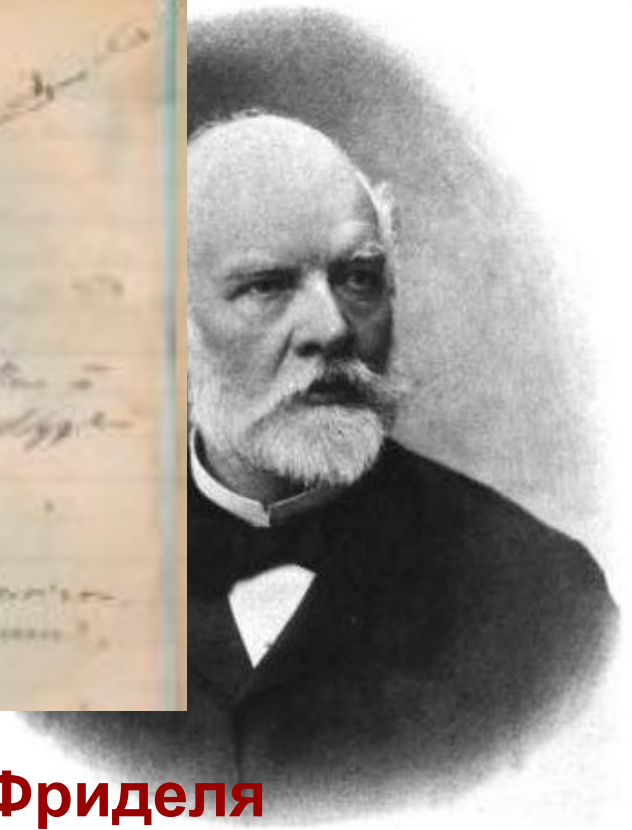
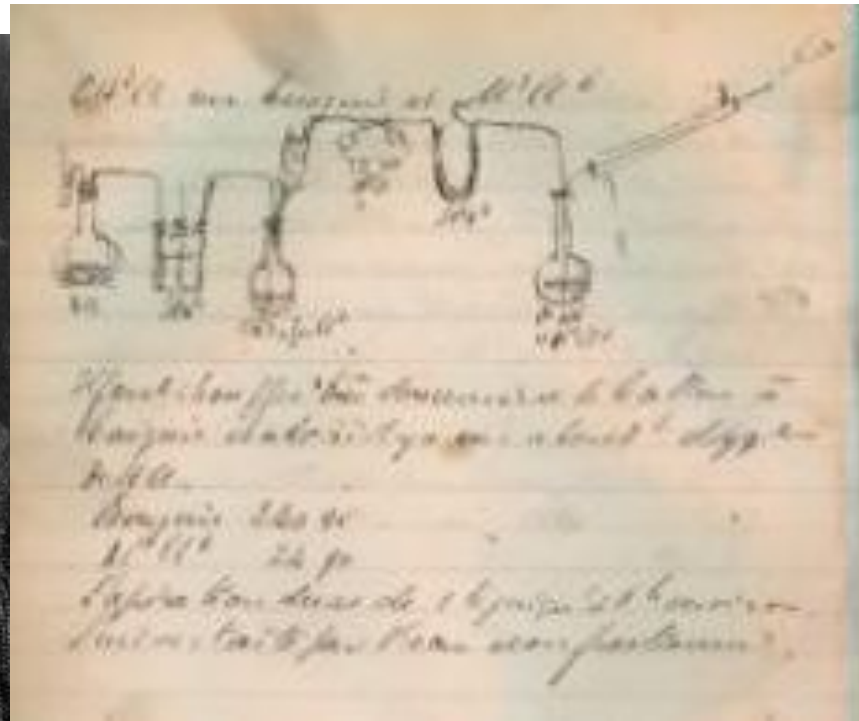
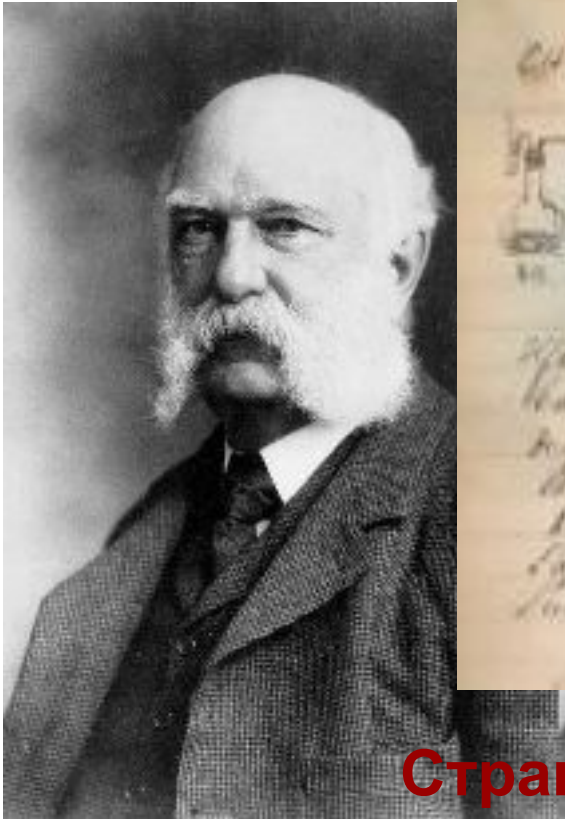
гексахлорциклогекса  
н

Химические  
свойства

### 3. Алкилирование (введение алкильной группы в молекулу в бензольное ядро) — Реакция Фриделя -Крафтса:



## Химические свойства



### Страница из блокнота Фриделя

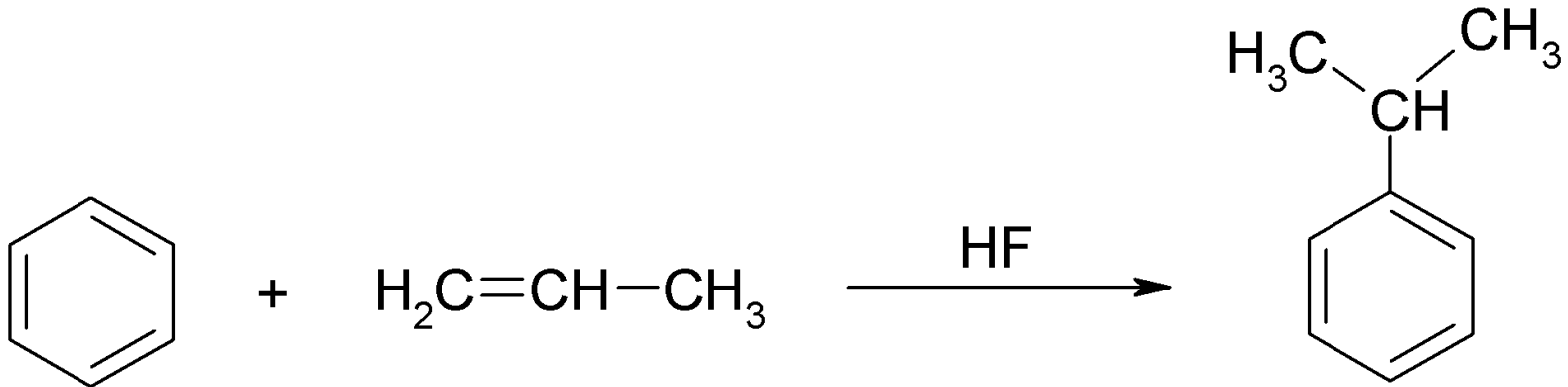
**Крафтс (Crafts) Джеймс Мейсон**  
(8.3.1839 — 20.6.1917, США)

**Фридель (Friedel) Шарль**  
(12.3.1832 — 20.4.1899,  
Франция)



*Химические  
свойства*

**Арены могут алкилироваться также под действием алкенов:**

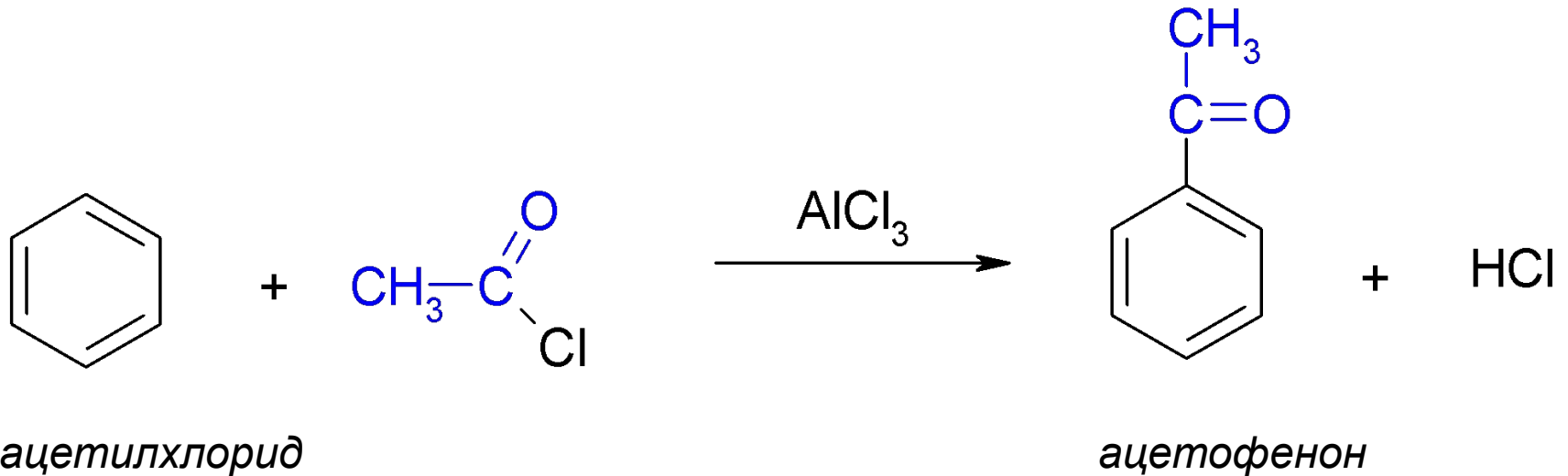


*пропен  
изопропилбензол*

*Кумол (изопропилбензол), бесцветная жидкость, <sup>(кумол)</sup> tкип 152,4 °С. Применяется в промышленности для синтеза фенола и ацетона, а также как высокооктановая добавка к авиационным бензинам и как растворитель.*

Химические  
свойства

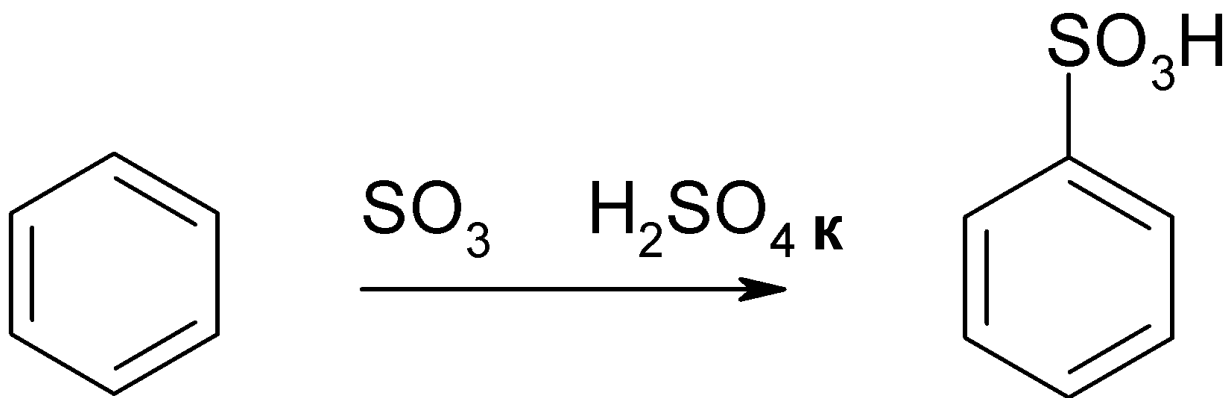
## 4. Ацилирование (введение ацильной группы в ядро бензола):



Ацетофенон (метилфенилкетон, ацетилбензол) – используется в производстве лекарственных препаратов и в качестве отдушки (запах черёмухи) в производстве мыла.

Химические  
свойства

## 5. Сульфирование:



бензолсульфокисло  
та

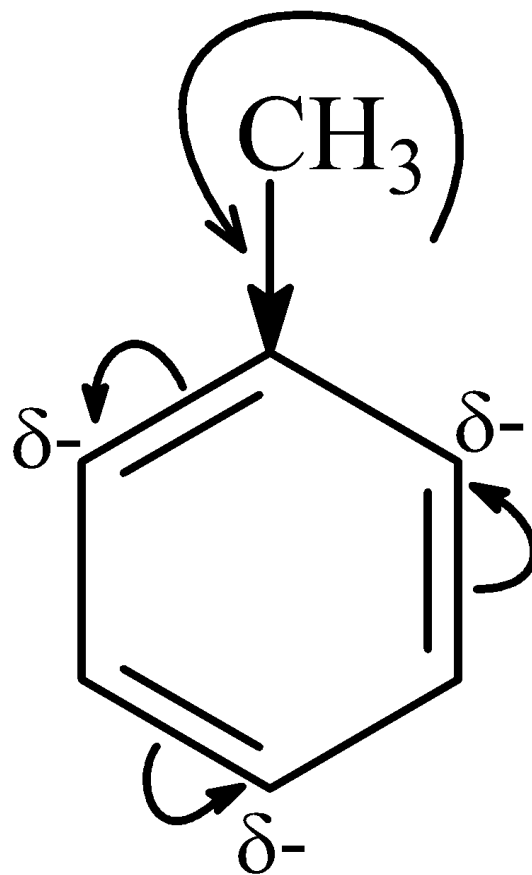
# Ориентирующее действие заместителя

По ориентирующему действию заместители можно разделить на 3 группы:

1. Заместители первого рода: направляют замещение в орто- и пара-положения (алкильные группы, -ОН, -NH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>O-,).

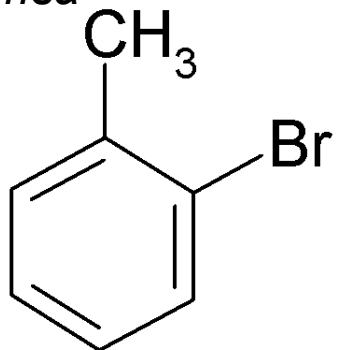
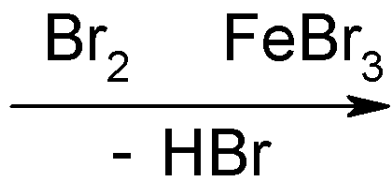
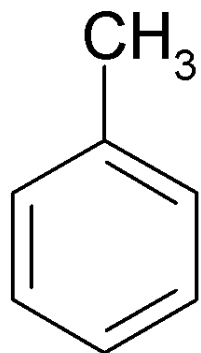
Химические  
свойства

## Заместители I рода



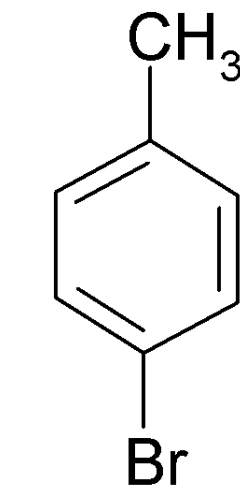
толуо  
л

*Химические  
свойства*



*o-бромтолуол  
бромтолуол*

+



*п-*

*Тест*  
**Превращение толуола в 2,4,6-трибромтолуол осуществляется с помощью реакций:**

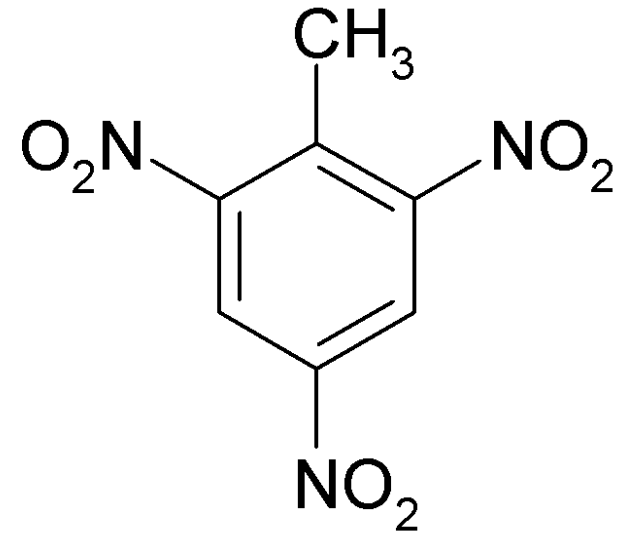
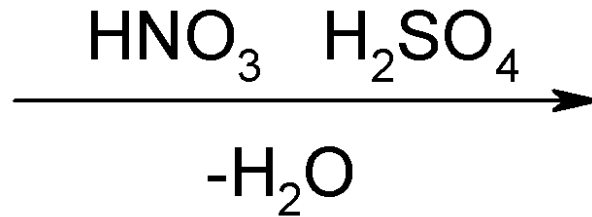
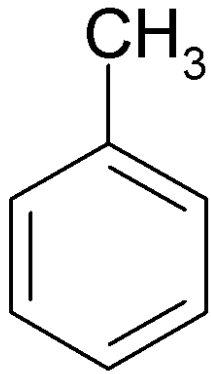
**1)  
присоединения**

**3) замещения**

**2) обмена**

**4) окисления**

Химические  
свойства



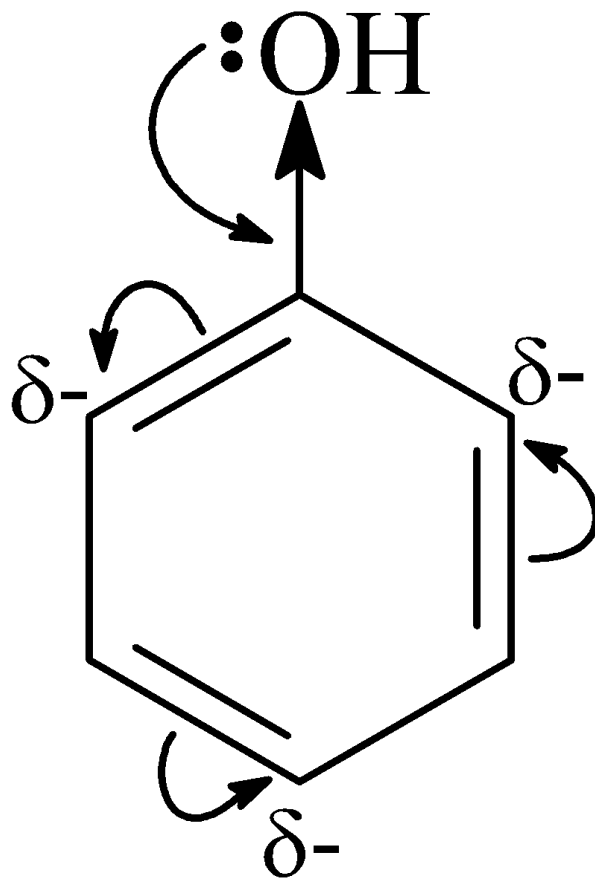
2,4,6-  
тринитротолуол  
(тротил)

*Тротиловый эквивалент используется для оценки энергии, выделяющейся при ядерных взрывах, подрывах химических взрывчатых устройств, падениях астероидов, взрывах вулканов.*



Химические  
свойства

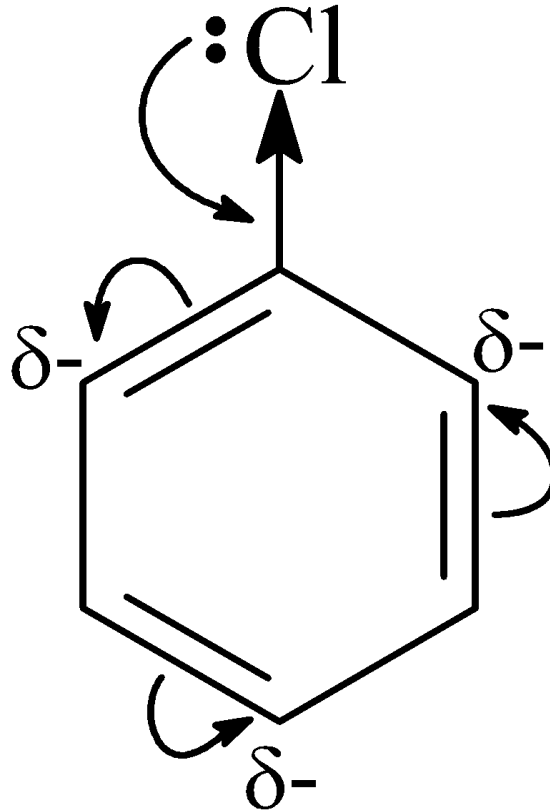
## Заместители I рода



фено  
л

Химические  
свойства

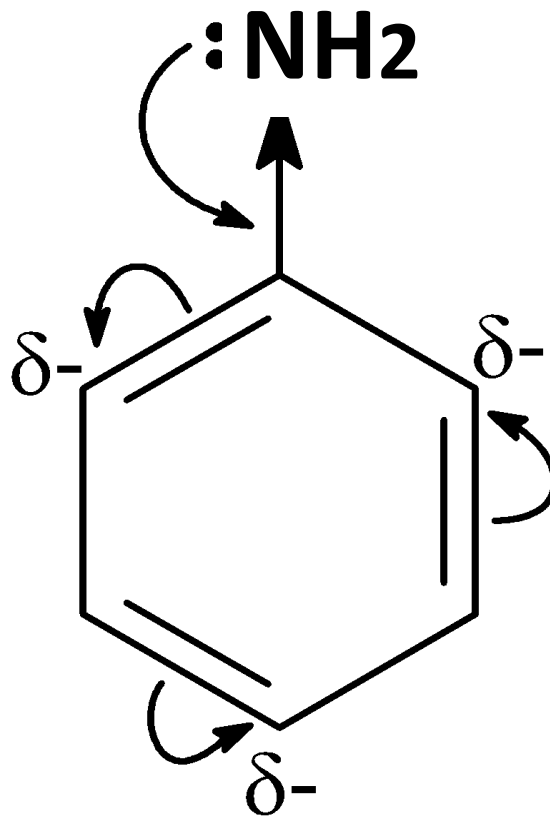
## Заместители I рода



хлорбенз  
ол

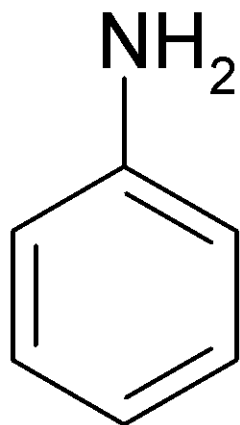
Химические  
свойства

## Заместители I рода

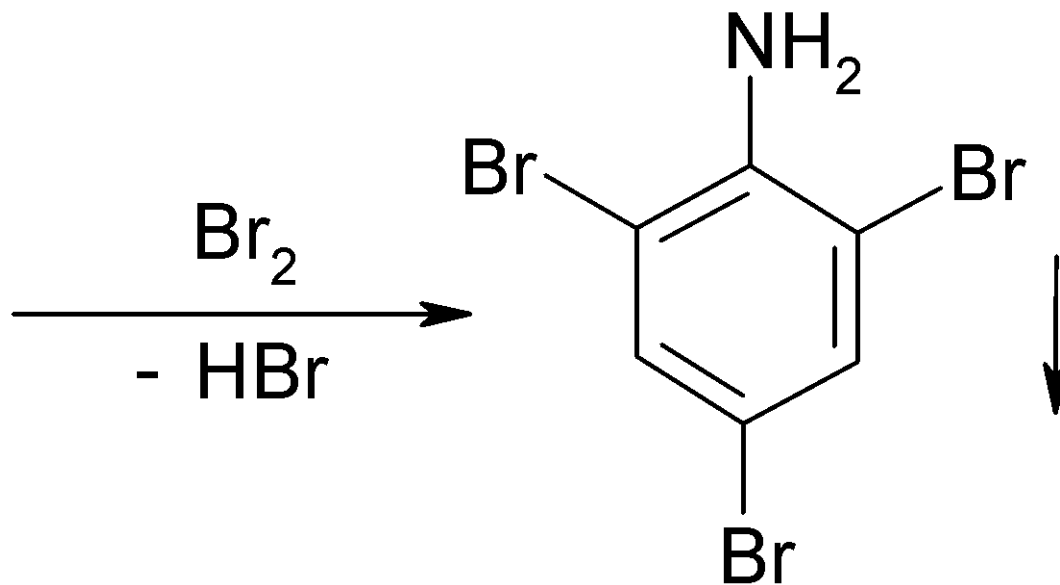


анили  
н

Химические  
свойства



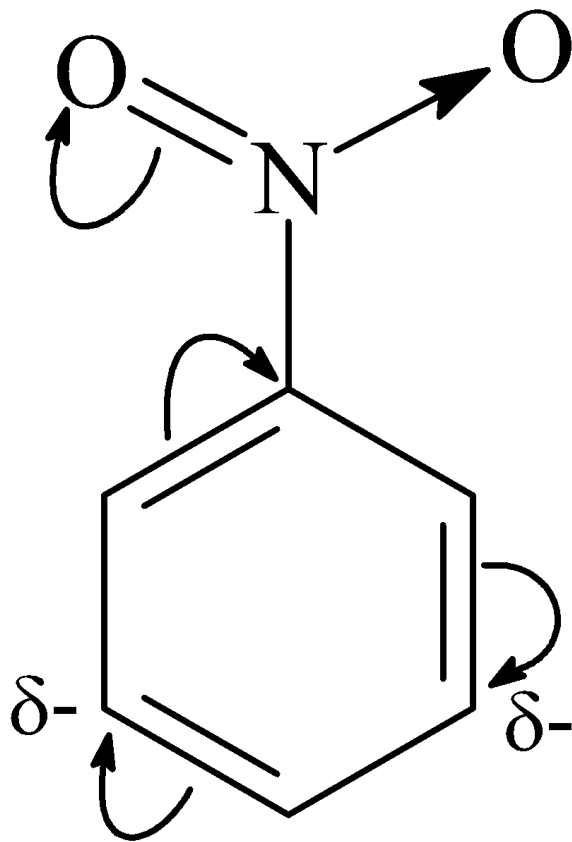
*анилин*



*2,4,6,-триброманилин*

Химические  
свойства

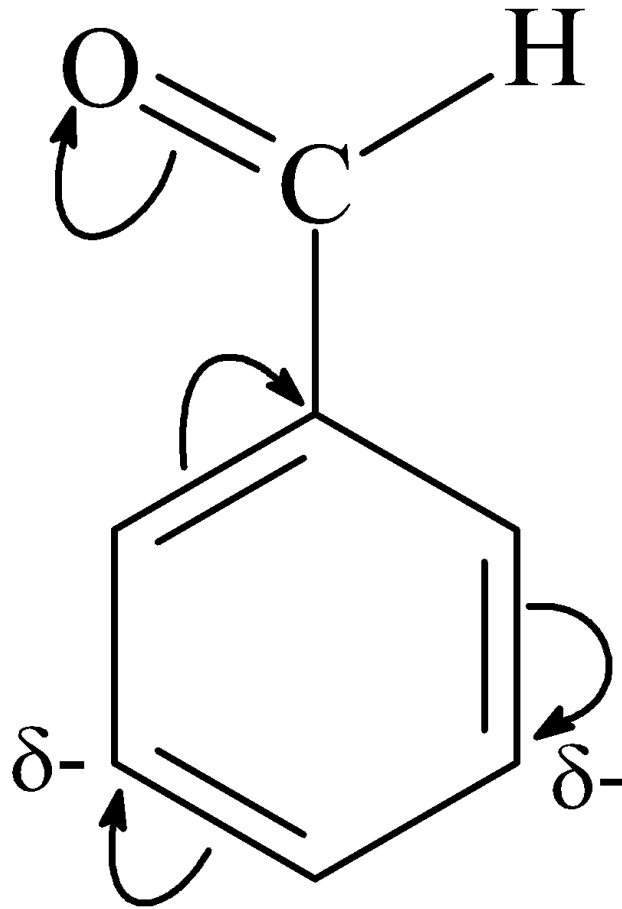
2. Заместители второго рода: направляют замещение в мета-положения (-COOH, -CHO, -CONH<sub>2</sub>, -SO<sub>3</sub>H, -NO<sub>2</sub>).



нитробенз  
ол

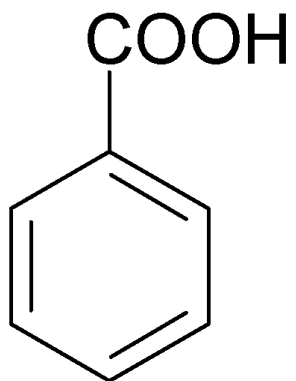
Химические  
свойства

## Заместители II рода

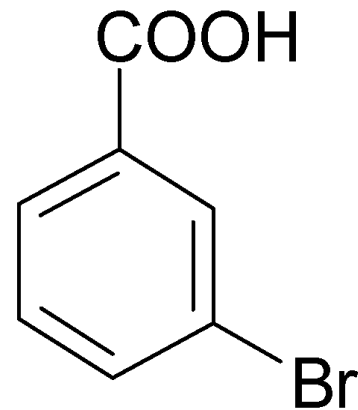
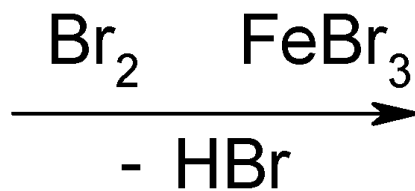


бензальдег  
ид

*Химические  
свойства*



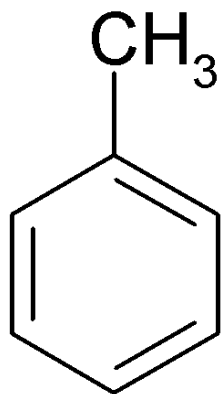
*бензойная кислота*



*м-бромбензойная кислота*

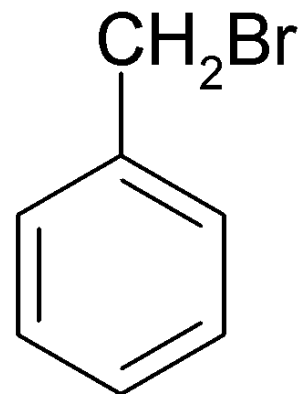
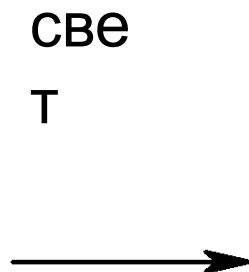
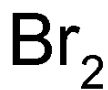
Химические  
свойства

## Реакции замещения в алкильном заместителе



*толуол*

+



*бензилбромид*

+

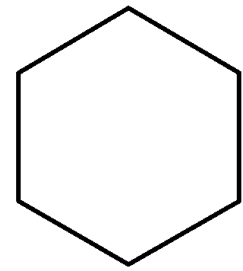
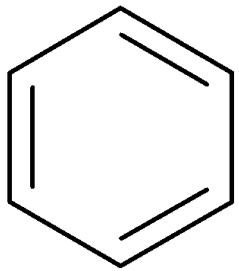




*Химические  
свойства*

## **II. Реакции присоединения**

### **1) Гидрирование:**



*бензол  
циклогексан*

*Тест*

**Взаимодействие бензола с водородом в присутствии никеля при нагревании относится к реакциям:**

1) пиролиза

3) разложения

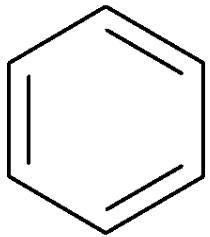
2) замещения

4) присоединения

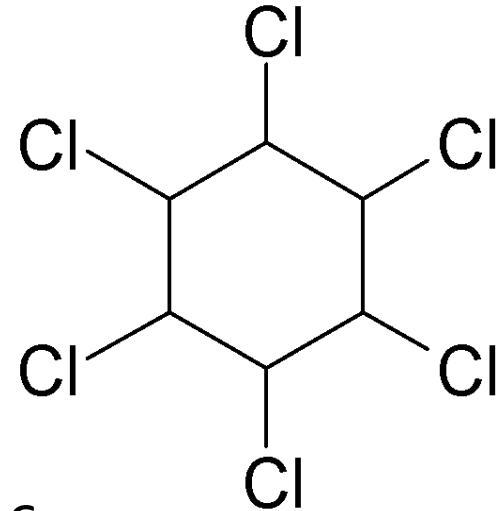
Химические  
свойства

2)

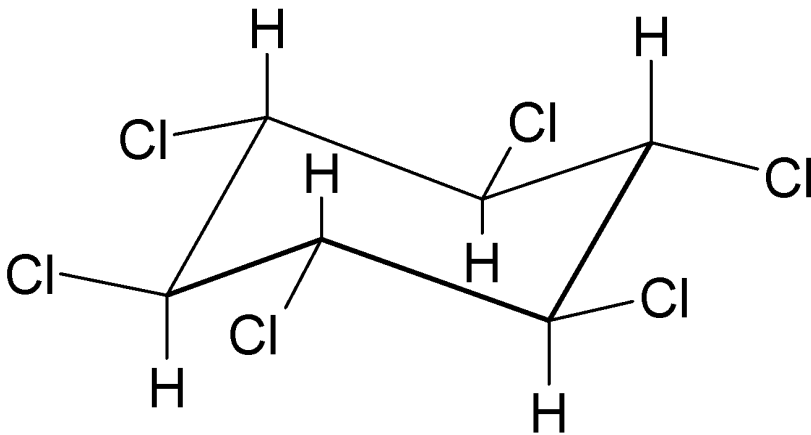
## Галогенирование:



hν



1,2,3,4,5,6-  
гексахлорциклогексан  
(гексахлоран)



Структура  $\gamma$ -изомера -  
линдана

Тест

ы

**Взаимодействие бензола с хлором при освещении относится к реакциям:**

1) пиролиза

3) разложения

2) замещения

4) присоединения

Тест

ы

**Продуктом взаимодействия бензола с хлором на свету является:**

1) хлорбензол

3)

гексахлорбензол

2)

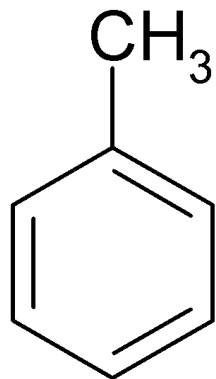
1,3,5-  
трихлорбензол

4)

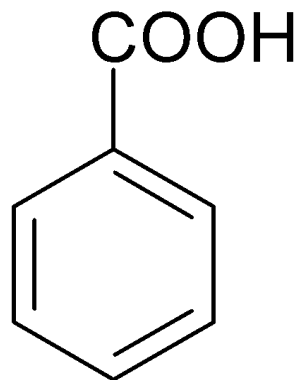
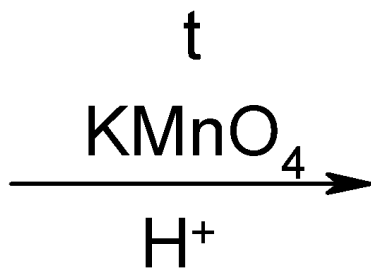
гексахлорциклогекса  
н

## III. Реакции окисления аренов

### 1) Окисление алкильных заместителей:



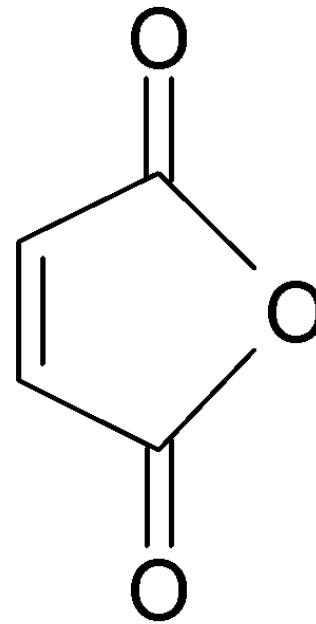
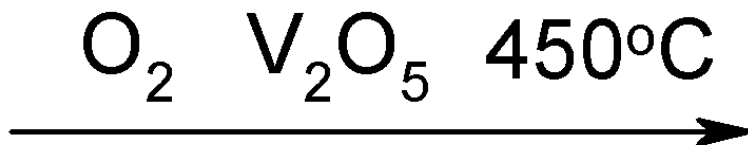
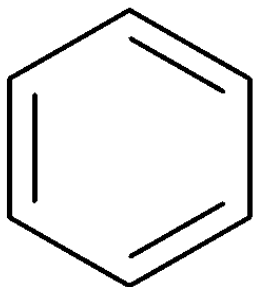
*толуол*



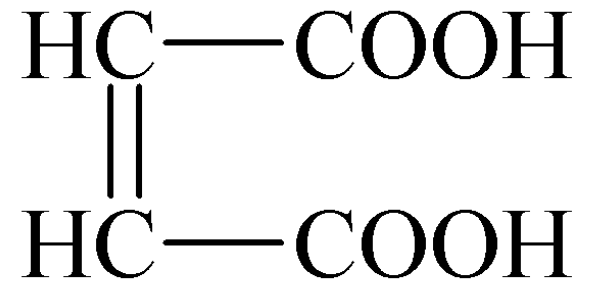
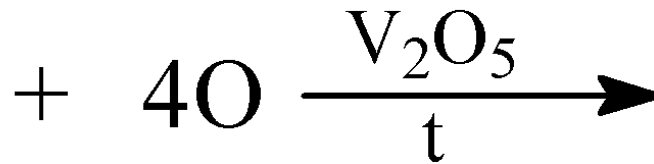
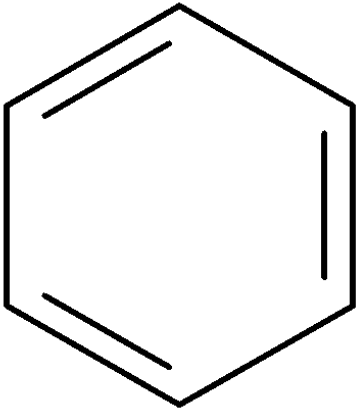
*бензойная кислота*

Химические  
свойства

## 2) Окисление ароматического кольца:



*Химические  
свойства*

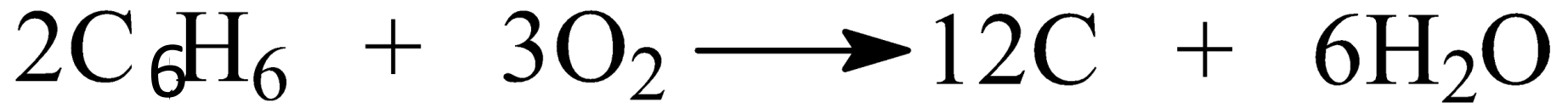


малеиновая  
кислота



Химические  
свойства

**3) Горение бензола коптящим  
пламенем**



**Установите соответствие между формулой вещества и продуктами его окисления перманганатом калия в присутствии серной кислоты**

	ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА		ПРОДУКТЫ ОКИСЛЕНИЯ
А)	изопропилбензол	1)	этиленгликоль
Б)	толуол	2)	бензойная кислота
В)	п-ксилол	3)	бензойная кислота и углекислый газ
Г)	этилбензол	4)	терефталевая кислота
		5)	бензиловый спирт

**Установите соответствие между типом реакции, характерном для бензола, и продуктом этой реакции:**

	ТИП РЕАКЦИИ		ПРОДУКТ РЕАКЦИИ
А)	гидрирование	1)	нитробензол
Б)	нитрование	2)	циклогексан
В)	фотохимическое хлорирование	3)	хлорбензол
Г)	каталитическое (FeCl <sub>3</sub> ) хлорирование	4)	гексахлорциклогексан
		5)	тринитробензол

А	Б	В	Г

Тест  
**Установите соответствие между исходными веществами и продуктами реакции:**

	ИСХОДНЫЕ ВЕЩЕСТВА		ПРОДУКТЫ РЕАКЦИИ
А )	$C_6H_6 + Cl_2$ (в присутствии $FeCl_3$ )	1)	$C_6H_6Cl_6$
Б )	$C_6H_6 + Cl_2$ (на свету)	2)	$C_6H_5Cl + HCl$
В )	$C_6H_5CH_3 + Cl_2$ (в присутствии $AlCl_3$ )	3)	$C_6H_5CH_2Cl + HCl$
Г )	$C_6H_5CH_3 + Cl_2$ ( на свету)	4)	$C_6H_4 Cl CH_3 + HCl$

А	Б	В	Г

**Арены способны вступать в реакции:**

1) полимеризации

2) присоединения

3) замещения

4) этерификации

5) горения

6) декарбоксилирования

**Ответ \_\_\_\_\_.**

Тест

Реакция присоединения  
бромоводорода возможна для:

1) бензола

2) циклопропана

3) циклогексана

4) толуола

5) дивинила

6) стирола

Ответ \_\_\_\_\_.

## Бензол взаимодействует с:

1) бромной водой

2) водородом

3) пропиленом

4) хлороводородом

5) водным раствором

перманганата калия

6) азотной кислотой

Ответ \_\_\_\_\_.

Тест

Ы

**И бензол, и метилбензол  
взаимодействуют с:**

1) хлорэтаном в присутствии  
хлорида алюминия

2) бромной водой

3) кислородом

4) раствором перманганата калия

5) водой

6) водородом

**Ответ \_\_\_\_\_.**



Тест

Стирол, в отличие от бензола,  
реагирует с:

1) бромной водой

2) хлороводородом

3) азотной кислотой

4) кислородом

5) водородом

6) перманганатом калия

Ответ \_\_\_\_\_.

И для бензола, и <sup>ы</sup> для толуола  
характерны:

1)  $sp^2$ -гибридизация всех атомов углерода в молекуле

2) плохая растворяются в воде

3) реакция нитрования

4) реакция гидрирования

5) окисление под действием перманганата калия

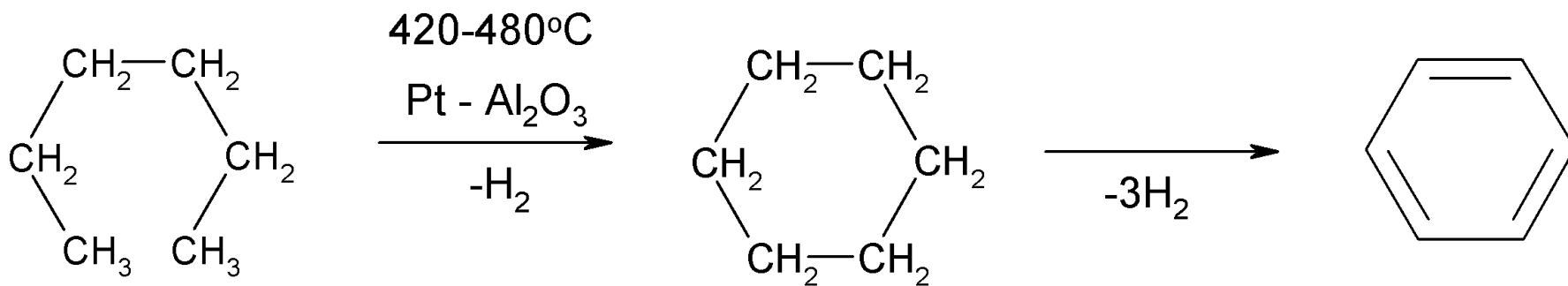
6) горение на воздухе бесцветным пламенем

Ответ \_\_\_\_\_.

# Получение ароматических углеводородов

1) Природные источники: каменноугольная смола,  
нефть.

2) Циклизация и ароматизация

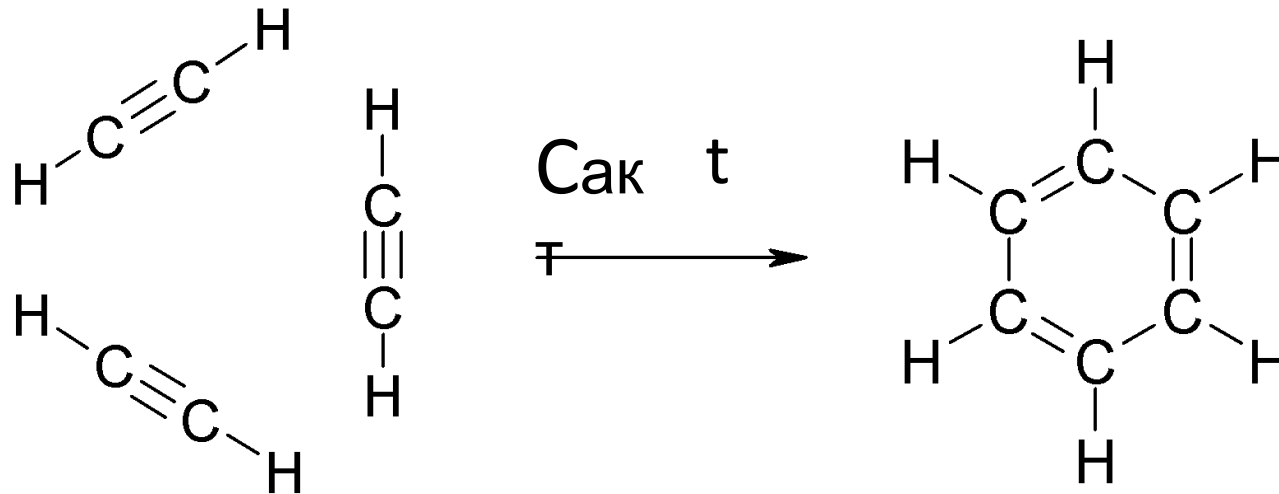


гексан  
бензол

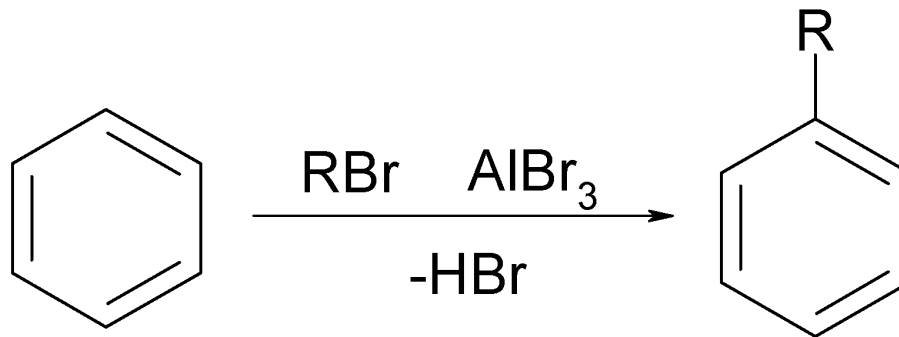
циклогексан

Получение ароматических  
углеводородов

### 3) Тримеризация алкинов (Бертло)



### 4) Реакции алкилирования



Спасибо  
за

Ваше внимание!