



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



**Кафедра биологии растений и химии**

# **ХИМИЯ**

**Теоретический раздел  
Лекция  
Арены**



## АРЕНЫ

### 1. Арены: строение

Ароматическими соединениями (аренами) называются плоские сопряженные системы с числом  $\pi$ -электронов  $4n+2$ . Арены имеют общую формулу  $C_nH_{2n-6}$ , ( $n \geq 6$ ). Бензол  $C_6H_6$  – родоначальник ароматических углеводов.

$\pi$ -Электронное облако  
в молекуле бензола

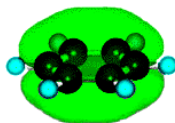
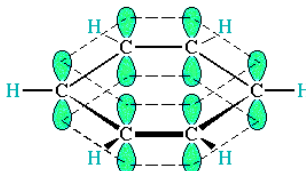
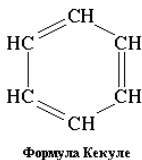


Схема делокализации  
 $\pi$ -электронов



Бензол  $C_6H_6$



Формула Кекуле

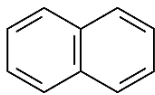


или  
Формула  
с делокализованными  
связями

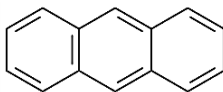


Сокращенные формулы

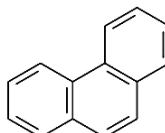
### Полиядерные арены



нафталин



антрацен

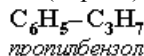
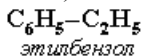
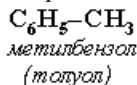


фенантрэн

Атомы углерода в состоянии  $sp^2$ -гибридизации и связан с двумя соседними атомами углерода и атомом водорода тремя  $\sigma$ -связями. Валентные углы между каждой парой  $\pi$ -связей равны  $120^\circ$ . Таким образом, скелет  $\sigma$ -связей представляет собой правильный шестиугольник, в котором все атомы углерода и все  $\sigma$ -связи C–C и C–H лежат в одной плоскости.  $p$ -электроны всех атомов углерода взаимодействуют между собой путем бокового перекрывания соседних  $2p$ -АО, расположенных перпендикулярно плоскости  $\sigma$ -скелета бензольного кольца. Они образуют единое циклическое  $\pi$ -электронное облако, сосредоточенное над и под плоскостью кольца.

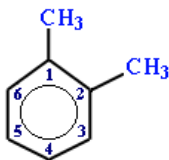


Гомологи бензола – соединения, образованные заменой одного или нескольких атомов водорода в молекуле бензола на углеводородные радикалы (R):  $C_6H_5-R$  алкилбензол. Широко используются тривиальные названия (толуол, ксилол, кумол и т.п.). Систематические названия строят из названия углеводородного радикала (приставка) и слова бензол (корень):



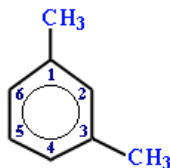
Если радикалов два или более, их положение указывается номерами атомов углерода в кольце, с которыми они связаны. Нумерацию кольца проводят так, чтобы номера радикалов были наименьшими. Например:

1,2-Диметилбензол



орто-ксилол  
(o-ксилол)

1,3-Диметилбензол



мета-ксилол  
(m-ксилол)

1,4-Диметилбензол



пара-ксилол  
(p-ксилол)

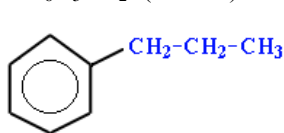
Для дизамещенных бензолов  $R-C_6H_4-R$  используется также и другой способ построения названий, при котором положение заместителей указывают перед тривиальным названием соединения приставками:

*орто*- (o-) заместители у соседних атомов углерода кольца, т.е. 1,2-;

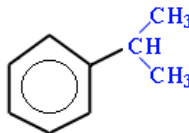
*мета*- (m-) заместители через один атом углерода (1,3-);

*пара*- (p-) заместители на противоположных сторонах кольца (1,4-).

Ароматические одновалентные радикалы имеют общее название «арил». Из них наиболее распространены в номенклатуре органических соединений два:  $C_6H_5-$  (фенил) и  $C_6H_5CH_2-$  (бензил).



n-Пропилбензол



Изопропилбензол  
(кумол)

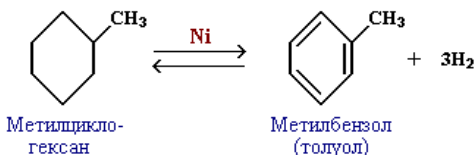
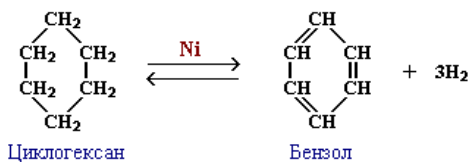
Пространственная изомерия относительно бензольного кольца в алкилбензолах отсутствует.



## 2. Арены: способы получения

*Получение ароматических углеводородов.* Основными природными источниками ароматических углеводородов являются каменный уголь и нефть. При коксовании каменного угля образуется каменноугольная смола, из которой выделяют бензол, толуол, ксилолы, нафталин и многие другие органические соединения.

### Дегидрирование циклогексана и его алкильных производных



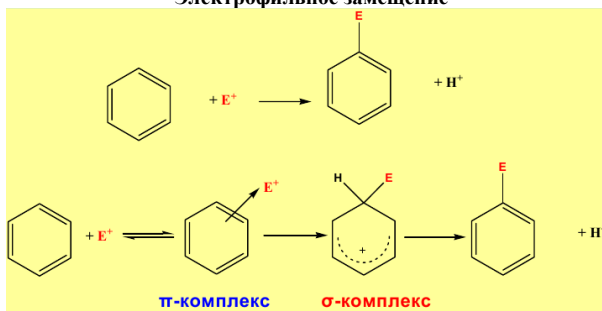
При дегидрировании этилбензола образуется производное бензола с непредельной боковой цепью – винилбензол (стирол) C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>–CH=CH<sub>2</sub> (исходное вещество для получения ценного полимера полистирола).

Реакции получения аренов указывают на взаимосвязь между различными группами углеводородов и на возможность их превращения друг в друга.

## 3. Химические свойства аренов

### Реакции замещения в бензольном кольце

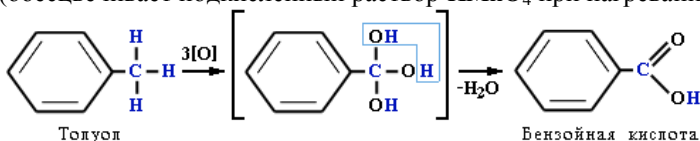
#### Электрофильное замещение



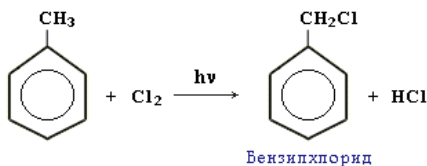




Под влиянием бензольного кольца метильная группа  $\text{CH}_3$  в толуоле становится более активной в реакциях окисления и радикального замещения по сравнению с метаном  $\text{CH}_4$ . Толуол в отличие от метана окисляется в мягких условиях (обесцвечивает подкисленный раствор  $\text{KMnO}_4$  при нагревании):



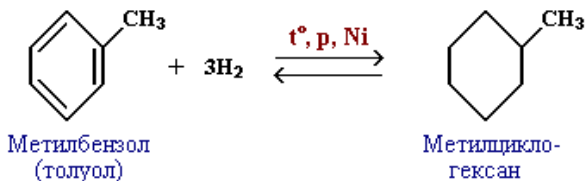
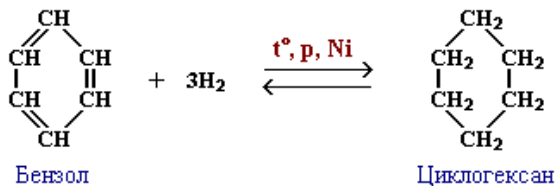
Легче, чем в алканах, протекают реакции радикального замещения в боковой цепи алкилбензолов:



*Реакции присоединения к ароматам.* В реакции присоединения, приводящие к разрушению ароматической структуры бензольного кольца, арены могут вступать с большим трудом.

Гидрирование. Присоединение водорода к бензолу и его гомологам происходит при повышенной температуре и давлении в присутствии металлических катализаторов.

### Гидрирование бензола и его гомологов

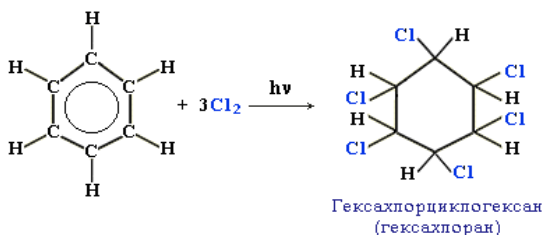


Эта реакция является обратной образованию бензола при дегидрировании циклогексана.

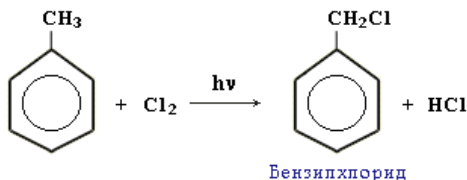


Радикальное хлорирование аренов. В условиях радикальных реакций (ультрафиолетовый свет, повышенная температура) возможно присоединение галогенов к ароматическим соединениям. При радикальном хлорировании бензола получен «гексахлоран» (средство борьбы с вредными насекомыми).

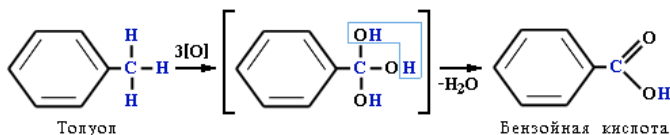
#### Радикальное хлорирование на свету



Применение гексахлорана в настоящее время запрещено из-за его токсичности для человека и животных. Заметим, что в случае гомологов бензола более легко происходит реакция радикального замещения атомов водорода в боковой цепи:



*Реакции окисления аренов.* Бензол не окисляется даже под действием сильных окислителей ( $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и т.п.). Поэтому он часто используется как инертный растворитель при проведении реакций окисления других органических соединений. В отличие от бензола его гомологи окисляются довольно легко. При действии раствора  $\text{KMnO}_4$  в кислой среде и нагревании в гомологах бензола окислению подвергаются только боковые цепи:

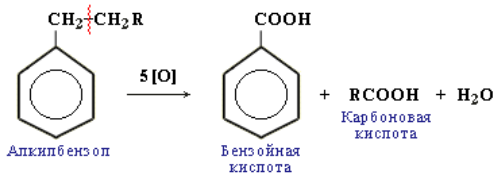


Толуол обесцвечивает раствор  $\text{KMnO}_4$  ( $\text{H}^+$ ) при нагревании.

Окисление других гомологов (этилбензол, пропилбензол и т.д.) также приводит к образованию бензойной кислоты. Разрыв связи при этом происходит между двумя ближайшими к кольцу атомами углерода в боковой цепи.

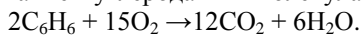


### Окисление алкилбензолов



Алкильные группы в алкилбензолах окисляются легче, чем алканы. Это объясняется влиянием бензольного кольца на атомы в боковой цепи.

Бензол и его гомологи на воздухе горят коптящим пламенем, что обусловлено высоким содержанием углерода в их молекулах:





## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Мерой полярности связи является *электрический момент диполя* – ЭДМ- $\mu$ , представляющий собой произведение длины диполя  $l$  на абсолютный эффективный заряд  $g$ :  $\mu = g \cdot l$ . Электрический момент диполя обычно выражают в дебаях (D):  $1D = 3,33 \cdot 10^{-30}$  Кл·м.)

#### Некоторые характеристики простейших связей

Связь	Энергия, кДж/моль	Длина, нм	Полярность $\mu$		Поляризуемость $a \cdot 10^{-24}$ , см <sup>3</sup>
			$10^{30} \cdot$ Кл·м	D	
C–C	339	0,154	0	0	1,3
C=C	611	0,133	0	0	4,2
C $\equiv$ C	833	0,120	0	0	6,2
H–C	414	0,109	1,33	0,4	1,7
C–N	305	0,147	4,00	1,2	1,5
C=N	595	0,127	4,34	1,3	3,8
C $\equiv$ N	888	0,115	13,36	4,0	4,8
C–O	368	0,143	5,34	1,6	1,5
C=O	724	0,121	10,68	3,2	3,3
C–F	427	0,140	7,68	2,3	1,7
C–Cl	326	0,176	7,68	2,3	6,5
C–Br	272	0,191	7,34	2,2	9,6
C–I	238	0,212	6,68	2,0	14,6
H–O	460	0,096	5,01	1,5	1,9
H–N	389	0,101	4,34	1,3	1,8
N–N	160	0,147			
N $\equiv$ N	946	0,110			
N=O	678	0,115			

### Приложение 2

#### Номенклатура органических соединений

В настоящее время международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) рекомендовал для использования номенклатуру, получившую название *номенклатура ИЮПАК*.

Таблица 1. Названия предельных углеводородов

Формула углеводорода	Название	Формула углеводорода	Название
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Пентан	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	Ундекан
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Гексан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	Додекан
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	Гептан	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	Тридекан
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Октан	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	Тетрадекан
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	Нонан	.....	.....
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	Декан	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	Эйкозан

Таблица 2. Названия важнейших заместителей

Заместитель	Название	Заместитель	Название
-------------	----------	-------------	----------



CH <sub>3</sub> —	метил	CH <sub>3</sub>	
CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —	этил		
CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —	н-пропил	CH <sub>3</sub> —C—CH <sub>2</sub> —	неопентил
CH <sub>3</sub> —CH—CH <sub>3</sub>	изопропил (пропил-2)		
		CH <sub>3</sub>	
CH <sub>3</sub>		CH <sub>3</sub>	трет-пентил
CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —	н-бутил	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —C—	
CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH—	втор-бутил		
		CH <sub>3</sub>	
CH <sub>3</sub>			
CH <sub>3</sub> —CH—CH <sub>2</sub> —	изобутил (2-метил-пропил-1)	CH <sub>2</sub> =	метилен
		CH≡	метин
CH <sub>3</sub>		CH <sub>3</sub> —CH=	этилиден
		—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —	этилен
CH <sub>3</sub> —C—	трет-бутил	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —	триметилен
		CH <sub>2</sub> =CH—	винил
CH <sub>3</sub>		HC≡C—	этинил
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> —	н-пентил	CH <sub>2</sub> =C—	изопропенил
		CH <sub>3</sub>	
CH <sub>3</sub> CHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> —	изопентил	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CH—	1-бутенил
CH <sub>3</sub>		CH <sub>3</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> —	2-бутенил
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> —	фенил		
CH <sub>3</sub> —C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> —	толил (п-изомер)	CH <sub>2</sub> =C—CH <sub>2</sub> —	метилаллил (металлил)
		CH <sub>3</sub>	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> —CH <sub>2</sub> —	бензил		
		CH <sub>3</sub> —C=O	ацетил
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> —CH=CH—	стирил		
		C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> —C=O	бензоил
(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> CH—	бензгидрил (дифенил-метил)		
		—O—CH <sub>2</sub> —O—	метилендиокси
(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> C—	третил		
CH <sub>2</sub> =C=	винилиден		
CH <sub>2</sub> =CH—CH <sub>2</sub> —	аллил		
CH <sub>3</sub> —CH=CH—	пропенил		
CH <sub>3</sub> —CO—CH <sub>2</sub> —	ацетонил		
CH <sub>3</sub> —O—	метокси		
CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —O—	этокси		

Простейшие спирты можно называть по соответствующему радикалу: метиловый спирт CH<sub>3</sub>OH, изопропиловый спирт (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHOH (но не изопропанол), трет-бутиловый спирт (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>COH.

За некоторыми спиртами сохраняются тривиальные названия:

Аллиловый спирт CH<sub>2</sub>=CH—CH<sub>2</sub>OH;

Бензиловый спирт C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>—CH<sub>2</sub>OH;



Фенилэтиловый спирт	$C_6H_5-CH_2-CH_2OH$ ;
Этиленгликоль	$HOCH_2-CH_2OH$ ;
Пропиленгликоль	$CH_3-CH(OH)-CH_2OH$ ;
Глицерин (глицерол)	$CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH)$ .

Для альдегидов допускаются тривиальные названия, если соответствующая кислота имеет тривиальное название:

Формальдегид	$CH_2O$ ;
Ацетальдегид	$CH_3-CHO$ ;
Пропиональдегид	$CH_3-CH_2-CHO$ ;
Бутиральдегид	$CH_3-CH_2-CH_2-CHO$ ;
Изобутиральдегид	$(CH_3)_2CH-CHO$ ;
Валеральдегид	$CH_3-(CH_2)_3-CHO$ ;
Изовалеральдегид	$(CH_3)_2CH-CH_2-CHO$ ;
Акролеин (акриальдегид)	$CH_2=CH-CHO$ ;
Кроноальдегид	$CH_3-CH=CH-CHO$ ;
Бензальдегид	$C_6H_5-CHO$ .

Имеются исключения, например глиоксаль  $O=CH-CH=O$ .

Для некоторых кетонов допускаются тривиальные названия:

ацетон	$CH_3-CO-CH_3$ ;
окись мезитила	$(CH_3)_2C=CH-CO-CH_3$ ;
диацетил	$CH_3-CO-CO-CH_3$ ;
бензил (или дибензоил)	$C_6H_5-CO-CO-C_6H_5$ .

Сохраняются тривиальные названия заместителей:

ацетонил  $CH_3-CO-CH_2-$ , фенацил  $C_6H_5-CO-CH_2-$ .



## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: Учеб. пособие/ Е. В. Барковский. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: Учеб. пос./ Е. В. Барковский, С. В. Ткачев и др. – М.: Высш. шк., 1997. –126 с.
4. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.– М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
6. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учеб. для студ. вузов обучающихся на агрономических специальностях/ И. И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2004. –672 с.
7. Князев Д. А. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Д. А. Князев, С. Н. Смартыгин. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
- 8.Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
- 9.Химия. Курс лекций: учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – 383 с.
10. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
11. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
12. Химия: учебно-методический комплекс: Учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с. ISBN 978-985-467-359-2
13. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
14. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
15. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
16. Щербина, А.Э. Органическая химия. Задачи и упражнения: Учеб. пособие / А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич, И.В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

### Дополнительная

- 1.Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: Учеб. пособие/ Н.А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Выш. шк., 2003. – 96 с.
- 3.Дорохова, Е. Н. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: Учебник для почвенно-агрохимических специальностей / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Высш. шк., 1991. – 354 с.
4. Жарский, И. М.Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
5. Практикум по общей и биорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 240 с.
6. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: Учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
7. Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А. Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.

### Справочники:

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия,1977.
2. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем/ Я.Кольман, К.Г. Рем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
3. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, – 480 с.



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



Составители  
**Поддубная Ольга Владимировна**  
**Ковалева Ирина Владимировна**