

# **ХИМИЯ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов колледжа телекоммуникаций  
и информационных технологий

Архангельск  
2005

Федеральное агентство по образованию  
Архангельский государственный технический университет

# **ХИМИЯ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов колледжа телекоммуникаций  
и информационных технологий

Архангельск 2005

Рассмотрено и рекомендовано к изданию  
методической комиссией колледжа телекоммуникаций  
и информационных технологий  
22 сентября 2005 г.

Составители:

Л.В. Майер, доц., канд. хим. наук;  
Н.В. Шкаева, доц., канд. хим. наук

Рецензент

Н.Д. Камакина, канд. техн. наук, доц. кафедры  
технологии ЦБП

УДК 547(076,5)

Химия: учебно-методическое пособие для студентов колледжа телекоммуникаций и информационных технологий / Л.В. Майер, Н.В. Шкаева – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 108 с.

Подготовлено кафедрой общей и аналитической химии АГТУ.

Приведены сведения о строении и химических свойствах органических соединений углерода, упражнения для самостоятельной работы.

Предназначено для студентов I курса колледжа телекоммуникаций и информационных технологий дневной формы обучения.

Библиогр. 5 назв.

© Архангельский государственный  
технический университет, 2005

© Л.В. Майер, Н.В. Шкаева, 2005

**ВВЕДЕНИЕ**

Методическое пособие предназначено для студентов колледжа информационных технологий и содержит в сжатом виде сведения об основных классах органических соединений и задания для самостоятельной работы с примерами решения некоторых задач.

При изучении какой-либо темы студент может пользоваться учебником «Химия», 10 класс, авторы О.С.Габриелян, Ф.Н.Маскаев, комплектами лекций и данным пособием. Для получения зачета в первом семестре и успешной сдачи экзамена во втором семестре студент должен сдать все домашние задания, выполнить лабораторные работы, контрольные работы, сдать итоговые тесты. В компьютерном классе колледжа установлены обучающие программы по неорганической и органической химии, виртуальная химическая лаборатория, которыми студент может пользоваться для лучшего усвоения изучаемого материала.

**1. Предмет органической химии.  
Теория строения химических соединений  
А.М.Бутлерова**

*Органической химией* первоначально называлась химия веществ, полученных из организмов растений и животных.

Термины «органическая химия» и «органическое вещество» введены в 1807 г. шведским химиком Й.Берцелиусом, с этого момента органическая химия была выделена в самостоятельную науку. До этого вещества классифицировали по источнику их получения, поэтому различали три химии: «растительную», «животную» и «минеральную». В органических веществах (получаемых из организмов растений и животных) обязательно содержится углерод и такие элементы как водород, кислород, азот, иногда фосфор и сера. Поэтому часто органическую химию называют *химией соединений углерода*.

Немецкий химик К.Шорлеммер дал классическое определение этой науки: ***органическая химия-это химия углеводородов и их производных*** (т.е. соединений, которые могут быть получены на основе углеводородов).

Органические вещества имеют ряд особенностей:

1. Многочисленность органических соединений (более 18 млн.) обусловлена способностью атомов углерода соединяться между собой, образуя длинные линейные и разветвленные цепи, замкнутые циклы.

2. Органические вещества горючи, при нагревании разлагаются, при горении обязательно образуют углекислый газ и воду.

3. В состав молекул органических веществ может входить большое число атомов, поэтому многие из них имеют огромные молекулярные массы.

4. Органические вещества можно объединить в ряды сходных по составу, строению и свойствам – **гомологов**.

5. Для органических веществ характерно явление изомерии – это явление существования разных веществ – **изомеров** с одинаковым составом, но различным строением, а значит, и различными химическими свойствами.

Фундаментальным законом в неорганической химии является Периодический закон и система химических элементов Д.И. Менделеева (1869 г.), в органической химии таким законом служит **теория строения органических соединений**, предложенная Александром Михайловичем Бутлеровым в 1861 г. на съезде немецких врачей и естествоиспытателей в г. Шпейере в докладе «О химическом строении».

Основные положения теории строения А.М. Бутлерова:

1. Атомы в молекулах соединяются в соответствии с их валентностью. Углерод во всех органических и в большинстве неорганических соединений четырехвалентен.

2. Свойства веществ зависят не только от их качественного и количественного состава, но и от строения их молекул. Это положение объясняет явление изомерии.

3. Свойства веществ зависят от взаимного влияния атомов в молекулах.

4. Химическое строение молекулы можно выразить при помощи структурной формулы, которая для данного вещества является единственной.

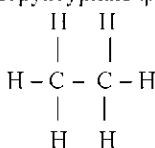
В течении XX в. положения теории химического строения органических соединений были развиты на основе теории строения атома, теории химической связи, теории химических реакций и имеют универсальный характер. Основное положение современной теории можно сформулировать:

***Свойства веществ зависят не только от их химического строения, но также и от их электронного и пространственного строения.***

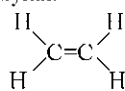
### 1.1. Изображение органических соединений с помощью структурных формул

Химическое строение молекулы может быть отражено в виде молекулярной или структурной формулы. Структурные формулы отражают порядок соединения атомов в молекуле согласно их валентности, которая обозначается черточками. Простая связь ( $\sigma$ -связь) обозначается одной черточкой, двойная – двумя, тройная – тремя.

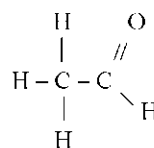
Полные структурные формулы:



этан

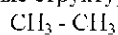


этен

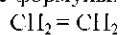


этаналь

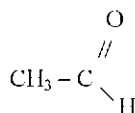
Сокращенные структурные формулы:



этан

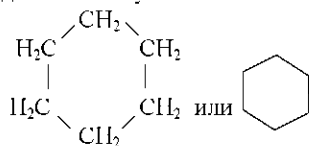


этен

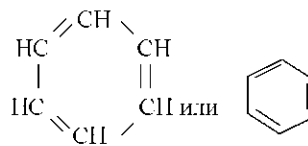


этаналь

При изображении циклических соединений символы углерода и водорода можно опускать:



циклогексан ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ )

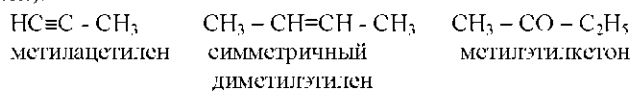


бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )

## 1.2. Основы номенклатуры органических соединений

Длительное время названия органических соединений отражали происхождение вещества (муравьиная, яблочная, винная кислоты, молочный сахар, винный и древесный спирты), способ его получения (пировиноградная кислота) или наиболее яркие его свойства (глицерин - от греческого сладкий). Эти случайные названия, известные как **тривиальные**, используются и сейчас, например, этин обычно называют ацетиленом, метановую кислоту – муравьиной кислотой.

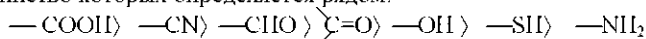
С увеличением числа известных органических соединений стали использовать **рациональную** номенклатуру, в которой все вещества рассматриваются как производные наиболее простого представителя класса (для предельных углеводородов это метан, для непредельных – этилен и ацетилен):



В настоящее время единой для всех органических веществ является **международная** или **номенклатура ИЮПАК (систематическая или заместительная)**. Согласно этой номенклатуре:

1. В основе названия самая длинная углеродная цепь, в состав которой входит одна или несколько функциональных групп (-OH, -COOH, -CHO, -NH<sub>2</sub>).

2. Нумерация цепи начинается с того конца цепи, к которому ближе боковой заместитель или наиболее «старшая» функциональная группа, старшинство которых определяется рядом:



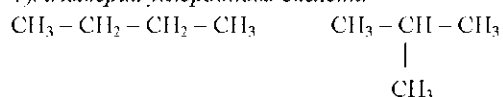
3. В название включают обозначение двойной или тройной связи, суффикс **-ан** соответствует насыщеней цепи, **-ен** – двойной связи, **-ин** – тройной связи, положение кратной связи указывают цифрой в конце названия соединения.

### 1.3. Изомерия и ее виды

**Изомеры** – это вещества, имеющие одинаковый состав, но разное химическое или пространственное строение, а значит и разные свойства. Основные виды изомерии:

**Структурная изомерия**, при которой вещества различаются порядком связи атомов в молекулах:

1). *изомерия углеродного скелета*



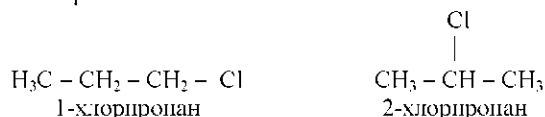
н-бутан                      изобутан (2-метилпропан)

2). *изомерия положения:*

изомерия положения кратных связей:



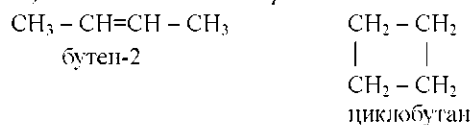
изомерия положения заместителей:



изомерия положения функциональных групп:



3). *межклассовая изомерия:*



или через общие формулы:

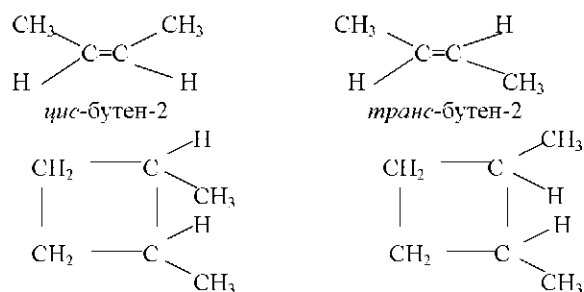


**Пространственная изомерия**, при которой молекулы веществ имеют одинаковые заместители у каждого атома углерода, но отличаются их взаимным расположением в пространстве:

1). *цис-транс-изомерия (геометрическая)* характерна для соединений, содержащих двойную связь и для циклических соединений: у *цис-*

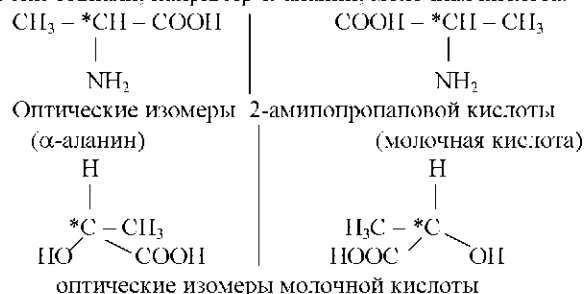


изомеров заместители располагаются по одну сторону плоскости двойной связи или цикла, у *транс*-изомеров – по разные стороны.



*цис*-1,2-диметициклобутан      *транс*-1,2-диметициклобутан

2). *Оптическая изомерия* возможна только в том случае, когда у атома углерода в молекуле четыре разных заместителя. Такой атом называется *асимметрическим* (\*C). Оптические изомеры являются зеркальным отображением друг друга, их невозможно совместить наложением так, чтобы они совпали, например α-аланин, молочная кислота:

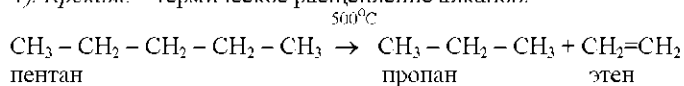


## 2. Типы химических реакций в органической химии

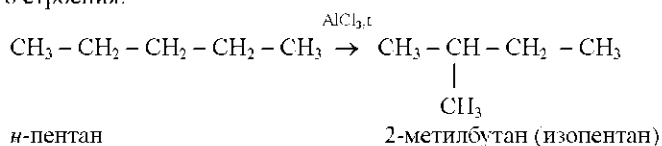
При химических реакциях происходит разрыв одних химических связей и образование других, в результате получаются вещества с новыми свойствами и строением. В реакциях неорганических веществ обычно участвуют ионы, поэтому они протекают с высокими скоростями. Большинство органических реакций идут медленно и требуют участия катализатора, повышения температуры или давления. Выход продукта 50-80%, одновременно идут *побочные* реакции, поэтому органические реакции записывают



4). *Крекинг*: термическое расщепление алканов:



**4. Реакции изомеризации:** из молекул одного вещества образуются молекулы другого вещества с той же общей молекулярной формулой, другого строения:



### 3. АЛКАНЫ (парафины, предельные углеводороды)

Алканы – это углеводороды, в молекулах которых все атомы углерода связаны друг с другом простыми одинарными связями.

#### 3.1. Гомологический ряд алканов

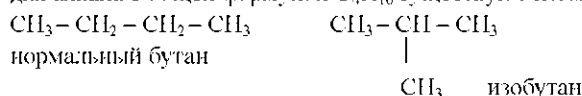
CH <sub>4</sub>	метан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	октан	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	пентадекан
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	этан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	нонан	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	гексадекан
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	пропан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	декан	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	гептадекан
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	бутан	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	ундекан	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	эйкозан
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	пентан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	додекан		
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	гексан	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	тридекан		
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	гептан	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	тетрадекан		

Каждый последующий член этого ряда отличается от предыдущего на группу CH<sub>2</sub>. Эта группа называется **гомологической разностью**. Вещества, сходные по химическим свойствам, состав которых отличается на целое число групп CH<sub>2</sub>, называются **гомологами**. Совокупность гомологов составляет **гомологический ряд**. Для гомологического ряда предельных углеводородов общая формула C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>. Простейший представитель и родоначальник алканов - метан CH<sub>4</sub>.

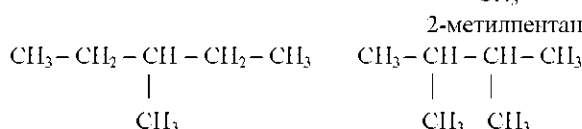
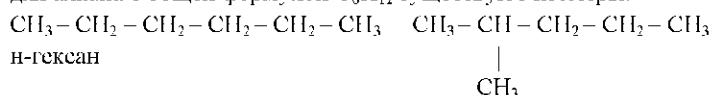
### 3.2. Изомерия алканов

Для алканов характерна **структурная изомерия (изомерия углеродного скелета)**. Она обусловлена возможностью разветвления углеродной цепи. Углеводород с неразветвлённой цепью называется **нормальным изомером**. В алканах с разветвлённой цепью заместители (боковые цепи) могут занимать разное положение относительно главной цепи. Такие вещества называются **структурными изомерами**.

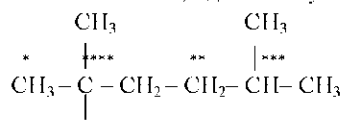
для алкана с общей формулой  $C_4H_{10}$  существуют изомеры:



для алкана с общей формулой  $C_6H_{14}$  существуют изомеры:



3-метилпентан                      2,3-диметилбутан



2,2,5-триметилгексан

Как показано в структурной формуле 2,2,5-триметилгексана, атомы углерода могут быть соединены с разным числом других атомов углерода. В зависимости от этого различают **первичные (\*C), вторичные (\*\*C), третичные (\*\*\*)C и четвертичные (\*\*\*\*C)** углеродные атомы.

Если от молекулы углеводорода отщепить один или несколько атомов водорода, то образуется **углеводородный радикал**. Названия радикалов происходят от названий соответствующих алканов с заменой окончания **-ан** на **-ил**:

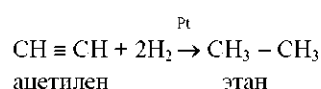
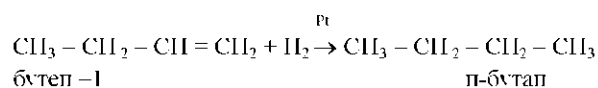
- ( $\text{CH}_3 -$ ) метил
- ( $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$ ) н-пропил





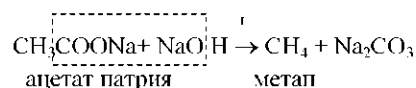
#### 4. Гидрирование непредельных углеводородов (присоединение водорода).

Реакция протекает в присутствии катализаторов гидрирования (Pt, Pd, Ni). Присоединение водорода происходит по месту разрыва двойной связи:

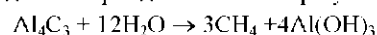


#### 5. Декарбоксилирование натриевых солей карбоновых кислот.

Реакция проводится путём сплавления солей карбоновых кислот со щелочами:



**6. Гидролиз карбидов.** Карбидами называются соединения металлов с углеродом (CaC<sub>2</sub> – карбид кальция, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> – карбид алюминия). При действии воды на карбид алюминия образуется метан и гидроксид алюминия:



### 3.5. Свойства алканов

При обычных условиях метан, этан, пропан, бутан и его изомеры – бесцветные газы. Разветвлённые алканы, начиная с C<sub>5</sub> и до C<sub>17</sub> – жидкости, C<sub>17</sub> и далее – твёрдые вещества. Все алканы мало растворимы в воде.

Алканы – химически инертные вещества, что объясняется прочностью связей углерод-углерод и углерод-водород. Все атомы углерода в молекулах алканов находятся в состоянии sp<sup>3</sup>-гибридизации. Вокруг однопольной углерод-углеродной связи возможно практически свободное вращение, и молекулы могут приобретать самую разнообразную форму. Все связи в молекулах алканов однопольные. Перекрытие происходит по оси, соединяющей ядра атомов, т.е. это σ-связи. Связи углерод-углерод неполярные. Связи углерод-водород слабополярные, т.к. электронная плотность смещена в сторону более электроотрицательного атома углерода. Реакции с уча-

ствием алканов, как правило, инициируются высокой температурой, электромагнитным излучением или катализаторами.

### 3.5.1. Реакции замещения

Наиболее характерными реакциями алканов являются реакции свободнорадикального замещения. В ходе этих реакций атом водорода замещается на атом галогена или какую-либо группу. Механизм реакций свободнорадикального замещения представляют тремя основными стадиями:

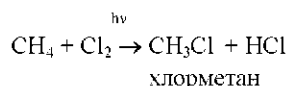
1. *Иницирование* – зарождение цепи, образование свободных радикалов (активных частиц) под действием источника энергии – УФ-облучения, нагревания.

2. *Развитие цепи* – цепь последовательных взаимодействий свободных радикалов и неактивных молекул, в результате которых образуются новые радикалы и новые молекулы.

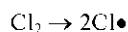
3. *Обрыв цепи* – объединение свободных радикалов в неактивные молекулы, прекращение развития цепи реакций.

#### 1. Реакции галогенирования (замещения водорода на галоген).

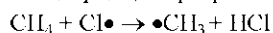
Алканы могут реагировать с хлором, бромом, если реакция инициируется светом.



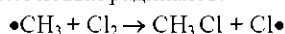
На свету происходит гомолитический разрыв молекул хлора с образованием радикалов. Свободный радикал – это частица с неспаренным электроном на внешней оболочке, благодаря чему он проявляет в реакциях высокую химическую активность:



Образовавшиеся свободные радикалы взаимодействуют с молекулами метана, «отрывая» у них атом водорода, и превращая в радикалы  $\bullet\text{CH}_3$ :

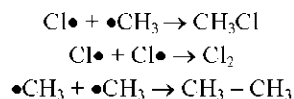


Радикалы  $\bullet\text{CH}_3$ , в свою очередь, сталкиваются с молекулами хлора и разрушают их с образованием новых радикалов:



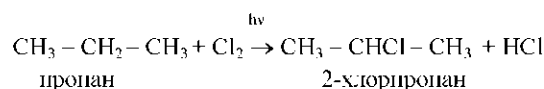


Происходит развитие цепи. Наряду с образованием радикалов происходит их «гибель» в результате процесса *рекомбинации* – образования неактивной молекулы из двух радикалов:



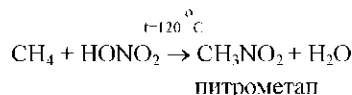
В результате рекомбинации образуется побочный продукт – молекула этана. В реакционной смеси, получаемой при хлорировании метана, наряду с хлорметаном ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) и хлороводородом, будут содержаться дихлорметан ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), трихлорметан или *хлороформ* ( $\text{CHCl}_3$ ), тетрахлорметан или *четырёххлористый углерод* ( $\text{CCl}_4$ ), а также этан и продукты его хлорирования.

**В реакции замещения наиболее легко вступают третичные атомы углерода, затем вторичные, затем первичные.**



**2. Реакции нитрования (замещения водорода на нитрогруппу -  $\text{NO}_2$ ).**

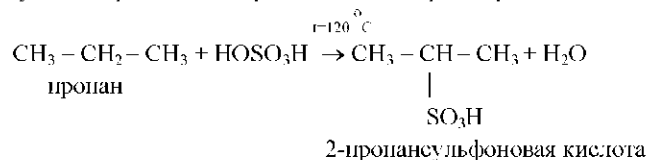
Алканы вступают в реакцию с разбавленной азотной кислотой при нагревании (реакция Коновалова):



Нитрование также можно проводить оксидами азота.

**3. Реакции сульфирования (замещения водорода на сульфогруппу -  $\text{SO}_3\text{H}$ ).**

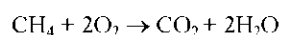
Алканы вступают в реакцию с серной кислотой при нагревании:



### 3.5.2. Реакции окисления

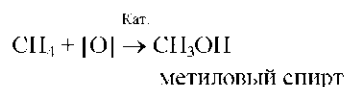
#### 1. Горение.

Алканы сгорают на воздухе с выделением большого количества теплоты:



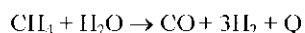
На реакции горения алканов основано их применение в качестве топлива.

**2. Каталитическое окисление.** Реакция окисления алканов широко используются в промышленности для получения альдегидов, кетонов, спиртов, например при каталитическом окислении метана получают метиловый спирт (метанол):



### 3.5.3. Взаимодействие с водяным паром

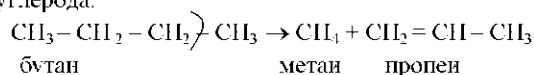
При высокой температуре (800°C) происходит конверсия метана с водяным паром:



Реакция протекает в присутствии катализатора. Её продуктом является **синтез-газ** – смесь оксида углерода (II) с водородом. Синтез-газ широко используется в органическом синтезе.

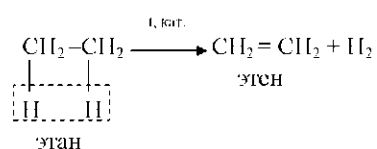
### 3.5.4. Крекинг

**Крекинг** – это расщепление молекул органических соединений с разрывом углерод-углеродных связей под действием высоких температур (более 400°C). При крекинге образуются алканы и алкены с меньшим числом атомов углерода.



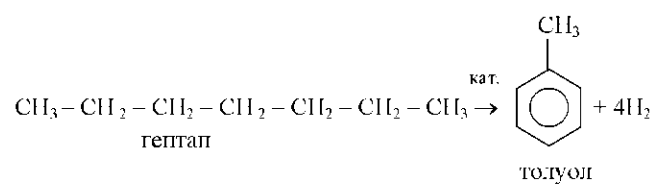
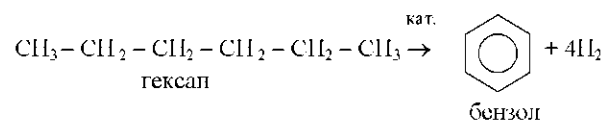
### 3.5.5. Дегидрирование (отщепление водорода)

При пропускании алканов над катализаторами (Pt, Ni, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при высокой температуре (400-600°C) происходит отщепление двух атомов водорода и образование алкена:



### 3.5.6. Ароматизация

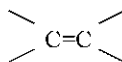
Алканы с шестью или более атомами углерода в цепи в присутствии катализатора циклизуются с образованием бензола и его производных:



## 4. АЛКЕНЫ (Олефины, этиленовые углеводороды)

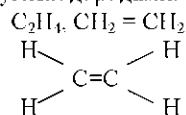
Непредельные (ненасыщенные углеводороды) содержат в молекулах кратные связи и меньше атомов водорода, чем соответствующие предельные углеводороды. К ним относятся алкены, алкины, алкадиены, циклоалкены.

Алкены – углеводороды, в молекулах которых имеется одна двойная связь между атомами углерода:



### 4.1. Гомологический ряд алкенов

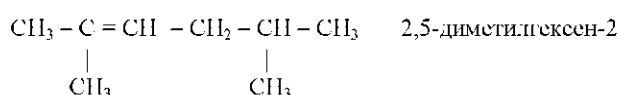
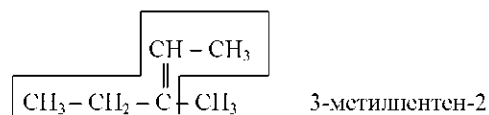
Алкены образуют свой гомологический ряд с общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Простейшим представителем этого ряда, его родоначальником является *этен (этилен)*  $\text{C}_2\text{H}_4$ . По его названию гомологический ряд алкенов называют еще *этиленовыми* углеводородами.



брутто-формула	структурная формула	название
$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	этен (этилен)
$\text{C}_3\text{H}_6$	$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2$	пропен (пропилен)
$\text{C}_4\text{H}_8$	$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$	бутен-1 (бутилен)
	$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$	бутен-2
	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	изобутен (2-метилпропен)
$\text{C}_5\text{H}_{10}$	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2$	пентен-1 (амилен)

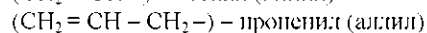
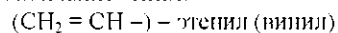
Для названия алкенов суффикс *-ан* в названии соответствующего алкана замещается на *-ен*. В названиях алкенов атомы углерода нумеруются, начиная с того конца главной цепи, к которому ближе расположена двойная связь. Цифру, указывающую положение двойной связи, обычно ставят по-

сле названия цепи, например пентен-1, пентен-2 и т.д. Остальной порядок составления названия такой же, как у алканов:



В названиях алкенов простого строения часто используют окончания –**илеп**: этел-этил**илеп**, пропел-пропил**илеп** и т.д.

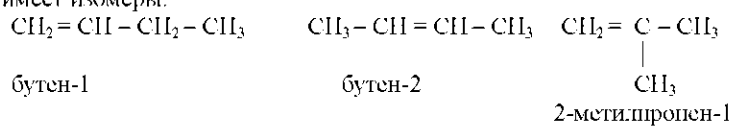
Непредельные углеводородные радикалы алкенов называют, добавляя окончание –**енил**:



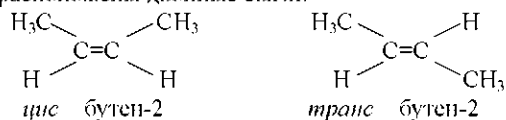
## 4.2. Изомерия

Для алкенов характерна структурная, пространственная и межклассовая изомерия.

**1. Структурная изомерия** связана с различным положением двойной связи в углеводородной цепи и с разветвлённостью цепи. Например, бутен имеет изомеры:

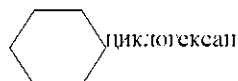
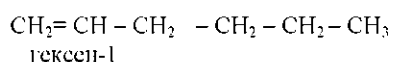


**2. Пространственная изомерия (цис-транс-изомерия)** обусловлена разным положением заместителей относительно плоскости, в которой расположены двойные связи:



Цис- и транс-изомеры различаются по свойствам. Так как энергия π-связи достаточно велика, то взаимное превращение цис- и транс-изомеров происходит лишь под влиянием жёстких воздействий.

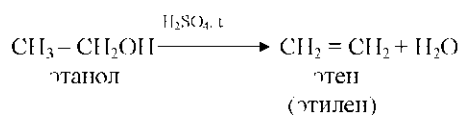
**3. Межклассовая изомерия.** Алкены изомерны циклоалканам, например:



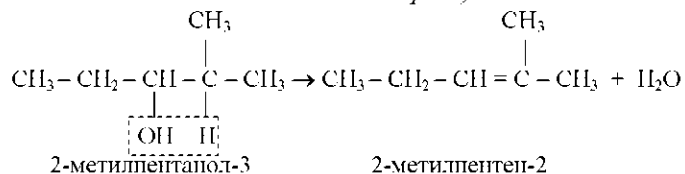
### 4.3. Способы получения алкенов

#### 1. Дегидратация спиртов.

Дегидратация спиртов (отщепление воды) в присутствии водоотнимающих реагентов (серной кислоты, фосфорной кислоты, оксида алюминия, хлорида цинка) является лабораторным способом получения этилена и его гомологов:

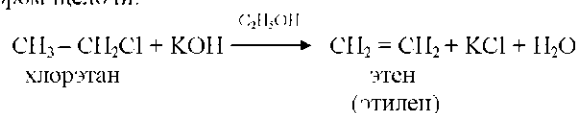


При дегидратации спиртов более сложного строения действует **правило Зайцева**: водород отщепляется от наименее гидрированного атома (связанного с наименьшим количеством водорода):

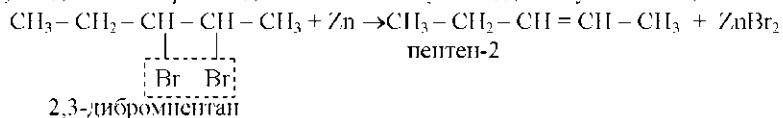


#### 2. Получение алкенов из галогенпроизводных алканов.

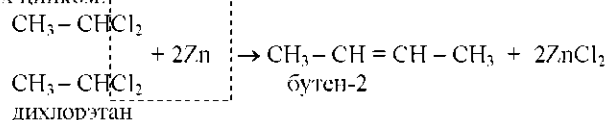
а) Из моногалогенпроизводных алкены получают, действуя на них спиртовым раствором щелочи:



б) Из дигалогенпроизводных алкены получают, действуя на них цинком:

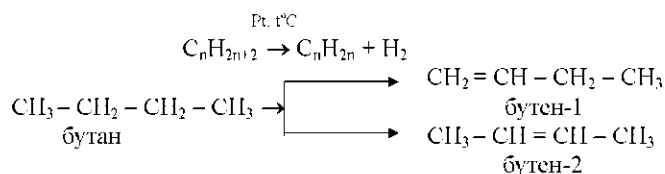


в) Из двух молекул дигалогенпроизводных алкены получают, действуя на них цинком:



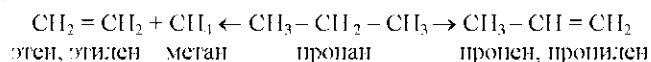
### 3. Дегидрирование алканов.

Дегидрирование алканов в присутствии катализатора (Pt, Ni, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при температуре 400-600°C – один из промышленных способов получения алкенов:



### 4. Крекинг нефтепродуктов.

Другой промышленный способ получения алкенов – крекинг нефтепродуктов:



## 4.4. Свойства алкенов

При обычных условиях этен, пропен и бутены – бесцветные газы. Разветвленные алкены, начиная с C<sub>5</sub> и до C<sub>18</sub> – жидкости, C<sub>19</sub> и далее – твердые вещества. Все алкены мало растворимы в воде, хорошо растворяются в органических растворителях. С увеличением молекулярной массы повышаются температуры плавления и кипения алкенов.

При образовании молекулы этилена имеет место sp<sup>2</sup>-гибридизация (рис.1).

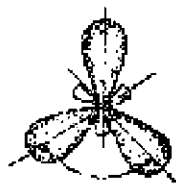


Рис. 1

В атоме углерода, находящемся в возбужденном состоянии ( $C^*1s^22s^12p^3$ ), гибридизации могут подвергаться не все, а только три орбитали внешнего уровня: одна s и две p-орбитали. Третья p-орбиталь с неподеленным электроном остается в неизменном виде. При образовании молекулы этилена гибридные орбитали каждого атома углерода перекрываются с двумя s-орбиталями атомов водорода и друг с другом. Электроны, находящиеся на этих орбиталях образуют  $\sigma$ -связи (рис. 2а). При сближении двух атомов углерода происходит также взаимодействие негибридизированных p-орбиталей путем бокового перекрывания. Электроны, находящиеся на этих орбиталях, образуют  $\pi$ -связь (рис. 2б):

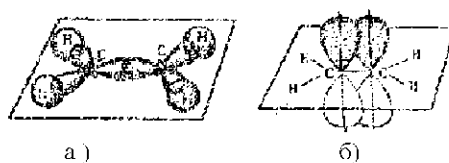


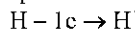
Рис.2

Таким образом, двойная связь в молекуле этилена состоит из одной  $\sigma$ - и одной  $\pi$ -связи.

Алкены проявляют большую реакционную способность, чем алканы, что обусловлено наличием в их молекулах двойных связей. Алкены способны вступать в реакции присоединения за счёт разрыва  $\pi$ -связей. Кроме того,  $\pi$ -связь под действием окислителей разрушается легче, чем  $\sigma$ -связь, поэтому алкены легко окисляются, проявляя восстановительные свойства в окислительно-восстановительных реакциях.

#### 4.4.1. Реакции присоединения

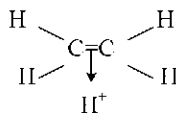
Отличительной чертой представителей непредельных углеводородов является их способность вступать в реакции **электрофильного присоединения**. Электрофильные реакции – это реакции, протекающие под действием электрофилов – частиц, имеющих недостаток электронной плотности, например незаполненную орбиталь. Например, катион водорода, не имеющий ни одного электрона:



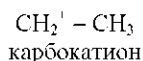
Атомы углерода, между которыми имеется двойная связь, находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Негибридизованные p-орбитали соседних атомов углерода перекрываются, образуя  $\pi$ -связь, которая легко поляризуется под действием внешнего электрического поля. При приближении положи-



тельно заряженной частицы электроны  $\pi$ -связи смещаются в её сторону, образуя  $\pi$ -комплекс.



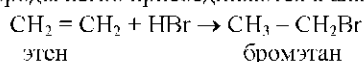
Затем происходит полное смещение электронной пары  $\pi$ -связи к одному из атомов углерода, что приводит к появлению на нём неподелённой электронной пары. Орбиталь атома углерода, на которой находится эта пара, и незаполненная орбиталь катиона водорода перекрываются. Образуется ковалентная связь по донорно-акцепторному механизму. У второго атома углерода при этом остаётся незаполненная орбиталь, т.е. положительный заряд:



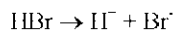
Карбокатион может взаимодействовать с частицей, имеющей неподелённую электронную пару (*нуклеофилом*). Примером реакции электрофильного присоединения является реакция гидрогалогенирования (присоединения галогеноводородов)

### 1. Присоединение галогеноводородов

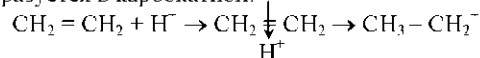
Галогеноводороды легко присоединяются к алкенам:



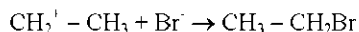
Реакция начинается с образования электрофильной частицы – катиона водорода:



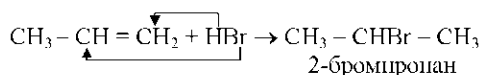
Катион водорода взаимодействует с двойной связью, образуя  $\pi$ -комплекс, который преобразуется в карбокатион:



Карбокатион реагирует с нуклеофилом – бромид-ионом, образуя молекулу бромэтана:

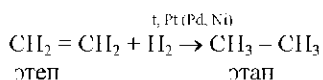
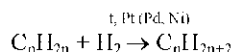


Присоединение галогеноводородов к гомологам этилена происходит по **правилу Марковникова**: *атом водорода галогеноводородов и других несимметричных водородных соединений присоединяется к наиболее гидрированному атому углерода при двойной связи (т.е. к атому углерода, который связан с большим числом атомов водорода).*



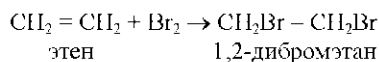
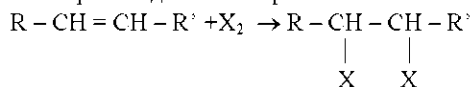
### 2. Гидрирование (присоединение водорода)

Присоединяя водород, алкены переходят в алканы:



### 3. Реакции галогенирования (присоединение галогена).

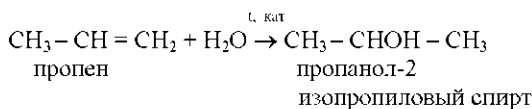
Алкены легко присоединяют галогены, особенно хлор и бром. Присоединение происходит симметрично относительно двойной связи:



На этой реакции основано качественное определение непредельных соединений: бромная вода при пропускании через неё алкенов обезбечивается.

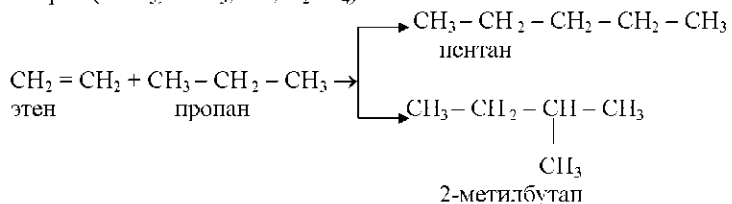
### 4. Гидратация (присоединение воды).

При гидратации алкенов образуются спирты. Присоединение воды происходит согласно правилу Марковникова в присутствии катализаторов ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) при повышенной температуре:



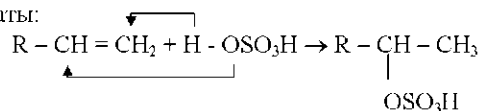
### 5. Алкилирование (присоединение алканов).

Алкены могут присоединять предельные углеводороды с образованием высших алканов. Реакции алкилирования протекают в присутствии катализаторов ( $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

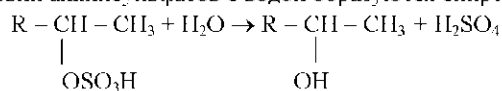


### 6. Сульфирование (присоединение серной кислоты)

В результате взаимодействия алкенов с серной кислотой образуются алкилсульфаты:



При взаимодействии алкилсульфатов с водой образуются спирты:

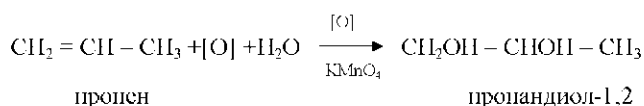
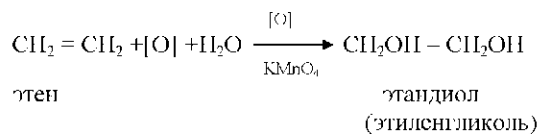
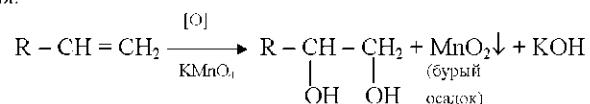


## 4.4.2. Реакции окисления

Алкены легко окисляются. Характер окисления зависит от строения алкенов, вида окислителя и условий окисления.

### 1. Окисление в мягких условиях.

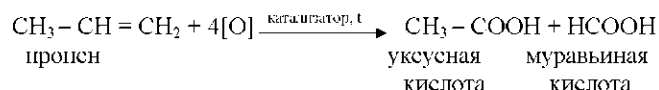
Перманганат калия в нейтральной или слабощелочной среде окисляет алкены с разрывом  $\pi$ -связи. При этом образуются гликоли – двухатомные спирты.



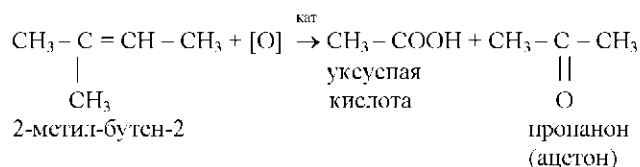
Эта реакция служит для качественного определения алкенов.

### 2. Окисление в жестких условиях.

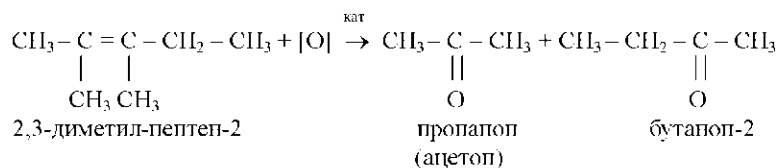
Сильные окислители (перманганат калия или дихромат калия в присутствии серной кислоты) окисляют алкены с полным разрывом молекулы по месту двойной связи. Если углеродная цепь линейная, то в результате реакции образуются две кислоты:



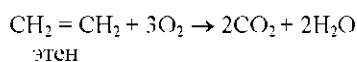
Если углеродная цепь разветвлённая, то в результате реакции образуются кетон и кислота:



Если углеродная цепь имеет два боковых ответвления по обе стороны двойной связи, то в результате реакции образуются два кетона:

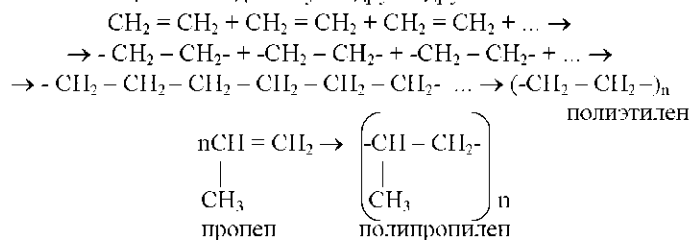


При высокотемпературном окислении алкенов в кислороде или на воздухе они сгорают:



#### 4.4.3. Полимеризация алкенов

Непредельные углеводороды легко вступают в реакции полимеризации. Полимеризация – это реакция соединения одинаковых молекул (мономеров) с образованием нового вещества с большой молекулярной массой – полимеров. При полимеризации этилена происходит разрыв π-связей в молекулах под действием света, излучения, химических веществ. Образовавшиеся частицы взаимодействуют друг с другом:

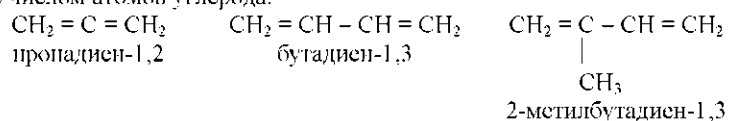


## 5. АЛКАДИЕНЫ

Алкадиены – углеводороды, в молекулах которых имеется две двойные связи между атомами углерода.

### 5.1. Гомологический ряд алкадиенов. Изомерия

Общая формула алкадиенов  $C_nH_{2n-2}$ , где  $n=3,4,5...$  Следовательно, любой алкадиен является изомером алкина (см. главу 6 «Алкины») с тем же числом атомов углерода.



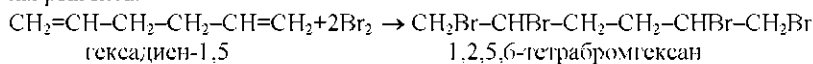
В зависимости от положения двойных связей, различают следующие виды алкадиенов:

- алкадиены с кумулированными связями ( $CH_2 = C = CH_2$ )
- алкадиены с сопряжёнными связями ( $CH_2 = CH - CH = CH_2$ )
- алкадиены с изолированными связями ( $CH_2 = CH - CH_2 - CH = CH_2$ )

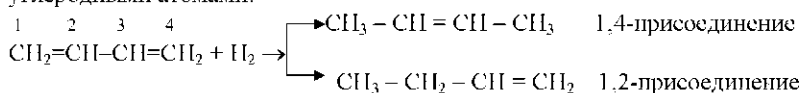
### 5.2. Свойства алкадиенов

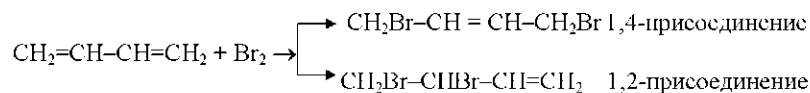
#### 1. Гидрирование и галогенирование.

Алкадиены могут присоединять водород и галогены. В диенах, содержащих изолированные двойные связи присоединение идёт независимо к каждой из двойных связей. При этом могут присоединяться две молекулы реагента:



Диеновые углеводороды с сопряжёнными двойными связями присоединяют атомы водорода или галогена в 1,2- или 1,4- положения. Преобладает 1,4-присоединение, при этом образуется новая двойная связь между углеродными атомами:

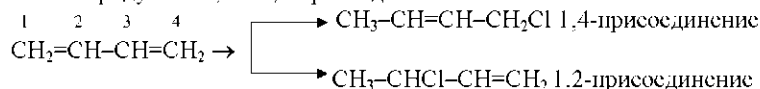




При избытке галогена происходит галогенирование и второй двойной связи. Полное гидрирование бутадиена-1,3 до алкана протекает в присутствии никелевого катализатора.

### 2. Гидрогалогенирование (присоединение галогеноводородов)

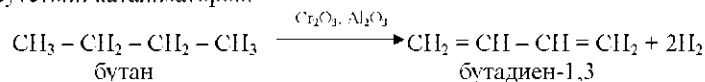
Присоединение хлороводорода к бутадиену-1,3 приводит к образованию продуктов 1,2 и 1,4-присоединения:



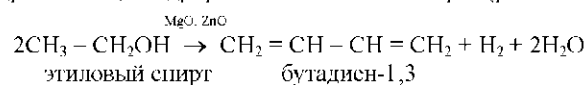
### 5.3. Отдельные представители

Наибольшее практическое значение имеют алкадиены с сопряжёнными двойными связями. Типичными их представителями являются бутадиен-1,3 (дивинил) и 2-метилбутадиен-1,3 (изопрен).

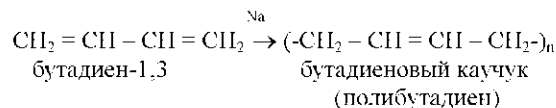
**Бутадиен 1,3 (дивинил)** – бесцветный газ, практически нерастворим в воде. В промышленности его получают дегидрированием бутана в присутствии катализаторов:



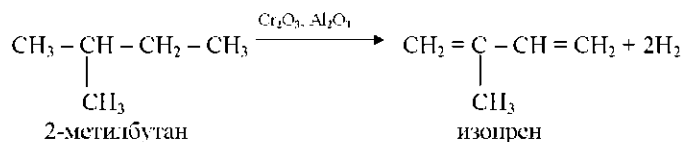
Другим способом получения бутадиена-1,3 является каталитическая дегидратация и дегидрирование этилового спирта (реакция Лебедева):



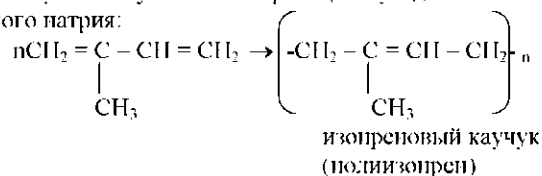
Бутадиен-1,3 используется для получения синтетического каучука. Синтетический каучук получают путём полимеризации бутадиена-1,3 в присутствии металлического натрия:



**Изопрен (2-метилбутадиен-1,3)** получают дегидрированием 2-метилбутана в присутствии катализаторов:



Изопрен используется для получения синтетического каучука. Синтетический каучук получают путём полимеризации бутадиена-1.3 в присутствии металлического натрия:



## 6. АЛКИНЫ (Ацетиленовые углеводороды)

Алкины – углеводороды, в молекулах которых имеется одна тройная связь между атомами углерода.

### 6.1 Гомологический ряд алкинов

Простейшим алкином является этин (ацетилен):



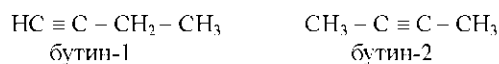
Общая формула алкинов  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

$\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{HC}\equiv\text{CH}$	этин
$\text{C}_3\text{H}_4$	$\text{HC}\equiv\text{C} - \text{CH}_3$	пропин
$\text{C}_4\text{H}_6$	$\text{HC}\equiv\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	бутин-1
$\text{C}_5\text{H}_8$	$\text{HC}\equiv\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	пентин-1
$\text{C}_6\text{H}_{10}$	$\text{HC}\equiv\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	гексин-1
$\text{C}_7\text{H}_{12}$	$\text{HC}\equiv\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	гептин-1

### 6.2 Изомерия. Номенклатура.

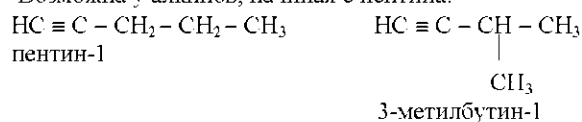
#### 1. Изомерия положения тройной связи.

Наблюдается у алкинов, начиная с бутина:



**2. Изомерия углеродного скелета.**

Возможна у алкинов, начиная с пентина:

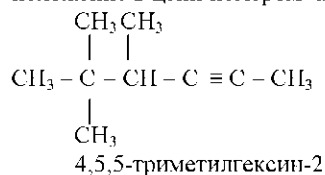


**3. Межклассовая изомерия.**

Алкины изомерны алкадиенам так как имеют общую формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

Так как тройная связь предполагает линейное строение углеродной цепи, пространственная (*цис-транс*-) изомерия невозможна.

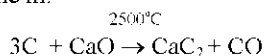
Наличие тройной связи в алкинах отражается окончанием **-ин**, а её положение в цепи номером атома углерода:



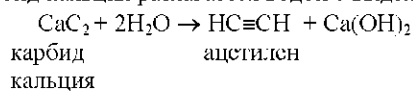
### 6.3 Получение алкинов

**1. Реакция разложения карбида кальция водой:**

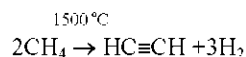
Карбид кальция  $\text{CaC}_2$  получают прокаливанием смеси угля и негашёной извести в электропечи:



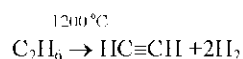
Далее карбид кальция разлагается водой с выделением ацетилена:



**2. Термическое разложение природного газа и нефтепродуктов (крекинг).**

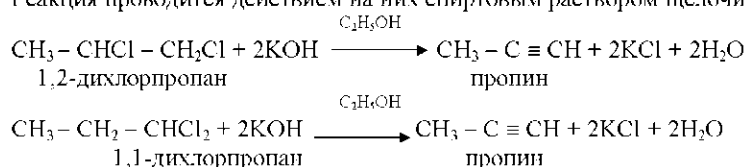






### 3. Получение гомологов ацетилена из дигалогенпроизводных алканов.

Реакция проводится действием на них спиртовым раствором щёлочи:



## 6.4. Свойства алкинов

Ацетиленовые углеводороды, содержащие в молекуле от двух до четырёх атомов углерода – газы, начиная с  $\text{C}_3\text{H}_4$  – жидкости, высшие алкины с  $\text{C}_{16}\text{H}_{30}$  – твёрдые вещества.

Ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) – бесцветный газ, без запаха. Растворим в воде. Горит сильно коптящим пламенем, образует с воздухом взрывоопасные смеси.

Атомы углерода, между которыми находится тройная связь, находятся в состоянии *sp*-гибридизации. Это означает, что в гибридации участвует одна *s*- и одна *p*-орбиталь, а две *p*-орбитали остаются негибридованными. Перекрывание гибридных орбиталей приводит к образованию  $\sigma$ -связи, а за счёт негибридованных *p*-орбиталей соседних атомов углерода образуются две  $\pi$ -связи. Все гибридные орбитали атомов, между которыми образована тройная связь, а также заместители при них лежат на одной прямой, а плоскости  $\pi$ -связей перпендикулярны друг другу. Тройная углерод-углеродная связь прочнее двойной связи.

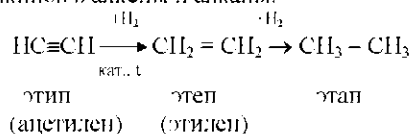
Ацетиленовые углеводороды, способны вступать в реакции присоединения, замещения, окисления, полимеризации и конденсации.

### 6.4.1. Реакции присоединения

Алкины относятся к непредельным углеводородам и поэтому вступают в реакции присоединения. В основном это реакции *электрофильного присоединения*.

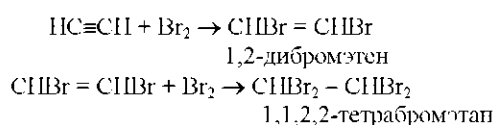
### 1. Гидрирование (присоединение водорода).

В присутствии катализаторов (Pt, Pd, Ni, Fe) происходит процесс восстановления алкинов в алкены и алканы:



### 2. Реакции галогенирования (присоединение галогена).

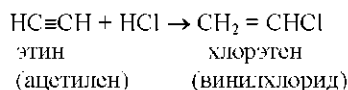
Алкины легко присоединяют хлор и бром. Реакция протекает в две стадии:



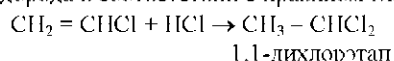
Ацетилен обеспечивает бромную воду.

### 3. Гидрогалогенирование (присоединение галогеноводородов).

Галогеноводороды легко присоединяются к алкинам. Реакция протекает в две стадии. На первой стадии образуется галогенпроизводное алкена:

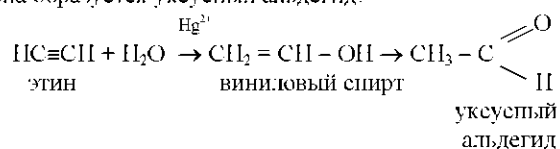


На второй стадии к этому галогенпроизводному присоединяется вторая молекула галогеноводорода в соответствии с правилом Марковникова:

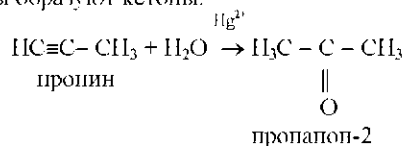


### 4. Присоединение воды (реакция Кучерова).

Ацетилен и его гомологи присоединяют воду (гидратируются) в присутствии катализаторов – солей ртути  $\text{HgSO}_4$  или  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ . При гидратации ацетилена образуется уксусный альдегид:

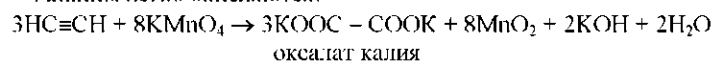


Другие алкины образуют кетоны:

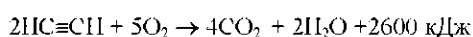


#### 6.4.2. Реакции окисления

Алкины легко окисляются:



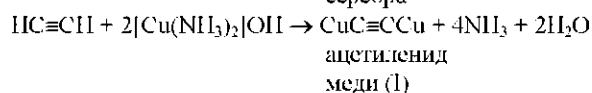
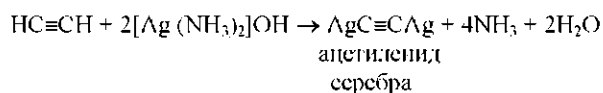
Ацетилен горит в кислороде с выделением очень большого количества теплоты:



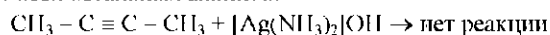
На этой реакции основано действие кислородно-ацетиленовой горелки, пламя которой имеет температуру более 3000°C, что позволяет её использовать для сварки и резки металлов.

#### 6.4.3. Реакции замещения

Водород, связанный с атомом углерода при тройной связи, очень подвижен, вследствие чего для ацетилена и его гомологов характерны реакции замещения. Ацетилен и его гомологи, имеющие тройную связь при первом атоме углерода, взаимодействуют с аммиачными растворами гидроксидов или солей серебра и меди (1):



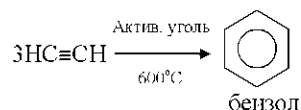
Эти реакции используют для отделения алкинов с тройной связью в конце молекулы от всех остальных алкинов:



Смесь алкинов пропускают через аммиачный раствор оксида серебра. Образовавшаяся соль выпадает в осадок. Её отфильтровывают и разлагают кислотой.

#### 6.4.4. Реакции полимеризации

Ацетиленовые углеводороды способны образовывать линейные или циклические продукты полимеризации:



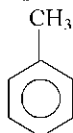
### 7. АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (Арены)

Арены – это углеводороды, молекулы которых содержат циклическую группировку из шести углеродных атомов (бензольное кольцо). Простейшим ароматическим углеводородом является бензол  $\text{C}_6\text{H}_6$ :

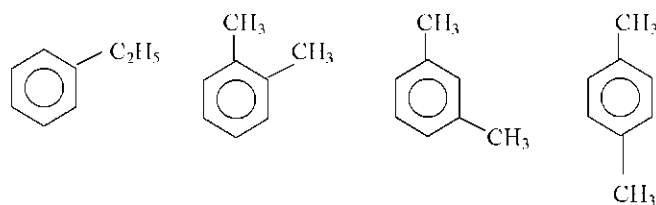


#### 7.1. Гомологический ряд ароматических углеводородов

Гомологи бензола – это ароматические углеводороды, в которых один или несколько атомов водорода замещены на алкильные радикалы. Общая формула аренов  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ , где  $n = 6, 7, 8, \dots$ . Простейшим гомологом бензола является  $\text{C}_7\text{H}_8$  метилбензол (толуол):

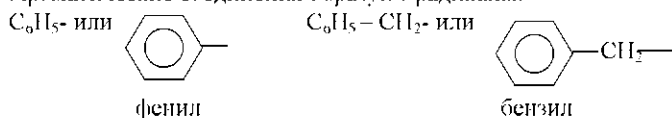


Следующий за толуолом гомолог имеет состав  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ . Этому составу отвечают 4 соединения:



этилбензол    диметилбензол    1,3-диметилбензол    1,4-диметилбензол  
 (орто-ксилол)    (мета-ксилол)    (пара-ксилол)

Ароматические соединения образуют радикалы:



Общее название радикалов ароматических углеводородов – *арил*.

Названия гомологов бензола составляются из названия заместителя (алкила) с добавлением корня **бензол**, например *этилбензол*. Если гомолог содержит несколько заместителей, то их положение указывают цифрами, обозначающими номера атомов углерода в бензольном кольце, при которых находятся эти заместители, например *1,2-диметилбензол*. Нумерацию начинают с одного из атомов углерода, при котором есть заместитель. Для многих гомологов широко используются тривиальные названия, например *толуол*, *ксилол*.

Для обозначения изомеров с двумя заместителями используют приставки *орто-*, *мета-*, *пара-*. В *орто*-изомере заместители имеют положение 1,2, в *мета*-изомере – положение 1,3, в *пара*-изомере – положение 1,4.

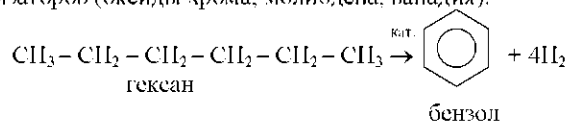
## 7.2. Способы получения бензола и его гомологов

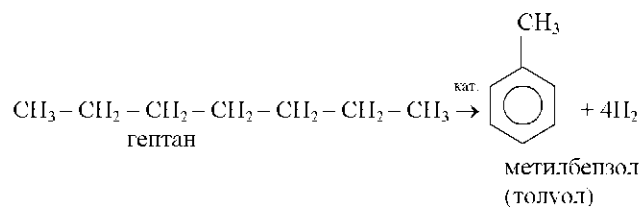
### 1. Получение из нефти и каменного угля.

Основными источниками получения ароматических углеводородов – продукты сухой перегонки (коксования) каменного угля и крекинга нефти.

### 2. Дегидроциклизация алканов

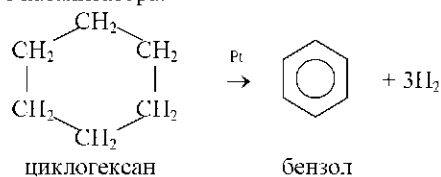
Бензол и его гомологи можно получить из алканов в присутствии катализаторов (оксиды хрома, молибдена, ванадия):





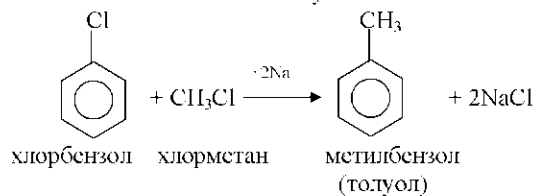
### 3. Реакция дегидрирования

Бензол может быть получен из циклогексана с участием платины в качестве катализатора:



### 4. Реакция Вюрца-Фиттига.

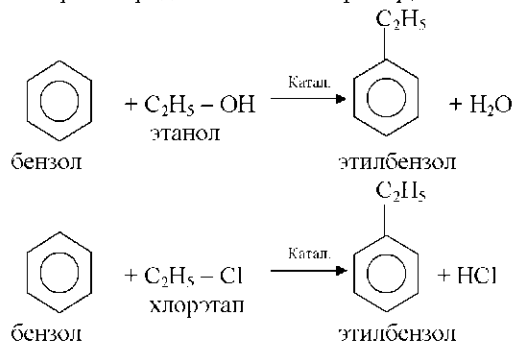
Гомологи бензола можно получить из бензолгалогенидов:



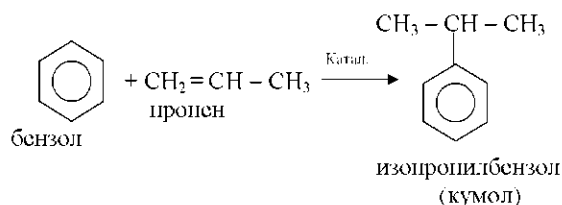
### 5. Методы алкилирования.

Используются для получения гомологов бензола.

**Алкилирование по Фриделю-Крафтсу** проводится с использованием алкилгалогенидов, спиртов и алкенов в качестве алкилирующих реагентов. Катализатор – хлорид алюминия. Например,



**Алкилирование алкенами** проводится с использованием в качестве катализаторов хлоридов алюминия, железа (III), цинка, а также фосфорной кислоты:



### 7.3. Свойства ароматических углеводородов

Бензол – бесцветная жидкость. В воде практически нерастворим, но сам является хорошим растворителем многих органических веществ. Другие ароматические углеводороды – жидкости или твёрдые вещества, легче воды, практически в ней нерастворимы. Хорошо растворяются в органических растворителях. Горят ярким коптящим пламенем. Большинство ароматических соединений токсичны.

Химические свойства ароматических углеводородов определяются строением бензольного кольца.

В соответствии с современными представлениями в молекуле бензола орбитали внешнего энергетического уровня каждого атома углерода находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации (см. рис. 1).

Электроны, находящиеся на гибридных орбиталях, образуют  $\sigma$ -связи между соседними атомами углерода и  $\sigma$ -связи углерод-водород:

$p$ -Орбитали шести атомов углерода в бензоле, которые не участвуют в гибридизации, располагаются перпендикулярно плоскости бензольного кольца и перекрываются друг с другом сверху и снизу этой плоскости. Электроны, находящиеся на этих орбиталях, образуют единую устойчивую  $\pi$ -электронную систему (рис. 3):

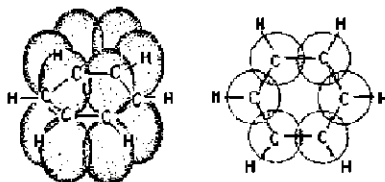


Рис. 3.

Так возникает химическая связь, объединяющая все шесть атомов углерода в бензоле. Молекула  $C_6H_6$  плоская, все атомы углерода расположены на одинаковых расстояниях друг от друга, образуя правильный шестиугольник (рис. 4).

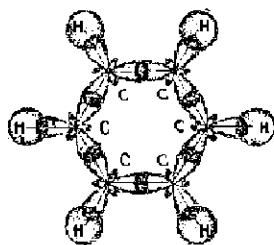


Рис.4.

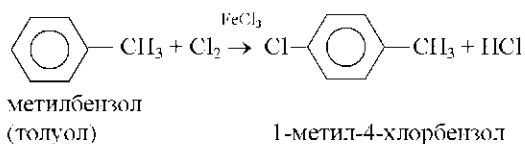
Для бензола характерны реакции замещения водорода в бензольном кольце. В отличие от непредельных соединений типа алкенов и алкинов бензол очень стоек к окислению, с трудом вступает в реакции присоединения.

### 7.3.1. Реакции замещения

Реакции замещения протекают под воздействием электрофильных частиц, то есть являются реакциями электрофильного замещения. Они представляют из себя последовательность реакций присоединения и отщепления.

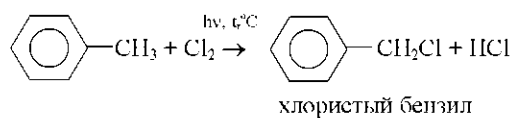
#### 1. Реакции галогенирования.

Замещение водорода в бензольном кольце на хлор или бром осуществляется при взаимодействии бензола с галогенами с участием катализатора ( $FeCl_3$ ,  $FeBr_3$  и  $AlCl_3$ ). При галогенировании гомологов бензола с участием катализаторов образуются продукты замещения водорода в бензольном кольце.

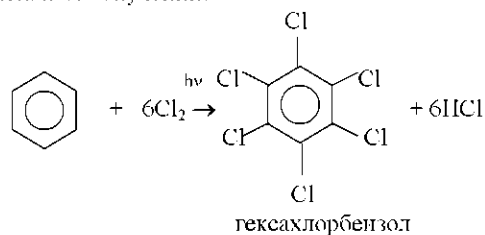


Если хлорирование производится на свету (без катализатора), то на хлор замещаются атомы водорода в боковой цепи:



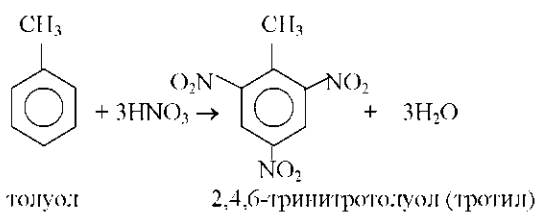
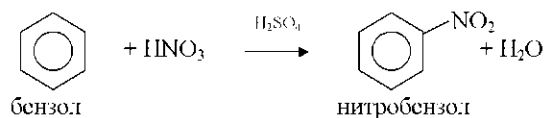


Возможно полное замещение всех атомов водорода в бензольном кольце при интенсивном облучении:



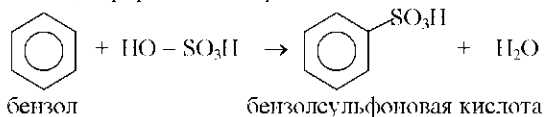
### 2. Нитрование бензола.

Нитрование происходит при действии на бензол смеси концентрированных азотной и серной кислот:



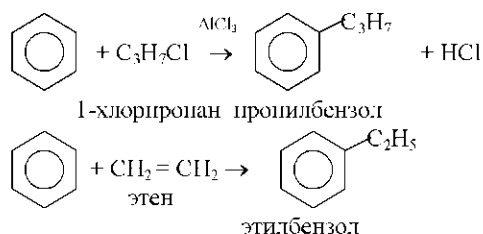
### 3. Сульфирование.

Водород в бензольном кольце может быть замещён на сульфогруппу  $\text{SO}_3\text{H}$  при действии концентрированной серной кислоты:



### 4. Алкилирование.

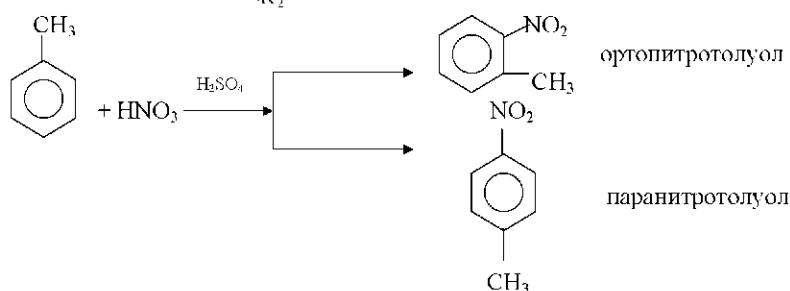
В молекулу бензола вместо водорода можно ввести алкильный радикал. Процесс алкилирования можно провести действием на бензол галкогенопроизводного алкана или алкена в присутствии катализатора ( $\text{AlCl}_3$ ):



### 7.3.2. Ориентация при электрофильном замещении в бензольном ядре

Если в ароматическом кольце имеется заместитель, при дальнейшем замещении он будет оказывать ориентирующее воздействие. Все заместители по их ориентирующему воздействию при реакциях электрофильного замещения делятся на две группы.

*Заместители первого рода (орто-пара-ориентанты)* – направляют другие заместители преимущественно в орто- и пара-положения. К ним относят алкильные радикалы ( $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{C}_2\text{H}_5$  и т.д.), группы  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{NH}-\text{R}_1$ ,  $-\text{N}-\text{R}_2$ , или  $-\text{N}-\text{R}_1$ ; галогены, например:

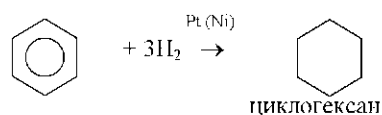


*Заместители второго рода (мета-ориентанты)* направляют другие заместители преимущественно в мета-положения. К ним относят группы  $-\text{CF}_3$ ,  $-\text{NO}_2$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CN}$ .

### 7.3.3. Реакции присоединения

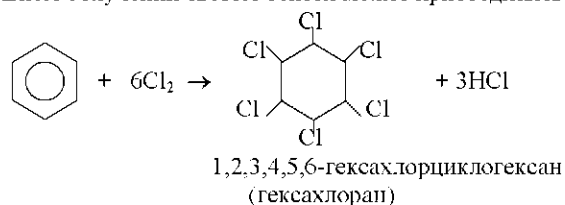
#### 1. Гидрирование.

Бензол присоединяет водород в присутствии платинового или никелевого катализатора:



### 2. Присоединение галогенов.

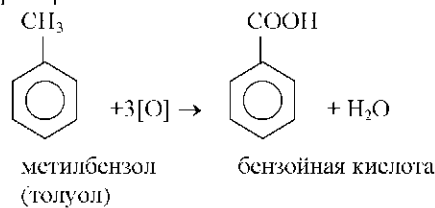
При интенсивном облучении светом бензол может присоединять хлор:



В результате этой реакции разрушается  $\pi$ -электронная система бензола и образуется галогенопроизводное циклоалкана.

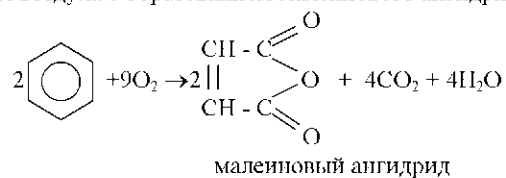
### 7.3.4. Реакции окисления

Толуол, этилбензол, ксилолы и другие гомологи бензола окисляются легче, чем сам бензол. Окисление в мягких условиях проводится  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , смесью  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$ . Окислению подвергаются боковые заместители, например:



При очень энергичном окислении происходит разрушение бензольного ядра. Например, в присутствии катализатора, содержащего смесь ок-

сидов ванадия и молибдена, при температуре 350-450°C бензол окисляется кислородом воздуха с образованием малеинового ангидрида:




## 8. СПИРТЫ

Спирты – это производные углеводородов, молекулы которых содержат одну или несколько гидроксильных групп -OH.

### 8.1. Классификация спиртов

#### 1. По характеру радикала.

- предельные  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$  пропанол-1
- непредельные  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2\text{OH}$  пропенол-2 (аллиловый спирт)

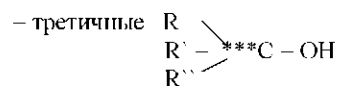
- ароматические  бензиловый спирт

#### 2. По количеству -OH групп.

- одноатомные (алканола)  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$  этанол
- двухатомные (гликоли)  $\text{OH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$  этиленгликоль (этандиол)
- трёхатомные (триолы)  $\text{OH} - \text{CH}_2 - \text{CHOH} - \text{CH}_2 - \text{OH}$  глицерин (пропантриол)
- полиатомные  $\text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \text{CH}_2$  гексаол

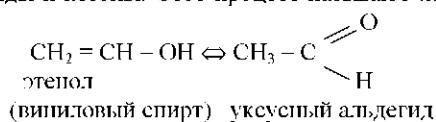
#### 3. По характеру атома углерода, связанного с -OH группой.

- первичные  $\text{R} - \text{*CH}_2\text{OH}$
- вторичные  $\begin{array}{l} \text{R} \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{R}' \end{array} \text{**CHOH}$



R, R', R'' - углеводородные радикалы.

Непредельные спирты, содержащие гидроксильную группу у атома углерода, связанного двойной связью, называются *енолами*. Енолы, как правило, неустойчивы и самопроизвольно изомеризируются в карбонильные соединения – альдегиды и кетоны. Этот процесс называют *кето-енольной таутомерией*.



## 8.2. Предельные одноатомные спирты (алканолаы)

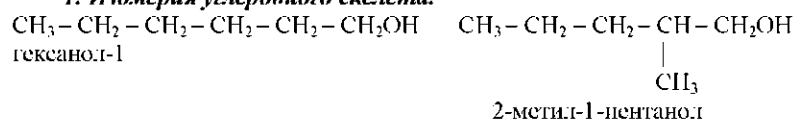
### 8.2.1. Гомологический ряд. Номенклатура

Общая формула алканолов  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ . При образовании названий спиртов к названию углеводорода, соответствующего спирту, добавляют суффикс –ол. Нумерацию главной цепи начинают с того конца, к которому ближе расположена –ОН группа.

$\text{CH}_3\text{OH}$	метанол (метиловый спирт)
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$	этанол (этиловый спирт)
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$	пропанол-1 (пропиловый спирт)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	пропанол-2 (изопропиловый спирт)
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$	бутанол-1 (бутиловый спирт)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	бутанол-2
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$	пентанол-1 (амиловый спирт)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	пентанол-2
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	пентанол-3

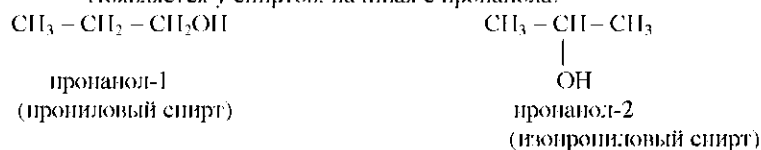
## 8.2.2. Изомерия

### 1. Изомерия углеродного скелета.



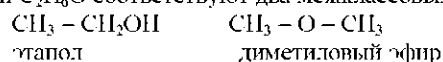
### 2. Изомерия положения гидроксильной группы.

Появляется у спиртов, начиная с пропанола:



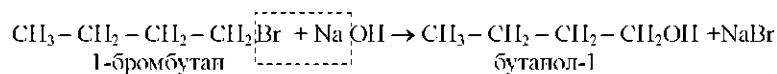
### 3. Межклассовая изомерия.

Спирты изомерны простым эфирам, например, веществу с общей формулой  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  соответствуют два межклассовых изомера:

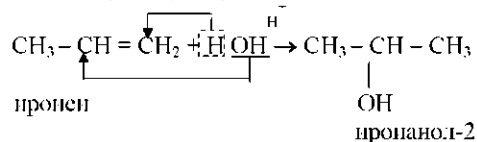


## 8.2.3. Получение предельных одноатомных спиртов

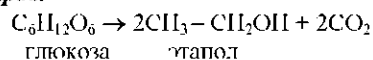
### 1. Гидролиз галогенпроизводных алканов водным раствором щелочи.



### 2. Гидратация алкенов (присоединение воды). Реакция протекает в присутствии $\text{H}_2\text{SO}_4$ , по правилу Марковникова:

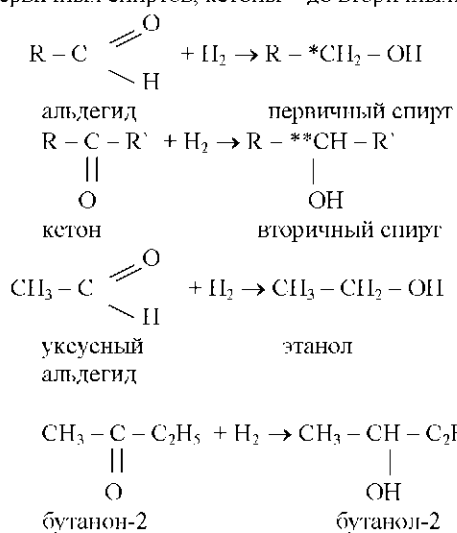


### 3. Брожение сахаров.



#### 4. Гидрирование (восстановление) альдегидов и кетонов.

В присутствии катализаторов (Ni, Pt, Pd, Co) альдегиды восстанавливаются до первичных спиртов, кетоны – до вторичных.



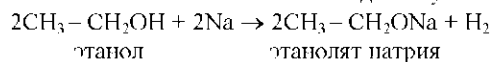
#### 8.2.4. Свойства предельных одноатомных спиртов

При обычных условиях спирты C<sub>1</sub> – C<sub>12</sub> – жидкости. Высшие спирты от C<sub>13</sub> до C<sub>20</sub> – пастообразные вещества, от C<sub>21</sub> и выше – твёрдые вещества. Все спирты легче воды (плотность меньше единицы). Метанол, этанол, пропанол хорошо растворимы в воде, бутанол и другие жидкие спирты ограниченно растворимы в воде. Высшие спирты – нерастворимы в воде.

Химические свойства спиртов определяются реакционноспособной гидроксильной группой и строением связанного с ней радикала. Реакции могут протекать с разрывом связи O–H или C–OH.

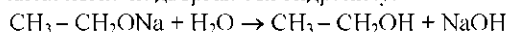
##### 1. Взаимодействие со щелочными металлами.

Предельные одноатомные спирты проявляют себя как очень слабые кислоты, они взаимодействуют со щелочными металлами, образуя соли спиртов, называемые *алкоголятами* и не взаимодействуют со щелочами.

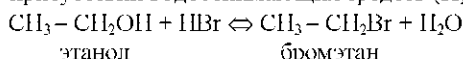


Алколяты – твёрдые вещества, обладающие свойствами щелочей.

Алколяты легко подвергаются гидролизу:



**2. Взаимодействие с галогеноводородами.** В ходе реакции замещается гидроксильная группа на галоген, реакция обратима, равновесие смещается вправо в присутствии водоотнимающих средств ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ):

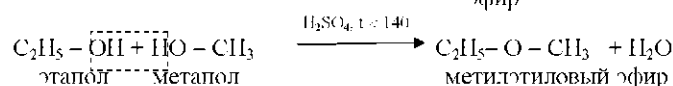
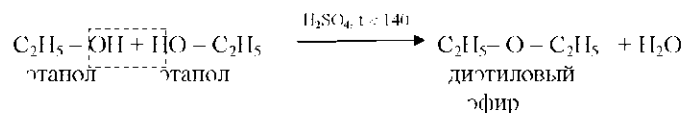
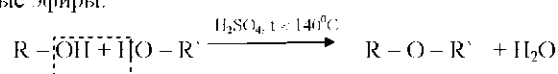


### 3. Дегидратация (отщепление воды).

Реакция идёт в присутствии водоотнимающих средств –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$

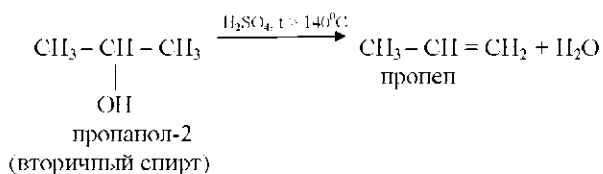
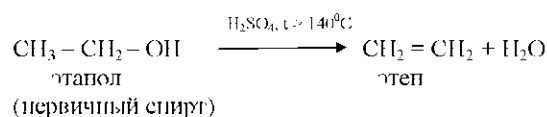
#### а) межмолекулярная дегидратация

В результате межмолекулярной дегидратации спиртов образуются простые эфиры:



#### б) внутримолекулярная дегидратация

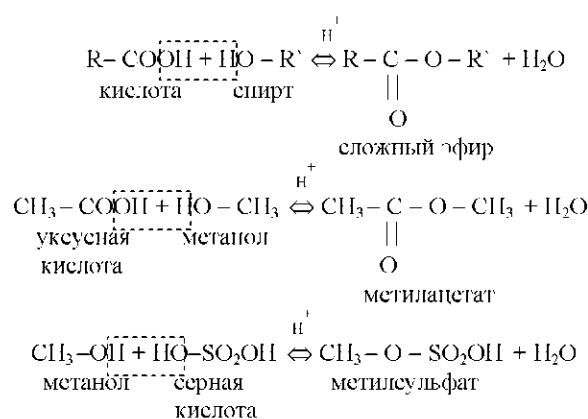
Внутримолекулярная дегидратация происходит при нагревании спиртов в присутствии водоотнимающих средств до более высокой температуры, чем температура межмолекулярной дегидратации. В результате образуются алкены. Легче дегидратации подвергаются третичные, затем вторичные, затем первичные спирты.





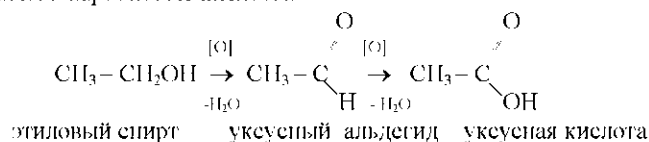
#### 4. Этерификация (образование сложных эфиров).

При взаимодействии спиртов с органическими или неорганическими кислотами образуются сложные эфиры. В качестве катализаторов применяют концентрированную  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $BF_3$ :

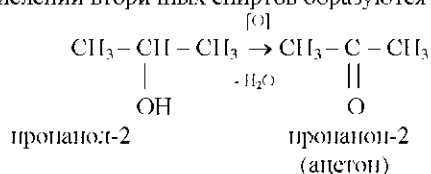


#### 5. Реакции окисления.

При каталитическом окислении кислородом воздуха, перманганатом или дихроматом калия в присутствии серной кислоты получают альдегиды и кетоны. Первичные спирты окисляются сначала в альдегиды, а затем в карбоновые кислоты:



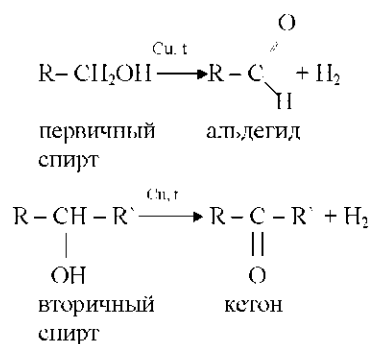
При окислении вторичных спиртов образуются кетоны:



Третичные спирты устойчивы к окислению.

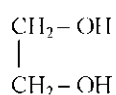
#### 6. Дегидрирование.

При пропускании паров спирта при 200-300°C над металлическим катализатором (Cu, Ag, Pt) первичные спирты превращаются в альдегиды, а вторичные – в кетоны:

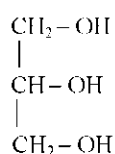


### 8.3. Предельные многоатомные спирты

Многоатомные спирты содержат в молекуле несколько гидроксильных групп. Двухатомные спирты называют **диолами (гликоли)**. Их названия строятся из названия соответствующего алкана с добавлением окончания *диол*. Трёхатомные спирты называют **триолами (глицеринами)**. Их названия строятся аналогично названиям двухатомных спиртов, но с добавлением окончания *-триол*.



этанediол-1,2  
(этиленгликоль)



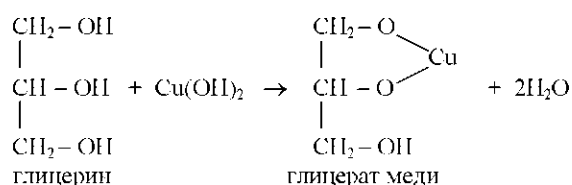
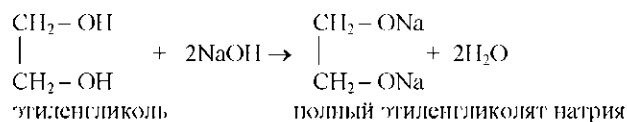
пропантриол-1,2,3  
(глицерин)

Свойства многоатомных спиртов во многом сходны со свойствами одноатомных спиртов.

#### 8.3.1. Получение предельных многоатомных спиртов

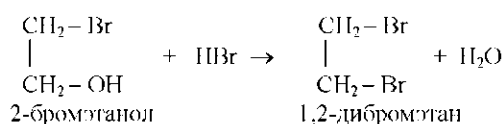
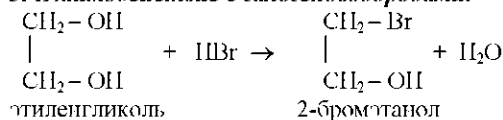
Этиленгликоль в промышленности получают гидратацией этиленоксида:





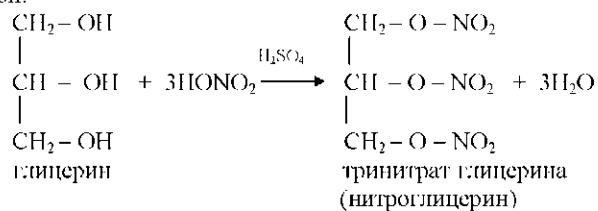
Реакция взаимодействия с гидроксидом меди является качественной на многоатомные спирты. В результате получают комплексные соединения (глицераты и гликоляты) ярко-синего цвета.

### 3. Взаимодействие с галогеноводородами.

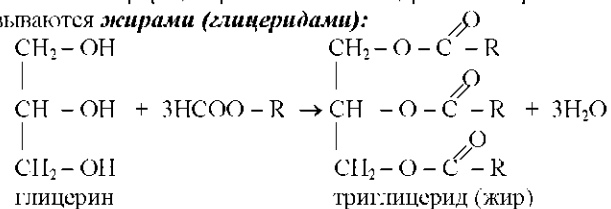


### 4. Этерификация (образование сложных эфиров).

При взаимодействии многоатомных спиртов с органическими или неорганическими кислотами также образуются сложные эфиры. Реакция катализируется сильными неорганическими кислотами, например, серной кислотой:

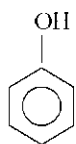


Сложные эфиры, образованные глицерином и органической кислотой называются **жирами (глицеридами)**:



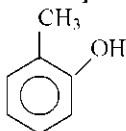
## 9. ФЕНОЛЫ

Фенолы – это органические соединения, содержащие в молекуле гидроксильную группу, непосредственно связанную с ароматическим ядром:

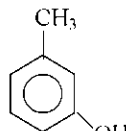


фенол

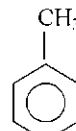
### Одноатомные фенолы:



2-метилфенол  
(орто-крезол)

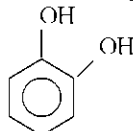


3-метилфенол  
(мета-крезол)

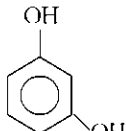


4-метилфенол  
(пара-крезол)

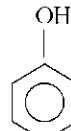
### Двухатомные фенолы:



орто-дигидроксибензол  
(пирокатехин)

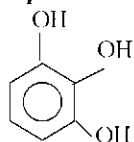


мета-дигидроксибензол  
(резорцин)



пара-дигидроксибензол  
(гидрохинон)

**Трёхатомный фенол:**



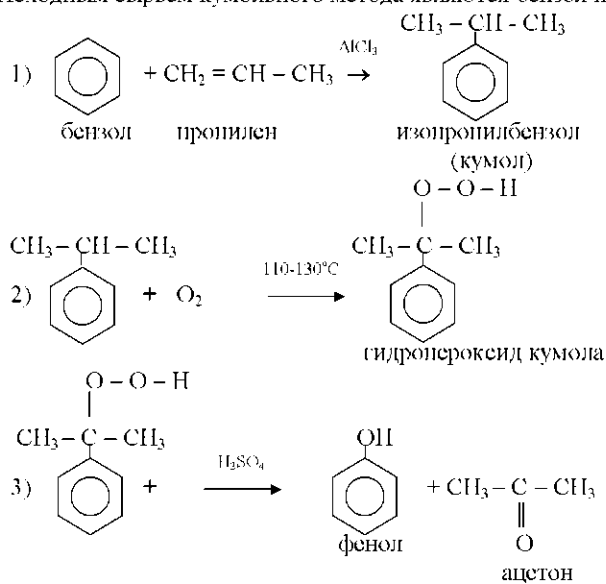
1,2,3-тригидроксибензол (пирогаллол)

Большинство фенолов – бесцветные кристаллические вещества. Одноатомные фенолы обладают характерным резким запахом. Все фенолы обладают бактерицидным действием.

### 9.1. Получение фенолов

**1. Кумольный метод**

Наиболее распространённый промышленный способ получения фенола. Исходным сырьём кумольного метода являются бензол и пропилен.



Метод разработан в 1949 г. П.И. Сергеевым, Б.Д. Кружаловым, Р.Ю. Удрисом и М.Е. Немцовым. Кумольный метод экономически наиболее выгоден: он даёт возможность получать два ценных продукта – фенол

и ацетон с использованием дешёвого сырья – пропан-пропиленовой фракции газов крекинга нефти.

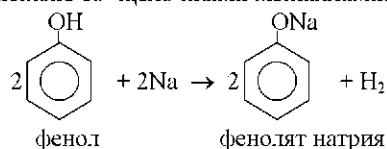
## 9.2. Свойства фенолов

Фенолы – кристаллические вещества или высококипящие жидкости, обладающие характерным резким запахом. Сам фенол бесцветное кристаллическое вещество,  $t_{\text{пл}} = 43^{\circ}\text{C}$ . На воздухе окисляется, сначала розовеет, затем темнеет; кристаллы расплываются вследствие гигроскопичности. Мало растворим в холодной воде, хорошо – в горячей. Обладает сильным антисептическим действием. Токсичен, вызывает ожоги. Водный 40%-й раствор фенола называется *карболовой кислотой*, применяется для дезинфекции.

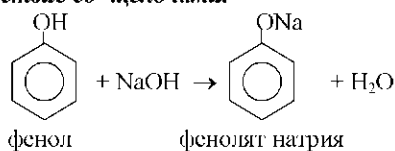
В молекуле фенола гидроксигруппа непосредственно связана с атомом углерода бензольного ядра. В ней общее электронное облако связи O – H смещено в сторону атома кислорода, поэтому у кислорода появляется частичный отрицательный заряд, а у атома водорода – частичный положительный заряд. Следовательно, водород гидроксильной группы имеет «кислотный» характер.

Кислотные свойства у фенола выражены сильнее, чем у спиртов. В то же время, в бензольном ядре увеличивается электронная плотность в орто- и пара- положениях. Гидроксильная группа относится к числу наиболее сильных орто-, пара-ориентантов.

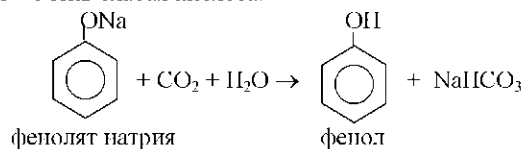
### 1. Взаимодействие со щелочными металлами.



### 2. Взаимодействие со щелочами.

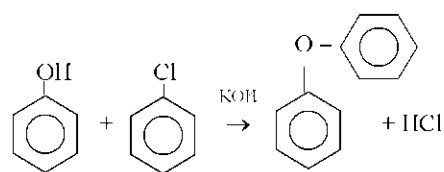
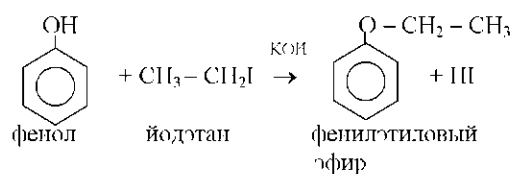


Феноляты устойчивы к гидролизу, но разлагаются под действием кислот т.к. фенол – очень слабая кислота:



### 3. Образование простых эфиров.

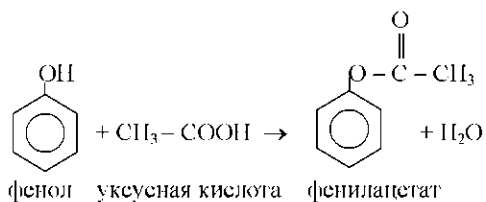
Простые эфиры образуются при взаимодействии фенола с галогенопроизводными алканов или ароматических углеводородов:



фенол хлорбензол дифениловый эфир

### 4. Образование сложных эфиров (этерификация).

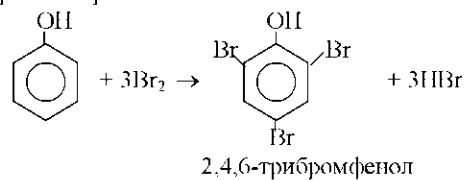
Сложные эфиры фенолов образуются при взаимодействии фенола с карбоновыми кислотами:



фенол уксусная кислота фенилацетат

### 5. Бромирование фенола

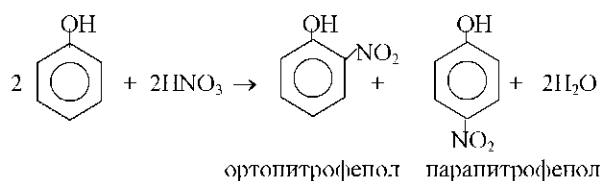
В отличие от бензола для бромирования фенола не требуется катализатор. Взаимодействие протекает избирательно: атомы брома направляются в орто- и пара-положения:



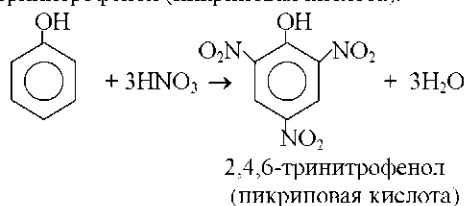


### 6. Нитрование фенола

Реакция протекает при комнатной температуре под действием разбавленной азотной кислоты. В результате образуется смесь орто- и пара-изомеров нитрофенола:

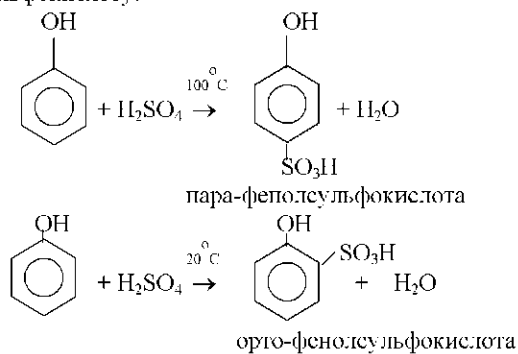


При использовании концентрированной азотной кислоты образуется 2,4,6-тринитрофенол (пикриновая кислота).

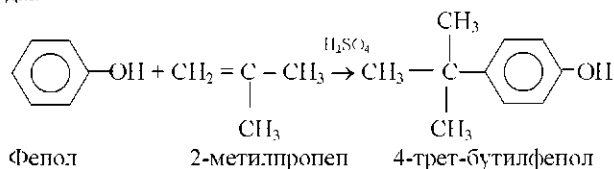


### 7. Сульфирование фенола

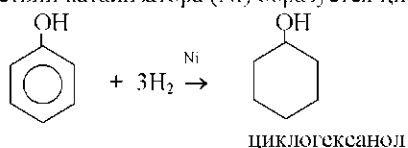
Сульфирование при комнатной температуре даёт орто-фенолсульфокислоту, а при более высокой температуре пара-фенолсульфокислоту:



**8. Алкилирование.** Фенолы могут присоединять непредельные углеводороды:

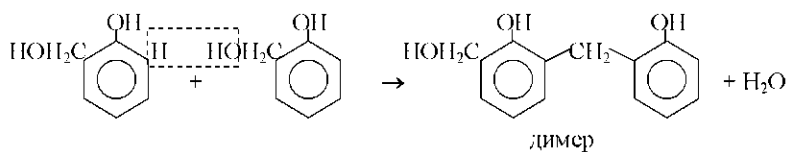
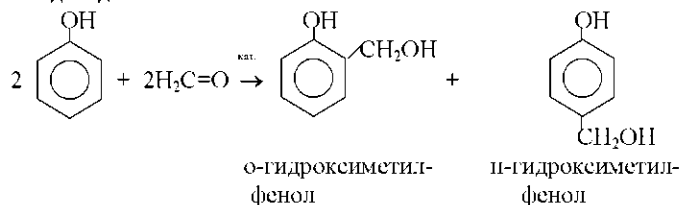


**9. Гидрирование ароматического ядра.** При гидрировании фенола в присутствии катализатора (Ni) образуется циклогексанол:

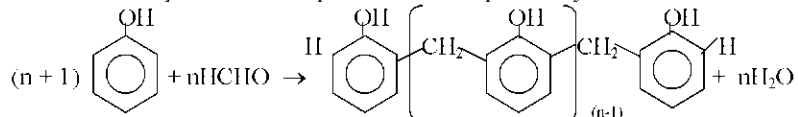


**10. Поликонденсация с альдегидами**

Реакция поликонденсации – это реакция получения полимера, протекающая с выделением низкомолекулярного побочного продукта. Поликонденсация фенола с формальдегидом происходит с образованием фенолоформальдегидных смол.



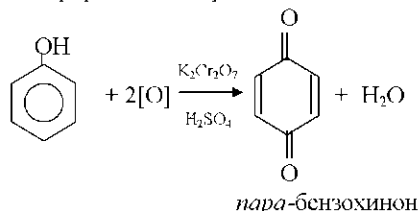
Процесс поликонденсации может продолжаться до полного израсходования одного из реагентов с образованием макромолекулы:



Образование линейных молекул происходит при обычной температуре. Проведение реакции при нагревании приводит к тому, что образующийся продукт имеет разветвленное строение.

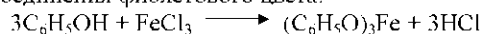
### 11. Окисление.

Фенол легко окисляется при действии на него смеси дихромата калия и концентрированной серной кислоты:



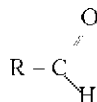
### 12. Качественная реакция на фенол.

Фенол реагирует с хлоридом железа (3) с образованием комплексного соединения фиолетового цвета:



## 10. АЛЬДЕГИДЫ

Альдегиды – это соединения, в молекулах которых карбонильная группа соединена с радикалом и атомом водорода:



Название альдегида по номенклатуре ИЮПАК складывается из названия соответствующего углеводорода с добавлением окончания «-аль». Часто альдегиды называют по названию кислот, в которые они превращаются при окислении.

НСНО – метаналь (формальдегид, муравьиный альдегид)

СН<sub>3</sub> – СНО – этаналь (ацетальдегид, уксусный альдегид)

СН<sub>3</sub> – СН<sub>2</sub> – СНО – пропаналь (пропионовый альдегид)

СН<sub>3</sub> – СН<sub>2</sub> – СН<sub>2</sub> – СНО – бутаналь (масляный альдегид)

СН<sub>3</sub> – СН – СНО – 2-метилпропаналь (изомасляный альдегид)

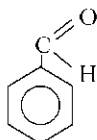


СН<sub>3</sub> – СН<sub>2</sub> – СН<sub>2</sub> – СН<sub>2</sub> – СНО – пентаналь (валериановый альдегид)

Кроме предельных альдегидов бывают непредельные:

СН<sub>2</sub> = СН – СНО – пропеналь (акролеин)

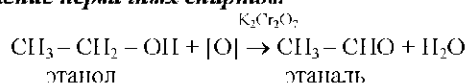
Ароматические:



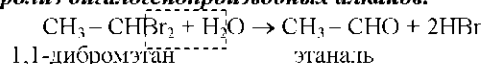
бензальдегид (бензойный альдегид)

## 10.1. Получение альдегидов

### 1. Окисление первичных спиртов.

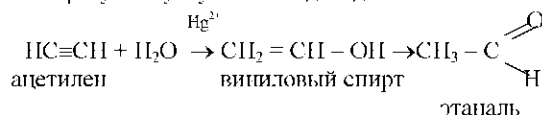


### 2. Гидролиз дигалогенпроизводных алканов.

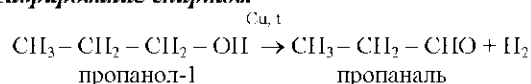


Альдегиды образуются, если оба атома галогена находятся при первичном атоме углерода.

**3. Гидратация ацетилена (реакция Кучерова).** Реакция идёт в присутствии катализаторов – солей ртути  $\text{HgSO}_4$  или  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ . При гидратации ацетилена образуется уксусный альдегид:



### 4. Дегидрирование спиртов.



## 10.2. Свойства альдегидов

Формальдегид – газ, хорошо растворим в воде, его 40%-ный раствор называют формалином, ядовит. Ацетальдегид, пропаналь, бутаналь и другие низшие альдегиды – легко кипящие жидкости, смешиваются с водой во всех соотношениях. Низшие альдегиды обладают резким запахом, высшие альдегиды имеют приятный запах, напоминающий запахи цветов, поэтому используются в парфюмерии.

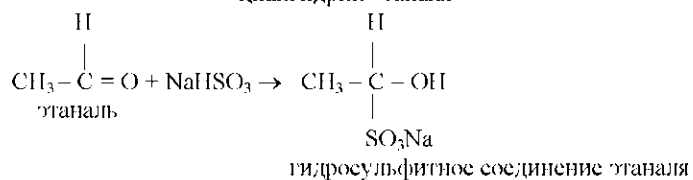
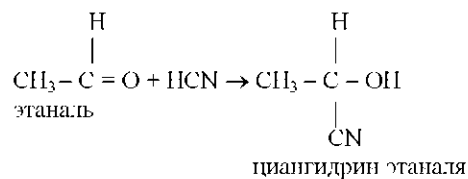
Углеродный атом карбонильной группы находится в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Вследствие большой электроотрицательности кислорода по сравнению с углеродом, связь  $\text{C}=\text{O}$  сильно поляризована. Полярность карбонильной группы сказывается на физических и химических свойствах. Эта группа одна из наиболее реакционноспособных. Характерными реакциями альдегидов являются:

- присоединение по двойной связи карбонильной группы;
- замещение атома кислорода карбонильной группы азотсодержащими соединениями;
- конденсация.

### 10.2.1. Реакции присоединения

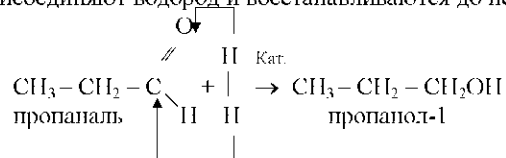
#### 1. Присоединение циановодорода и гидросульфита натрия.

Альдегиды легко присоединяют циановодород и гидросульфит натрия:



#### 2. Присоединение водорода.

В присутствии никелевого или платинового катализаторов альдегиды присоединяют водород и восстанавливаются до первичных спиртов:



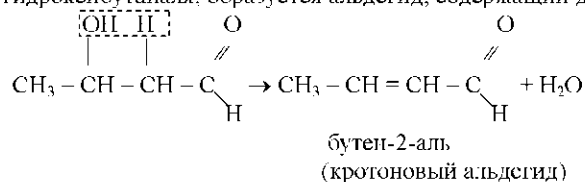
### 10.2.2. Реакции полимеризации и поликонденсации

#### 1. Реакция альдольной конденсации.

Две молекулы альдегида могут соединяться друг с другом в присутствии щелочи. При этом образуются соединения с более длинной углеродной цепью, которые содержат альдегидную и гидроксильную группы:



Такое вещество называют *альдеидом*. При отщеплении молекулы воды от гидроксибутанала, образуется альдегид, содержащий двойную связь:



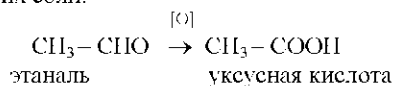
Такие реакции называются реакциями *альдольно-крононовой конденсации*.

**2. Реакция поликонденсации с фенолами (см. химические свойства фенолов).**

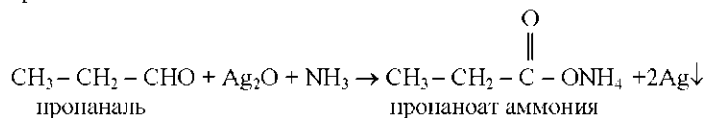
### 10.2.3. Реакции окисления

#### 1. Окисление в мягких условиях

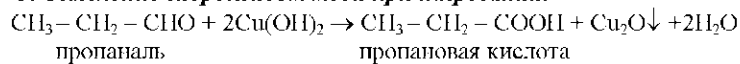
Альдегиды очень легко окисляются. При этом образуются органические кислоты или их соли:



**2. Реакция серебряного зеркала** является качественной реакцией на альдегиды – окисление их аммиачным раствором оксида серебра при нагревании:



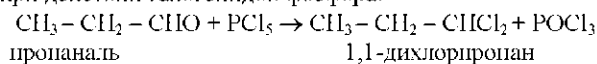
#### 3. Окисление гидроксидом меди при нагревании.



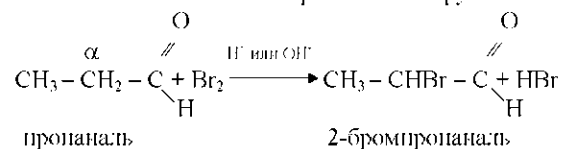
## 10.2.4. Реакции замещения

### 1. Замещение кислорода карбонильной группы.

Атом кислорода в молекуле альдегида может быть замещён на галоген при действии галогенидов фосфора:

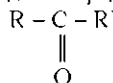


**2. Взаимодействие с галогенами.** Замещение происходит в основном в  $\alpha$ -положение по отношению к карбонильной группе:

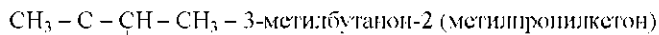
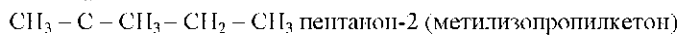
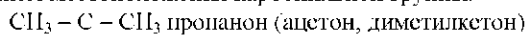


## 11. КЕТОНЫ

Кетоны – это производные углеводородов, в молекулах которых карбонильная группа соединена с двумя разными или одинаковыми углеводородными радикалами:

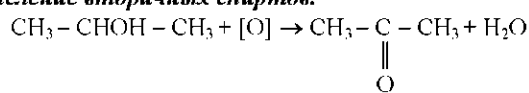


Название кетонов по номенклатуре ИЮПАК складывается из названия соответствующего углеводорода с добавлением окончания «-он» и указанием местоположения карбонильной группы.



## 11.1. Получение кетонов

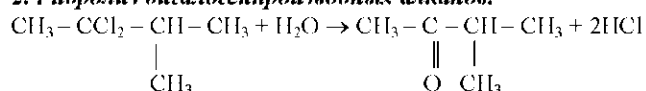
### 1. Окисление вторичных спиртов.



пропанол-2

пропанон

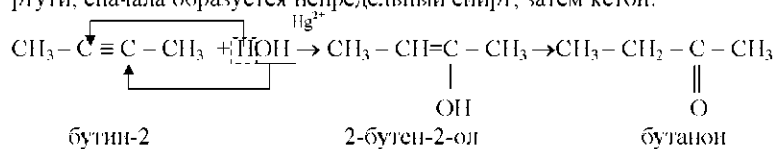
### 2. Гидролиз дигалогенпроизводных алканов.



2-метил,3,3-дихлорбутан

3-метилбутанон-2

**3. Присоединение воды к гомологам ацетилена.** Реакция проходит по такому же механизму как и гидратация ацетилена, в присутствии солей ртути, сначала образуется непредельный спирт, затем кетон:



бутин-2

2-бутен-2-ол

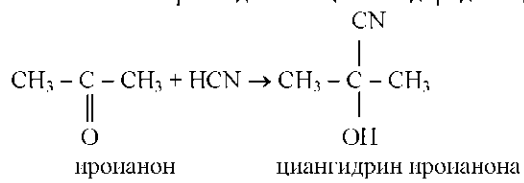
бутанон

## 11.2. Свойства кетонов

### 11.2.1. Реакции присоединения

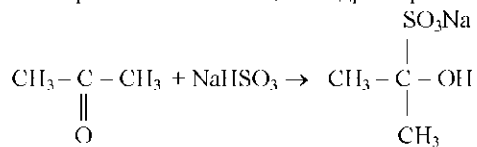
#### 1. Присоединение циановодорода и гидросульфита натрия.

Кетоны легко присоединяют циановодород и гидросульфит натрия:



пропанон

циангидрин пропанона



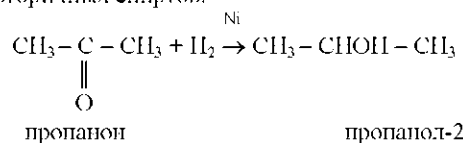
пропанон

гидросульфитное соединение пропанона



## 2. Присоединение водорода.

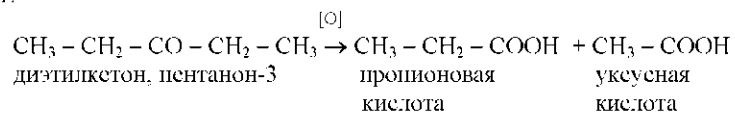
Гидрирование кетонов в присутствии катализаторов приводит к образованию вторичных спиртов:



В отличие от альдегидов кетоны не взаимодействуют со спиртами и не вступают в реакции конденсации и полимеризации.

## 11.2.2. Реакции окисления

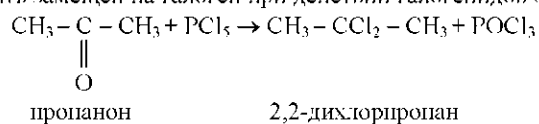
Кетоны окисляются значительно труднее альдегидов и только сильными окислителями, при действии на кетоны сильных окислителей происходит разрыв углеродной цепи и образуется смесь различных карбоновых кислот:



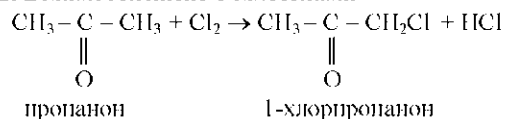
## 11.2.3. Реакции замещения

### 1. Замещение кислорода карбонильной группы.

Так же, как и в альдегидах, атом кислорода в молекуле кетона может быть замещён на галоген при действии галогенидов фосфора:

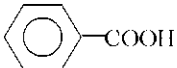


### 2. Взаимодействие с галогенами

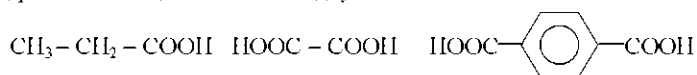


## 12. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Карбонowymi кислотами называют органические вещества, в состав которых входит карбоксильная группа:  $-\text{COOH}$ . В карбонowych кислотах карбоксильная группа может быть связана с различными углеводородными радикалами. В связи с этим выделяют различные виды карбонowych кислот:

- предельные  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOH}$
- непредельные  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$
- ароматические 

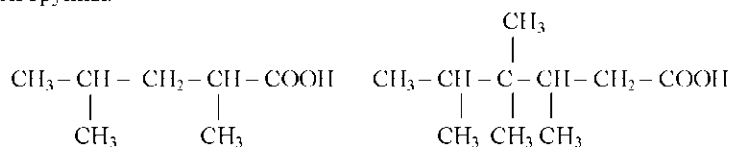
В зависимости от числа карбоксильных групп, содержащихся в молекуле, различают одноосновные и двухосновные кислоты:



Одноосновные называют монокарбонowymi, а двухосновные – дикарбонowymi.

### 12.1. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОДНООСНОВНЫЕ КИСЛОТЫ

Общая формула  $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{COOH}$ . Названия карбонowych кислот состоят из названия соответствующего алкана с добавлением окончания *-овая* и слова «кислота». Нумерацию атомов углеродной цепи начинают с карбоксильной группы.



2,4-диметилпентановая

3,4,4,5-тетраметилгексановая

Для некоторых карбонowych кислот применяют тривиальные названия.

$\text{HCOOH}$  – метановая (муравьиная)

$\text{CH}_3-\text{COOH}$  – этановая (уксусная)

$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOH}$  – пропановая (пропионовая)

$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$  – бутановая (масляная)

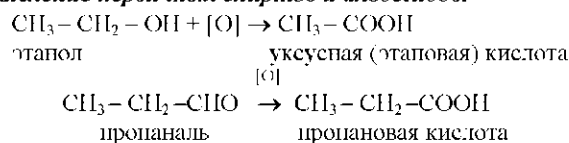
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$  – пентановая (валериановая)

$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$  – гексановая (капроловая)

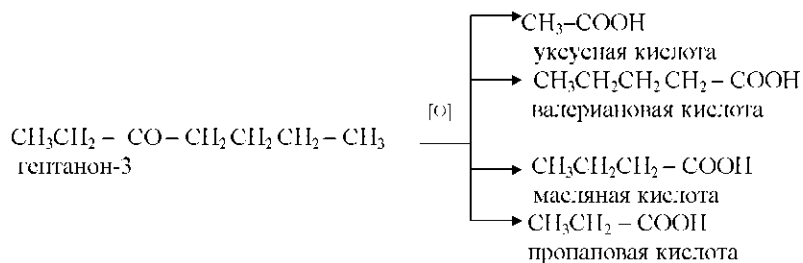
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$  – гептановая (опаповая)  
 $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$  – гексадекановая (пальмитиновая)  
 $\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{COOH}$  – гептадекановая (маргариновая)  
 $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$  – октадекановая (стеариновая)

### 12.1.1. Получение предельных одноосновных кислот

#### 1. Окисление первичных спиртов и альдегидов.

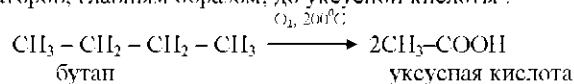


При окислении кетонов, вторичных и третичных спиртов в жёстких условиях происходит расщепление углеродной цепи молекул, и образуется, как правило, смесь карбоновых кислот:



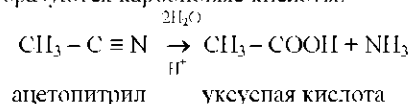
#### 2. Окисление алканов.

Смесь низших алканов (бутан-октан) окисляется в присутствии катализаторов, главным образом, до уксусной кислоты:



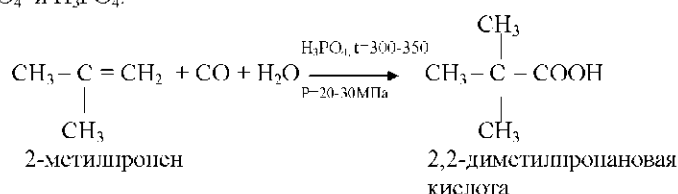
#### 3. Гидролиз нитрилов.

При нагревании нитрилов ( $\text{R} - \text{C} \equiv \text{N}$ ) с водой в кислой или щелочной среде образуются карбоновые кислоты:



#### 4. Карбонилирование алкенов (оксосинтез).

Кислоты, начиная с пропионовой, могут быть получены путём присоединения оксида углерода (2) и воды к алкенам. Процесс проводится при высокой температуре и давлении, катализаторами являются концентрированные  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :



#### 12.1.2. Свойства предельных одноосновных кислот

Карбоновые кислоты обладают аномально высокими температурами плавления и кипения. Это объясняется ассоциацией молекул, обусловленной водородной связью. Наиболее характерна димерная ассоциация:



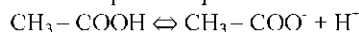
Большая часть кислот в твёрдом, жидком и даже газообразном состоянии находится в виде димеров. Только при высоких температурах димеры распадаются на мономеры.

Кислоты гомологического ряда от  $\text{C}_4$  до  $\text{C}_8$  – бесцветные жидкости. Муравьиная, уксусная и пропионовая кислоты обладают острым кислым запахом. Кислоты от масляной до октановой имеют неприятный прогорклый запах. Высшие кислоты – твёрдые вещества, не имеющие запаха. Муравьиная, уксусная и пропионовая кислоты хорошо растворимы в воде. Другие жидкие кислоты ограниченно растворимы в воде. Твёрдые кислоты в воде нерастворимы.

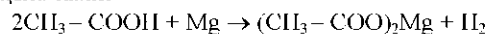
По химическим свойствам из карбоновых кислот самой сильной является муравьиная кислота, остальные кислоты намного слабее большинства минеральных кислот, но сильнее угольной.

##### 1. Диссоциация карбоновых кислот.

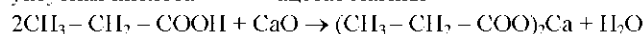
Карбоксильная группа легко отщепляет водород. Поэтому у карбоновых кислот хорошо выражены кислотные свойства:



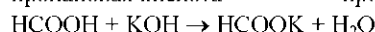
**2. Образование солей при взаимодействии с металлами, оксидами и щелочами.**



уксусная кислота                      ацетат магния

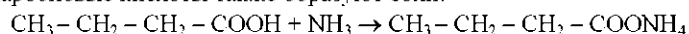


пропановая кислота                      пропаноат кальция



муравьиная кислота                      формиат калия

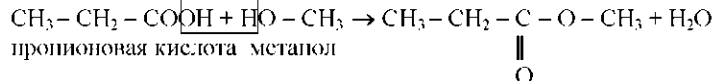
С водным раствором аммиака, который проявляет свойства оснований, карбоновые кислоты также образуют соли:



бутановая кислота                      бутаноат аммония

**3. Взаимодействие со спиртами (этерификация).**

Карбоновые кислоты взаимодействуют со спиртами в присутствии сильных неорганических кислот. От молекулы кислоты отделяется группа  $-\text{OH}$ , а от молекулы спирта атом  $\text{H}$ , в результате образуются сложные эфиры:

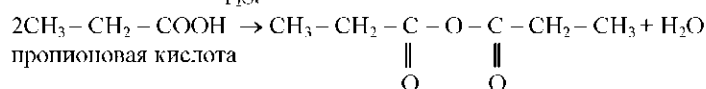


пропионовая кислота      метанол

мети.пропионат

**4. Образование ангидридов.**

При действии сильных водоотнимающих веществ ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) на карбоновые кислоты образуются *ангидриды* кислот:

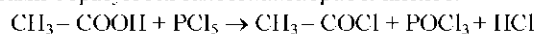


пропионовая кислота

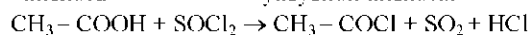
пропионовый ангидрид

**5. Взаимодействие с галогенидами фосфора и серы.**

При взаимодействии галогенидов фосфора и серы с карбоновыми кислотами образуются *галогенангидриды* кислот:



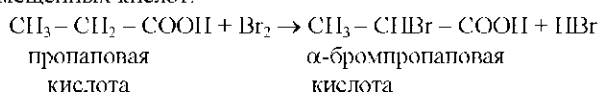
уксусная кислота                      хлорангидрид уксусной кислоты



уксусная кислота                      хлорангидрид уксусной кислоты

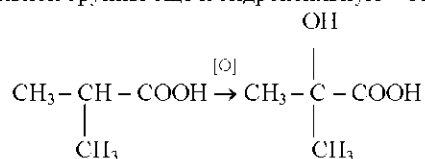
### 6. Взаимодействие с галогенами.

Так же, как и в альдегидах, хлор и бром могут замещать атом водорода в  $\alpha$ -положение по отношению к карбоксильной группе с образованием галогензамещённых кислот:

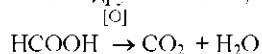


### 7. Окисление.

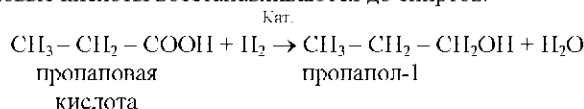
Насыщенные кислоты с нормальной углеродной цепью окисляются с трудом, кислоты с третичным атомом углерода дают при окислении ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  или  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) гидроксикислоты, содержащие в молекуле кроме карбоксильной группы еще и гидроксильную  $-\text{OH}$  группу:



В отличие от других кислот, муравьиная кислота легко окисляется:



**8. Восстановление карбоновых кислот.** Кислоты восстанавливаются с трудом. Под действием алюмогидрида лития  $\text{LiAlH}_4$  или диборана  $\text{B}_2\text{H}_6$  карбоновые кислоты восстанавливаются до спиртов.



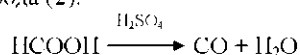
## 12.1.3. Отдельные представители

### 1. Муравьиная (метановая) кислота $\text{HCOOH}$ .

Впервые была выделена в XVII веке из красных лесных муравьёв. Содержится в соке жгучей крапивы, хвое, фруктах. Безводная муравьиная кислота бесцветная жидкость с острым запахом и жгучим вкусом, вызывающая ожоги на коже. В промышленности её получают из оксида углерода (II):



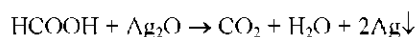
Муравьиная кислота отличается рядом особенностей. Под влиянием водоотнимающих средств она разлагается. Эту реакцию используют для получения оксида углерода (2):



В присутствии платины муравьиная кислота разлагается с выделением углекислого газа:



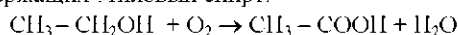
Наличие в молекуле муравьиной кислоты альдегидной группы обуславливает её восстанавливающие свойства. Она вступает в реакцию серебряного зеркала:



Муравьиную кислоту применяют в текстильной и кожевенной промышленности, а также для консервирования кормов.

### 2. Уксусная (этановая) кислота $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Широко распространена в природе: содержится в растительных и живых организмах, образуется при брожении, гниении, скисании вина, пива, содержится в кислом молоке, сыре. Образуется при окислении многих органических соединений. Безводная уксусная кислота плавится при  $+16,6^\circ\text{C}$ , кристаллы её прозрачны как лёд, поэтому её называют *ледяной*. Впервые была получена в таком виде русским учёным Т.Е. Ловицем. Техническая уксусная кислота имеет концентрацию 70-80%. В промышленности её производят окислением ацетальдегида кислородом воздуха в присутствии марганцевых катализаторов или уксусно-кислым брожением жидкостей, содержащих этиловый спирт:



Натуральный уксус содержит около 5% уксусной кислоты. Из него путём фракционной перегонки получают уксусную эссенцию, используемую в пищевой промышленности для консервирования.

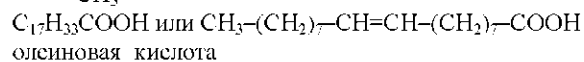
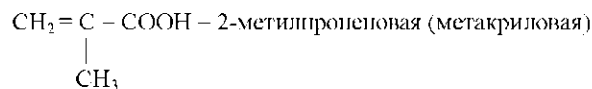
## 12.2. НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ ОДНООСНОВНЫЕ КИСЛОТЫ

В непредельных карбоновых кислотах карбоксильная группа соединена с непредельным углеводородным радикалом. Названия непредельных кислот, в которых углеводородный радикал содержит двойную связь, складывается из названия соответствующего алкена с указанием положения двойной связи в цепи, окончания *-овая* и слова «кислота».

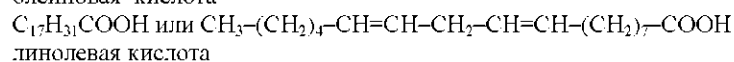
$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{COOH}$  – пропеновая (акриловая)

$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{COOH}$  – бутен-2-овая (кротоновая)

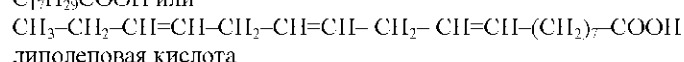
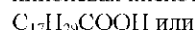
$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$  – бутен-3-овая (винилуксусная)



олеиновая кислота



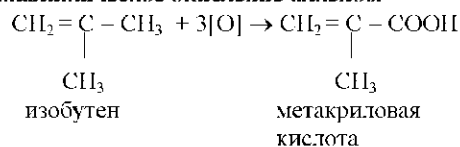
линолевая кислота



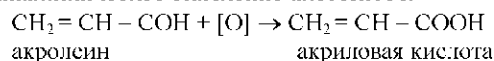
тилолеповая кислота

### 12.2.1. Получение непредельных одноосновных кислот

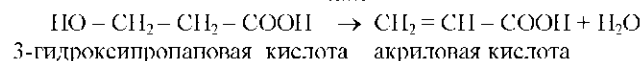
#### 1. Каталитическое окисление алкенов.



#### 2. Каталитическое окисление альдегидов.



#### 3. Дегидратация оксикислот (отщепление молекул $\text{H}_2\text{O}$ ).

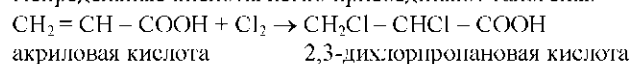


### 12.2.2. Свойства непредельных одноосновных кислот

Химические свойства непредельных одноосновных кислот определяются наличием в молекуле двойной связи и карбоксильной группы. Поэтому для непредельных кислот характерны все типичные реакции карбоновых кислот (реакции со щелочами, спиртами и т.д.). См. *предельные карбоновые кислоты*. Кроме этого для них характерны реакции, обусловленные наличием двойной связи.

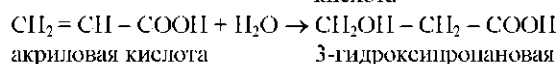
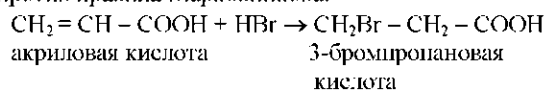
#### 1. Реакции присоединения по двойной связи.

Непредельные кислоты легко присоединяют галогены:

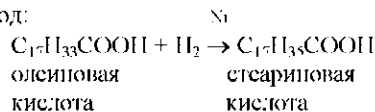




Непредельные кислоты могут присоединять воду и галогеноводороды. Если в молекуле непредельной кислоты двойная связь расположена при втором углеродном атоме, то она присоединяет воду и галогеноводороды против правила Марковникова:

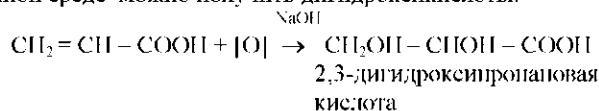


С участием катализаторов непредельные кислоты присоединяют водород:

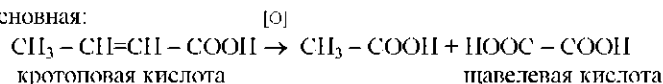


### 2. Окисление.

В отличие от предельных кислот, непредельные кислоты легко окисляются. При окислении непредельных кислот перманганатом калия в щелочной среде можно получить дигидроксикислоты:

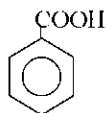


При действии более сильных окислителей происходит разрыв углеродной цепи по двойной связи и образуются две кислоты: одноосновная и двухосновная:

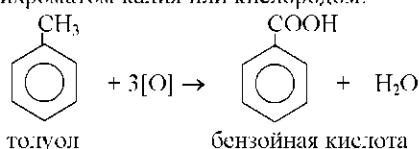


## 12.3. АРОМАТИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ

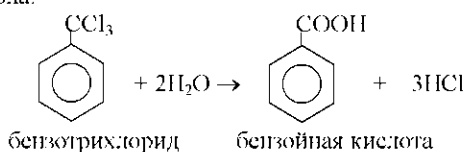
К ароматическим кислотам относят карбоновые кислоты, молекулы которых содержат бензольные кольца. Простейшей ароматической карбоновой кислотой является бензойная кислота:



Бензойную кислоту получают главным образом окислением толуола перманганатом калия, дихроматом калия или кислородом:



Кроме этого, бензойную кислоту можно получить гидролизом трихлорпроизводного толуола:



Бензойная кислота проявляет все химические свойства карбоновых кислот.

## 12.4. ДВУХОСНОВНЫЕ КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

### 12.4.1. Предельные двухосновные кислоты

Молекулы двухосновных карбоновых кислот содержат две карбоксильные группы. По международной номенклатуре названия предельных двухосновных кислот производят от названия соответствующего алкана с добавлением окончания *-диовая*.

HOOC – COOH – этандиовая (щавелевая)

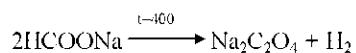
HOOC – CH<sub>2</sub> – COOH – пропандиовая (малоновая)

HOOC – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – COOH – бутандиовая (янтарная)

HOOC – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – COOH – пентандиовая (глутаровая)

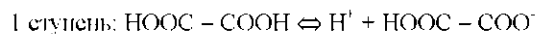
HOOC – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – COOH – гександиовая (адипиловая)

**Щавелевая кислота** – бесцветное кристаллическое вещество. Выделяется из водных растворов в виде кристаллогидрата H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> × 2 H<sub>2</sub>O. Её получают путём нагревания формиата натрия до 400°C. В результате образуется оксалат натрия:



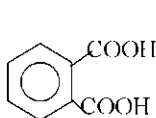
Далее, действием неорганических кислот на оксалат натрия получают щавелевую кислоту: Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + HCl → HOOC – COOH + NaCl

В водном растворе плавелевая кислота ступенчато диссоциирует на ионы:

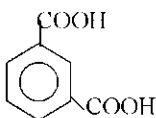


Плавелевая кислота одна из самых сильных карбоновых кислот.

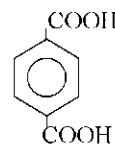
#### 12.4.2. Ароматические двухосновные кислоты



фталевая  
(орто-фталевая)  
кислота



изофталевая  
(мета-фталевая)  
кислота



терефталевая  
(пара-фталевая)  
кислота

### 13. ЭФИРЫ

#### 13.1. Простые эфиры (оксиды алкилов)

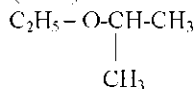
Простые эфиры- это органические соединения, в которых два углеводородных радикала связаны между собой атомами кислорода (кислородным мостиком):  $\text{R}_1\text{-O-R}_2$ .

$\text{C}_2\text{H}_5 - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5$  - диметиловый эфир, метоксиметан;

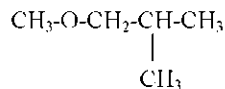
$\text{C}_2\text{H}_5 - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5$  - диэтиловый эфир, этоксиэтан;

$\text{C}_2\text{H}_5 - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5$  - метилэтиловый эфир, метоксиэтан.

**Номенклатура** простых эфиров обычно связана с названием углеводородных радикалов, связанных с кислородом, но систематической номенклатуре – по названию предельного углеводорода, с которым связана группа (R-O-).



2-этоксипропан



1-метокси-2-мети.пропан

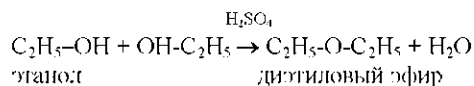
**Изомерия** простых эфиров зависит от изомерии радикалов, связанных с кислородом:

$\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  - метилпропиловый эфир;

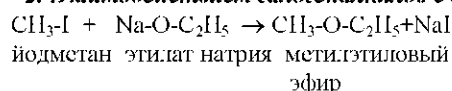
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$  - диэтиловый эфир.

Простые эфиры в природе не встречаются, их получают синтетическим путем.

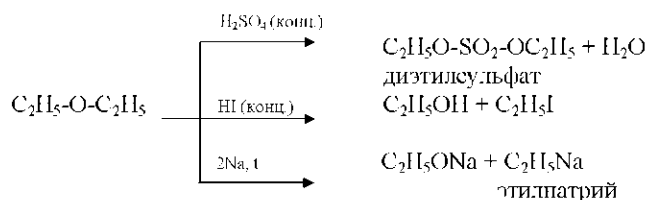
**1. Межмолекулярной дегидратацией спиртов под действием минеральных кислот (серной):**



**2. Взаимодействием галогеналкилов с alkohолями:**

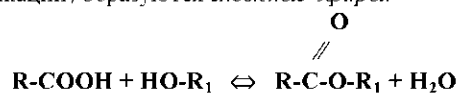


Простые эфиры - инертные вещества, в отличие от сложных эфиров они не гидролизуются. Они разлагаются на холоду концентрированными кислотами (серной, йодоводородной), металлический натрий их расщепляет.

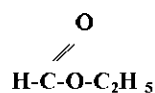


### 13.2. Сложные эфиры органических и минеральных кислот.

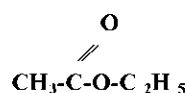
При взаимодействии карбоновых кислот со спиртами (реакция этерификации) образуются *сложные эфиры*:



**Номенклатура** сложных эфиров обычно складывается из названий кислот и спиртов, остатки которых содержатся в их молекулах. По систематической номенклатуре сложные эфиры называют, прибавляя в качестве приставки название спиртового радикала к названию кислоты, в котором окончание **-овая** заменяется на **-оат**.



муравьиноэтиловый эфир или этилформиат (этилметаноат)

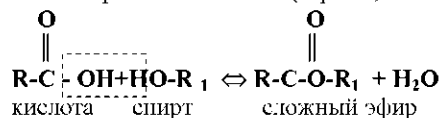


уксусноэтиловый эфир, или этилацетат  
(этилэцаноат)

**Изомерия** сложных эфиров определяется изомерией углеводородных радикалов кислот и спиртов.

### 13.2.1. Получение сложных эфиров.

Сложные эфиры получают чаще всего из природных продуктов, или реакцией *этерификации* – взаимодействием кислоты и спирта в присутствии минеральной кислоты (серной) или  $\text{SiCl}_4$ .



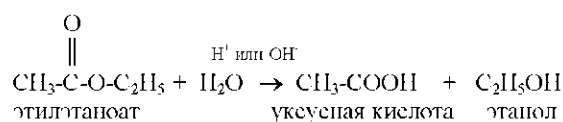
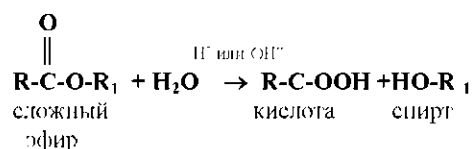
Выделение молекулы воды происходит за счет гидроксила кислоты и атома водорода спирта.

Реакция этерификации обратима, эфиры легко гидролизуются. С одной и той же кислотой скорость реакции первичных спиртов в два раза выше, чем вторичных и во много раз выше, чем третичных. С одним и тем же спиртом, первичные кислоты вступают в реакцию быстрее, затем вторичные и третичные.

### 13.2.2. Химические свойства сложных эфиров.

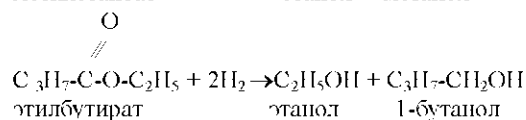
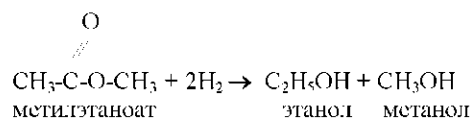
#### 1. Реакция гидролиза (омыление).

Это реакция, обратная реакции этерификации. Проходит в кислой или щелочной среде



**2. Восстановление (присоединение водорода).**

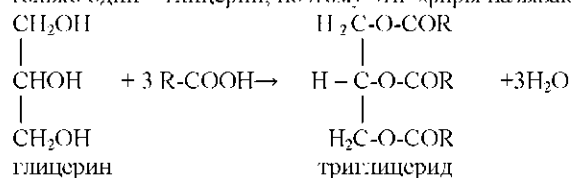
При восстановлении сложных эфиров образуется смесь двух спиртов:



#### 14. ЖИРЫ И ВОСКИ. ОЛИФЫ

Жиры – это смесь полных сложных эфиров глицерина и одноосновных высших карбоновых (жирных) кислот.

**Состав, строение. Классификация.** В образовании сложных эфиров могут принимать участие разные высшие жирные кислоты, но из спиртов – только один – глицерин, поэтому эти эфиры называют **глицеридами**.



Как правило, природные жиры – смеси глицеридов различных кислот, чаще всего встречаются кислоты с C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub>. Они могут быть предельными (пальмитиновая и стеариновая) и непредельными (олеиновая, линолевая и линоленовая).

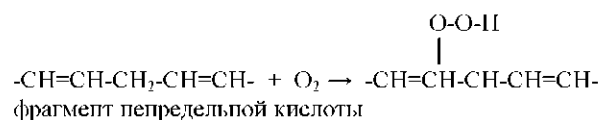
По происхождению жиры делятся на *животные жиры*, образующие в основном предельными кислотами, они являются твердыми соединениями и на *растительные жиры* (жидкие растительные масла), которые представляют собой глицериды непредельных кислот.

Глицериды, содержащие кислотные остатки одинаковых кислот, называют *простыми*, разных – *смешанными*. Жиры могут состоять одновременно из предельных и непредельных кислот, например свиной жир (сало) – состоит из триглицеридов олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот, а коровье масло – из триглицеридов олеиновой, пальмитиновой, масляной и стеариновой кислот.

#### 1.4.1. Химические свойства жиров.

##### 1. Окисление жиров.

Растительные масла, содержащие непредельные кислоты, при окислении на воздухе образуют гидропероксидные группировки:



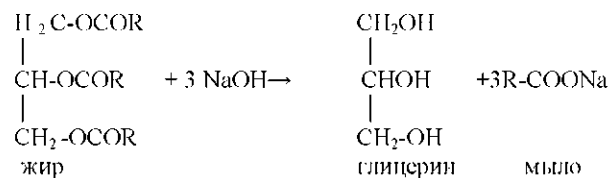
Затем при помощи пероксидных мостиков (-O-O-) отдельные молекулы непредельных глицеридов объединяются между собой с образованием пространственной полимерной структуры. По этому признаку все растительные масла делятся на *высыхающие* (льняное, ореховое, конопляное), *полувысыхающие* (подсолнечное, соевое, хлопковое) и *невысыхающие* (оливковое, арахисовое, миндальное).

Процесс высыхания (полимеризации) можно ускорить, добавляя к маслам специальные ускорители – *сиккативы* (соли свинца, марганца, кобальта). При нагревании масла с такими добавками получают *олифы*.

Олифы применяют для изготовления и разведения красок, шпатлевок, грунтовок окрашиваемой поверхности. Краски, изготовленные на основе олифы, являются одним из основных методов защиты металлов от атмосферной коррозии, дерева – от гниения.

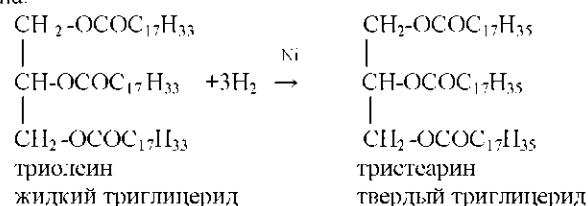
##### 2. Омыление жиров.

При омылении щелочью получают глицерин и соли высших жирных кислот – мыла:



### 3. Гидрогенизация жиров (гидрирование).

Проходит в присутствии никеля, при этом жидкие масла переходят в твердые, их применяют для технических целей и для производства маргарина.



**Воски.** Это жироподобные вещества растительного и животного происхождения. По химическому составу воски – также сложные эфиры. Однако в их состав вместо глицерина входят одноатомные высшие жирные спирты – цетиловый, мирициловый или цериловый. Воск может быть растительного (пальмовый, хлопковый), животного (пчелиный) и ископаемого происхождения (торфяной). Воск очень устойчив к действию химических реактивов, не изменяется при длительном хранении.

Жиры применяются как продукт питания, в технике жиры используют в производстве мыл, косметики, глицерина, олифы, смазочных масел, лекарств. Воск используют для изготовления электроизоляционных материалов, политуры, лаков, мастик.

## 15. УГЛЕВОДЫ

Углеводы – органические вещества, молекулы которых состоят из атомов углерода, водорода и кислорода, причем водород и кислород находятся в них, как правило, в таком же соотношении, как и в молекуле воды (2:1). Общая формула углеводов –  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ , т.е. они как бы состоят из углерода и воды.

Все углеводы можно разделить на две большие группы.

**1. Простые углеводы (моносахариды или монозы).** Они не подвергаются гидролизу с образованием более простых углеводов. В зависи-



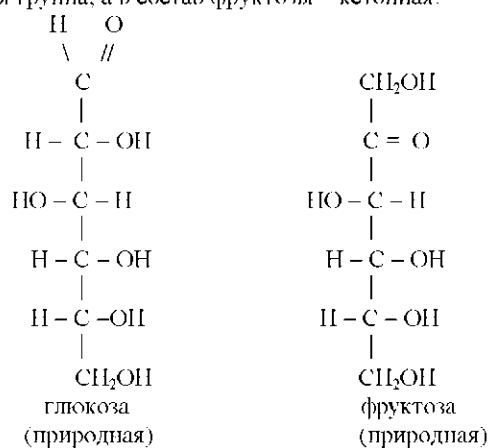
мости от числа углеродных атомов в молекуле различают *триозы* (C<sub>3</sub>), *тетрозы* (C<sub>4</sub>), *пентозы* (C<sub>5</sub>), *гексозы* (C<sub>6</sub>) и т.д. Если моносахариды содержат альдегидную группу, то они относятся к классу альдоз (альдегидоспиртов), если кетонную – к классу кетоз (кетоспиртов).

**2. Сложные углеводы (полисахариды или полиозы).** Они подвергаются гидролизу и образуют при этом простые углеводы.

### 15.1. Моносахариды

Общая формула моносахаридов C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O<sub>n</sub>. Из гексоз наибольшее значение имеют глюкоза (виноградный сахар) и фруктоза (фруктовый сахар). Глюкоза – представитель альдоз, а фруктоза – кетоз.

Глюкоза и фруктоза – изомеры, имеющие одну и ту же молекулярную формулу, но различное строение. В состав глюкозы входит альдегидная группа, а в состав фруктозы – кетонная:

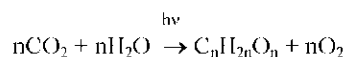


В молекулах углеводов нумерацию начинают со стороны карбонильной группы.

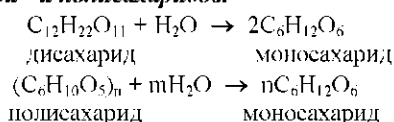
Моносахариды существуют в виде цепной и циклической форм, которые существуют в растворах одновременно и могут переходить одна в другую.

### 15.1.1. Получение моносахаридов

**1. Фотосинтез.** В растениях углеводы образуются из углекислого газа и воды:

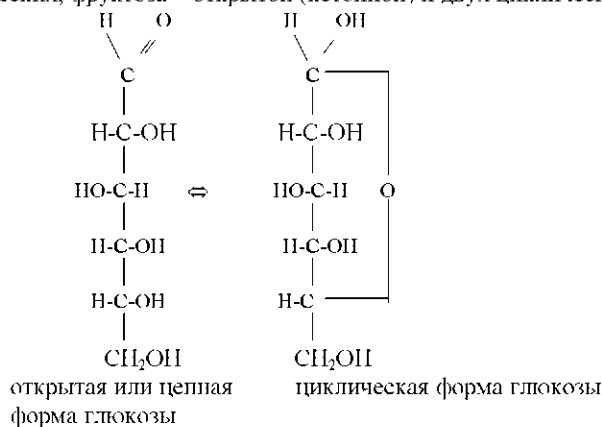


**2. Гидролиз ди- и полисахаридов.**



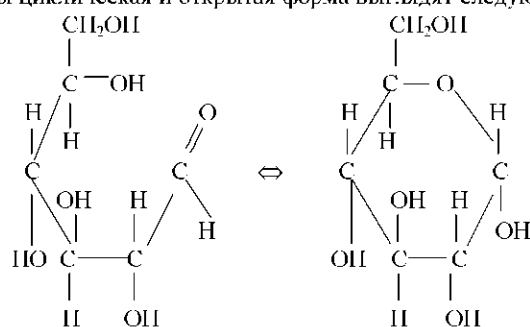
### 15.1.2. Химические свойства моносахаридов

Моносахариды существуют не только в виде открытых цепных форм, но и в виде циклов, эти две формы способны свободно переходить одна в другую в водных растворах – их называют *таутомерными*. *Открытая* или *цепная* форма содержит свободную альдегидную или кетонную группу, *циклическая* – таких групп не содержит. Так глюкоза в водном растворе существует в пяти формах: открытой (альдегидной) и двух циклических, фруктоза – открытой (кетонной) и двух циклических.



Циклическая или полуацетальная форма получается при переходе атома водорода в гидроксильной группе к атому кислорода, это объясняется полярностью карбонильной группы и тем, что цепная молекула монозы в пространстве изогнута

При таком переходе возникает кислородный мостик и образуется т.н. *полуацетальный* или *гликозидный* гидроксил. Он отличается от других OH- групп повышенной реакционной способностью. Например, для глюкозы циклическая и открытая форма выглядят следующим образом:

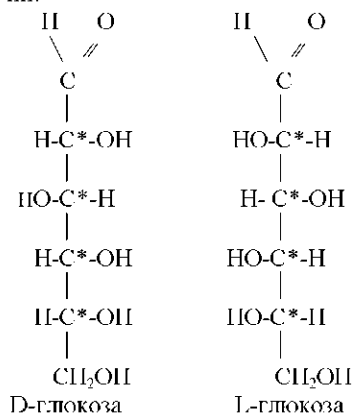


альдегидная форма

циклическая (полуацетальная) форма

От формы, в которой находится молекула зависят ее химические свойства. Глюкоза в открытой (цепной) форме вступает в реакции, характерные для альдегидов, в циклической – для глюкозы характерны только реакции спиртов. Гликозидный гидроксил, как самый активный, реагирует в первую очередь.

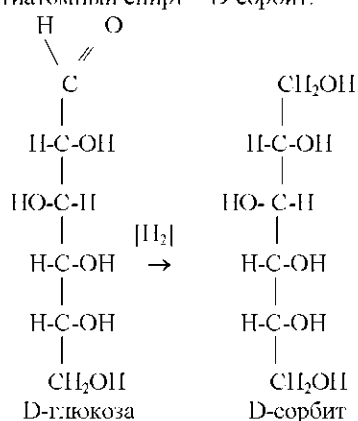
Для моносахаридов характерно большое количество оптических изомеров, так как в их молекулах присутствуют несколько асимметричных атомов углерода (C\*). Например, природная D-глюкоза отличается от синтетической L-глюкозы только взаимным расположением атомов водорода и OH- групп:



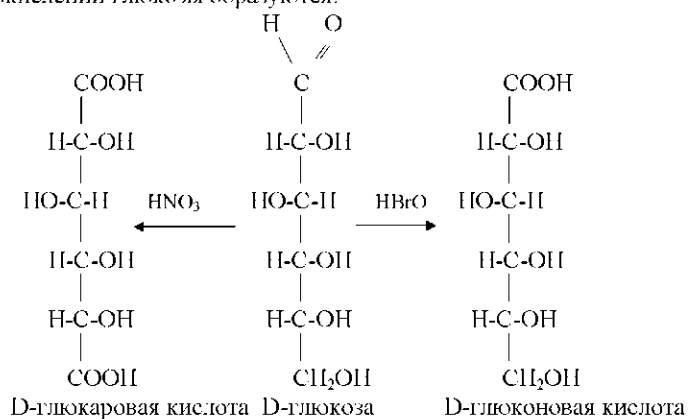
D-глюкоза

L-глюкоза

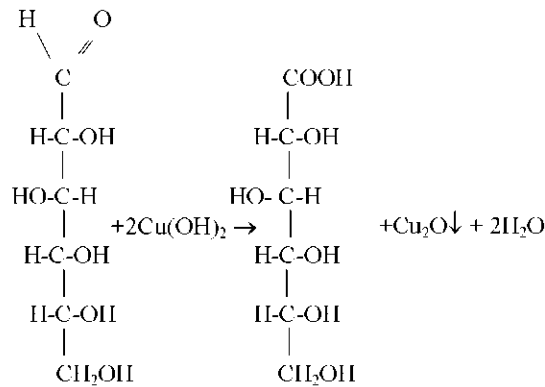
**1. Восстановление.** Все моносахариды также как альдегиды и кетоны, при восстановлении образуют спирты. При восстановлении гексоз образуются шестиатомные спирты – *гекситы*. D-глюкоза при этом переходит в шестиатомный спирт – D-сорбит.



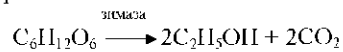
**2. Окисление.** В зависимости от характера окислителя могут образовываться одноосновные или двухосновные гидроксикислоты. Например, при окислении глюкозы образуются:



Все альдозы относятся к *восстанавливающим* сахарам, для них характерны реакции “серебряного зеркала” и взаимодействие с фелинговой жидкостью ( $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Эти реакции являются качественными. Например, при реакции глюкозы с фелинговой жидкостью:

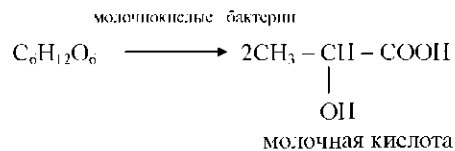


**3. Брожение.** Спиртовое брожение протекает под влиянием микроорганизмов и ферментов, в результате спиртового брожения глюкоза образует этиловый спирт:

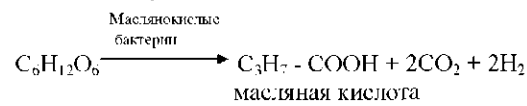


Известны и другие виды брожения, например:

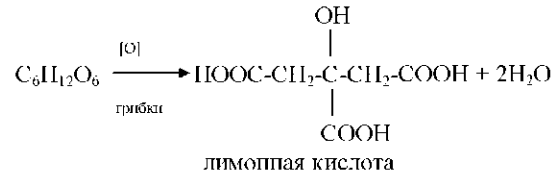
Молочнокислое брожение:



Маслянокислое брожение:



Лимоннокислое брожение:



## 15.2. Отдельные представители моносахаридов

**Гексозы ( $C_6H_{12}O_6$ ). D-глюкоза (виноградный сахар)** – кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде,  $t_{пл}=146^{\circ}C$ , примерно в два раза уступает по сладости сахарозе, в свободном состоянии встречается в растениях, меде, в животных организмах, так в крови человека всегда содержится 0,08-0,11% глюкозы. В промышленности глюкозу получают из крахмала кипячением с серной кислотой.

**D-фруктоза (фруктовый сахар)** - кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде,  $t_{пл}=104^{\circ}C$ , встречается в свободном состоянии в плодах и фруктах, входит в состав ди- и полисахаридов. Фруктоза - ценный питательный продукт, она в два раза слаще сахарозы и в три раза слаще глюкозы.

**L-аскорбиновая кислота (витамин C)** – кристаллическое вещество с  $t_{пл}=192^{\circ}C$ , хорошо растворима в воде, получают из D-глюкозы, широко распространена в природе, содержится в свежих фруктах, ягодах и овощах.

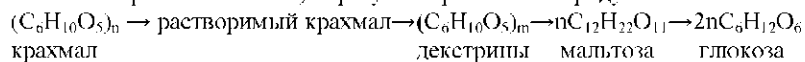
**Дисахариды.** К дисахаридам относятся сахароза (свекловичный или тростниковый сахар), лактоза (молочный сахар), мальтоза (солодовый сахар) и целлобиоза. В основном они состоят из остатков или звеньев гексоз, поэтому общая формула дисахаридов  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

## 15.3. Высокомолекулярные углеводы (несахароподобные полисахариды)

Несахароподобные полисахариды – природные высокомолекулярные вещества, являющиеся продуктами конденсации большого числа молекул моносахаридов.

Общая формула полисахаридов  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Основными представителями несахароподобных полисахаридов являются крахмал, гликоген и целлюлоза (клетчатка).

**Крахмал** – самый распространенный в природе полисахарид, он играет роль резервного вещества многих растений. В технике крахмал получают в основном из картофеля (25% крахмала). В состав крахмала входят два полисахарида – *амилоза* (20-30%) и *амилопектин* (70-80%). Эти полисахариды состоят из остатков  $\alpha$ -D-глюкозы, связанных  $\alpha$ -1,4-гликозидными связями. Они различаются пространственным строением и молекулярной массой. При гидролизе крахмала (при нагревании в присутствии минеральных кислот) образуются различные продукты:



Крахмал является *невосстанавливаемым* сахаром, качественная реакция на крахмал – синее окрашивание при добавлении йода.

Крахмал - ценный пищевой продукт, он является также ценным сырьем для производства этилового и *n*-бутилового спиртов, ацетона, молочной и лимонной кислот, глицерина и т.д.. Используется для проклеивания бумаги и картона, для производства клеев, лаков, пленок, волокон, пластмасс.

*Гликоген* («животный крахмал») – полисахарид, аналогичный крахмалу, но с большей молекулярной массой и разветвленностью, является резервным питательным веществом в организме человека и животных (откладывается в печени).

*Целлюлоза* или *клетчатка* (от лат. cellula –клетка), основная часть оболочек растительных клеток. В природе встречается в чистом виде (хлопок, лен), образцом почти чистой целлюлозы может служить фильтровальная бумага и очищенная вата. Целлюлоза представляет собой полисахарид, состоящий из остатков β-D-глюкозы, связанных β-1,4-гликозидными связями. Молекулярная масса целлюлозы составляет 1,5-2 млн., она образует длинные линейные цепи, уложенные в пучки, пучки, сплетаясь, образуют микроволокна. Линейная структура целлюлозы объясняет образование волокнистых материалов – хлопок, пенька, лен.

Целлюлоза широко применяется в производстве бумаги, картона, вискозного волокна, целлофана, целлулоида, пирокрасок, лаков и эмалей и т.д.

## УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 1. Предельные углеводороды

1. Указать число  $\sigma$ -связей в молекулах веществ:

- 1).  $\text{CH}_3\text{OH}$  2).  $\text{CO}_2$  3).  $\text{C}_2\text{H}_2$  4).  $\text{C}_2\text{H}_4$  5).  $\text{C}_3\text{H}_8$  6).  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$   
7).  $\text{CH}_3\text{COOH}$  8).  $\text{CH}_4$  9).  $\text{CH}_3\text{Cl}$  10).  $\text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_2$

2. Указать число  $\pi$ -связей в молекулах веществ:

- 1).  $\text{H}_2\text{SO}_3$  2).  $\text{C}_2\text{Cl}_6$  3).  $\text{C}_2\text{S}_2$  4).  $\text{C}_2\text{H}_6$  5).  $\text{C}_2\text{H}_4$  6).  $\text{C}_3\text{H}_6$  7).  $\text{CH}_3\text{COOH}$   
8).  $\text{C}_2\text{H}_2$  9).  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$  10).  $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$  11).  $\text{HCHO}$  12).  $\text{CO}_2$  13).  $\text{HNO}_2$

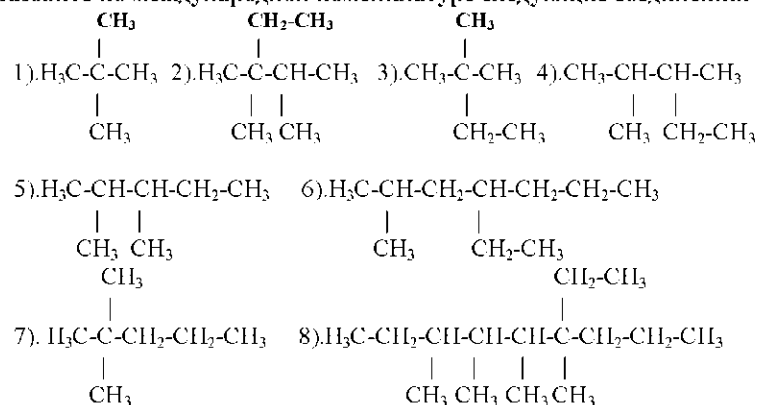
3. Определить тип гибридизации атомных орбиталей атомов углерода в молекулах следующих веществ:

- 1). 2,2 - диметилбутан 2). бензол 3). этилен 4). метанол 5). ацетилен  
6). циклобутан 7). этанол 8). бутадисн-1,3 9). этин 10). пропиин  
11). 2,4- диметилгексен 12). 3-метил-3-этилпентен

4. Определить тип гибридизации атомных орбиталей атомов углерода в молекулах:

- 1). 2,2 - диметилбутан; 2). бензол; 3). этилен; 4). метанол; 5). ацетилен;  
6). циклобутан; 7). этанол; 8). бутадисн-1,3; 9). этин; 10). пропиин 11). 2,4-  
диметилгексен-3; 12). 3-метил-пентен-2

5. Назовите по международной номенклатуре следующие соединения:



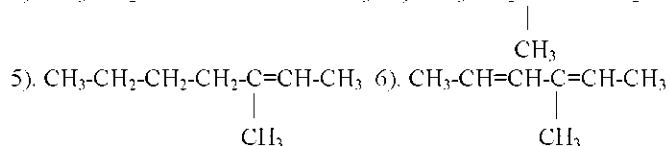
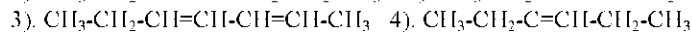
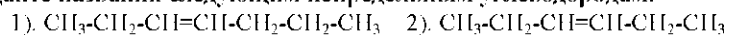


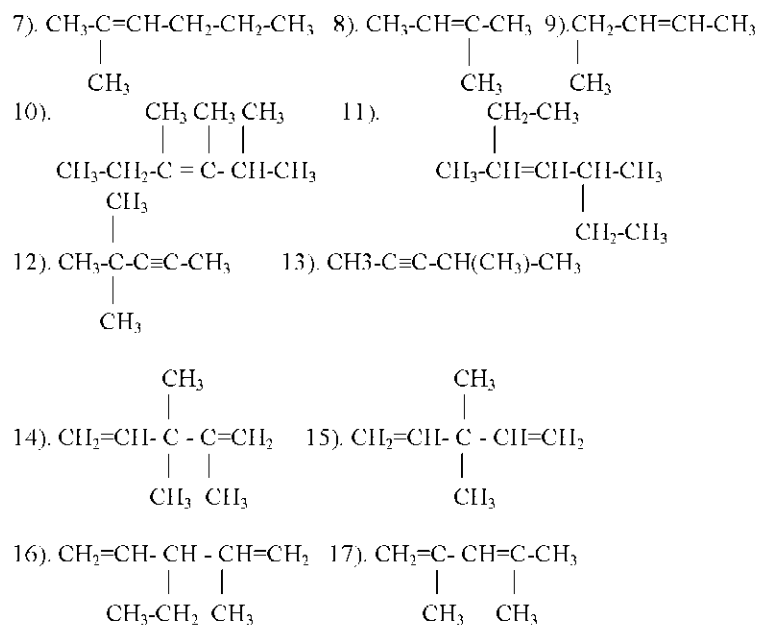


- 6). Определить объем воздуха, расходуемого при полном сгорании 1 литра метана (п.у.).
- 7). Сколько м<sup>3</sup> кислорода (н.у.) будет израсходовано на сжигание газовой смеси объемом 2 м<sup>3</sup>, состоящей из метана (массовая доля 75%), этана (15%) и водорода (10%)?
- 8). Какой объем воздуха необходим для сжигания природного газа объемом 2 м<sup>3</sup>, содержащего метан (массовая доля 90%), этан (5%), диоксид углерода (3%) и азот (2%).
- 9). Определить молекулярную формулу газообразного вещества, если его плотность по воздуху равна 2, а массовая доля углерода 82,76%, водорода 17,24%.
- 10). При сжигании газообразного углеводорода образовалось 3,3 г углекислого газа и 2,02 г воды. Плотность его по воздуху 1,04. Написать его структурную формулу.
- 11). Какой объем метана потребуется для взаимодействия с 1 л хлора (н.у.) для образования метилхлорида?
- 12). Определить объем этана и хлора, необходимых для получения 13 г хлорэтана.
- 13). Сколько метана можно получить из 3 моль ацетата натрия (количество в моль, масса в граммах, объем в л при н.у.)?
- 14). Сколько этана можно получить из 5 моль пропилата натрия (количество в моль, масса в граммах, объем в л при н.у.)?
- 15). Определить массу, количество моль ацетата натрия, при декарбоксии которого получили 48 г метана.
- 16). Сколько пропана можно получить при декарбоксиировании 2,5 моль бутилата натрия (количество в моль, масса в граммах, объем в л при н.у.)?

## 2. Непредельные углеводороды

### 1. Дайте названия следующим непредельным углеводородам:





**2. Составьте структурные формулы следующих веществ:**

- 1). 2,2-диметилпентин-3;    2). 4,4-диметилпентин-2;    3). 2,3-диметилгексин-3  
 4). 2-метилбутен-2;    5). 2-метилпропен-1;  
 6). 2,3-диметилгексен-3;    7). 2,5,5-триметилгексен-2;  
 8). 2,2,6-триметил-4-этилгептен-3;    9). 2,метилбутадиен-1,3;  
 10). 2-метилгексадиен-1,5;    11). 2,4-диметилпентадиен-2,4;  
 12). 2-метилпентадиен-1,3;    13). бутин-1;    14). пентин-2;  
 15). 4,3-диметилпентин-1;    16). 2,2,5-триметилгексин-3;

**3. Укажите возможные виды изомерии, составьте структурные формулы изомеров для:**

- 1). бутен-1;    2). бутен-2;    3). бутин-1;    4). пентин-1;    5). 3-метил-пентин-1;  
 6). гексен-1;    7). гексин-1;    8). бутадиен-1,3;    9). пентадиен-1,2;  
 10). гексадиен-1,3;    11). пентадиен-1,5;    12). 3-метилгексин-1;    13). октен-1  
 14). 2-метилгексен-2    15). гептадиен-1,3    16). гептадиен-2,4

**4. Напишите структурные формулы и уравнения реакций (укажите условия протекания и названия продуктов реакций):**

- а). галогенирования  
 б). гидрирования  
 в). гидратации

г). окисления (для алкенов в мягких и жестких условиях)

д). горения

**для следующих веществ:**

- 1). бутен-2; пропилен
- 2). 2-метилбутен-2; бутин-1
- 3). 2,3-диметилбутен-2; пентин-1
- 4). 4-метилпентен-2; бутин-2
- 5). 2-метил-3,4-диэтилгексен-3; 3-метилпентин-1
- 6). 2-метил-3,4-диэтилгексен-1; 3,4-диметилпентин-1
- 7). 3-метил-4-этилгексен-1; пентин-2
- 8). 4-метилпентен-2; 3-метилбутин-1
- 9). 2-метилпропен; 3,3-диметилбутин-1
- 10). 3,5-диметилгексен-1; гексин-2

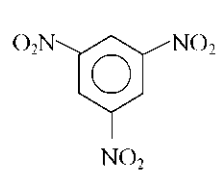
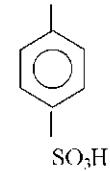
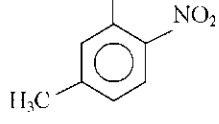
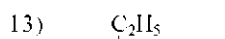
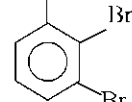
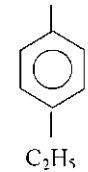
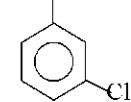
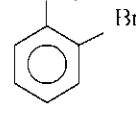
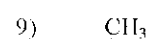
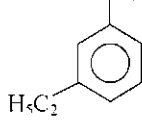
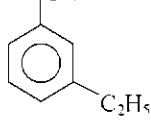
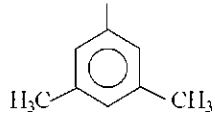
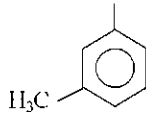
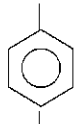
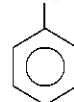
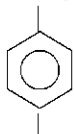
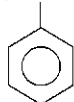
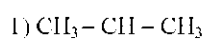
**5. Решить задачи:**

- 1). Сколько граммов брома может присоединить бутен-2 массой 2,8 г?
- 2). Сколько граммов хлора может присоединить 2-метилбутен-2 массой 8,8 г?
- 3). Какую массу бромной воды с массовой долей брома 1,6% может обесцветить пропилен объемом 1,12 л (н.у.)?
- 4). Какую массу хлорной воды с массовой долей хлора 3,3% необходимо взять для реакции с этиленом объемом 5,6 л?
- 5). Сколько граммов галогенпроизводного образуется в результате взаимодействия пропилена объемом 1,12 л (н.у.) с хлороводородом?
- 6). При гидрировании смеси этана с этиленом массой 5,8 г получили газ массой 6,0 г. Определите массовую долю этилена в исходной смеси.
- 7). Углекислый газ, полученный при сжигании этилена объемом 8,4 л (н.у.), поглощен раствором NaOH объемом 472 мл, массовая доля щелочи в котором 6% (плотность 1,06 г/мл). Определите состав и массу образующейся соли.
- 8). Алкен нормального строения содержит двойную связь при первом углеродном атоме. Образец этого алкена массой 0,7 г присоединил бром массой 1,6 г. Определите формулу алкена, назовите его.
- 9). Неразветвленный алкен содержит двойную связь у второго атома углерода. Образец этого алкена массой 1,6 г присоединил хлор массой 1,62 г. Определите формулу алкена, назовите его.
- 10). Сколько литров кислорода (н.у.) расходуется на сжигание 1 моль пропилена.
- 11). Сколько граммов уксусного альдегида можно получить по реакции Кучерова из 50 л ацетилена, учитывая, что выход альдегида составляет 90% от теоретического.

- 12). Вычислите массовую долю гидроксида кальция, полученного при взаимодействии карбида кальция массой 32 г с водой объемом 200 мл.
- 13). На технический карбид кальция массой 120 кг подействовали водой, при этом образовался газ объемом 33,6 м<sup>3</sup>. Определите массовую долю чистого карбида кальция в техническом.
- 14). Технический карбид кальция массой 20 кг обработали избытком воды, получили ацетилен, при пропускании которого через избыток бромной воды образовался 1,1,2,2,-тетрабромэтан массой 86,5 г. Определите массовую долю карбида кальция в техническом.

### 3. Ароматические углеводороды

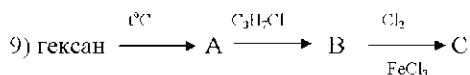
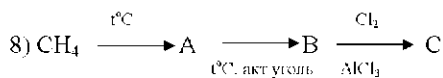
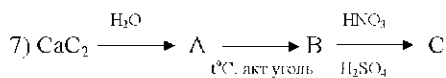
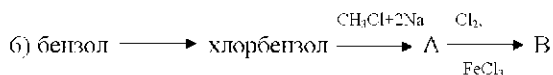
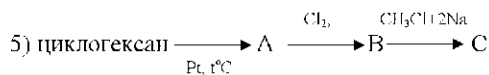
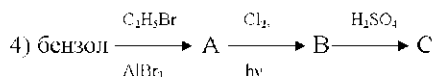
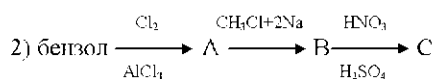
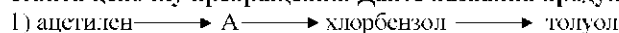
1. Назовите следующие вещества по международной заместительной номенклатуре:



**2. Составьте структурные формулы:**

- |                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1) 1,2-диметилбензол        | 11) 2,4,6-тринитротолуол      |
| 2) 1-метил-4-этилбензол     | 12) нитробензол               |
| 3) 1-метил-2,4-дибромбензол | 13) 2,4,6-трибромбензол       |
| 4) 1-пропил-4-метилбензол   | 14) ортотолуолсульфокислота   |
| 5) ортонитротолуол          | 15) 4,6-дихлорбензол          |
| 6) бензолсульфокислота      | 16) гексахлорбензол           |
| 7) 2,4,6-трихлорбензол      | 17) бромбензол                |
| 8) паратолуолсульфокислота  | 18) паранитротолуол           |
| 9) 2,4-динитротолуол        | 19) 1,2,3-триметилбензол      |
| 10) изопропилбензол         | 20) 1-метил, 2,4-диэтилбензол |

**3. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить цепочку превращений. Дайте названия продуктам реакций.**



#### 4. Решить задачи:

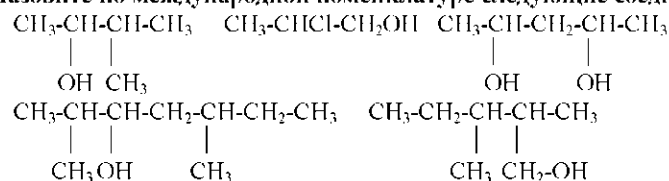
- 1) Рассчитайте массу хлорбензола, который был получен при взаимодействии 40 г бензола с хлором.
- 2) Из ацетилена объемом 4,48 л (при н.у.) получен бензол, массовая доля выхода которого составила 60% от теоретического. Рассчитайте массу полученного бензола.
- 3) Рассчитайте массу азотной кислоты, которую необходимо взять для получения тротила массой 600 г.
- 4) При взаимодействии 30 г карбида кальция с водой был получен ацетилен, который затем использовали для получения бензола. Сколько грамм бензола было получено?
- 5) Из 50 г хлорбензола по реакции Вюрца-Фиттига был получен толуол, который затем подвергли действию хлора в присутствии хлорида железа (III). Рассчитайте массу полученного продукта.
- 6) Рассчитайте массу этилбензола, которая будет получена при взаимодействии 10 грамм бензола и 10 грамм этанола.
- 7) Рассчитайте объем водорода (в литрах, н.у.), который выделится при дегидрировании 20 г циклогексана.
- 8) Рассчитайте массу кумола (изопропилбензола), который будет получен при взаимодействии 10 грамм бензола и 1 литра пропена.
- 9) Рассчитайте массу кумола (изопропилбензола), который будет получен при взаимодействии 18 грамм бензола и 1,8 литра пропена.
- 10) Из 2 литров ацетилена был получен бензол, который затем подвергли бромированию. Сколько грамм бромбензола было получено?
- 11) Сколько граммов гексахлорбензола можно получить из 100 грамм бензола, если выход продукта составляет 70% от теоретического?
- 12) Рассчитайте массу 96%-ного раствора серной кислоты, которую необходимо взять для получения 50 грамм бензолсульфокислоты.
- 13) Сколько литров водорода потребуется на гидрирование бензола, чтобы при этом получилось 100 г циклогексана?
- 14) Рассчитайте массу бромбензола, который был получен при взаимодействии 20 г бензола с 20 г брома.
- 15) Из ацетилена объемом 10 л (при н.у.) получен бензол, массовая доля выхода которого составила 80% от теоретического. Рассчитайте массу полученного бензола.
- 16) При взаимодействии карбида кальция с водой был получен ацетилен, который затем использовали для получения бензола. Сколько граммов карбида кальция вступило в реакцию, если в итоге было получено 50 грамм бензола?
- 17) Из 30 г хлорбензола по реакции Вюрца-Фиттига был получен толуол, который затем подвергли действию хлора и ультрафиолетовому облучению. Рассчитайте массу полученного продукта.



- 18) Рассчитайте массу этилбензола, которая будет получена при взаимодействии 20 грамм бензола и 10 грамм этанола.
- 19) Рассчитайте объём водорода (в литрах, н.у.), который выделится при дегидрировании 50 г циклогексана.

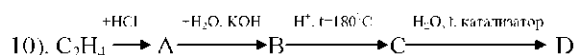
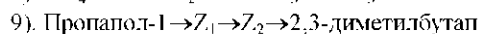
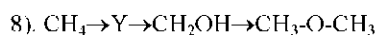
#### 4. Спирты и фенолы

1. Назовите по международной номенклатуре следующие соединения:



2. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- 3-бромгексанол-2;    2). 2-метил-3-этилпентанол-1;    3). 2,7-дихлороктандиол-4,5;    4). 2-этилфенол;    5). 5-метил-3-бромфенол;    6). 3,4,5-триэтилфенол;    7). 2,4-диметилпентанол-2;    8). Бутандиол-1,2.
- Напишите структурные формулы изомерных спиртов состава  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$  и назовите их по заместительной номенклатуре.
- Сколько изомерных спиртов может иметь хлорпропанол  $\text{C}_3\text{H}_6\text{ClOH}$ ? Напишите структурные формулы изомеров и назовите их по заместительной номенклатуре.
- Сколько фенолов могут быть изомерны 2-метил-6-хлорфенолу? Напишите структурные формулы этих фенолов и назовите их.
- Сколько изомерных третичных спиртов могут иметь состав  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$ ? Напишите формулы этих спиртов и назовите их по заместительной номенклатуре.
- Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения, указать название продуктов реакций:
  - $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{X} \rightarrow \text{Y} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{-O-C}_2\text{H}_5$
  - $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
  - Пропанол-1  $\rightarrow$  1-бромпропан  $\rightarrow$  и-гексан  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  изопропилбензол  $\rightarrow$  фенол
  - Пропанол-1  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  пропанол-2
  - Этанол  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  1,2-дихлорэтан
  - 2-метилпропанол-1  $\rightarrow$  Z  $\rightarrow$  2-метилпропанол-2
  - Этанол  $\rightarrow$  этилен  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  этанол



### 3. Решить задачи:

- 1). Какая масса пропилата натрия может быть получена при взаимодействии пропанола-1 массой 15 г с натрием массой 9,2 г?
- 2). При взаимодействии бутанола-1 с избытком металлического натрия выделился водород, занимающий при н.у. объем 2,8 л. Какое количество вещества бутанола-1 вступило в реакцию?
- 3). При нагревании предельного одноатомного спирта массой 12 г с концентрированной серной кислотой образовался алкен массой 6,3 г. Выход продукта составил 75%. Определите формулу исходного спирта.
- 4). Определите формулу предельного одноатомного спирта, если при дегидратации его образца объемом 37 мл и плотностью 1,4 г/мл получили алкен массой 39,2 г.
- 5). Какая масса фенолята натрия может быть получена при взаимодействии фенола массой 4,7 г с раствором гидроксида натрия объемом 4,97 мл и плотностью 1,38 г/мл?
- 6). Дегидратацией предельного одноатомного спирта получили алкен симметричного строения с неразветвленной цепью массой 8,4 г, который взаимодействует с бромом массой 24 г. Определите структурную формулу исходного спирта и назовите его.
- 7). При взаимодействии раствора фенола в бензоле массой 200 г с избытком бромной воды получили бромпроизводное массой 66,2 г. Определите массовую долю фенола в растворе.
- 8). При действии избытка металлического натрия на смесь массой 63,8 г, состоящую из этанола и бензола, выделился газ объемом 3,36 л (н.у.). Рассчитайте массу бензола в смеси.
- 9). Вычислите объем водорода, выделившийся при взаимодействии натрия массой 9,2 г с этиловым спиртом (плотность 0,8 г/мл) объемом 100 мл с массовой долей спирта 96%.
- 10). Найдите молекулярную формулу спирта, если при взаимодействии данного спирта с металлическим натрием выделяется водород, которого достаточно для гидрирования пропена объемом 3,36 л (п.у.).
- 11). Какой предельный одноатомный спирт был взят, если при взаимодействии этого спирта объемом 16 мл (плотность 0,8 г/мл) с натрием выделился водород, которого достаточно для гидрирования этилена объемом 4,48 л (н.у.)?
- 12). Рассчитайте массу пропилата натрия, полученного при взаимодействии пропанола массой 15 г и натрия массой 9,2 г?

13). Найдите молекулярную формулу одноатомного спирта, если известно, что из спирта массой 3,7 г натрий вытесняет водород объемом 560 мл (н.у.).

14). Метанол количеством вещества 0,5 моль нагрели с избытком бромида калия и серной кислоты, получили бромметан массой 38 г. Определите массовую долю выхода (%) бромметана.

## 5. Альдегиды, кетоны

### 1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- 1). 2-метилпентаналь, пропанон; 2). Гексаналь, бутанон-2;
- 3). 2,3-диметилбутаналь, гексанон-3; 4). Пропаналь, пентанон-3;
- 5). Метилпропаналь, ацетон; 6). Бутаналь, гептанон-4;
- 7). Этаналь, 3-метил-пентанон-2; 8). метаналь, пентанон-2;
- 9). 3,4-диметилпентаналь, пропанон; 10). ацетальдегид, гексанон-2.

### 2. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:

- 1). Уксусный альдегид → этанол → этилен → ацетилен → уксусный альдегид
- 2). Метан → метанол → формальдегид → фенолформальдегидная смола
- 3). Этан → этилен → этанол → уксусный альдегид → этанол

### 3. Решить задачи:

- 1). Какое количество вещества формальдегида содержится в растворе объемом 3 л и плотностью 1,06 г/мл, массовая доля  $\text{CH}_2\text{O}$  в котором равна 20%?
- 2). Какой объем формальдегида надо растворить в воде массой 300 г для получения формалина с массовой долей формальдегида 40%? Какая масса формалина будет получена?
- 3). При взаимодействии этанола массой 13,8 г с оксидом меди (II) массой 28 г получили альдегид, масса которого составила 9,24 г. Определите выход продукта реакции.
- 4). Массовые доли углерода, водорода и кислорода в альдегиде составляют соответственно 62,1, 10,3 и 27,6%. Какой объем водорода потребуется для гидрирования этого альдегида массой 14,5 г до спирта (при н.у.)?
- 5). Какое количество воды (моль) может вступить в реакцию Кучерова с ацетиленом, полученным из 160 г карбида кальция?
- 6). В лаборатории из ацетилена объемом 50 л (н.у.) был получен бензол массой 32 г. Какова массовая доля (%) его выхода по отношению к теоретически возможному?

- 7). Определите молекулярную формулу альдегида, если при окислении 0,4 г его аммиачным раствором оксида серебра выделилось серебро массой 1,49 г.
- 8). При восстановлении формальдегида был получен раствор спирта массой 80 г с массовой долей метанола 30%. Какова масса альдегида, вступившего в реакцию?
- 9). Определите массу раствора формалина с массовой долей 40%, который можно получить из альдегида, образовавшегося при каталитическом окислении метана объемом 336 л (н.у.).
- 10). При каталитическом окислении метана объемом 44,8 л с теоретическим выходом продукта 60% образовался альдегид. Рассчитайте массу раствора формалина с массовой долей 40%, полученного из образовавшегося альдегида

## 6. Карбоновые кислоты

### 1. Напишите структурные формулы следующих карбоновых кислот:

- 1). 2-метилпропановая кислота; 2,3,3-трихлорбутановая кислота.
- 2). 3,4-диметилпентаповая кислота; 2-амилопропановая кислота;
- 3). Масляная кислота, 3-метилпентаповая кислота;
- 4). Валериановая кислота, 2,4-дихлорпентаповая кислота;
- 5). Уксусная кислота, 2,2,3-триметилпентаповая кислота;
- 6). Муравьиная кислота, 2,2-диметилпропановая кислота;
- 7). 2-хлор-2-метилбутановая кислота, молочная кислота;
- 8). 2-метилбутановая кислота, 3,4-дихлоргексановая кислота;
- 9). 3-хлор-2-метилпентаповая кислота, щавелевая кислота;
- 10). пропановая кислота, 2-хлор-3-метилпентаповая кислота.
- 11). 2-фенилпропановая кислота, 3-метилпентаповая кислота.
- 12). винилпентаповая кислота, масляная кислота.

### 2. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения, назвать X, Y, Z:

- 1).  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{HCOH} \rightarrow \text{HCOOH} \rightarrow \text{CO}_2$
- 2). метан  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  уксусная кислота
- 3). этанол  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  этановая кислота  $\rightarrow$  Y
- 4).  $\text{CH}_4 \rightarrow$  X  $\rightarrow$   $\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow$   $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow$   $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow$   $\text{CH}_3\text{COOH}$
- 5).  $\text{CaCO}_3 \rightarrow$  CaO  $\rightarrow$  CaC<sub>2</sub>  $\rightarrow$  C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>  $\rightarrow$  C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>CHO  $\rightarrow$  C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>COOH
- 6). хлорэтан  $\rightarrow$  этанол  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  этановая кислота  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  метан
- 7). метан  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  Z  $\rightarrow$  ацетат натрия

- 8). бутен-1  $\xrightarrow{+H_2O} X \xrightarrow{[O]} Y \xrightarrow{[O]} Z$
- 9). метанол  $\rightarrow X \rightarrow$  муравьиная кислота  $\rightarrow$  формиат натрия
- 10). этанол  $\rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow$  ацетат кальция

### 3. Решите задачи:

- 1). Рассчитайте массу раствора уксусной кислоты с массовой долей 3%, который может нейтрализовать раствор щелочи массой 10 г с массовой долей NaOH 40%.
- 2). Объемная доля метана в природном газе составляет 96%. Какую массу муравьиной кислоты можно получить каталитическим окислением природного газа объемом 420 л (н.у.), если выход кислоты составляет 70%.
- 3). При окислении муравьиной кислоты получили газ, который пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. При этом образовался осадок массой 20 г. Какая масса муравьиной кислоты взята для окисления?
- 4). Рассчитайте количество соли, получившейся при взаимодействии 80 г 25%-го раствора NaOH с уксусной кислотой.
- 5). В состав одноосновной карбоновой кислоты входит 44,44% кислорода (по массе). Определите формулу этой кислоты. Будет ли она присоединять галогеноводороды, ответ мотивируйте.
- 6). Сколько раствора этилового спирта (пл.0,8) с массовой долей  $C_2H_5OH$  96% нужно взять для получения уксусной кислоты массой 30 кг?
- 7). Рассчитайте массу пропионата натрия, которая образуется в результате взаимодействия 15 г пропановой кислоты и натрия массой 9,2 г.
- 8). Выведите формулу карбоновой кислоты, имеющей следующий состав: С (массовая доля 62%), О (27,6%), Н (10,4%). Плотность вещества по водороду равна 58. Напишите структурные формулы изомеров этой предельной одноосновной кислоты и назовите их по международной номенклатуре.
- 9). Какой объем раствора формальдегида (пл.1,1) с массовой долей HCHO 40% необходимо окислить, чтобы получить метановую кислоту (пл.1,3) объемом 100 мл с массовой долей HCOOH 80%?
- 10). Сколько граммов кислоты и спирта надо взять для получения муравьино-этилового эфира массой 37 г?
- 11). Сколько литров водорода вытеснит в реакцию с карбоновой кислотой для получения альдегида массой 10 г?
- 12). При гидрировании непредельной одноосновной кислоты был израсходован водород объемом 2,24 мл и получена предельная одноосновная кислота массой 28,4 г следующего состава: С (массовая доля 76%), Н (12,7%), О (11,3%). Какая кислота была подвергнута гидрированию?

## 7. Сложные эфиры карбоновых кислот

### 1. Напишите уравнения реакций получения следующих эфиров:

- 1). уксусно-пропилового; 2). муравьино-этилового; 3). пропионово-метилового; 4). уксусно-метилового; 5). метилформиата;
- 6). этилпропионата; 7). пропи.пропионата. 8). пропилформиата.
- 9). метилбутирата; 10). этилпентаноата; 11). метилацетата.

### 2. Какие продукты получаются:

- 1). При гидролизе метилацетата; 2). при гидролизе пропилформиата;
- 3). При щелочном гидролизе метилбутирата;
- 4). При щелочном гидролизе пропи.пропионата;
- 5). При восстановлении водородом пропл-метилового эфира;
- 6). При восстановлении водородом этилпропионата;
- 7). При восстановлении водородом этилпентаноата;
- 8). При гидролизе раствором КОН тристеарина глицерина;
- 9). При гидролизе раствором щелочи триолеина глицерина;
- 10). При восстановлении водородом пропи.ацетата.

### 3. Решить задачи:

- 1). При взаимодействии муравьиной кислоты массой 2,3 г со спиртом было получено сложное эфир массой 3,7 г. Напишите структурную формулу и назовите полученный сложный эфир.
- 2). Этиловый эфир какой кислоты был подвергнут омылению, если 9,8 мл его (пл.0,9) прореагировало с раствором гидроксида натрия массой 20 г с массовой долей NaOH 20%?
- 3). Найдите молекулярную формулу сложного эфира, если для получения этого эфира массой 12 г требуется раствор гидроксида натрия массой 80 г с массовой долей NaOH 10%.
- 4). Сколько граммов кислоты и спирта получится в результате гидролиза метилпропионата массой 80 г?
- 5). Сколько граммов соли карбоновой кислоты и спирта получится при щелочном гидролизе этилпропионата массой 60 г?
- 6). Сколько килограммов глицерина можно получить при гидролизе природного жира массой 17,8 кг (тристеарата глицерина), содержащего 3% примесей?
- 7). Сколько килограммов жира трибутирата получится при взаимодействии глицерина массой 9,2 кг с масляной кислотой?
- 8). Какой объем водорода (при н.у.) потребуется для превращения триолеата массой 13,26 кг в твердый жир, если производственные потери водорода составляют 15%?

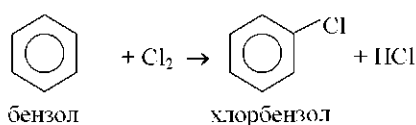
## Примеры решения задач

### Пример 1.

Рассчитайте массу хлорбензола, который был получен при взаимодействии 50 г бензола с хлором.

Решение.

1. Составим уравнение реакции взаимодействия бензола с хлором:



2. Найдём количество вещества бензола, вступившего в реакцию:

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$\nu$  – количество вещества, моль

$m$  – масса, г

$M$  – молярная масса, г/моль

Эмпирическая формула бензола  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

$$M = 6 \cdot M_{\text{C}} + 6 \cdot M_{\text{H}}$$

$M_{\text{C}}$  и  $M_{\text{H}}$  – молярные массы углерода и водорода

По таблице Менделеева найдём  $M_{\text{C}}$  и  $M_{\text{H}}$ :

$M_{\text{C}} = 12$  г/моль;  $M_{\text{H}} = 1$  г/моль

Молярная масса бензола будет равна:

$$M = 12 \cdot 6 + 6 = 78 \text{ г/моль}$$

$$\nu = \frac{50}{78} = 0,64 \text{ моль}$$

3. Найдём количество вещества хлорбензола, полученного по реакции:

Согласно уравнению реакции,  $\nu_{\text{бензола}} = \nu_{\text{хлорбензола}} = 0,64$  моль

4. Рассчитаем массу полученного хлорбензола:

$$m = M \cdot \nu$$

По таблице Менделеева найдём молярную массу хлора:

$M_{\text{Cl}} = 35,5$  г/моль

Молярная масса хлорбензола будет равна  $M = 12 \cdot 6 + 5 + 35,5 = 112,5$  г/моль

$$m = 112,5 \cdot 0,64 = 72 \text{ г}$$

Ответ: 72 г.

**Пример 2.**

При взаимодействии 10 г карбида кальция с водой был получен ацетилен, который затем использовали для получения бензола. Сколько грамм бензола было получено?

*Решение.*

1. Составим уравнение реакции взаимодействия карбида кальция с водой:



2. Найдём количество вещества  $\text{CaC}_2$ , вступившего в реакцию:

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$\nu$  – количество вещества, моль

$m$  – масса, г

$M$  – молярная масса, г/моль

$$M = 2 \cdot M_{\text{C}} + M_{\text{Ca}}$$

$M_{\text{C}}$  и  $M_{\text{Ca}}$  – молярные массы углерода и кальция

По таблице Менделеева найдём  $M_{\text{C}}$  и  $M_{\text{Ca}}$ :

$M_{\text{C}} = 12$  г/моль;  $M_{\text{Ca}} = 40$  г/моль

Молярная масса  $\text{CaC}_2$  будет равна:

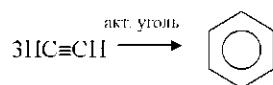
$$M = 12 \cdot 2 + 40 = 64 \text{ г/моль}$$

$$\nu = \frac{10}{64} = 0,16 \text{ моль}$$

3. Найдём количество вещества ацетилена, полученного по реакции:

Согласно уравнению реакции, количество вещества ацетилена равно количеству вещества карбида кальция,  $\nu_{\text{ацетилен}} = 0,16$  моль

4. Составим уравнение реакции получения бензола из ацетилена:



5. Найдём количество вещества бензола, полученного по реакции:

Согласно уравнению реакции, из трёх моль ацетилена образуется один моль бензола.

$$\nu_{\text{бензола}} = \frac{\nu_{\text{ацетилена}}}{3} = \frac{0,16}{3} = 0,053 \text{ моль}$$

6. Рассчитаем массу полученного бензола:

$$m = M \cdot \nu$$

Молярная масса бензола равна:

$$M = 6 \cdot M_{\text{C}} + 6 \cdot M_{\text{H}} = 6 \cdot 12 + 6 = 78 \text{ г/моль}$$



$$m = 78 \cdot 0,053 = 4,16 \text{ г}$$

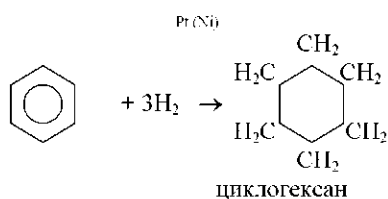
Ответ: 4,16 г.

**Пример 3.**

Сколько грамм циклогексана образуется при взаимодействии 10 литров водорода (н.у.) и 200 г бензола?

Решение.

1. Составим уравнение реакции гидрирования бензола:



2. Найдём количество вещества бензола, вступившего в реакцию:

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$\nu$  – количество вещества, моль

$m$  – масса, г

$M$  – молярная масса, г/моль

Эмпирическая формула бензола  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

$$M = 6 \cdot M_{\text{C}} + 6 \cdot M_{\text{H}}$$

$M_{\text{C}}$  и  $M_{\text{H}}$  – молярные массы углерода и водорода

По таблице Менделеева найдём  $M_{\text{C}}$  и  $M_{\text{H}}$ :

$M_{\text{C}} = 12 \text{ г/моль}$ ;  $M_{\text{H}} = 1 \text{ г/моль}$

Молярная масса бензола будет равна:

$$M = 12 \cdot 6 + 6 = 78 \text{ г/моль}$$

$$\nu = \frac{200}{78} = 2,56 \text{ моль}$$

2. Найдём количество вещества водорода, вступившего в реакцию:

Т.к. водород – газ, то согласно следствию из закона Авогадро,

$$\nu = \frac{V}{V^0}$$

$V$  – объём, л

$V^0$  – молярный объём.  $V^0 = 22,4 \text{ л}$  (при н.у.)

$$\nu = \frac{10}{22,4} = 0,45 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции бензол и водород должны вступать в реакцию в соотношении 1: 3. По расчётам соотношение количеств веществ бензола и водорода  $2,56 : 0,45 \approx 5,7 : 1$ . Следовательно, бензол взят в избытке, а водород в недостатке. Таким образом, расчёт количества вещества циклогексана необходимо вести по водороду.

3. Найдём количество вещества циклогексана, полученного по реакции:

Согласно уравнению реакции, из трёх моль водорода образуется один моль циклогексана.

$$V_{\text{циклогекс.}} = \frac{V_{\text{водор.}}}{3} = \frac{0,45}{3} = 0,15 \text{ моль}$$

4. Рассчитаем массу полученного циклогексана:

$$m = M \cdot \nu$$

Молярная масса циклогексана равна:

$$M = 6 \cdot M_C + 12 \cdot M_H = 6 \cdot 12 + 12 = 84 \text{ г/моль}$$

$$m = 84 \cdot 0,15 = 12,6 \text{ г}$$

Ответ: 12,6 г.

#### Пример 4.

Плотность паров дихлоралкена по водороду равна 49,5. Определите молекулярную формулу дихлоралкена.

Решение.

1. Рассчитаем молекулярную массу дихлоралкена:

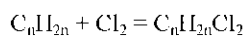
$$M = D_{H_2} \cdot 2$$

$D_{H_2}$  – плотность по водороду.

$$M = 49,5 \cdot 2 = 99$$

2. Рассчитаем число атомов углерода в дихлоралкене:

Дихлоралкены получают из алкенов путём присоединения хлора:



Т.к. общая формула дихлоралкенов  $C_nH_{2n}Cl_2$ , можем составить следующее уравнение:

$$12n + 2n + 71 = 99$$

$$n = 2$$

Следовательно, формула дихлоралкена  $C_2H_4Cl_2$

Ответ:  $C_2H_4Cl_2$

**Пример 5.**

Определите молекулярную формулу вещества, которое содержит 52,17% углерода, 13,04% водорода и 34,78% кислорода.

*Решение.*

1. Рассчитаем количество молей каждого элемента в 100 граммах вещества:

Число молей углерода:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{52,17}{12} = 4,35 \text{ моль}$$

m – масса, г

M – молярная масса, г/моль

Число молей водорода:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{13,04}{1} = 13,04 \text{ моль}$$

Число молей кислорода:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{34,78}{16} = 2,17 \text{ моль}$$

Соотношение между элементами C : H : O = 4,35 : 13,04 : 2,17

Приравняем наименьшее число (число молей кислорода) к единице. Тогда,

Число атомов углерода:

$$n = \frac{4,35}{2,17} = 2$$

Число атомов водорода:

$$n = \frac{13,04}{2,17} = 6$$

C : H : O = 2 : 6 : 1

Следовательно, формула вещества  $C_2H_6O$

*Ответ:*  $C_2H_6O$ .

### Список используемой литературы

- Нечаев А.П. Органическая химия.–М.:Высш. шк., 1988.–318 с.  
Артёмеяко А.И. Органическая химия.–М.:Высш. шк., 2000.–559 с.  
Потапов В.М., Татарничик С.Н. Органическая химия.–М.:Химия., 1989.–448 с.  
Габриелян О.С., Маскаев Ф.М., Пономарёв С.Ю., Теренин В.И. Химия.10 класс–М.:Дрофа., 2003.–304 с.  
Грохип Ю.М., Фролов В.И. Сборник задач и упражнений по химии–М.: Высш. шк., 1998.–304 с.

### Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
1. Предмет органической химии. Теория строения органических соединений А.М.Бутлерова.....	3
1.1. Изображение органических соединений с помощью структурных формул.....	5
1.2. Основы номенклатуры органических соединений.....	6
1.3. Изомерия и ее виды.....	7
2. Типы химических реакций в органической химии.....	8
3. Алканы.....	10
3.1. Гомологический ряд алканов.....	10
3.2. Изомерия.....	11
3.3. Номенклатура.....	12
3.4. Получение алканов.....	13
3.5. Свойства алканов.....	14
4. Алкены (олефины, этиленовые углеводороды).....	19
4.1. Гомологический ряд алкенов.....	19
4.2. Изомерия.....	20
4.3. Способы получения алкенов.....	21
4.4. Свойства алкенов.....	22
5. Алкадиены.....	28
5.1. Гомологический ряд алкадиенов. Изомерия.....	28
5.2. Свойства алкадиенов.....	28
5.3. Отдельные представители.....	29
6. Алкины (ацетиленовые углеводороды).....	30
6.1. Гомологический ряд алкинов.....	30
6.2. Изомерия. Номенклатура.....	30
6.3. Получение алкинов.....	31
6.4. Свойства алкинов.....	32
7. Ароматические углеводороды (арены).....	35

7.1. Гомологический ряд ароматических углеводородов	35
7.2. Способы получения бензола и его гомологов	36
7.3. Свойства ароматических углеводородов	38
8. Спирты	43
8.1. Классификация спиртов	43
8.2. Предельные одноатомные спирты (алканолаы)	44
8.3. Предельные многоатомные спирты	49
9. Фенолы	52
9.1. Получение фенолов	53
9.2. Свойства фенолов	54
10. Альдегиды	58
10.1. Получение альдегидов	59
10.2. Свойства альдегидов	59
11. Кетоны	62
11.1. Получение кетонов	63
11.2. Свойства кетонов	63
12. Карбоновые кислоты	65
12.1. Предельные одноосновные кислоты	65
12.2. Непредельные одноосновные кислоты	70
12.3. Ароматические кислоты	72
12.4. Двухосновные карбоновые кислоты	73
13. Эфиры	74
13.1. Простые эфиры (оксиды алкилов)	74
13.2. Сложные эфиры органических и минеральных кислот	75
14. Жиры и воски. Олифы	77
14.1. Химические свойства жиров	78
15. Углеводы	79
15.1. Моносахариды	80
15.2. Отдельные представители	85
15.3. Высокомолекулярные углеводы (несахароподобные полисахариды)	85
<b>УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ</b>	
1. Предельные углеводороды	87
2. Непредельные углеводороды	89
3. Ароматические углеводороды	93
4. Спирты и фенолы	96
5. Альдегиды, кетоны	98
6. Карбоновые кислоты	99
7. Сложные эфиры карбоновых кислот	101
8. Примеры решения задач	102