

# **Домашняя работа по химии за 10 класс**

**к учебнику «Химия. 10 класс», Г.Е. Рудзитис,  
Ф.Г. Фельдман, М.: «Просвещение», 2000 г.**

**УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ  
ПОСОБИЕ**

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |            |
|---|------------|
| <b>Глава I. Теория химического строения органических соединений.</b>  |            |
| <b>Электронная природа химических связей</b> .....                    | <b>5</b>   |
| Задачи к §§1-4 (стр. 11) .....  | 5          |
| <b>Глава II. Предельные углеводороды (алканы или парафины)</b> .....  | <b>9</b>   |
| Задачи (стр. 22) .....  | 9          |
| <b>Глава III. Циклопарафины (циклоалканы)</b> .....                   | <b>18</b>  |
| Задачи (стр. 26) .....  | 18         |
| <b>Глава IV. Непредельные углеводороды</b>                            |            |
| <b>(алкены, алкадиены и алкины)</b> .....                             | <b>21</b>  |
| Задачи к §1 (стр. 39) .....   | 21         |
| Задачи к §§2, 3 (стр. 44) .....                                       | 30         |
| Задачи к §4 (стр. 49) .....   | 34         |
| <b>Глава V. Ароматические углеводороды (арены)</b> .....              | <b>42</b>  |
| Задачи (стр. 64) .....  | 42         |
| <b>Глава VI. Природные источники углеводов и их переработка</b> ..... | <b>53</b>  |
| Задачи к §§1-5 (стр. 74) .....  | 53         |
| <b>Глава VII. Спирты и фенолы</b> .....                               | <b>59</b>  |
| Задачи к §1 (стр. 85) .....   | 59         |
| Задачи к §2 (стр. 88) .....   | 69         |
| Задачи к §3 (стр. 94) .....   | 76         |
| <b>Глава VIII. Альдегиды и карбоновые кислоты</b> .....               | <b>84</b>  |
| Задачи к §1 (стр. 102) .....  | 84         |
| Задачи к §2 (стр. 113) .....  | 94         |
| <b>Глава IX. Сложные эфиры. Жиры</b> .....                            | <b>109</b> |
| Задачи к §§1, 2 (стр. 122) .....                                      | 109        |
| <b>Глава X. Углеводы</b> .....  | <b>119</b> |
| Задачи к §§1-4 (стр. 137).....  | 119        |

# Глава I. Теория химического строения органических соединений. Электронная природа химических связей

## Задачи к §§1-4 (стр. 11)

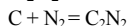
### Ответ на вопрос № 1

Согласно виталистической теории (от латинского *vita* – жизнь) все органические вещества могут образоваться только в живых организмах (растениях или животных). Для этого необходимо участие особой «жизненной силы», которая существует только в живых организмах.

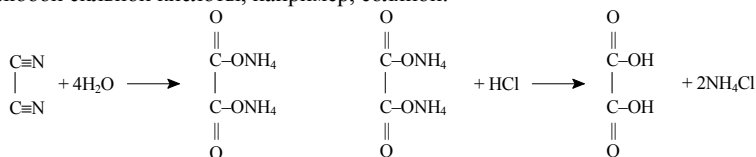
### Ответ на вопрос № 2

Ошибочность виталистических взглядов была доказана получением многих органических веществ, которые ранее были выделены из живых организмов, из неорганических веществ. Первым таким примером было получение Фридрихом Велером щавелевой кислоты.

Углерод при очень высокой температуре (в электрическом разряде) реагирует с азотом, образуя дициан  $C_2N_2$ :

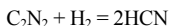


При взаимодействии дициана с водой образуется аммониевая соль щавелевой кислоты, из которой можно получить саму кислоту под действием любой сильной кислоты, например, соляной:

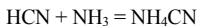


Таким образом, из неорганических веществ (углерода, азота, воды и соляной кислоты) было получено органическое вещество – щавелевая кислота, которая до этого была выделена из растений.

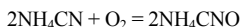
Затем Ф. Велер получил из дициана мочевины по следующей схеме. Дициан реагирует с водородом с образованием циановодорода, или синильной кислоты HCN:



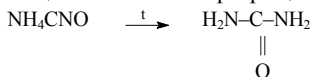
Синильная кислота при реакции с аммиаком образует соль – цианид аммония  $NH_4CN$ :



Цианид аммония может окисляться кислородом и превращаться в цианат аммония  $NH_4CNO$  – соль циановой кислоты HCNO:



При нагревании цианат аммония превращается в мочевины:



До получения мочевины Велером ее выделяли из мочи животных или человека, отсюда и название.

#### **Ответ на вопрос № 4**

Сначала органическими называли вещества, встречающиеся в природе в живых организмах. Позднее было установлено, что четкой границы между органическими и неорганическими веществами не существует, и органические вещества могут получаться из неорганических. Общее свойство всех органических веществ – в их состав входит углерод. Сейчас органической химией называют раздел химии, изучающий соединения углерода. Еще одна причина выделения органической химии в отдельный раздел химии – огромное разнообразие соединений углерода (их известно около 8 миллионов). Это объясняется тем, что атомы углерода могут образовывать длинные цепочки, в отличие от атомов других элементов.

#### **Ответ на вопрос № 5**

К органическим веществам относятся соединения углерода. Это определение не совсем точное, так как некоторые соединения углерода относятся к неорганическим веществам: оксиды углерода  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , угольная кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и ее соли – карбонаты, соединения металлов с углеродом – карбиды, синильная кислота  $\text{HCN}$  и ее соли – цианиды.

#### **Ответ на вопрос № 6**

1) Были известны вещества с одинаковыми формулами, но разными свойствами.

2) В состав органических веществ входит всего несколько элементов – углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, галогены. Было непонятно, каким образом из такого небольшого числа элементов может образоваться так много различных органических веществ.

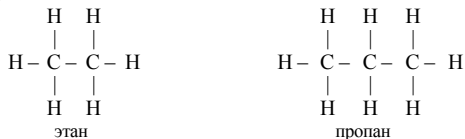
3) Было непонятно, какова валентность углерода во многих соединениях, например в пропане  $\text{C}_3\text{H}_8$ . (Если валентность водорода равна 1, то валентность углерода должна быть равной  $2\frac{2}{3}$ , а валентность, очевидно, должна выражаться целым числом.)

#### **Ответ на вопрос № 7**

Если валентность водорода равна 1, то валентность углерода в молекуле пропана должна быть равной  $2\frac{2}{3}$ , а валентность может быть равной только целому числу. В этане валентность углерода равна 3, но обычно углерод четырехвалентен. Кроме того, этан и пропан во многом похожи по свойствам, следовательно, валентность углерода в них должна быть одинаковой.

Согласно теории Бутлерова, все атомы в молекуле связаны в определенной последовательности согласно их валентностям, причем валентность углерода всегда равна 4. Проблемы с определением валентности в молекулах

органических веществ вызваны тем, что в них есть связи между двумя атомами углерода:

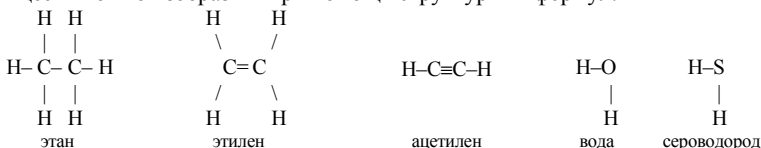


### Ответ на вопрос № 8

1. Все атомы, образующие молекулы органических веществ, связаны в определенной последовательности согласно их валентности.
2. Свойства веществ зависят от порядка соединения атомов в молекулах.
3. По свойствам данного вещества можно определить строение его молекулы, а по строению молекулы предвидеть свойства.
4. Атомы и группы атомов взаимно влияют друг на друга.

### Ответ на вопрос № 9

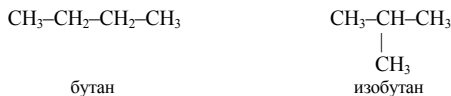
Химическим строением вещества в теории Бутлерова называется определенный порядок соединения атомов в молекулы при помощи химических связей. Химическое строение как органических, так и неорганических веществ можно изобразить при помощи структурных формул:



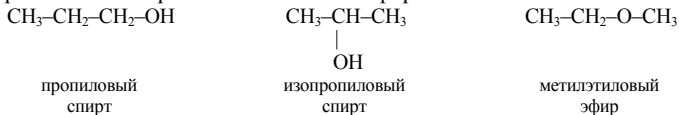
### Ответ на вопрос № 10

Изомерия – существование нескольких веществ с одинаковым составом, но с различным строением молекул. Такие вещества называются изомерами. Изомеры имеют разные свойства.

Например, молекулярную формулу  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  имеют два вещества – бутан и изобутан.



Формуле  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$  соответствуют три соединения – пропиловый спирт, изопропиловый спирт и метилэтиловый эфир:



### Ответ на вопрос № 11

Физические свойства простых веществ зависят от строения кристаллических решеток. Например, некоторые простые вещества – неметаллы – об-

разуют атомную решетку (например, углерод, кремний, сера) и имеют высокие температуры плавления. Другие вещества имеют молекулярное строение и при нормальной температуре находятся в газообразном состоянии, а при очень сильном охлаждении образуют молекулярные кристаллические решетки (например, водород, кислород, азот).

### Ответ на вопрос № 12

1) Сила галогеноводородных кислот зависит от того, какой именно галоген входит в состав кислоты. В ряду HF HCl HBr HI сила кислот увеличивается.

2) Сила оснований зависит от природы металла. Например, гидроксид натрия является сильным основанием, а гидроксид меди (II) – слабым.

### Ответ на вопрос № 13

Разработанная им теория не только объяснила строение молекул всех известных органических веществ и их свойства, но и дала возможность теоретически предвидеть существование неизвестных и новых веществ, найти путь их синтеза.

### Ответ на вопрос № 14

Электроны в атоме расположены по электронным оболочкам, или слоям, или уровням. В пределах одного уровня электроны расположены по орбиталям. От того, на какой орбитали находится электрон, зависит форма его электронного облака. В атомах элементов малых периодов (то есть 1, 2 и 3-го) заполняются s- и p-орбитали. s-Электроны имеют сферическую форму облака, электроны p-орбиталей имеют форму вытянутой восьмерки.

### Ответ на вопрос № 15

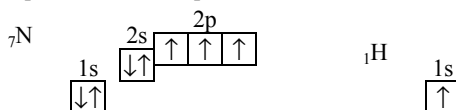
Ковалентные связи образуются за счет общих пар электронов. В образовании ковалентной связи могут участвовать и s-электроны, и p-электроны, но только находящиеся на внешней электронной оболочке. **Примеры:**

1) Молекула водорода H<sub>2</sub>.

Атом водорода имеет один электрон на 1s-орбитали. Каждый атом водорода предоставляет по одному электрону для образования ковалентной связи.

2) Молекула аммиака NH<sub>3</sub>.

Атом водорода имеет один электрон на 1s-орбитали. Строение электронной оболочки атома азота 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>3</sup>. Изобразим расположение электронов в атомах водорода и азота по орбиталям:



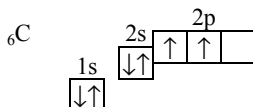
У атома водорода один неспаренный электрон на 1s-орбитали, у атома азота три неспаренных электрона на 2p-орбитали. Значит, атом водорода может образовать одну ковалентную связь, а атом азота – три ковалентные связи. Следовательно, атом азота может соединяться с тремя атомами водорода, образуя молекулу аммиака NH<sub>3</sub>.

## Глава II. Предельные углеводороды (алканы или парафины)

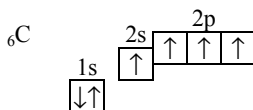
### Задачи (стр. 22)

#### Ответ на вопрос № 1

Строение электронной оболочки атома углерода  $1s^2 2s^2 2p^2$ . У атома углерода четыре валентных электрона, из них только два неспаренных электрона на 2p-орбиталях.



Однако на второй электронной оболочке есть еще свободная 2p-орбиталь, на которую может перейти один из электронов с 2s-орбитали. При этом у атома углерода становится четыре неспаренных электрона:



Таким образом, атом углерода может образовывать четыре ковалентные связи, причем происходит гибридизация орбиталей: образуются четыре абсолютно одинаковые орбитали, каждая из которых имеет форму вытянутой восьмерки, направленной к вершинам тетраэдра.

#### Ответ на вопрос № 2

Электронные формулы метана и этана:



В молекуле метана образуется четыре химические связи при перекрывании четырех гибридных  $sp^3$ -орбиталей атома углерода с 1s-орбиталями четырех атомов водорода.

В молекуле этана связь между атомами углерода образуется при перекрывании гибридных  $sp^3$ -орбиталей двух атомов углерода. У каждого атома остается еще по три гибридных орбитали, и при перекрывании этих орбиталей с 1s-орбиталями шести атомов водорода образуется шесть связей C–H.

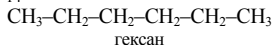
#### Ответ на вопрос № 3

При гибридизации электронных облаков в атоме углерода из одной s-орбитали и трех p-орбиталей образуются четыре одинаковые гибридные  $sp^3$ -орбитали. Гибридные орбитали направлены к вершинам тетраэдра, и при образовании ковалентных связей эти связи также оказываются направлены к вершинам тетраэдра. Поэтому молекула метана имеет тетраэдрическую форму.

**Ответ на вопрос № 4**

Предельными называются углеводороды с общей формулой  $C_2H_{2n+2}$ .

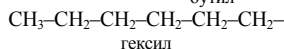
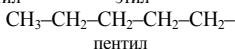
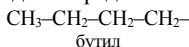
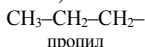
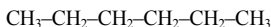
Примеры: метан  $CH_4$ , этан  $C_2H_6$ , гексан  $C_6H_{14}$ .

**Ответ на вопрос № 5**

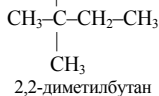
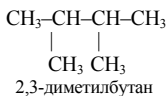
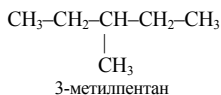
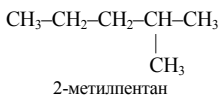
Гомологами называют органические соединения, отличающиеся друг от друга на одну или несколько  $CH_2$ -групп. Гомологами являются предельные углеводороды: метан, этан, пропан и т.д.

**Ответ на вопрос № 6**

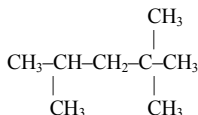
Частицы, имеющие неспаренные электроны и обладающие в связи с этим неиспользованными валентностями, называются свободными радикалами.

**Ответ на вопрос № 7**

гексан

**Ответ на вопрос № 8**

- а) Бутан
- б) 2,3-диметилбутан
- в) 3,5-диметил-4-этилгептан
- г) 3-метил-5-этилгептан

**Ответ на вопрос № 9****Ответ на вопрос № 10**

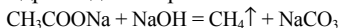
Метан составляет основную часть природного газа. Кроме того, метан образуется при разложении растительных остатков. Этан, пропан, бутан и



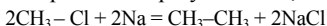
изобутан также входят в состав природного газа. Пентан и углеводороды с большим числом атомов углерода входят в состав нефти.

### Ответ на вопрос № 11

Метан можно получить при нагревании ацетата натрия (натриевой соли уксусной кислоты) с гидроксидом натрия:



Предельные углеводороды можно получить при взаимодействии галогенопроизводных углеводородов с натрием (реакция Вюрца). Образующийся углеводород содержит в два раза больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное. Из хлорметана образуется этан, из хлорэтана – бутан:

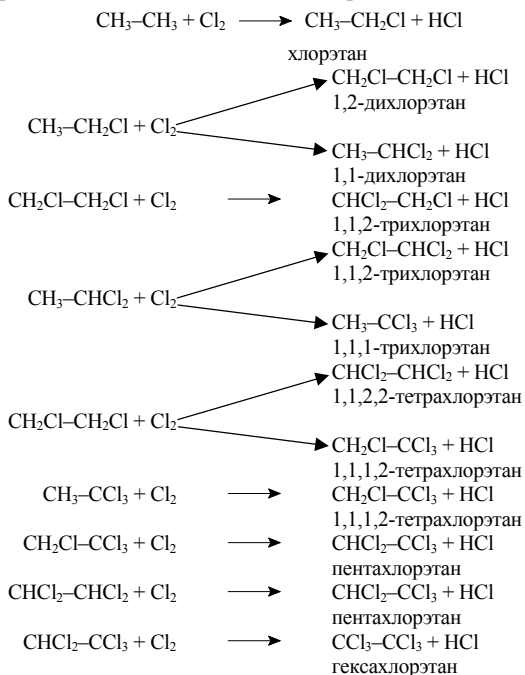


### Ответ на вопрос № 12

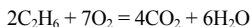
Метан  $\text{CH}_4$ , этан  $\text{C}_2\text{H}_6$ , пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  и бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – газы. Углеводороды от пентана  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  до пентадекана  $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$  – жидкости. Углеводороды с числом атомов углерода 16 и более – твердые вещества.

### Ответ на вопрос № 13

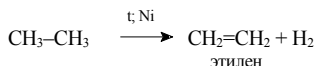
1) При взаимодействии предельных углеводородов с галогенами при освещении происходит замещение атомов водорода на галоген:



2) Все предельные углеводороды горят, при горении образуются оксид углерода (IV) и вода:

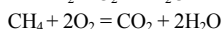
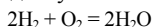


3) Предельные углеводороды можно превратить в непредельные углеводороды путем отщепления молекулы водорода (реакция дегидрирования):

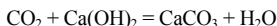


#### Ответ на вопрос № 14

И метан, и водород горят, но при горении водорода образуется только вода, а при горении метана – вода и углекислый газ:



Поэтому, если пропустить образующийся при сгорании метана газ через известковую воду (раствор гидроксида кальция  $Ca(OH)_2$ ), выпадает осадок карбоната кальция:



#### Ответ на вопрос № 15

При нагревании до температуры выше  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  метан разлагается на углерод и водород:

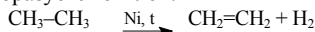


При нагревании до еще более высокой температуры ( $1500\text{ }^\circ\text{C}$ ) образуется водород и ацетилен:



Эта реакция имеет большое практическое промышленное значение в производстве каучуков и пластмасс.

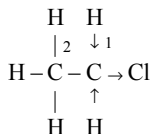
Дегидрирование этана происходит при нагревании в присутствии катализатора, при этом образуется этилен:



$C_2H_4$  широко используется в производстве спирта.

#### Ответ на вопрос № 16

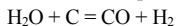
С точки зрения современных представлений об электронных облаках и их взаимном перекрывании, с учетом электроотрицательности химических элементов взаимное влияние атомов и атомных групп, например, в этилхлориде, объясняется так: у атомов хлора электроотрицательность больше, чем у атомов углерода, поэтому электронная плотность связи смещена от атома С к атому Cl. Вследствие этого атом Cl приобретает частичный отрицательный заряд, а атом С – частичный положительный заряд. Влияние атома Cl также распространяется и на атомы H. Электронная плотность от атомов H смещается в сторону атомов С и химическая связь между атомами водорода и углерода становится полярной. В результате атомы водорода оказываются менее прочно связанными и легче замещаются.



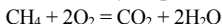
Также атом  $\text{C}_1$  оказывает влияние на атом  $\text{C}_2$ , но это влияние незначительное.

### Ответ на вопрос № 17

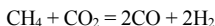
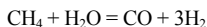
Синтез-газом называют смесь оксида углерода (II) и водорода. Синтез-газ можно получить, пропуская водяной пар через раскаленный уголь:



Синтез-газ получают также из смеси метана и кислорода при нагревании в присутствии катализатора. При этом протекают следующие реакции: часть метана сгорает с образованием оксида углерода (IV) и воды.



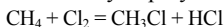
Затем образовавшиеся вода и оксид углерода (IV) взаимодействуют с оставшимся метаном:



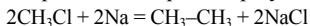
### Ответ на вопрос № 18



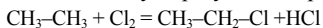
При хлорировании метана на свету образуется хлорметан:



При взаимодействии хлорметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



При хлорировании этана на свету образуется хлорэтан:



### Ответ на вопрос № 19

| Общая характеристика вещества | Характеристика   |   |
|-------------------------------|--|---|
|                               | метана   | этана   |
| 1. Молекулярная формула       | $\text{CH}_4$  | $\text{C}_2\text{H}_6$  |
| 2. Структурная формула        | $  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{H} - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{H}  \end{array}  $                                    | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \\    \quad   \\  \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{H} \\    \quad   \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $  |
| 3. Электронная формула        | $  \begin{array}{c}  \text{H} \\  \vdots \\  \text{H} : \text{C} : \text{H} \\  \vdots \\  \text{H}  \end{array}  $                          | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \\  \vdots \quad \vdots \\  \text{H} : \text{C} : \text{C} : \text{H} \\  \vdots \quad \vdots \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $                                |
| 4. Образование связей         | $  \begin{array}{c}  \text{H} \\  \downarrow \\  \text{H} \rightarrow \text{C} \leftarrow \text{H} \\  \uparrow \\  \text{H}  \end{array}  $ | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \\  \downarrow \quad \downarrow \\  \text{H} \rightarrow \text{C} - \text{C} \leftarrow \text{H} \\  \uparrow \quad \uparrow \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $ |

|                               |  |  |
|-------------------------------|--|--|
| 5. Нахождение в природе       | 1. Природный газ (90% CH <sub>4</sub> )<br>2. Образуется в результате разложения остатков растительных и природных организмов без доступа воздуха<br>3. Выделяется из каменноугольных пластов  | 1. Природный газ (3% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )   |
| 6. Получение а) в лаборатории | $\text{CH}_3\text{COONa}_{(\text{тв})} + \text{NaOH}_{(\text{тв})} \xrightarrow{t = 300^\circ\text{C}} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CH}_4 \uparrow$  | $2\text{CH}_3\text{I} + 2\text{Na} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + 2\text{NaI}$   |
| 7. Физические свойства        | газ без цвета и запаха, почти в 2 раза легче воздуха, мало растворим в воде  | газ без цвета и запаха   |
| 8. Химические свойства        | а) $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{HCl} + \text{CH}_3\text{Cl}$<br>б) $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$<br>в) $\text{CH}_4 \xrightarrow{t > 1000^\circ\text{C}} \text{C} + 2\text{H}_2$<br>$2\text{CH}_4 \xrightarrow{t > 1500^\circ\text{C}} \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$                   | а) $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$<br>б) $\text{C}_2\text{H}_6 + \frac{7}{2}\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$<br>в) $\text{C}_2\text{H}_6 \xrightarrow{500^\circ\text{C}, \text{Ni}} \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$ |
| 9. Применение                 | 1. Топливо<br>2. Исходный продукт для получения<br>а) CH <sub>3</sub> OH   | 1. Топливо   |
|                               | б) CH <sub>3</sub> COOH<br>в) синтетические каучуки<br>3. Синтез-газ<br>T = 800-900 °C<br>kat: Ni, MgO или Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>а) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$<br>б) $\text{CH}_3 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$<br>4. Hal-производные используются в качестве растворителей |  |

### Решение задачи № 1

Молекулярная формула пропана C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. Вычислим молярную массу пропана:

$$M(\text{C}_3\text{H}_8) = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 8 = 44 \text{ г/моль}$$

Средняя молярная масса воздуха равна 29. Вычислим плотность пропана по воздуху:

$$D_{\text{возд.}}(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{M(\text{C}_3\text{H}_8)}{29 \text{ г/моль}} = \frac{44 \text{ г/моль}}{29 \text{ г/моль}} \approx 1,52$$

Чтобы найти массу у 1 л пропана, вычислим количество вещества пропана в 1 л:

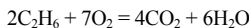
$$v(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{V(\text{C}_3\text{H}_8)}{V_M} = \frac{1 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 0,045 \text{ моль}$$

Найдем массу 1 л пропана:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = v(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,045 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 1,98 \text{ г}$$

**Ответ:** пропан в 1,52 раза тяжелее воздуха; масса 1 л пропана при н. у. равна 1,98 г.

### Решение задачи № 2



а) Воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их молярным соотношениям. По уравнению реакции при сгорании 2 моль этана образуется 4 моль оксида углерода (IV). Пусть при сгорании 5 м<sup>3</sup> этана образуется x м<sup>3</sup> оксида углерода (IV). Составим пропорцию:

$$\frac{2}{5} = \frac{5}{x}, \quad x = \frac{5 \cdot 4}{2} = 10 \text{ м}^3$$

Образуется 10 м<sup>3</sup> оксида углерода (IV).

б) Вычислим молярную массу этана:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 = 30 \text{ г/моль}$$

Найдем количество вещества этана:

$$v(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_6)}{M(\text{C}_2\text{H}_6)} = \frac{5000 \text{ г}}{30 \text{ г/моль}} \approx 166,7 \text{ моль}$$

По уравнению реакции при сгорании 2 моль этана образуется 4 моль оксида углерода (IV). Пусть при сгорании 166,7 моль этана образуется x моль оксида углерода (IV). Составим пропорцию:

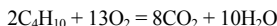
$$\frac{2}{4} = \frac{166,7}{x}, \quad x = \frac{166,7 \cdot 4}{2} = 333,4 \text{ моль}$$

Вычислим объем оксида углерода (IV):

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) = v(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot V_M = 333,4 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 7468,16 \text{ л} \approx 7,47 \text{ м}^3.$$

**Ответ:** а) образуется 10 м<sup>3</sup> оксида углерода (IV); б) образуется 7,47 м<sup>3</sup> оксида углерода (IV).

### Решение задачи № 3



Воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их молярным соотношениям. По уравнению реакции для сжигания 2 моль бутана необходимо 13 моль кислорода. Пусть для сжигания 67,2 м<sup>3</sup> бутана требуется x м<sup>3</sup> кислорода. Составим пропорцию:

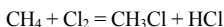
$$\frac{2}{13} = \frac{67,2}{x}, \quad x = \frac{67,2 \cdot 13}{2} = 436,8 \text{ м}^3$$

Необходимо 436,8 м<sup>3</sup> кислорода. В воздухе содержится около 21% кислорода, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания бутана:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд.}}}, \quad V_{\text{возд.}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{436,8 \text{ м}^3}{0,21} = 2080 \text{ м}^3$$

**Ответ:** необходимо 436,8 м<sup>3</sup> кислорода или 2080 м<sup>3</sup> воздуха.

#### Решение задачи № 4



Вычислим молярную массу хлорметана:

$$M(\text{CH}_3\text{Cl}) = 12 + 1 \cdot 3 + 35,5 = 50,5 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества хлорметана:

$$v(\text{CH}_3\text{Cl}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{Cl})}{M(\text{CH}_3\text{Cl})} = \frac{202 \text{ г}}{50,5 \text{ г/моль}} = 4 \text{ моль}$$

По уравнению реакции для получения 1 моль хлорметана необходим 1 моль хлора, значит для получения 4 моль хлорметана необходимо 4 моль хлора. Определим молярную массу хлора:

$$M(\text{Cl}_2) = 35,5 \cdot 2 = 71 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу хлора:

$$m(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2) = 4 \text{ моль} \cdot 71 \text{ г/моль} = 284 \text{ г}$$

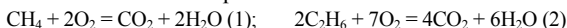
Вычислим объем хлора:

$$V(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot V_M = 4 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 89,6 \text{ л}$$

**Ответ:** потребуется 284 г или 89,6 л хлора.

#### Решение задачи № 5

Из всех компонентов газа горят только метан и этан.



Вычислим объем метана и этана:

$$V(\text{CH}_4) = c(\text{CH}_4) \cdot V_{\text{газа}} = 0,9 \cdot 50 \text{ м}^3 = 45 \text{ м}^3$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) = c(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot V_{\text{газа}} = 0,05 \cdot 50 \text{ м}^3 = 2,5 \text{ м}^3$$

Для решения воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их молярным соотношениям. По уравнению реакции (1) для сжигания 1 моль метана необходимо 2 моль кислорода. Пусть для сжигания 45 м<sup>3</sup> метана нужно  $x$  м<sup>3</sup> кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{45}{x}, \quad x = \frac{45 \cdot 2}{1} = 90 \text{ м}^3$$

По уравнению реакции (2) для сжигания 2 моль этана необходимо 7 моль кислорода. Пусть для сжигания 2,5 м<sup>3</sup> этана нужно  $y$  м<sup>3</sup> кислорода. Составим пропорцию:  $\frac{2}{7} = \frac{2,5}{y}$ ,  $y = \frac{2,5 \cdot 7}{2} = 90 \text{ м}^3$

Таким образом, для сжигания газа необходимо  $90 + 8,75 = 98,75 \text{ м}^3$  кислорода. В воздухе содержится примерно 21% кислорода по объему, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания газа:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд}}}, \quad V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{98,75 \text{ м}^3}{0,21} \approx 470,2 \text{ м}^3$$

**Ответ:** необходимо 470,2 м<sup>3</sup> воздуха.

#### Решение задачи № 6

Найдем количество вещества неизвестного углеводорода:

$$v = \frac{V}{V_M} = \frac{1 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 0,0446 \text{ моль}$$

Вычислим молярную массу углеводорода:

$$v = \frac{m}{M}, M = \frac{m}{v} = \frac{1,964\text{ г}}{0,0446\text{ моль}} = 44\text{ г/моль}$$

Масса 1 моль углеводорода равна 44 г. Вычислим массу углерода, содержащегося в 1 моль углеводорода:

$$w(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{m(\text{углеводорода})},$$

$$m(\text{C}) = w(\text{C}) \cdot m(\text{углеводорода}) = 0,8182 \cdot 44\text{ г} = 36\text{ г}$$

В 1 моль углеводорода содержится 36 г углерода и  $44 - 36 = 8$  г водорода. Молярная масса углерода равна 12, а водорода 1, то есть в 1 моль углеводорода содержится  $36/12 = 3$  моль углерода и 8 моль водорода. Формула углеводорода  $\text{C}_3\text{H}_8$ , это пропан. Структурная формула:  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ .

### Решение задачи № 7

Зная плотность углеводорода по воздуху, найдем его молярную массу:

$$D_{\text{возд.}} = \frac{M(\text{углеводорода})}{29\text{ г/моль}},$$

$$M(\text{углеводорода}) = D_{\text{возд.}} \cdot 29\text{ г/моль} = 2,966 \cdot 29 = 86\text{ г/моль}.$$

Вычислим количество вещества углеводорода:

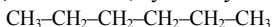
$$v(\text{углеводорода}) = \frac{m(\text{углеводорода})}{M(\text{углеводорода})} = \frac{8,6}{86\text{ г/моль}} = 0,1\text{ моль}$$

Вычислим количество вещества воды и оксида углерода (IV), образовавшихся при сжигании углеводорода:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{12,6\text{ г}}{18\text{ г/моль}} = 0,7\text{ моль}$$

$$v(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{26,4\text{ г}}{44\text{ г/моль}} = 0,6\text{ моль}$$

В молекуле воды 2 атома водорода, значит в исходном углеводороде содержалось  $0,7 \cdot 2 = 1,4$  моль атомов водорода. В молекуле оксида углерода один атом углерода, значит в исходном углеводороде содержалось 0,6 моль атомов углерода. Поскольку было взято 0,1 моль углеводорода, то в 1 моль содержится 14 моль атомов водорода и 6 моль атомов углерода, формула углеводорода  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ . Это гексан, существует пять его изомеров:



гексан



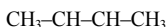
2-метилпентан



3-метилпентан



2,2-диметилбутан



2,3-диметилбутан

## Глава III. Циклопарафины (циклоалканы)

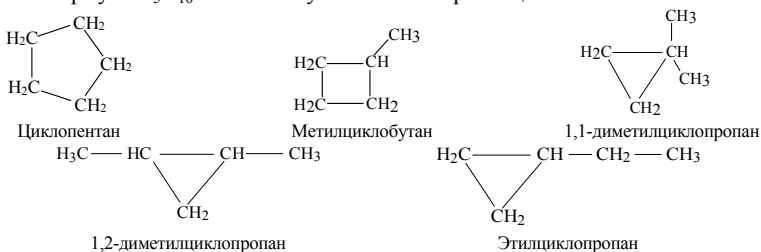
### Задачи (стр. 26)

#### Ответ на вопрос № 1

Циклопарафинами или циклоалканами называют углеводороды общей формулы  $C_nH_{2n}$ , в молекуле которых есть замкнутая цепочка из атомов углерода. Циклопарафины называют также нафтенами, поскольку они часто входят в состав нефти и именно из нефти были впервые выделены.

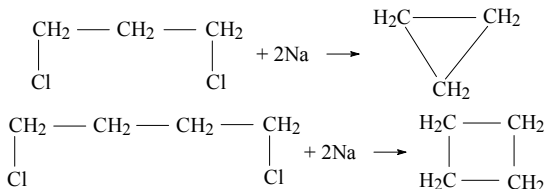
#### Ответ на вопрос № 2

Формуле  $C_5H_{10}$  соответствует пять изомерных циклоалканов:



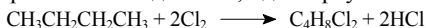
#### Ответ на вопрос № 3

Циклопарафины часто входят в состав нефти, из которой их и выделяют. Циклопарафины можно получить при действии натрия на дигалогенопроизводные углеводородов, в которых атомы галогенов находятся у крайних атомов углерода. Например, из 1,3-дихлорпропана можно получить циклопропан, а из 1,4-дихлорбутана – циклобутан:

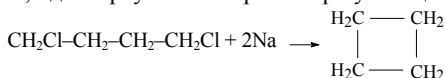


#### Ответ на вопрос № 4

а) При хлорировании бутана образуется смесь изомерных галогенопроизводных, из которой можно выделить 1,4-дихлорбутан:

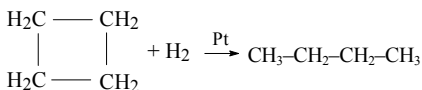


При реакции 1,4-дихлорбутана с натрием образуется циклобутан:

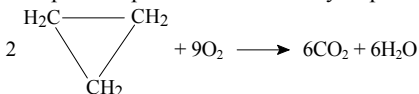


б) При гидрировании (присоединении водорода) над катализатором циклобутан превращается в бутан:

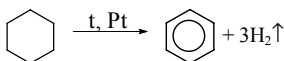
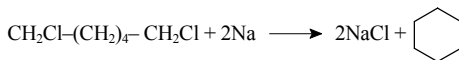




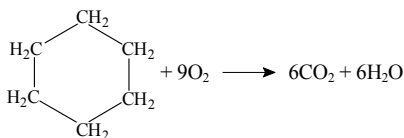
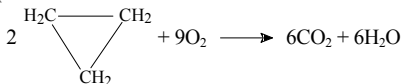
в) Циклопропан горит с образованием оксида углерода (IV) и воды:



г)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3 + 2\text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{HCl} + \text{CH}_2\text{Cl}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2\text{Cl}$

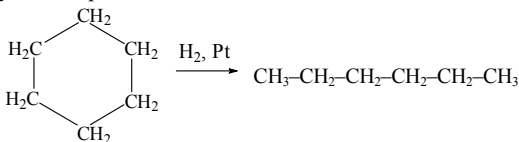


**Ответ на вопрос № 5**

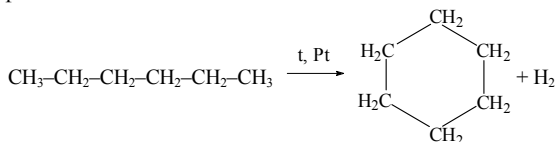


**Ответ на вопрос № 6**

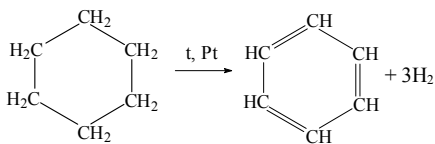
При гидрировании над катализатором циклопарафины превращаются в предельные углеводороды:



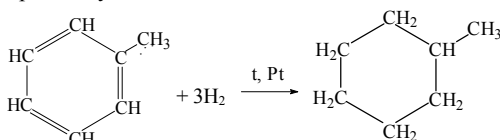
Возможно и обратное превращение – предельные углеводороды могут в присутствии катализатора отщеплять молекулу водорода и превращаться в циклопарафины:



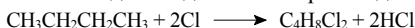
В результате отщепления водорода от молекул циклопарафинов образуются ароматические углеводороды, например из циклогексана – бензол:



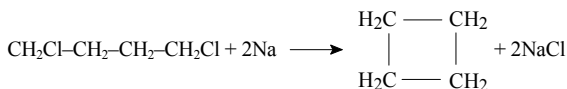
При гидрировании ароматических углеводородов образуются циклоалканы, например из толуола – метилциклогексан:



При галогенировании предельных углеводородов образуется смесь изомеров, из которой можно выделить дигалогенопроизводные:




При действии на дигалогенопроизводные активных металлов образуются циклоалканы:



### Ответ на вопрос № 7

| Общая характеристика    | Циклобутан   | Циклогексан  |
|-------------------------|--|--|
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_4\text{H}_8$   | $\text{C}_6\text{H}_{12}$  |
| 2. Структурная формула  | $  \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \end{array}  $   | $  \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \end{array}  $   |
| 3. Электронная формула  | $  \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \times \text{C} : \text{C} \times \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \times \text{C} : \text{C} \times \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}  $ | $  \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \times \text{C} : \text{C} \times \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \times \text{C} : \text{C} \times \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}  $                 |
| 4. Образование связей   | $  \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \downarrow \quad \downarrow \\ \text{H} \rightarrow \text{C} - \text{C} \leftarrow \text{H} \\ \uparrow \quad \uparrow \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}  $  | $  \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{H} \rightarrow \text{C} - \text{C} - \text{C} \leftarrow \text{H} \\ \uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}  $ |
| 5. Нахождение в природе | Нефть  |  |

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| 6. Получение           | $1. \text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Cl} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{NaCl} +$ $+ \square$  | $1. \text{CH}_2\text{Cl}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2\text{Cl} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{NaCl} +$   |
|                        | $2. \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \xrightarrow{\quad} \quad$ $2\text{CO}_2 + \square$   |   |
| 7. Физические свойства | газ без цвета и запаха, практически не растворяется в воде  | жидкость, нерастворимая в воде  |
| 8. Химические свойства | $1. \square + \text{H}_2 \xrightarrow{t, \text{Pt}} \text{C}_4\text{H}_{10}$ $2. \square + \text{Cl}_2 \xrightarrow{t} \begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \square \end{array} + \text{HCl}$ $3. \square + 6\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ | $1. \begin{array}{c} \square \\ \xrightarrow{t, \text{Pt}} \end{array} \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_6 \\ + 3\text{H}_2 \end{array}$ $2. \begin{array}{c} \square \\ + \text{Cl}_2 \xrightarrow{t} \end{array} \begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \square \end{array} + \text{HCl}$ $3. \begin{array}{c} \square \\ + 9\text{O}_2 \rightarrow \end{array} 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ |
| 9. Применение          |   | 1. Из циклогексана получают бензол и толуол (из метилгексана).<br>2. Растворитель   |

## Глава IV. Непредельные углеводороды (алкены, алкадиены и алкины)

### Задачи к §1 (стр. 39)

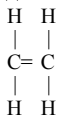
#### Ответ на вопрос № 1

Непредельными называют углеводороды, содержащие в молекуле двойные или тройные связи. Углеводороды с одной двойной связью – алкены или олефины – имеют общую формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Углеводороды с двумя двойными связями называются алкадиенами (или просто диенами) и имеют формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ . Углеводороды с тройной связью в молекуле называются алкинами и имеют формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

### Ответ на вопрос № 2

Элементарный анализ показывает, что в состав этилена входят примерно 87,5% углерода и 14,3% водорода. Плотность этилена по водороду равна 14. По этим данным находим формулу этилена:  $C_2H_4$ .

Структурная формула этилена должна подчиняться теории Бутлерова. Следовательно, молекула имеет вид:



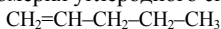
### Ответ на вопрос № 3

В молекуле этилена атомы углерода имеют  $sp^2$ -гибридизацию. Это означает, что из одной  $s$ -орбитали и двух  $p$ -орбиталей образуются три одинаковых гибридных  $sp^2$ -орбитали, и еще одна  $p$ -орбиталь остается негибризованной. В результате за счет гибридных  $sp^2$ -орбиталей каждый атом углерода образует по две связи с двумя атомами водорода и одну связь со вторым атомом углерода. Это все  $\sigma$ -связи, все они лежат в плоскости молекулы. Две оставшиеся негибридные  $p$ -орбитали перекрываются в плоскости, перпендикулярной плоскости молекулы, и образуют  $\pi$ -связь. Таким образом, между атомами углерода образуются две различные связи – одна  $\sigma$ -связь и одна  $\pi$ -связь.  $\pi$ -связь менее прочна, чем  $\sigma$ -связь, и при реакциях разрывается легче.

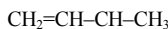
### Ответ на вопрос № 4

У непредельных углеводородов наблюдаются следующие виды изомерии:

1) изомерия углеродного скелета:

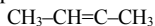


пентен-1

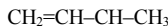


3-метилбутен-1

2) изомерия положения двойной связи:

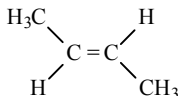


2-метилбутен-2

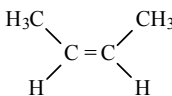


3-метилбутен-1

3) геометрическая, или цис-транс изомерия:



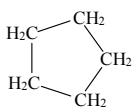
транс-бутен-2



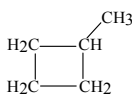
цис-бутен-2

### Ответ на вопрос № 5

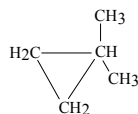
Формуле  $C_5H_{10}$  соответствуют циклические предельные углеводороды (циклоалканы или циклопарафины) и непредельные углеводороды с одной двойной связью (алкены). Формулы циклоалканов:



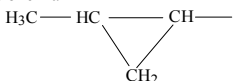
Циклопентан



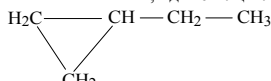
Метилциклобутан



1,1-диметилциклопропан



1,2-диметилциклопропан

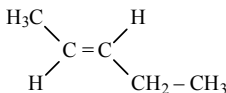


Этилциклопропан

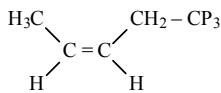
Формулы алкенов:



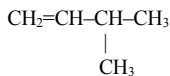
пентен-1



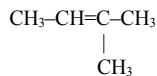
транс-пентен-2



цис-пентен-2



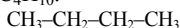
3-метилбутен-1



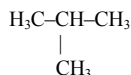
2-метилбутен-2

### Ответ на вопрос № 6

Для предельных углеводородов возможен только один вид изомерии – изомерия углеродного скелета. Существуют только два углеводорода с формулой  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ :

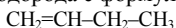


бутан

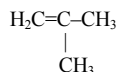


2-метилпропан

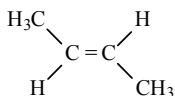
Для непредельных углеводородов возможна также изомерия положения двойной связи и геометрическая, или цис-транс изомерия. Существует четыре углеводорода с формулой  $\text{C}_4\text{H}_8$ :



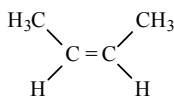
бутен-1



2-метилпропен



транс-бутен-2



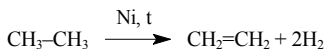
цис-бутен-2

### Ответ на вопрос № 7

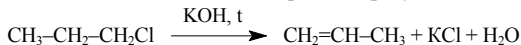
Этилен можно получить из метана нагреванием с катализатором:



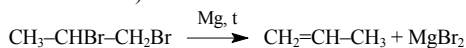
Этилен и его гомологи можно получить дегидрированием алканов:



При действии на галогенопроизводные углеводородов спиртового раствора щелочи отщепляется галогеноводород и образуются алкены:

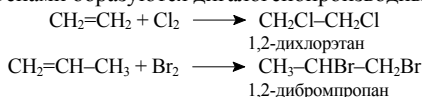


Алкены можно также получить из дигалогенопроизводных, в которых атомы галогена расположены при соседних атомах углерода при действии металлов (цинка или магния):

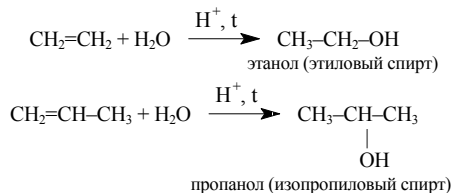


### Ответ на вопрос № 8

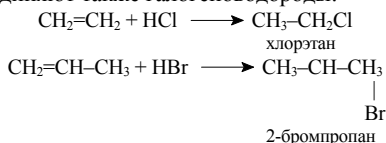
1) Реакции присоединения. При реакции взаимодействия этилена и его гомологов с галогенами образуются дигалогенопроизводные углеводородов:



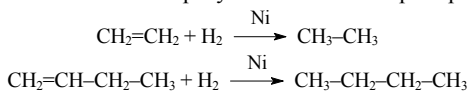
При присоединении к алкенам воды в присутствии кислот образуются спирты:



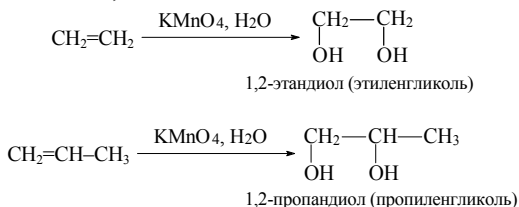
Алкены присоединяют также галогеноводороды:



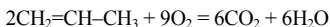
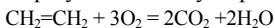
При гидрировании алкенов в присутствии катализатора образуются алканы:



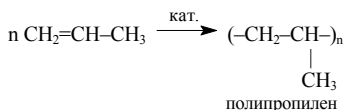
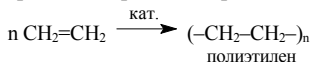
2) Реакции окисления. При реакции алкенов с раствором перманганата калия образуются гликоли, или диолы:



При горении алкенов образуются оксид углерода (IV) и вода:

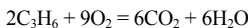
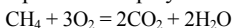


3) Алкены способны полимеризоваться: при полимеризации этилена образуется полиэтилен, а при полимеризации пропилена – полипропилен:

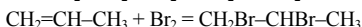
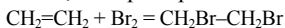


### Ответ на вопрос № 9

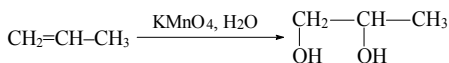
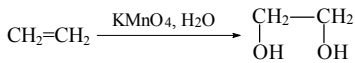
а) При горении этилена и пропилена образуются вода и оксид углерода (IV).



б) При реакции этилена и пропилена с бромной водой образуются соответственно 1,2-дибромэтан и 1,2-дибромпропан.

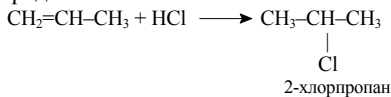


в) При взаимодействии этилена и пропилена с перманганатом калия образуются этиленгликоль (1,2-этандиол) и пропиленгликоль (1,2-пропандиол).

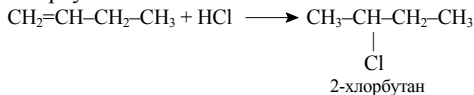


### Ответ на вопрос № 10

При присоединении хлороводорода к пропилену образуется 2-хлорпропан. Согласно правилу Марковникова, присоединение происходит так, что атом галогена присоединяется к тому атому углерода, у которого меньше атомов водорода:

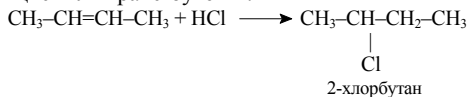


При присоединении хлороводорода к бутену-1 по правилу Марковникова образуется 2-хлорбутан:



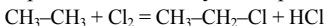
В молекуле бутена-2 у каждого из атомов углерода двойной связи одинаковое число атомов водорода, и присоединение может происходить к лю-

бому из двух атомов. В любом случае образуется 2-хлорбутан, причем неважно, был взят цис- или транс-бутен-2:

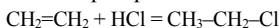


### Ответ на вопрос № 11

Этилхлорид, или хлорэтан, можно получить при хлорировании этана:



Хлорэтан образуется также при присоединении хлороворода к этилену:



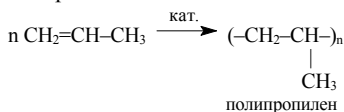
### Ответ на вопрос № 12

Этилен используют для получения этиленгликоля, полиэтилена, этилового спирта. Кроме того, этилен ускоряет созревание фруктов.

Из пропилена получают изопропиловый спирт, полипропилен.

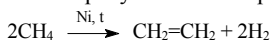
### Ответ на вопрос № 13

Процесс соединения многих одинаковых молекул в более крупные называется реакцией полимеризации.

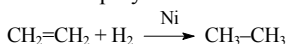


### Ответ на вопрос № 14

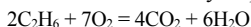
а) При нагревании метана в присутствии Ni образуется этилен.



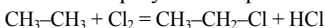
При гидрировании этилена образуется этан:



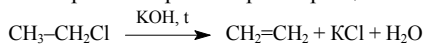
Этан горит с образованием воды и оксида углерода (IV):



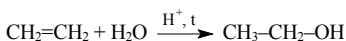
б) При хлорировании этана образуется хлорэтан:



При действии на хлорэтан спиртового раствора щелочи образуется этилен:

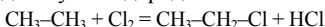


При присоединении к этилену воды в присутствии кислоты образуется этиловый спирт:



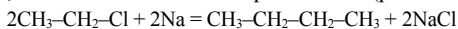
### Ответ на вопрос № 15

При взаимодействии предельных углеводородов с галогенами образуются галогенопроизводные углеводородов:

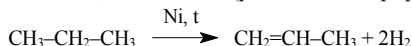




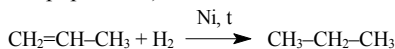
Галогенопроизводные углеводородов реагируют с натрием, при этом образуются предельные углеводороды, содержащие в молекуле вдвое больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное (реакция Вюрца):



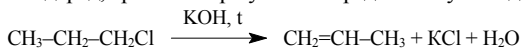
При отщеплении водорода от предельных углеводородов образуются углеводороды ряда этилена, или алкены (реакция дегидрирования):



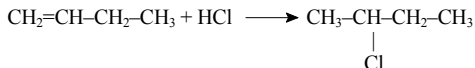
При присоединении водорода к алкенам образуются предельные углеводороды (реакция гидрирования):



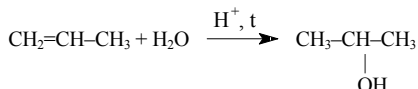
Под действием спиртового раствора щелочи от галогенопроизводных отщепляется галогеноводород, при этом образуются непредельные углеводороды:



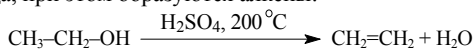
При присоединении галогеноводородов к непредельным углеводородам образуются галогенопроизводные, присоединение протекает по правилу Марковникова:



В присутствии кислот алкены присоединяют воду, при этом образуются спирты. Присоединение воды также происходит по правилу Марковникова:



При сильном нагревании в присутствии серной кислоты от спиртов отщепляется вода, при этом образуются алкены:



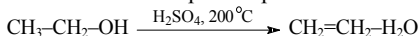
### Ответ на вопрос № 16

| Общая характеристика    | Этилен  | Пропилен   |
|-------------------------|---|--|
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_2\text{H}_4$  | $\text{C}_3\text{H}_6$   |
| 2. Структурная формула  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$    | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C} = \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \quad \quad   \\ \quad \quad \text{H} \end{array}$  |
| 3. Электронная формула  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{H} \times \text{C} :: \text{C} \times \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \times \quad \times \quad \times \\ \text{H} \times \text{C} :: \text{C} - \text{C} \cdot \times \text{H} \\ \quad \quad \times \\ \quad \quad \text{H} \end{array}$ |

|                                  |  |  |
|----------------------------------|--|--|
| 4. Образование связей            | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \downarrow \quad \downarrow \\ \text{H} \rightarrow \text{C} = \text{C} \leftarrow \text{H} \end{array}$  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{H} \rightarrow \text{C} = \text{C} - \text{C} \leftarrow \text{H} \\ \uparrow \\ \text{H} \end{array}$ |
| 5. Нахождение в природе          | Нефть, природный газ   |  |
| 6. Получение<br>а) в лаборатории | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \xrightarrow{t, \text{ конц. } \text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$  | $\begin{array}{l} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{KOH} \\ \xrightarrow{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \text{CH}=\text{CH}_3 + \text{KCl} \\ + \text{H}_2\text{O} \end{array}$                       |
| б) в промышленности              | получают из природного газа и при процессах крекинга и пиролиза нефти  |  |
| 7. Физические свойства           | Бесцветные газы, почти без запаха, плохо растворимы в воде   |  |
| 8. Химические свойства           | <p>1. Реакция присоединения</p> <p>а) <math>\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{R}-\text{CHBr}-\text{CH}_2\text{Br}</math></p> <p>б) <math>\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{HCl} \longrightarrow \text{R}-\text{CHCl}-\text{CH}_3</math></p> <p>2. Гидрирование</p> $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 \xrightarrow{[\text{H}], t, \text{ кат.}} \text{R}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ <p>3. Реакция гидратации</p> $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 \xrightarrow{t, p, \text{ кат.}} \text{R}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_3$ <p>4. Реакция гидратации</p> $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{R}-\underset{\text{O}}{\text{CH}}-\text{CH}_2$ <p>5. Реакция полимеризации</p> $n \text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{кат.}} \left( \underset{\text{R}}{\text{CH}}-\text{CH}_2 \right)_n$ |  |

### Решение задачи № 1

а) При нагревании этилового спирта с серной кислотой образуется этилен:



Вычислим молярную массу этилового спирта:

$$M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 12 \cdot 2 + 6 \cdot 1 + 16 = 46 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу этилового спирта:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,8 \text{ г/мл} \cdot 160 \text{ мл} = 128 \text{ г.}$$

Вычислим количество вещества этилового спирта:

$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{128 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} \approx 2,78 \text{ моль}$$

Из 1 моль этилового спирта образуется 1 моль этилена, следовательно из 2,78 моль спирта образуется 2,78 моль этилена. Вычислим молярную массу этилена:  $M(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 = 28 \text{ г/моль}$

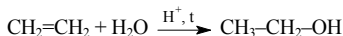
Вычислим массу образовавшегося этилена:

$$m(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = v(\text{CH}_2=\text{CH}_2) \cdot M(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = 2,78 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} \approx 77,9 \text{ г.}$$

Вычислим объем образовавшегося этилена:

$$V(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = v(\text{CH}_2=\text{CH}_2) \cdot V_M = 2,78 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 62,3 \text{ л.}$$

б) В присутствии кислот вода присоединяется к этилену с образованием этилового спирта:



Вычислим количество вещества этилена:

$$v(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = \frac{V(\text{CH}_2=\text{CH}_2)}{V_M} = \frac{100000 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 4464 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль этилена образуется 1 моль спирта, значит из 4464 моль этилена образуется 4464 моль спирта. Молярная масса этилового спирта равна 46 моль, вычислим массу спирта:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 4464 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 205\,344 \text{ г} = 205,344 \text{ кг}$$

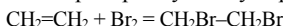
Плотность этилового спирта равна 0,8 г/мл = 0,8 кг/л, вычислим объем спирта:

$$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{205,344 \text{ кг}}{0,8 \text{ кг/мл}} \approx 256,68 \text{ л}$$

**Ответ:** а) можно получить 77,9 г или 62,3 л этилена; б) можно получить 256,68 кг этилового спирта.

### Решение задачи № 2

При пропускании этилена через бромную воду образуется 1,2-дибромэтан:



Масса раствора увеличивается за счет вступающего в реакцию этилена, то есть в реакцию вступило 7 г этилена.

Вычислим молярную массу этилена:

$$M(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 = 28 \text{ г/моль}$$

Найдем количество вещества этилена:

$$v(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = \frac{m(\text{CH}_2=\text{CH}_2)}{M(\text{CH}_2=\text{CH}_2)} = \frac{7 \text{ г}}{28 \text{ г/моль}} \approx 0,25$$

Вычислим объем этилена, вступившего в реакцию:

$$V(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = v(\text{CH}_2=\text{CH}_2) \cdot V_M = 0,25 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 5,6 \text{ л.}$$

По уравнению реакции из 1 моль этилена образуется 1 моль 1,2-дибромэтана, значит из 0,25 моль этилена образуется 0,25 моль 1,2-дибромэтана. Молекулярная формула дибромэтана  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$ , вычислим молярную массу 1,2-дибромэтана:

$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 80 \cdot 2 = 188 \text{ г/моль}$$

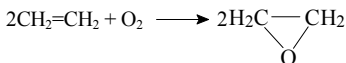
Вычислим массу 1,2-дибромэтана:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = 0,25 \text{ моль} \cdot 188 \text{ г/моль} = 47 \text{ г.}$$

**Ответ:** в реакцию вступило 5,6 л этилена; образовалось 47 г 1,2-дибромэтана.

### Решение задачи № 3

Оксид этилена образуется при реакции этилена с кислородом в присутствии катализатора:



Молекулярная формула оксида этилена  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ . Вычислим молярную массу оксида этилена:

$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 16 = 44 \text{ г/моль.}$$

Вычислим количество вещества оксида этилена:

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})}{M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})} = \frac{126000 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} \approx 2864 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 2 моль этилена образуется 2 моль оксида этилена, значит для получения 2864 моль оксида этилена необходимо теоретически, то есть без учета потерь, 2864 моль этилена. Потери в процессе производства составляют 10%, то есть в оксид этилена превращается 90%, или 0,9 долей этилена. Значит, с учетом потерь необходимо взять  $2864/0,9 = 3182$  моль этилена.

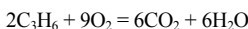
Вычислим объем этилена:

$$V(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = \nu(\text{CH}_2=\text{CH}_2) \cdot V_M = 3182 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 71\,280 \text{ л} = 71,28 \text{ м}^3.$$

**Ответ:** необходимо  $71,28 \text{ м}^3$  этилена.

### Решение задачи № 4

Уравнение горения пропилена:



Воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их молярным соотношениям. По уравнению реакции для сжигания 2 моль пропилена необходимо 9 моль кислорода. Пусть для сжигания 50 л пропилена необходимо  $x$  л кислорода.

Составим пропорцию:

$$\frac{2}{9} = \frac{50}{x}, \quad x = \frac{50 \cdot 9}{2} = 225 \text{ моль}$$

Необходимо 225 л кислорода. В воздухе содержится около 21% кислорода, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания пропилена:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд.}}}, \quad V_{\text{возд.}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{225 \text{ л}}{0,21} = 1071 \text{ л}$$

**Ответ:** необходимо 1071 л воздуха.

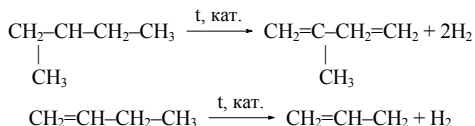
## Задачи к §§2, 3 (стр. 44)

### Ответ на вопрос № 1

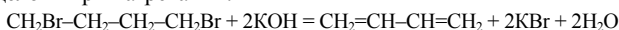
К диеновым углеводородам (алкадиенам, или просто диенам) относятся углеводороды, в молекуле которых есть две двойные связи. Общая формула диенов  $\text{C}_n\text{H}_{n-2}$ .

## Ответ на вопрос № 2

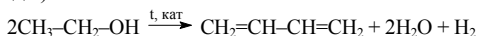
Диены можно получить при дегидрировании алканов или алкенов над катализатором:



Диены образуются при отщеплении галогеноводородов от галогенопроизводных, содержащих два атома галогена в молекуле. Например, из 1,4-дибромбутана можно получить бутадиен-1,3 при действии спиртового раствора щелочи при нагревании:



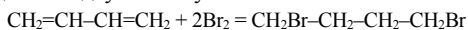
Бутадиен можно получить из этилового спирта, при этом происходит одновременное дегидрирование (отщепление водорода) и дегидратация (отщепление воды):



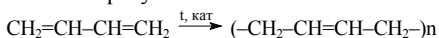
## Ответ на вопрос № 3

**Физические свойства:** бутадиен – бесцветный газ, температура кипения  $-4,5^\circ\text{C}$ .

**Химические свойства:** бутадиен легко вступает в реакции присоединения, например, с галогенами. Поскольку в молекуле две двойные связи, возможно присоединение двух молекул галогена:



Бутадиен легко полимеризуется:



## Ответ на вопрос № 4

При нагревании каучук разлагается, основным продуктом разложения является изопрен (2-метилбутадиен-1,3). Из этого факта был сделан вывод, что каучук представляет собой полимер изопрена.

## Ответ на вопрос № 5

Каучук представляет собой твердое вещество, очень упругое и эластичное. При нагревании каучук теряет упругость и становится мягким и липким. При сильном охлаждении каучук также теряет упругость и становится хрупким.

При нагревании каучука происходит деполимеризация: из макромолекул каучука образуются молекулы изопрена. Это процесс, обратный реакции полимеризации, при которой из молекул изопрена образуются макромолекулы каучука.

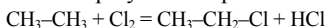
## Ответ на вопрос № 6

Каучук представляет собой полимер изопрена (2-метилбутадиена-1,3). Каучук размягчается при нагревании, а при охлаждении становится хруп-

ким. В резине макромолекулы полимера как бы «сшиты» между собой «мостиками» из серы. В результате резина остается упругой и при высоких, и при низких температурах.

### Ответ на вопрос № 7

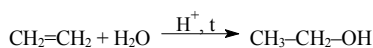
При хлорировании этана образуется хлорэтан:



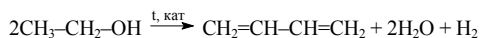
При действии на хлорэтан спиртового раствора щелочи отщепляется хлороводород и образуется этилен:



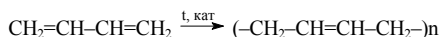
Этилен в присутствии кислот реагирует с водой, при этом образуется этиловый спирт:



При нагревании в присутствии катализатора из этанола можно получить бутадиен-1,3:



В присутствии катализатора бутадиен-1,3 полимеризуется и превращается в каучук:

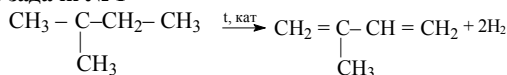


### Ответ на вопрос № 8

| Характеристика вещества | 1,3-бутадиен   | 2 метил-1,3 бутадиен  |
|-------------------------|--|---|
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_4\text{H}_6$   | $\text{C}_5\text{H}_8$  |
| 2. Структурная формула  | $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$  | $\text{CH}_2 = \text{CH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH}_2$  |
| 3. Электронная формула  | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ \times & \times & \times & \times \\ \text{H} \times \text{C} & :: \text{C} & :: \text{C} & :: \text{C} \times \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ \times & \times & \times \\ \text{H} \times \text{C} & :: \text{C} & :: \text{C} & :: \text{C} \times \text{H} \\ & & \text{H} \times \text{C} \times \text{H} \\ & & \times \\ & & \text{H} \end{array}$ |
| 4. Образование связей   | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   \\ \text{H} \rightarrow \text{C} & - \text{C} & - \text{C} & = \text{C} \leftarrow \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & & \text{H} \\   &   & &   \\ \text{H} \rightarrow \text{C} & - \text{C} & - \text{C} & = \text{C} \leftarrow \text{H} \\ & &   & \\ & & \text{H} & \\ & &   & \\ & & \text{H} & \end{array}$                         |
| 5. Нахождение в природе |  | природный каучук  |
| 6. Получение            | $1) 2\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH} \xrightarrow{t, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ZnO}} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 \uparrow$ $2) \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_3 \xrightarrow{t, \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3} \text{CH}_2 = \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH}_2 + \text{H}_2 \uparrow$ |   |

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| 7. Физические свойства | Газ при нормальных условиях, который сжижается при $T = -4,5^{\circ}\text{C}$  | Летучая жидкость, кипящая при $T = 34,1^{\circ}\text{C}$   |
| 8. Химические свойства | $1. \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Br}$ $2. \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CHBr}-\text{CHBr}-\text{CH}_2\text{Br}$ <p>3. Реакция полимеризации</p> $n\text{CH}_2=\text{CH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2 \rightarrow \left( \text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right)_n$ | $1. \text{CH}_2=\text{CH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2\text{Br}$ |
| 9. Применение          | Из каучука получают резину:  |  |

### Решение задачи № 1



Молекулярная формула 2-метилбутана  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . Вычислим молярную массу 2-метилбутадиена:

$$M(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 12 \cdot 5 + 1 \cdot 12 = 72 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества 2-метилбутадиена:

$$\nu(\text{C}_5\text{H}_{12}) = \frac{m(\text{C}_5\text{H}_{12})}{M(\text{C}_5\text{H}_{12})} = \frac{180 \cdot 10^6 \text{ г}}{72 \text{ г/моль}} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль 2-метилбутана получается 1 моль 2-метил-1,3-бутадиена, значит из  $2,5 \cdot 10^6$  моль 2-метилбутана при теоретическом выходе получится  $2,5 \cdot 10^6$  моль 2-метил-1,3-бутадиена. Но так как выход составляет 89%, получится  $0,89 \cdot 2,5 \cdot 10^6 = 2,225 \cdot 10^6$  моль 2-метил-1,3-бутадиена. Молекулярная формула 2-метил-1,3-бутадиена  $\text{C}_5\text{H}_8$ , вычислим молярную массу 2-метил-1,3-бутадиена:

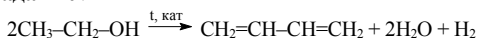
$$M(\text{C}_5\text{H}_8) = 12 \cdot 5 + 1 \cdot 8 = 68 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу 2-метил-1,3-бутадиена:

$$m(\text{C}_5\text{H}_8) = \nu(\text{C}_5\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_5\text{H}_8) = 2,225 \cdot 10^6 \text{ моль} \cdot 68 \text{ г/моль} = 51,3 \cdot 10^6 \text{ г} = 151,3 \text{ т}$$

**Ответ:** можно получить 151,3 т 2-метил-1,3-бутадиена.

### Решение задачи № 2



Вычислим массу раствора этилового спирта:

$$m(\text{раствора}) = \rho(\text{раствора}) \cdot V(\text{раствора}) = 0,8 \text{ г/мл} \cdot 800000 \text{ мл} = 640000 \text{ г.}$$

Вычислим массу этилового спирта, содержащегося в растворе:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = c(\text{раствора}) \cdot m(\text{раствора}) = 0,96 \cdot 640000 \text{ г} = 614400 \text{ г}$$

Молекулярная формула этилового спирта  $C_2H_6O$ . Вычислим молярную массу этилового спирта:

$$M(C_2H_5OH) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 = 46 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества этилового спирта:

$$\nu(C_2H_5OH) = \frac{m(C_2H_5OH)}{M(C_2H_5OH)} = \frac{614400 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 13356 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 2 моль этилового спирта образуется 1 моль бутадиена. Пусть из 13356 моль спирта получится  $x$  моль бутадиена. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{1} = \frac{13356}{x}, \quad x = \frac{13356 \cdot 1}{2} = 6678 \text{ моль}$$

Вычислим объем бутадиена:

$$V(C_4H_6) = \nu(C_4H_6) \cdot V_M = 6678 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 149600 \text{ л} = 149,6 \text{ м}^3$$

**Ответ:** можно получить  $149,6 \text{ м}^3$  бутадиена.

## Задачи к §4 (стр. 49)

### Ответ на вопрос № 1

Анализ ацетилена показывает, что в нем содержится в массовых долях примерно 92,3% углерода и 7,7% водорода. Плотность ацетилена по водороду равна 13. По этим данным находим формулу ацетилена  $C_2H_2$ .

Структурная формула ацетилена не должна противоречить теории строения органических веществ. Следовательно, молекула ацетилена имеет вид:  $H-C \equiv C-H$ .

### Ответ на вопрос № 2

В молекуле этилена между атомами углерода образуется двойная связь. Одна из связей –  $\sigma$ -связь, другая –  $\pi$ -связь.  $\sigma$ -Связь образуется при перекрывании гибридных  $sp^2$ -орбиталей атомов углерода.  $\pi$ -Связь образуется при перекрывании негибридизованных  $p$ -орбиталей атомов углерода.

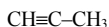
В молекуле ацетилена атомы углерода имеют  $sp$ -гибридизацию. Из одной  $s$ -орбитали и одной  $p$ -орбитали образуются две одинаковых гибридных  $sp$ -орбитали. За счет одной из  $sp$ -орбиталей образуются связи с атомами водорода. Еще по одной орбитали перекрываются с образованием  $\sigma$ -связи между атомами углерода. У каждого из атомов углерода остается по две  $p$ -орбитали. За счет перекрывания  $p$ -орбиталей образуется еще две  $\pi$ -связи, лежащие во взаимно перпендикулярных плоскостях.

### Ответ на вопрос № 3

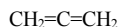
Углеводороды с общей формулой  $C_nH_{2n-2}$ , в молекулах которых имеется одна тройная связь, относятся к ряду ацетилена. Формуле  $C_2H_2$  соответствует ацетилен:  $CH \equiv CH$

Формуле  $C_3H_4$  соответствуют два изомера – пропин, относящийся к ацетиленовым углеводородам, и пропadiен (аллен):



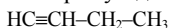


пропин

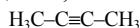


аллен

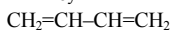
Формулы  $\text{C}_4\text{H}_6$  соответствуют два изомера бутана – бутин-1 и бутин-2, а также два изомера бутадиена – бутадиен-1,3 и бутадиен-1,2:



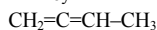
бутин-1



бутин-2



бутадиен-1,3



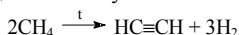
бутадиен-1,2

#### Ответ на вопрос № 4

В лаборатории ацетилен получают, действуя водой на карбид кальция:



В промышленности ацетилен получают из метана:

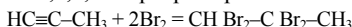


#### Ответ на вопрос № 5

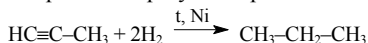
Для углеводородов ряда ацетилена соблюдается та же закономерность, что и для других классов углеводородов: при увеличении молекулярной массы температура плавления и кипения углеводородов увеличивается.

#### Ответ на вопрос № 6

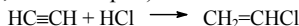
а) В отличие от предельных углеводородов для ацетиленовых углеводородов характерны реакции присоединения. Например, пропин реагирует с бромом с образованием 1,1,2,2-тетрабромпропана:



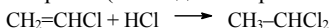
При гидрировании пропина образуется пропан:



б) 1) В отличие от алкенов, алкины (ацетиленовые углеводороды) могут присоединять как одну, так и две молекулы реагента. Например, в результате присоединения одной молекулы хлороводорода к ацетилену получается хлорэтилен (хлорвинил, винилхлорид):



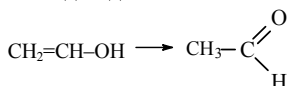
К хлорэтилену может присоединиться еще одна молекула хлороводорода, и образуется 1,1-дихлорэтан (соблюдается правило Марковникова):



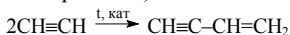
2) При присоединении воды к этилену образуется спирт. В отличие от этилена, при присоединении воды к ацетилену образуется уксусный альдегид. Это объясняется так: вначале при присоединении воды образуется виниловый спирт:



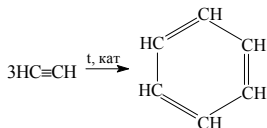
Однако виниловый спирт неустойчив, и сразу же, как только образуется, превращается в уксусный альдегид:



3) Из двух молекул ацетилена в присутствии катализатора образуется винилацетилен (реакция димеризации):

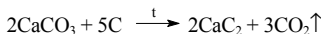


Из трех молекул ацетилена может образоваться молекула бензола (реакция тримеризации):



### Ответ на вопрос № 7

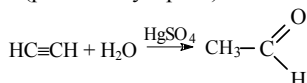
При сильном нагревании карбоната кальция с углеродом образуется карбид кальция:



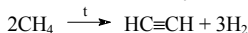
При действии на карбид кальция воды получается ацетилен:



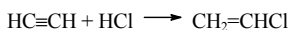
Ацетилен в присутствии сульфата ртути (II) присоединяет воду, образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова):



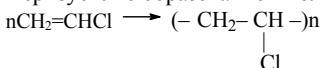
б) Из метана при нагревании можно получить ацетилен:



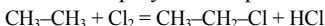
Ацетилен присоединяет хлороводород, при этом образуется хлорэтан (винилхлорид):



Винилхлорид полимеризуется с образованием поливинилхлорида:



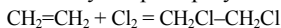
в) При хлорировании этана образуется хлорэтан:



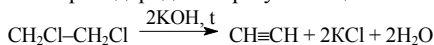
При действии на хлорэтан спиртового раствора щелочи отщепляется хлороводород и образуется этилен:



При присоединении к этилену хлора образуется 1,2-дихлорэтан:

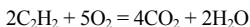


При действии спиртового раствора щелочи на 1,2-дихлорэтан отщепляются две молекулы хлороводорода и образуется ацетилен:

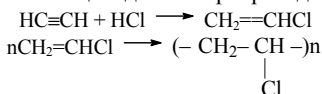


### Ответ на вопрос № 8

1) При горении ацетилена выделяется много тепла, поэтому он применяется для сварки и резки металлов.



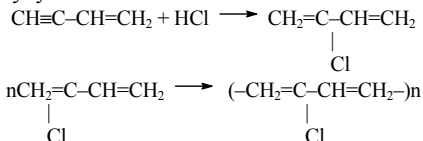
2) В результате присоединения к ацетилену хлороводорода образуется хлорэтан (винилхлорид). При его полимеризации образуется поливинилхлорид, из которого делают изоляцию для электропроводов и другие изделия.



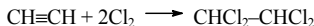
3) Ацетилен димеризуется с образованием винилацетилена.



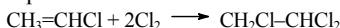
При присоединении к винилацетилену хлороводорода образуется 2-хлорбутадиен-1,3 (хлоропрен), при полимеризации которого образуется хлоропреновый каучук.



4) В результате присоединения к ацетилену двух молекул хлора образуется 1,1,2,2-тетрахлорэтан:



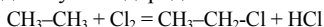
При присоединении хлора к винилхлориду, получаемому из ацетилена, образуется 1,1,3-трихлорэтан.



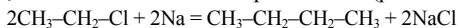
Тетрахлорэтан и трихлорэтан применяются как растворители.

### Ответ на вопрос № 9

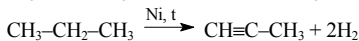
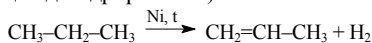
При взаимодействии предельных углеводородов с галогенами образуются галогенопроизводные углеводородов:



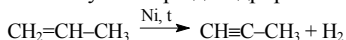
Галогенопроизводные углеводородов реагируют с натрием, при этом образуются предельные углеводороды, содержащие в молекуле вдвое больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное (реакция Вюрца):



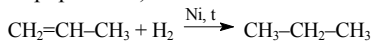
При отщеплении водорода от предельных углеводородов могут образоваться углеводороды ряда этилена – алкены или углеводороды ряда ацетилена – алкины (реакция дегидрирования):



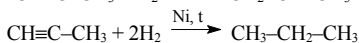
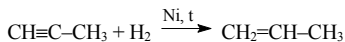
Алкины можно также получить при дегидрировании алкенов:



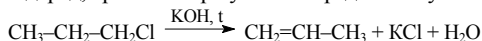
При присоединении водорода к алкенам образуются предельные углеводороды (реакция гидрирования):



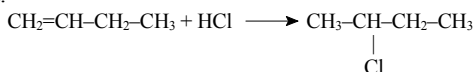
При гидрировании алкинов в зависимости от условий могут образоваться как алкены, так и алканы:



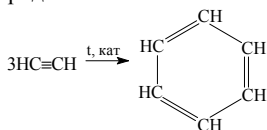
Под действием спиртового раствора щелочи от галогенопроизводных отщепляется галогеноводород, при этом образуются непредельные углеводороды:



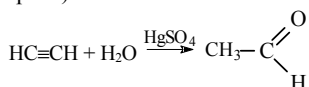
При присоединении галогеноводородов к непредельным углеводородам образуются галогенопроизводные, присоединение протекает по правилу Марковникова:



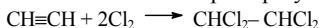
При тримеризации ацетилена образуется бензол – это пример получения ароматического углеводорода из алкина.



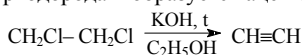
В результате присоединения к ацетилену воды образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова).



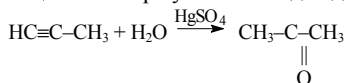
При реакции ацетилена с избытком хлора образуется тетрахлорэтан.



При действии спиртового раствора щелочи на 1,2 дихлорэтан отщепляются две молекулы хлороводорода и образуется ацетилен.



Это единственный пример превращения алкинов в альдегиды! При присоединении воды к гомологам ацетилена образуются не альдегиды, а кетоны:

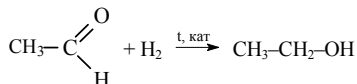


диметилкетон (ацетон)

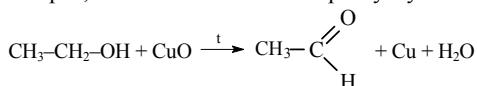
При окислении уксусного альдегида образуется уксусная кислота:




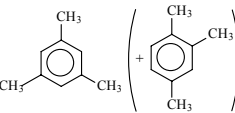
Уксусный альдегид можно также восстановить до этилового спирта:



Можно и наоборот, окислить этиловый спирт в уксусный альдегид:



### Ответ на вопрос № 10

| Характеристика вещества | Ацетилен  | Пропин  |
|-------------------------|---|---|
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_2\text{H}_2$  | $\text{C}_3\text{H}_4$  |
| 2. Структурная формула  | $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$  | $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$   |
| 3. Электронная формула  | $\text{H}\times\text{C}\equiv\text{C}\times\text{H}$  | $\text{H}\times\text{C}\equiv\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}\times\text{H}$   |
| 4. Образование связей   | $\text{H}\rightarrow\text{C}\equiv\text{C}\leftarrow\text{H}$   | $\text{H}\rightarrow\text{C}\equiv\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}\leftarrow\text{H}$  |
| 5. Получение            | $1. \text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_2\uparrow + \text{Ca}(\text{OH})_2$ $2. 2\text{CH}_4 \xrightarrow{t} \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$ $3. \text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{NaNH}_2} \text{NaC}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 \xrightarrow[\text{NaOH}]{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$ | $1. \text{Mg}_2\text{C}_3 + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{C}_3\text{H}_4\uparrow$ $2. \text{CH}_3-\text{CHCl}-\text{CH}_2\text{Cl} + 2\text{KOH} \xrightarrow{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} 2\text{KCl} + \text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| 6. Физические свойства  | газ, мало растворим в воде, без запаха  | газ без запаха, мало растворим в воде   |
| 7. Химические свойства  | 1. Получение циклов<br>$3\text{CH}\equiv\text{CH} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6$    | $3\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 \longrightarrow$   |

|               |   |  |
|---------------|---|--|
|               | <p>2. Реакция Кучерова</p> $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}^+, \text{Hg}^{2+}} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ <p>3. <math>\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CHBr}=\text{CHBr} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CHBr}_2-\text{CHBr}_2</math></p> <p>4. Гидрирование</p> $\text{CH}\equiv\text{CH} + 2\text{H}_2 \xrightarrow{t, \text{кат}} \text{CH}_3-\text{CH}_3$ <p>5. Окисление</p> $\text{CH}\equiv\text{CH} \xrightarrow{[\text{O}]} 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p>6. Реакция с сильными основаниями</p> $\text{CH}\equiv\text{CH} + 2\text{NaNH} \longrightarrow \text{C}_2\text{Na}_2 + 2\text{H}_2 \uparrow$ | $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_3-\text{CBr}=\text{CHBr} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_3-\text{CBr}_2-\text{CBr}_2$ $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 + 2\text{H}_2 \xrightarrow{t, \text{кат}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 \xrightarrow{[\text{O}]} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{OH} + \text{CO}_2$ $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 + \text{NaNH} \longrightarrow \text{CNa} + \text{H}_2 \uparrow$ |
| 9. Применение | <p>1. Получение уксусного альдегида и уксусной кислоты.</p> <p>2. Синтез винилхлорида и поливинилхлорида.</p>   | Исходные вещества для синтеза каучука.   |

### Решение задачи № 1

Зная плотность углеводорода по воздуху, найдем его молярную массу:

$$D_{\text{возд}} = \frac{M(\text{углеводорода})}{29 \text{ г/моль}}$$

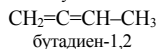
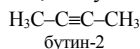
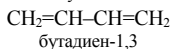
$$M(\text{углеводорода}) = D_{\text{возд}} \cdot 29 \text{ г/моль} = 1,862 \cdot 29 \text{ г/моль} = 54 \text{ г/моль}$$

Масса 1 моль углеводорода равна 54 г. Вычислим массу углерода, содержащегося в 1 моль углеводорода:

$$\omega(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{m(\text{углеводорода})}$$

$$m(\text{углеводорода}) = \omega(\text{C}) \cdot m(\text{углеводорода}) = 0,8889 \cdot 54 \text{ г} = 48 \text{ г}$$

В 1 моль углеводорода содержится 48 г углерода и  $54 - 48 = 6$  г водорода. Молярная масса углерода равна 12, а водорода 1, то есть в 1 моль углеводорода содержится  $48/12 = 4$  моль углерода и 6 моль водорода, формула углеводорода  $\text{C}_4\text{H}_6$ . Этой формуле соответствуют два изомера бутина – бутин-1 и бутин-2, а также два изомера бутадиена – бутадиен-1,3 и бутадиен-1,2:



**Ответ:** формула углеводорода  $\text{C}_4\text{H}_6$ .

## Решение задачи № 2



Вычислим молярную массу карбида кальция:

$$M(\text{CaC}_2) = 40 + 12 \cdot 2 = 64 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества карбида кальция:

$$v(\text{CaC}_2) = \frac{m(\text{CaC}_2)}{M(\text{CaC}_2)} = \frac{51200 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 800 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль карбида кальция образуется 1 моль ацетилена, значит из 800 моль карбида кальция при теоретическом 100% выходе можно получить 800 моль ацетилена. Но выход равен 84%, поэтому можно получить  $0,84 \cdot 800 \text{ моль} = 672 \text{ моль}$ .

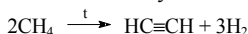
Вычислим объем ацетилена:

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_2) \cdot V_M = 672 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 15052,8 \text{ л} \approx 15,05 \text{ м}^3.$$

**Ответ:** можно получить  $15,05 \text{ м}^3$  ацетилена.

## Решение задачи № 3

Из метана при нагревании можно получить ацетилен:



Вычислим объем метана, содержащегося в природном газе:

$$V(\text{CH}_4) = c(\text{CH}_4) \cdot V(\text{газа}) = 0,96 \cdot 1042 \text{ м}^3 \approx 1000 \text{ м}^3.$$

По уравнению реакции из 2 моль метана образуется 1 моль ацетилена. Воспользуемся следствием из закона Авогадро: для газов объемные отношения при реакциях равны мольным отношениям. Пусть из  $1000 \text{ м}^3$  метана образуется  $x \text{ м}^3$  ацетилена. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{1} = \frac{1000}{x}, \quad x = \frac{1000 \cdot 1}{2} = 500 \text{ м}^3$$

Из 2 моль метана образуется также 3 моль водорода. Пусть из  $1000 \text{ м}^3$  метана образуется  $y \text{ м}^3$  водорода. Составим пропорцию:

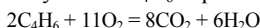
$$\frac{2}{3} = \frac{1000}{y}, \quad y = \frac{1000 \cdot 3}{2} = 1500 \text{ м}^3$$

**Ответ:** можно получить  $500 \text{ м}^3$  ацетилена и  $1500 \text{ м}^3$  водорода.

## Решение задачи № 4

Структурная формула бутина-1:  $\text{HC}\equiv\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Молекулярная формула бутина-1  $\text{C}_4\text{H}_6$ . Уравнение горения бутина-1:



Воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их мольным соотношениям. По уравнению реакции для сжигания 2 моль бутина-1 необходимо 11 моль кислорода. Пусть для сжигания  $1 \text{ м}^3$  бутина-1 необходимо  $x \text{ л}$  кислорода.

Составим пропорцию:

$$\frac{2}{11} = \frac{1}{x}, \quad x = \frac{11 \cdot 1}{2} = 5,5 \text{ м}^3$$

Необходимо  $5,5 \text{ м}^3$  кислорода. В воздухе содержится около 21% кислорода, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания бутана-1:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд}}}, \quad V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{5,5 \text{ л}}{0,21} \approx 26,2 \text{ м}^3$$

**Ответ:** необходимо  $26,2 \text{ м}^3$  воздуха.

## Глава V. Ароматические углеводороды (арены)

### Задачи (стр. 64)

#### Ответ на вопрос № 1

Первоначально ароматические углеводороды были названы так из-за характерного запаха. Сейчас ароматическими называют углеводороды, содержащие в молекуле одно или несколько бензольных колец. Общая формула ароматических углеводородов, в молекуле которых одно бензольное кольцо,  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ .

#### Ответ на вопрос № 2

Экспериментальные данные показывают, что в молекуле бензола примерно 92,3% углерода, как и в молекуле ацетилена. Плотность паров бензола по водороду равна 39, а масса 1 моля – 78 г. Следовательно, молекула бензола состоит из шести атомов углерода и шести атомов водорода, а его молекулярная формула  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

Эксперименты показали, что при повышенной температуре и в присутствии катализаторов к каждой молекуле бензола присоединяются три молекулы водорода и образуется циклогексан.

Это свойство доказывает, что бензол имеет циклическое строение.



#### Ответ на вопрос № 3

Согласно современным представлениям, в молекуле бензола у каждого атома углерода один s- и два p-электронных облака гибридизованы ( $sp^2$ -гибридизация), а одно p-электронное облако негибридное. Все три гибридных электронных облака, не перекрываясь, образуют  $\sigma$ -связи, которые находятся в одной плоскости. Два из них перекрываются друг с другом, а третье – с s-электронным облаком атома водорода. В результате образуются три  $\sigma$ -связи. Негибридные p-электронные облака атомом углерода расположены перпендикулярно плоскости направления  $\sigma$ -связей. В кольце бензола происходит выравнивание всех связей, поэтому молекулу бензола изображают так:





#### Ответ на вопрос № 4

В молекуле бензола атомы углерода находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации, как и в алкенах. У каждого из шести атомов углерода бензольного кольца есть еще по одной р-орбитали, которая может участвовать в образовании  $\pi$ -связи. Всего между шестью атомами углерода могло бы образоваться три  $\pi$ -связи. В результате в бензольном кольце было бы три простых связи между атомами углерода и три двойных связи:

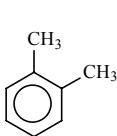


Однако установлено, что все шесть связей в молекуле абсолютно одинаковы. Это объясняется тем, что все шесть р-электронов (по одному от каждого атома углерода) образуют единое электронное облако, которое принадлежит одновременно всем шести атомам углерода (по форме оно выглядит как бублик). Поэтому в структурной формуле бензола обычно не рисуют отдельных двойных связей, а изображают общее для шести атомов углерода электронное облако в виде круга:

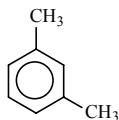


#### Ответ на вопрос № 5

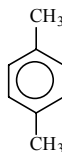
Для ароматических углеводородов характерна изомерия углеродного скелета. Например, формуле  $C_8H_{10}$  соответствует четыре изомера:



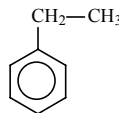
орто-ксилол



мета-ксилол



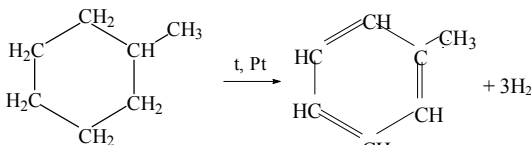
пара-ксилол



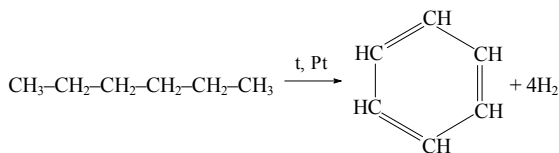
этилбензол

#### Ответ на вопрос № 6

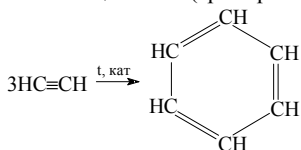
Ароматические углеводороды можно получить при дегидрировании циклоалканов. Например, из метилциклогексана образуется метилбензол (толуол):



Предельные углеводороды также можно дегидрированием превратить в ароматические углеводороды:



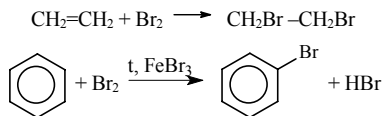
Бензол можно получить из ацетилена (тримеризация ацетилена):



Ароматические углеводороды также получают при коксовании каменного угля.

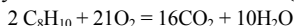
### Ответ на вопрос № 7

Особые свойства ароматических углеводородов объясняются особенностями их строения. Судя по формуле, бензол является циклогексатриеном, то есть в его молекуле должны быть три двойные связи. На самом деле шесть  $\pi$ -электронов образуют одно электронное облако, принадлежащее сразу шести атомам углерода. Поэтому бензол ведет себя так, как будто в его молекуле нет отдельных двойных связей. В отличие от алкенов, для бензола не характерны реакции присоединения. Например, при реакции этилена с бромом в присутствии бромида железа образуется дибромэтан, а из бензола образуется бромбензол, то есть происходит замещение атома водорода на атом брома.



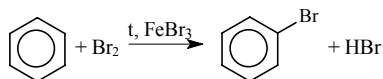
### Ответ на вопрос № 8

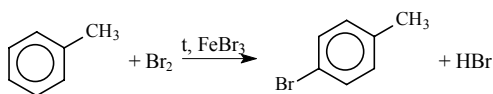
Молекулярная формула ксилолов и этилбензола  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ . Уравнение горения:



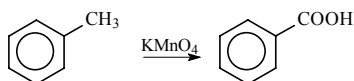
### Ответ на вопрос № 9

1) И бензол, и толуол вступают в реакции замещения. Однако для толуола такие реакции протекают быстрее, чем для бензола. Это объясняется тем, что метальная группа в молекуле толуола оказывает влияние на ароматическое кольцо.





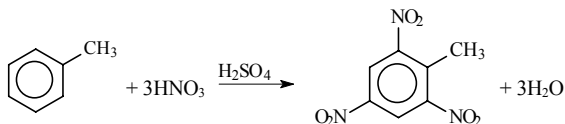
2) Бензол устойчив к окислению. Например, при действии на бензол раствора перманганата калия реакции не происходит. Однако толуол легко окисляется перманганатом калия в бензойную кислоту:



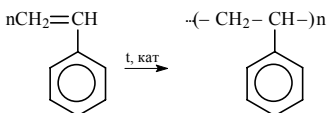
С другой стороны, известно, что предельные углеводороды также не реагируют с раствором перманганата калия. Следовательно, окисление толуола в бензойную кислоту можно объяснить только влиянием бензольного кольца на метальную группу. Эти примеры подтверждают положение теории Бутлерова о том, что атомы и группы атомов в молекулах влияют друг на друга.

### Ответ на вопрос № 10

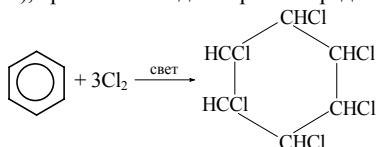
- 1) Бензол, толуол и ксилолы применяются как растворители;
- 2) Из толуола получают 2,4,6-тринитротолуол, применяемый как взрывчатое вещество (тротил):



- 3) При полимеризации стирола (винилбензола) получается пластмасса полистирол:



- 4) В результате присоединения хлора к бензолу образуется гексахлорциклогексан (гексахлоран), применяемый для борьбы с вредителями растений:



- 5) Из бензола получают многие красители и лекарственные вещества.

### Ответ на вопрос № 11

Пестициды – химические средства борьбы с микроорганизмами, растениями и животными.

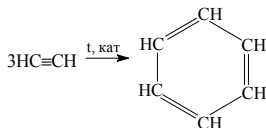
В агрохимической практике применяют инсектициды – средства против вредных насекомых, гербициды – средства для борьбы с сорняками, фунгициды – средства для устранения грибковых заболеваний.

### Ответ на вопрос № 13

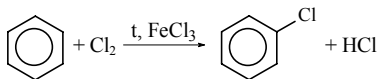
а) Из метана при сильном нагревании можно получить ацетилен:



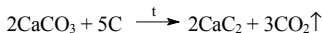
В присутствии катализатора ацетилен превращается в бензол (реакция тримеризации):



Бензол реагирует с хлором в присутствии хлорида железа, при этом образуется хлорбензол:



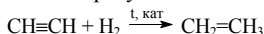
При сильном нагревании карбоната кальция с углеродом образуется карбид кальция:



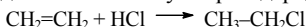
При действии на карбид кальция воды получается ацетилен:



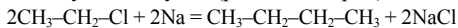
При гидрировании ацетилена в присутствии катализатора образуется этилен:



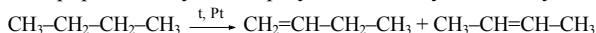
В результате присоединения к этилену хлороводорода образуется хлорэтан:



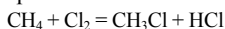
Бутен из хлорэтана можно получить в две стадии. Хлорэтан реагирует с натрием, при этом получается бутан (реакция Вюрца):



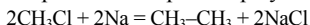
При дегидрировании бутана образуется смесь бутена-1 и бутена-2:



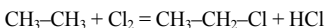
в) Этан из метана можно получить в две стадии. При хлорировании метана на свету образуется хлорметан:



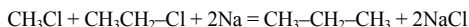
При взаимодействии хлорметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



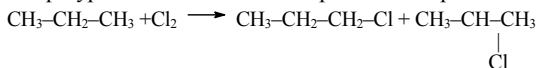
Пропан из этана также можно получить в две стадии. При хлорировании этана образуется хлорэтан:



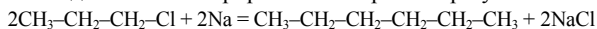
При реакции хлорэтана с хлорметаном в присутствии натрия образуется пропан:



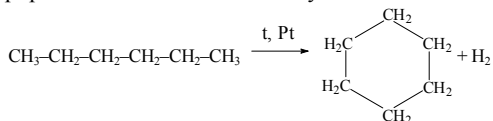
Из пропана в две стадии можно получить гексан. При хлорировании пропана образуется смесь изомеров – 1-хлорпропана и 2-хлорпропана. Изомеры имеют разные температуры кипения и их можно разделить перегонкой.



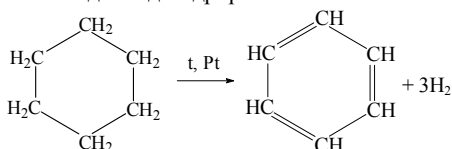
При взаимодействии 1-хлорпропана с натрием образуется гексан:



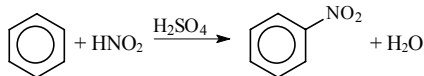
При дегидрировании гексана можно получить циклогексан:



Циклогексан можно далее дегидрировать в бензол:

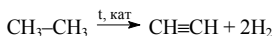


При взаимодействии бензола с азотной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты образуется нитробензол (реакция нитрования):

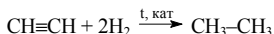


#### Ответ на вопрос № 14

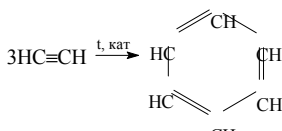
При дегидрировании алканов образуются алкины, например из этана можно получить ацетилен:



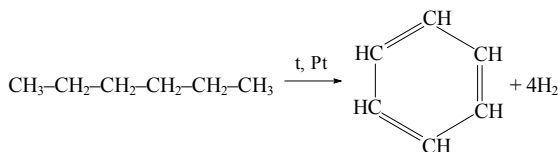
Алкины при гидрировании обратно превращаются в алканы, например ацетилен – в этан:



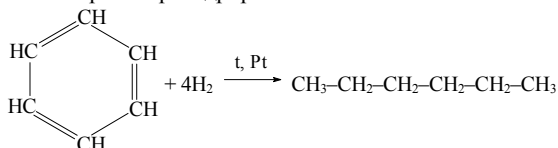
Из ацетилена в присутствии катализатора образуется бензол (реакция тримеризации ацетилена):



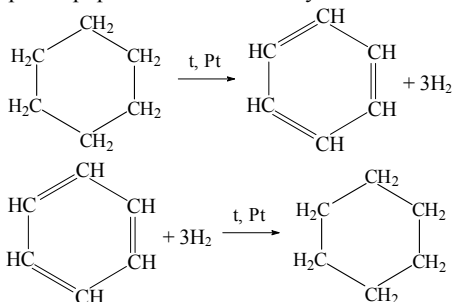
Бензол можно получить при дегидрировании гексана:



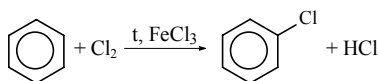
Можно и наоборот – прогидрировать бензол в гексан:



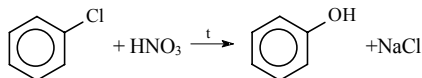
Бензол можно получить также при дегидрировании циклогексана и, наоборот, можно при гидрировании бензола получить циклогексан:



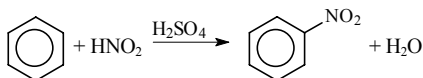
При взаимодействии бензола с галогенами в присутствии катализатора образуются галогенопроизводные бензола. Например, при действии на бензол хлора в присутствии хлорида железа образуется хлорбензол:



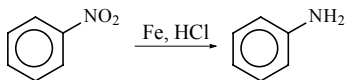
При действии на хлорбензол щелочи при высокой температуре происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и получается фенол:




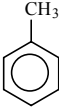
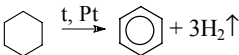
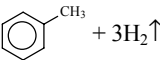
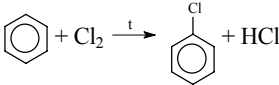
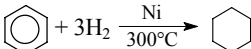
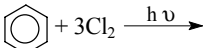
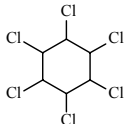
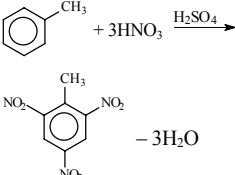
При действии на бензол концентрированной азотной кислоты в присутствии концентрированной серной кислоты происходит замещение атома водорода на нитрогруппу и образуется нитробензол:

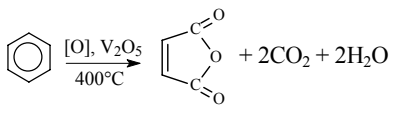
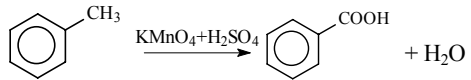
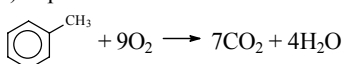


Нитробензол можно восстановить в аминобензол (анилин):



**Ответ на вопрос № 15**

| Характеристика вещества | Бензол   | Толуол   |
|-------------------------|--|--|
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_6\text{H}_6$   | $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$  |
| 2. Структурная формула  |   |   |
| 3. Нахождение в природе | выделяют из нефти или каменного угля   |  |
| 4. Получение            | 1. $3\text{CH}\equiv\text{CH} \xrightarrow{\text{p, t, Сакт.}} \text{C}_6\text{H}_6$<br>2.    | 1. $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{t}} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$<br> |
| 5. Физические свойства  | бесцветная жидкость со своеобразным запахом, нерастворимая в воде; $t_{\text{пл}} = 5,5^\circ\text{C}$   | жидкость с характерным запахом   |
| 6. Химические свойства  | а) Реакция замещения<br><br><br>б) Реакция присоединения<br><br><br> |    |

|               |   |
|---------------|---|
|               | <p>в) Окисление</p>   <p>г) Горение</p>  |
| 7. Применение | <p>а) Синтез красителей и медикаментов.<br/>         б) Производство пластмасс и синтетических волокон.<br/>         в) Получение взрывчатых веществ.<br/>         г) Получение пестицидов.<br/>         д) Используются в качестве растворителей.</p>                                      |

### Решение задачи № 1

Молекулярная формула бензола  $C_6H_6$ . Уравнение реакции горения бензола:  $2C_6H_6 + 15O_2 = 12CO_2 + 6H_2O$

Вычислим массу бензола:

$$m(C_6H_6) = \rho(C_6H_6) \cdot V(C_6H_6) = 0,88 \text{ г/мл} \cdot 1000 \text{ мл} = 880 \text{ г.}$$

Вычислим молярную массу бензола:

$$M(C_6H_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 6 = 78 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества бензола:

$$\nu(C_6H_6) = \frac{m(C_6H_6)}{M(C_6H_6)} = \frac{880 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} \approx 11,3 \text{ моль}$$

По уравнению реакции для сжигания 2 моль бензола необходимо 15 моль кислорода. Пусть для сжигания 11,3 моль бензола необходимо  $x$  моль кислорода.

Составим пропорцию:

$$\frac{2}{15} = \frac{11,3}{x}, \quad x = \frac{11,3 \cdot 15}{2} = 84,75 \text{ моль}$$

Необходимо 84,75 моль кислорода. Вычислим объем кислорода:

$$V(O_2) = \nu(O_2) \cdot V_M = 84,75 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 1898,4 \text{ л.}$$

В воздухе содержится около 21% кислорода, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания бензола:

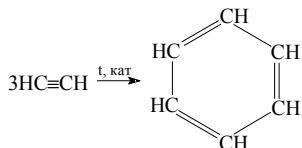
$$c(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_{\text{возд}}}, \quad V_{\text{возд}} = \frac{V(O_2)}{c(O_2)} = \frac{1898,4 \text{ л}}{0,21} = 9040 \text{ л}$$

**Ответ:** необходимо 9040 л воздуха.



## Решение задачи № 2

Уравнение реакции:



Вычислим количество вещества ацетилена:

$$v(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V_M} = \frac{13,44 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,6 \text{ моль}$$

Вычислим молярную массу бензола:  $M(\text{C}_6\text{H}_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 6 = 78 \text{ г/моль}$

По уравнению реакции из 3 моль ацетилена образуется 1 моль бензола.

Пусть из 0,6 моль ацетилена образуется  $x$  моль бензола. Составим пропорцию:

$$\frac{3}{1} = \frac{0,6}{x}, \quad x = \frac{0,6 \cdot 1}{3} = 0,2 \text{ моль}$$

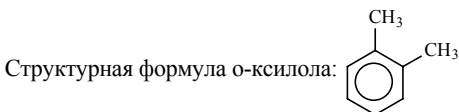
Итак, теоретически можно получить 0,2 моль бензола. Вычислим количество вещества бензола, которое получили практически:

$$v(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{12 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} \approx 0,15 \text{ моль}$$

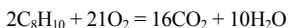
Выход бензола равен  $0,15/0,2 = 0,75$ , или 75%.

**Ответ:** выход бензола равен 75%.

## Решение задачи № 3



Молекулярная формула о-ксилола  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ . Уравнение реакции горения ксилола:



Вычислим молярную массу о-ксилола:

$$M(\text{C}_8\text{H}_{10}) = 12 \cdot 8 + 1 \cdot 10 = 106 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества о-ксилола:

$$v(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_{10})}{M(\text{C}_8\text{H}_{10})} = \frac{10,6 \text{ г}}{106 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 2 моль ксилола получается 16 моль оксида углерода. Пусть из 0,1 моль ксилола получится  $x$  моль оксида углерода. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{16} = \frac{0,1}{x}, \quad x = \frac{0,1 \cdot 16}{2} = 0,8 \text{ моль}$$

Вычислим массу гидроксида натрия в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = c(\text{раствора}) \cdot m(\text{раствора}) = 0,1 \cdot 80 \text{ г} = 8 \text{ г.}$$

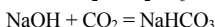
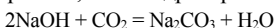
Вычислим молярную массу гидроксида натрия:

$$M(\text{NaOH}) = 23 + 16 + 1 = 40 \text{ г/моль.}$$

Вычислим количество вещества гидроксида натрия:

$$v(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{8 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль}$$

При пропускании через раствор гидроксида натрия оксида углерода может образоваться либо карбонат, либо гидрокарбонат натрия:



Для образования средней соли, карбоната натрия, необходимо 2 моль гидроксида натрия на 1 моль оксида углерода. Для образования кислой соли, гидрокарбоната натрия, нужно 1 моль гидроксида натрия на 1 моль оксида углерода (IV). По условию получается, что на 0,8 моль оксида углерода приходится 0,2 моль гидроксида натрия, то есть на 1 моль гидроксида натрия приходится 4 моль оксида углерода. Значит, оксид углерода находится в избытке даже для образования кислой соли. Образуется гидрокарбонат натрия, расчет его количества ведем по количеству гидроксида натрия. По уравнению из 1 моль гидроксида натрия образуется 1 моль гидрокарбоната натрия, значит из 0,2 моль гидроксида натрия получится 0,2 моль гидрокарбоната натрия. Вычислим молярную массу гидрокарбоната натрия.

$$M(\text{NaHCO}_3) = 23 + 1 + 12 + 16 \cdot 3 = 84 \text{ г/моль}$$

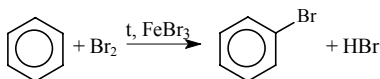
Вычислим массу гидрокарбоната натрия:

$$m(\text{NaHCO}_3) = v(\text{NaHCO}_3) \cdot M(\text{NaHCO}_3) = 0,2 \text{ моль} \cdot 84 \text{ г/моль} = 16,8 \text{ г.}$$

**Ответ:** образовалось 16,8 г гидрокарбоната натрия  $\text{NaHCO}_3$ .

#### Решение задачи № 4

Уравнение реакции:



Молекулярная формула бензола  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Вычислим молярную массу бензола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 6 = 78 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества бензола:

$$v(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{39 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль бензола образуется 1 моль бромбензола и 1 моль бромоводорода, значит из 0,5 моль бензола получится 0,5 моль бромбензола и 0,5 моль бромоводорода. Молекулярная формула бромбензола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$ . Вычислим молярную массу бромбензола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 5 + 80 = 157 \text{ г/моль.}$$

Вычислим массу бромбензола.

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = v(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 0,5 \text{ моль} \cdot 157 \text{ г/моль} = 78,5 \text{ г.}$$

Вычислим молярную массу бромоводорода:  $M(\text{HBr}) = 1 + 80 = 81 \text{ г/моль}$

Вычислим массу бромоводорода:

$$m(\text{HBr}) = \nu(\text{HBr}) \cdot M(\text{HBr}) = 0,5 \text{ моль} \cdot 81 \text{ г/моль} = 40,5 \text{ г.}$$

Ответ: получится 78,5 г бромбензола и 40,5 г бромоводорода.

Вычислим массу использованного брома:

$$m_{\text{ост}}(\text{Br}_2) = m_{\text{нач}}(\text{Br}_2) - m_{\text{использованного}}(\text{Br}_2) = 80 \text{ г.}$$

Ответ: получится 78,5 г бромбензола, 40,5 г бромоводорода и 80 г брома.

## Глава VI. Природные источники углеводов и их переработка

### Задачи к §§1-5 (стр. 74)

#### Ответ на вопрос № 1

Основные природные источники углеводов – природный газ, нефть и попутные нефтяные газы, каменный уголь.

#### Ответ на вопрос № 2

Основной компонент природного газа – метан, его в природном газе обычно содержится не менее 90%. Кроме того, в природном газе есть небольшие количества этана, пропана, бутана и изобутана.

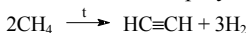
Состав природного газа:  $\text{CH}_4$  – 90%,  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 3%,  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 1%, другое – 6%.

#### Ответ на вопрос № 3

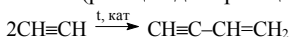
Природный газ дешев, а при его сгорании выделяется много тепла, поэтому он является наиболее выгодным топливом. Из метана, содержащегося в природном газе, получают ацетилен и водород. Ацетилен затем используют для производства этилена и полиэтилена, уксусного альдегида и уксусной кислоты.

Ответ на вопрос № 4

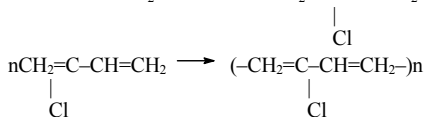
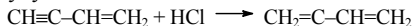
а) При сильном нагревании из метана образуется ацетилен:



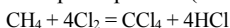
б) В присутствии катализатора из двух молекул ацетилена образуется одна молекула винилацетилена (реакция димеризации):



При присоединении к винилацетилену хлороводорода образуется 2-хлорбутадиен-1,3 (хлоропрен), при полимеризации которого образуется хлоропреновый каучук.



в) При полном хлорировании метана, то есть при замещении всех атомов водорода на хлор, образуется тетрахлорметан (четырёххлористый углерод):



### **Ответ на вопрос № 5**

В попутных нефтяных газах содержится меньше метана, чем в природном газе, но больше гомологов метана, в том числе пентан и гексан.

### **Ответ на вопрос № 6**

Попутные нефтяные газы разделяют на следующие фракции:

- 1) Сухой газ – по составу похож на природный газ.
- 2) Пропаново-бутановая фракция – смесь пропана и бутана.
- 3) Газовый бензин – смесь изомеров пентана и гексана.

### **Ответ на вопрос № 7**

В связи с постепенным истощением запасов нефти возрастает добыча природного газа, запасы которого больше, а добыча экономически более выгодна. Возрастает также добыча каменного угля.

### **Ответ на вопросы № 8-9**

Основные нефтепродукты:

- 1) Бензин состоит из смеси изомеров углеводородов от пентана  $C_5H_{12}$  до додекана  $C_{12}H_{26}$ . Бензин применяют как топливо для автомобильных двигателей.
- 2) Лигроин содержит углеводороды от октана  $C_8H_{18}$  до тетрадекана  $C_{14}H_{30}$  и также применяется как горючее для двигателей.
- 3) Керосин состоит из углеводородов от додекана  $C_{12}H_{26}$  до гексадекана  $C_{16}H_{34}$  и применяется как горючее для реактивных двигателей.
- 4) Газойль состоит из углеводородов от пентадекана  $C_{15}H_{32}$  до эйкозана  $C_{20}H_{42}$  и применяется как дизельное топливо.
- 5) Мазут содержит углеводороды с числом атомов углерода более 20. Его применяют как топливо для электростанций и котельных. Кроме того, из мазута при дальнейшей перегонке получают смазочные масла, вазелин, парафин. Остатки после перегонки – гудрон – используют в строительстве.

### **Ответ на вопрос № 10**

В производстве используются следующие смазочные масла: автотракторные, авиационные, индустриальные.

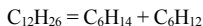
### **Ответ на вопрос № 11**

Перегонка нефти осуществляется в установке, которая состоит из трубчатой печи 1, ректификационной колонны 2 и холодильника 3. В печи находится змеевик (трубопровод). По трубопроводу непрерывно подается нефть, где она нагревается до 320–350 °С и в виде смеси жидкости и паров поступает в ректификационную колонну (стальной цилиндрический аппарат высотой около 40 м). Внутри она имеет горизонтальные перегородки с отверстиями, так называемые тарелки. Пары нефти подаются в колонну и через отверстия поднимаются вверх, при этом они постепенно охлаждаются и сжижаются. Менее летучие углеводороды конденсируются уже на первых тарелках, образуя газойлевую фракцию. Выше собирается керосин, а затем – лигроин. Наиболее летучие углеводороды выходят в виде паров из колонны и сжижаются, образуя бензин. Часть бензина подается обратно в колонну

для орошения поднимающихся паров. Это способствует охлаждению и конденсации соответствующих углеводородов. Главный недостаток перегонки нефти – малый выход бензина (не более 20%).

#### **Ответ на вопрос № 12**

Крекинг называется процесс расщепления молекул углеводородов на молекулы углеводородов с меньшим числом атомов углерода. Из октана образуется смесь бутана и бутена, а из додекана смесь гексана и гексена:



Эта схема является упрощенной, на самом деле образуются более сложные смеси продуктов.

#### **Ответ на вопрос № 13**

В нефти содержится много углеводородов с различным числом атомов углерода в молекуле. Бензин состоит из смеси изомеров углеводородов от пентана  $C_5H_{12}$  до додекана  $C_{12}H_{26}$ , на которые приходится около 20%. Остальные составляют углеводороды с числом атомов углерода более 12.

#### **Ответ на вопрос № 14**

Ответ. В процессе перегонки нефти происходит просто разделение углеводородов с различными температурами кипения, то есть это физический процесс. При крекинге происходит также расщепление молекул углеводородов на молекулы углеводородов с меньшим числом атомов углерода, то есть это химический процесс.

#### **Ответ на вопрос № 15**

Термический крекинг происходит при сильном нагревании, а каталитический проводится в присутствии катализатора и благодаря этому можно применять более низкую температуру. В бензине термического крекинга содержатся в основном углеводороды с неразветвленной цепью. Кроме того, в нем много непредельных углеводородов.

В бензине каталитического крекинга содержатся главным образом предельные углеводороды, причем в основном это углеводороды с разветвленными цепями.

Поэтому бензин каталитического крекинга обладает большей детонационной стойкостью (из-за наличия разветвленных углеводородов) и большей устойчивостью к окислению (из-за меньшего содержания непредельных углеводородов) и является поэтому более ценным топливом.

#### **Ответ на вопрос № 16**

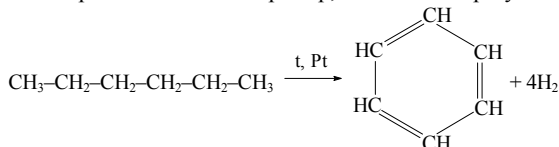
В крекинг-бензине содержится много непредельных углеводородов (особенно если это бензин термического крекинга). Поэтому, если добавить к крекинг-бензину бромной воды и хорошо встряхнуть (поскольку бензин с водой не смешивается, но бром в бензине растворим лучше, чем в воде), то бромная вода обесцветится, так как произойдет реакция присоединения брома к алкенам.

### Ответ на вопрос № 17

При термическом крекинге образуется довольно много газообразного этилена, который может быть использован для производства полиэтилена, этилового спирта, этиленгликоля.

### Ответ на вопрос № 18

При сильном нагревании в присутствии катализатора происходит ароматизация нефти, то есть превращение содержащихся в нефти предельных углеводородов в ароматические. Например, из гексана образуется бензол:



Кроме того, происходят те же процессы, что и при крекинге, то есть превращение углеводородов с длинными цепями в углеводороды с меньшим числом атомов углерода

Они затем также превращаются в ароматические углеводороды. Таким образом, основными продуктами являются ароматические углеводороды:

### Ответ на вопрос № 19

При коксовании угля, то есть при сильном нагревании без доступа воздуха, получают следующие основные продукты:

- 1) Коксовый газ, содержащий метан, водород, аммиак, этилен, пары бензола и толуола.
- 2) Каменноугольную смолу, содержащую бензол, толуол, ксилолы, другие гомологи бензола, нафталин, фенол.
- 3) Надсмольную воду, содержащую аммиак и фенол.
- 4) Кокс, представляющий собой практически чистый углерод.

### Ответ на вопрос № 20

Кокс представляет остаток после коксования, то есть сильного нагревания без доступа воздуха, каменного угля. Кокс представляет собой практически чистый углерод и применяется в металлургии для восстановления металлов из руд.

### Ответ на вопрос № 21

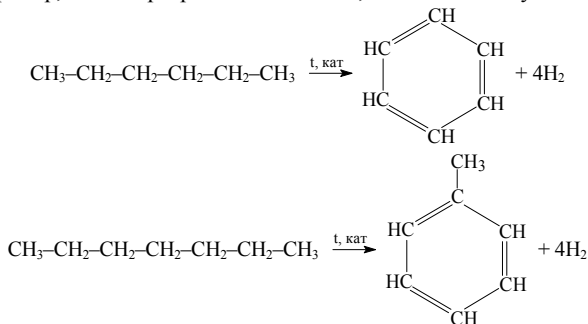
а) Из каменноугольной смолы выделяют бензол, толуол, ксилолы, другие гомологи бензола, нафталин, фенол. Ароматические углеводороды применяются как растворители. Бензол, толуол, фенол применяются для производства лекарственных веществ, красителей, взрывчатых веществ.

б) Из надсмольной воды выделяют фенол, а также аммиак, применяющийся для производства удобрений.

в) Из коксового газа получают метан, водород, аммиак, этилен. Аммиак используется для производства удобрений. Этилен используют для получения полиэтилена, этилового спирта, этиленгликоля.

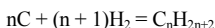
### Ответ на вопрос № 22

Получение ароматических углеводородов из каменноугольной смолы состоит просто в их выделении в чистом состоянии. Из нефти ароматические углеводороды получают в результате ароматизации предельных углеводородов. Например, гексан превращается в бензол, а гептан – в толуол:

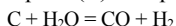


### Ответ на вопрос № 25

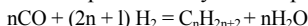
1) Возможно осуществить непосредственное гидрирование угля, то есть взаимодействие углерода с водородом. При этом образуется смесь предельных углеводородов:



2) При пропускании водяного пара через раскаленный уголь образуется водяной газ – смесь оксида углерода (II) водорода:

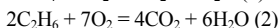


Из водяного газа при повышенной температуре и в присутствии катализатора можно получить смесь предельных углеводородов:



### Решение задачи № 1

Из всех компонентов газа горят метан, этан и пропан:



Вычислим объем метана, этана и пропана:

$$V(\text{CH}_4) = c(\text{CH}_4) \cdot V_{\text{газ}} = 0,9 \cdot 1 \text{ м}^3 = 0,9 \text{ м}^3 \quad (1)$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) = c(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot V_{\text{газ}} = 0,05 \cdot 1 \text{ м}^3 = 0,05 \text{ м}^3 \quad (2)$$

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = c(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot V_{\text{газ}} = 0,03 \cdot 1 \text{ м}^3 = 0,03 \text{ м}^3 \quad (3)$$

Для решения воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их молярным соотношениям. По уравнению реакции (1) для сжигания 1 моль метана необходимо 2 моль кислорода. Пусть для сжигания 0,9 м<sup>3</sup> метана нужно x м<sup>3</sup> кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{0,9}{x}, \quad x = \frac{0,9 \cdot 2}{1} = 1,8 \text{ м}^3$$

По уравнению реакции (2) для сжигания 2 моль этана необходимо 7 м<sup>3</sup> кислорода. Пусть для сжигания 0,05 м<sup>3</sup> этана нужно у м<sup>3</sup> кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{7} = \frac{0,05}{y}, \quad y = \frac{0,05 \cdot 7}{2} = 0,175 \text{ м}^3$$

По уравнению реакции (2) для сжигания 1 моль пропана необходимо 5 моль кислорода. Пусть для сжигания 0,03 м<sup>3</sup> пропана нужно z м<sup>3</sup> кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{5} = \frac{0,03}{z}, \quad z = \frac{0,03 \cdot 5}{1} = 0,15 \text{ м}^3$$

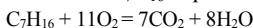
Таким образом, для сжигания газа необходимо  $1,8 + 0,175 + 0,15 = 2,125$  м<sup>3</sup> кислорода. В воздухе содержится примерно 21% кислорода по объему, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания газа:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд.}}}, \quad V_{\text{возд.}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{2,125 \text{ м}^3}{0,21} \approx 10,12 \text{ м}^3$$

**Ответ:** необходимо 10,12 м<sup>3</sup> воздуха.

### Решение задачи № 2

Молекулярная формула гептана C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>. Уравнение сгорания гептана:



Вычислим молярную массу гептана:

$$M(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 12 \cdot 7 + 1 \cdot 16 = 100 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества гептана:

$$v(\text{C}_7\text{H}_{14}) = \frac{m(\text{C}_7\text{H}_{14})}{M(\text{C}_7\text{H}_{14})} = \frac{1000 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 10 \text{ моль}$$

По уравнению реакции для сжигания 1 моль гептана необходимо 11 моль кислорода. Для решения воспользуемся следствием из закона Авогадро: объемные соотношения газов равны их молярным соотношениям. По уравнению реакции для сжигания 1 моль гептана необходимо 11 моль кислорода. Пусть для сжигания 10 моль гептана нужно x моль кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{11} = \frac{10}{x}, \quad x = \frac{11 \cdot 10}{1} = 110 \text{ моль}$$

Вычислим объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot V_M = 110 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 2464 \text{ л.}$$

Таким образом, для сжигания гептана необходимо 2464 л кислорода. В воздухе содержится примерно 21% кислорода по объему, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания гептана:

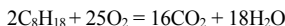
$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд.}}}, \quad V_{\text{возд.}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{2464 \text{ л}}{0,21} \approx 11700 \text{ л} = 11,7 \text{ м}^3$$

**Ответ:** необходимо 11,7 м<sup>3</sup> воздуха.

### Решение задачи № 3

Молекулярная формула октана C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. Уравнение сгорания октана:





По уравнению реакции из 2 моль октана образуется 16 моль оксида углерода (IV). Пусть из 5 моль октана получится  $x$  моль оксида углерода (IV). Составим пропорцию:

$$\frac{2}{16} = \frac{5}{x}, \quad x = \frac{16 \cdot 5}{2} = 40 \text{ моль}$$

Вычислим молярную массу оксида углерода (IV):

$$m(CO_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу оксида углерода (IV):

$$m(CO_2) = \nu(CO_2) \cdot M(CO_2) = 40 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 1760 \text{ г} = 1,76 \text{ кг.}$$

Вычислим объем оксида углерода (IV):

$$V(CO_2) = \nu(CO_2) \cdot V_M = 40 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 896 \text{ л.}$$

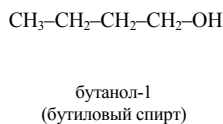
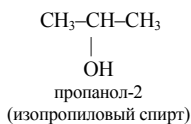
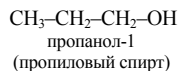
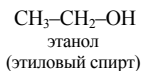
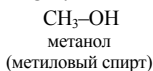
**Ответ:** получится 896 л, или 1,76 кг оксида углерода (IV).

## Глава VII. Спирты и фенолы

### Задачи к §1 (стр. 85)

#### Ответ на вопрос № 1

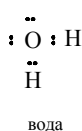
Спиртами называются производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на гидроксильные группы OH.



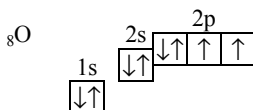
#### Ответ на вопрос № 2

На основе элементарного анализа спирта можно определить соотношение между C : H : O. Зная плотность паров спирта по водороду, можно вывести и молекулярную формулу спирта.

#### Ответ на вопрос № 3



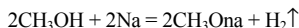
В молекуле воды химические связи между атомами водорода и кислорода образуются за счет перекрывания 1s-орбиталей атомов водорода и 2p-орбиталей атома кислорода.



В молекулах спиртов связь между атомом водорода гидроксильной группы и атомом кислорода образуется точно так же – за счет перекрывания 1s-орбиталей атома водорода и одной из 2p-орбиталей атома кислорода. Вторая p-орбиталь атома кислорода перекрывается с гибридной  $sp^3$ -орбиталью атома углерода, за счет чего образуется связь C–O.

#### Ответ на вопрос № 4

Атом водорода, связанный с атомом кислорода гидроксильной группы, является более подвижным, то есть он легко замещается, например, на атом натрия:

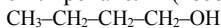


Это объясняется тем, что электроотрицательность кислорода намного больше электроотрицательности углерода, следовательно связь O–H является более полярной, чем связь C–H, и легче разрывается.

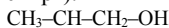
#### Ответ на вопрос № 5

Для спиртов характерны два вида изомерии:

1) Изомерия углеродного скелета, например бутанол-1 (бутиловый спирт) и 2-метилпропанол-1 (изобутиловый спирт):



бутанол-1

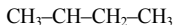


2-метилпропанол-1

2) Изомерия положения гидроксильной группы, например, бутанол-1 и бутанол-2 (вторичный бутиловый спирт):

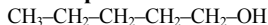


бутанол-1

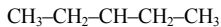


бутанол-2

#### Ответ на вопрос № 6



пентанол-1

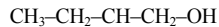


пентанол-3



OH

пентанол-2



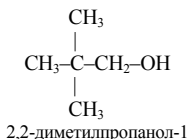
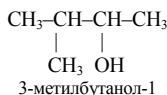
2-метилбутанол-1



3-метилбутанол-1

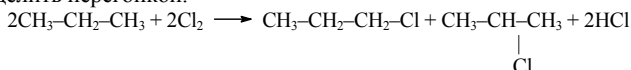


2-метилбутанол-2

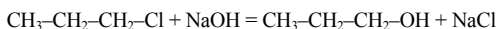


### Ответ на вопрос № 7

При хлорировании пропана образуется смесь изомеров – 1-хлорпропана и 2-хлорпропана. Изомеры имеют и разные температуры кипения и их можно разделить перегонкой.

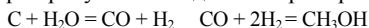


При взаимодействии 1-хлорпропана с водным раствором щелочи происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и образуется пропанол-1:

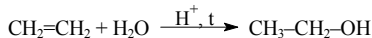


### Ответ на вопрос № 8

Метанол получают из водяного газа – смеси водорода и оксида углерода (II), образующейся при пропускании водяного пара через раскаленный уголь.



Этанол получают в основном гидратацией этилена – присоединением воды к этилену в присутствии кислот:



Этанол получают также при спиртовом брожении глюкозы, получаемой при гидролизе крахмала или целлюлозы:



### Ответ на вопрос № 10

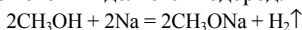
Водородная связь – особый вид химической связи. Водородная связь образуется, например, между молекулами воды. Электроотрицательность кислорода намного выше, чем электроотрицательность водорода. Поэтому электроны, образующие связь O–H, смещены к атому кислорода. В результате на атоме водорода образуется положительный заряд, а на атоме кислорода – отрицательный. Разноименные заряды притягиваются друг к другу, поэтому между молекулами воды образуется водородная связь за счет этих сил притяжения. Прочность водородной связи намного меньше, чем обычной химической связи.

### Ответ на вопрос № 11

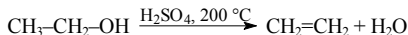
В спиртах между молекулами образуется водородная связь, поэтому молекулы удерживаются вместе гораздо сильнее, чем молекулы углеводов. Поэтому для того, чтобы перевести спирты в газообразное состояние, необходимо затратить гораздо больше энергии, то есть нагреть до более высокой температуры, чем углеводороды.

### Ответ на вопрос № 12

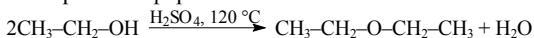
1) Атом водорода гидроксильной группы легко замещается на атомы щелочных металлов, при этом выделяется водород:



2) При сильном нагревании происходит дегидратация спиртов и образуются алкены:



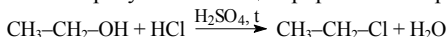
3) При более осторожном нагревании происходит межмолекулярная дегидратация, то есть одна молекула воды отщепляется от двух молекул спирта и образуются простые эфиры:



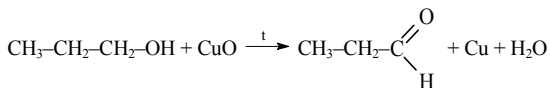
4) Спирты в присутствии катализаторов – неорганических кислот – реагируют с карбоновыми кислотами с образованием сложных эфиров:



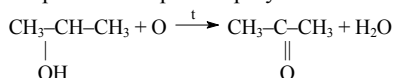
5) Спирты реагируют с галогеноводородами, при этом происходит замещение гидроксильной группы на атом галогена. Для большинства спиртов эта реакция протекает в присутствии концентрированной серной кислоты.



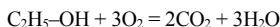
6) Первичные спирты окисляются оксидам меди при нагревании, при этом образуются альдегиды:



При окислении вторичных спиртов образуются кетоны:

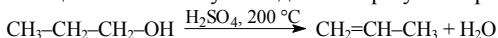


7) Как и все органические вещества, спирты горят с образованием оксида углерода (IV) и воды:

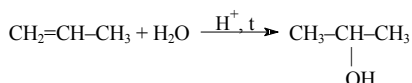


### Ответ на вопрос № 13

При нагревании пропанола-1 в присутствии серной кислоты происходит дегидратация – отщепление молекулы воды – и образуется пропилен.



При присоединении воды к пропилену по правилу Марковникова образуется пропанол-2:



#### Ответ на вопрос № 14

Метанол широко применяется в химической промышленности как растворитель. Этанол применяют в пищевой и парфюмерно-косметической промышленности, в лакокрасочной и химической промышленности как растворитель. Из этанола также получают уксусную кислоту.

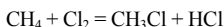
#### Ответ на вопрос № 15

Метанол – сильный яд, его прием внутрь вызывает слепоту и затем смерть. Опасно также вдыхание паров метанола.

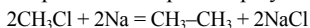
Этанол обладает наркотическим действием на организм. Постоянное употребление алкоголя приводит к привыканию к нему и возникновению наркотической зависимости (алкоголизм). Постоянный прием алкоголя приводит к заболеваниям различных органов – печени, почек, органов пищеварения. Прием внутрь очень больших количеств этанола может привести к смертельному исходу.

#### Ответ на вопрос № 16

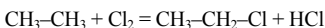
а) Этан из метана можно получить в две стадии. При хлорировании метана образуется хлорметан:



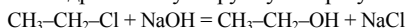
При взаимодействии хлорметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



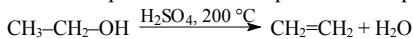
Из этана в две стадии можно получить этанол. При хлорировании этана образуется хлорэтан:



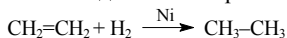
При действии на хлорэтан водного раствора щелочи происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и образуется этанол.



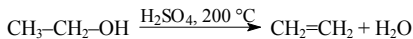
Этан из этанола можно получить также в две стадии. При нагревании этанола с серной кислотой происходит дегидратация и образуется этилен:



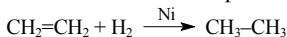
При гидрировании этилена над катализатором образуется этан:



б) При нагревании этанола с серной кислотой происходит дегидратация и образуется этилен:



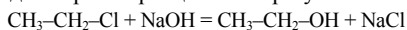
При гидрировании этилена над катализатором образуется этан:



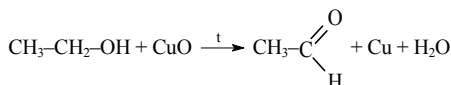
При хлорировании этана образуется хлорэтан:



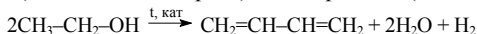
Из хлорэтана в две стадии можно получить уксусный альдегид. При действии на хлорэтан водного раствора щелочи образуется этанол.



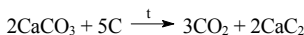
При нагревании этанол окисляется оксидом меди в уксусный альдегид:



в) Бутадиен можно получить непосредственно из этилового спирта при нагревании в присутствии катализатора, при этом происходит одновременное дегидрирование (отщепление водорода) и дегидратация (отщепление воды):



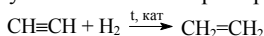
г) При сильном нагревании карбоната кальция с углеродом образуется карбид кальция:



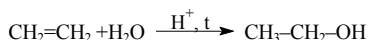
При действии на карбид кальция водой получается ацетилен:



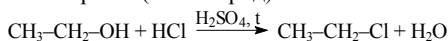
Этиловый спирт из ацетилена можно получить в две стадии. При гидрировании ацетилена в присутствии катализатора образуется этилен:



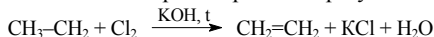
При присоединении к этилену воды в присутствии кислот образуется этиловый спирт.



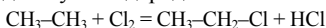
При обработке этилового спирта хлороводородом в присутствии серной кислоты образуется хлорэтан (этилхлорид).



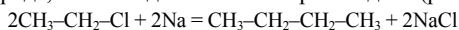
При действии на этилхлорид спиртового раствора щелочи при нагревании происходит отщепление хлороводорода и образуется этилен.



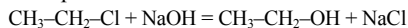
При взаимодействии предельных углеводородов с галогенами образуются галогенопроизводные углеводородов:



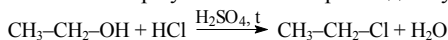
Галогенопроизводные углеводородов реагируют с натрием, при этом образуются предельные углеводороды, содержащие в молекуле вдвое больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное (реакция Вюрца):



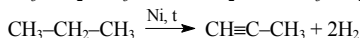
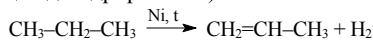
При действии на галогенопроизводные углеводородов водного раствора щелочи образуются спирты:



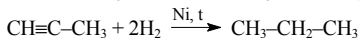
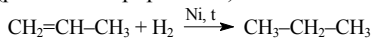
При взаимодействии спиртов с галогеноводородами в присутствии концентрированной серной кислоты образуются галогенопроизводные углеводородов:



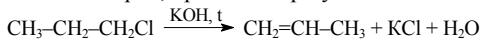
При отщеплении водорода от предельных углеводородов могут образоваться углеводороды ряда этилена – алкены или углеводороды ряда ацетилена – алкины (реакция дегидрирования):



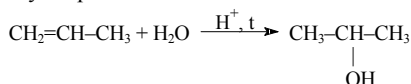
При присоединении водорода к алкенам и алкинам образуются предельные углеводороды (реакция гидрирования):



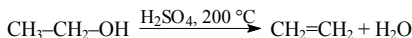
Под действием спиртового раствора щелочи от галогенопроизводных отщепляется галогеноводород, при этом образуются алкены:



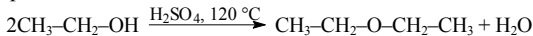
При присоединении к алкенам воды образуются спирты, реакция также протекает по правилу Марковникова.



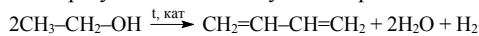
При сильном нагревании спиртов с серной кислотой происходит дегидратация и образуются алкены:



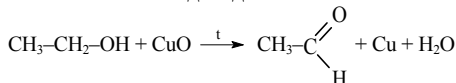
При более слабом нагревании в результате дегидратации образуются простые эфиры:



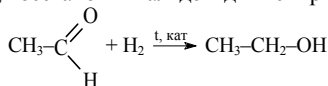
Можно осуществить одновременно дегидрирование и дегидратацию спиртов, при этом образуются диеновые углеводороды:



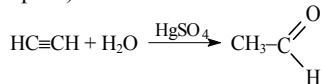
Спирты можно окислить в альдегиды:



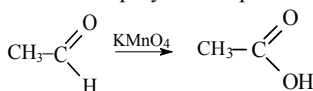
Можно, наоборот, восстановить альдегиды в спирты:



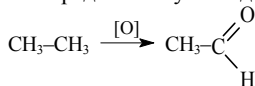
В результате присоединения к ацетилену воды образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова).



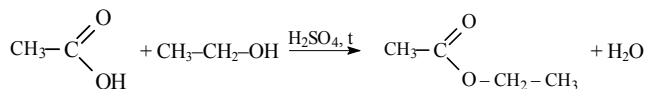
При окислении альдегидов образуются карбоновые кислоты:



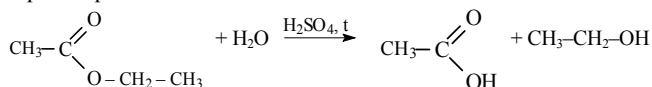
Получение альдегидов из предельных углеводородов:



При взаимодействии спиртов и карбоновых кислот в присутствии катализатора, например серной кислоты, образуются сложные эфиры.



Если нагреть смесь сложного эфира и воды в присутствии серной кислоты, то протекает обратная реакция – гидролиз сложного эфира – и образуются спирт и карбоновая кислота.



### Ответ на вопрос № 18

| Характеристика вещества                              | Этанол   | Метанол   |
|--|--|---|
| 1. Молекулярная формула                              | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  | $\text{CH}_3\text{OH}$  |
| 2. Структурная формула                               | $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$  | $\text{CH}_3-\text{OH}$   |
| 3. Электронная формула                               | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \cdot \text{C} \cdot \text{C} \cdot \text{Ox} + \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} \cdot \text{C} \cdot \text{Ox} + \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ |
| 4. Получение<br>I. Промышленность<br>II. Лаборатория | а) $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[t, \text{p. H}^+]{}$<br>$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$<br>б) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2 \uparrow$<br>а) $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} + \text{KOH} \longrightarrow \text{KBr} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$   |   |
| 5. Физические свойства                               | жидкость, неограниченно растворимая в воде   | ядовитая жидкость, неограниченно растворимая в воде   |
| 6. Химические свойства                               | 1) Взаимодействие с щелочными металлами<br>$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{Na} \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2 \uparrow$<br>2) Взаимодействие с кислотами<br>$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{HCl} \xrightarrow[t, \text{H}_2\text{SO}_4]{}$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$<br>$\text{CH}_3\text{OH} + \text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4}$ $\text{CH}_3-\text{O}-\text{NO}_2-\text{H}_2\text{O}$<br>3) Реакция окисления<br>$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \xrightarrow[t]{\text{KMnO}_4}$ $\text{H}_2\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}$<br>4) Реакция дегидратации<br>$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \xrightarrow[t]{\text{H}^+}$ $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$ |   |

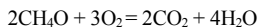


|               |   |   |
|---------------|---|---|
| 7. Применение | 1. Производство синтетических каучуков.<br>2. Растворитель.<br>3. Получение уксусной кислоты и сложных эфиров | 1. Производство формальдегида.<br>2. Получение уксусной кислоты.<br>3. Растворитель |
|---------------|---|---|

### Решение задачи № 1

Формула метанола  $\text{CH}_3\text{-OH}$ . Молекулярная формула метанола  $\text{CH}_4\text{O}$ .

Уравнение реакции горения метанола:



Вычислим массу метанола:

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = \rho(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot V(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,8 \text{ г/мл} \cdot 1000 \text{ мл} = 800 \text{ г.}$$

Вычислим молярную массу метанола:

$$M(\text{CH}_3\text{OH}) = 12 + 1 \cdot 4 + 16 = 32 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества метанола:

$$v(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{OH})}{M(\text{CH}_3\text{OH})} = \frac{800 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 25 \text{ моль}$$

По уравнению реакции для сгорания 2 моль метанола необходимо 3 моль кислорода. Пусть для сжигания 25 моль метанола нужно  $x$  моль кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{3} = \frac{25}{x}, \quad x = \frac{25 \cdot 3}{2} = 37,5 \text{ моль}$$

Вычислим объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot V_M = 37,5 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 840 \text{ л}$$

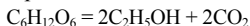
В воздухе содержится около 21% кислорода, или 0,21. Вычислим объем воздуха, необходимый для сжигания метанола:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд.}}}, \quad V_{\text{возд.}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{840 \text{ л}}{0,21} = 4000 \text{ л} = 4 \text{ м}^3$$

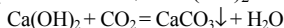
**Ответ:** необходимо  $4 \text{ м}^3$  воздуха.

### Решение задачи № 2

Уравнение спиртового брожения глюкозы:



При пропускании оксида углерода (IV) через раствор гидроксида кальция выпадает осадок карбоната кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



Вычислим молярную массу карбоната кальция:

$$M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 16 \cdot 3 = 100 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества карбоната кальция:

$$v(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{10 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (2) из 1 моль оксида углерода (IV) образуется 1 моль карбоната кальция, значит для получения 0,1 моль карбоната кальция должно прореагировать 0,1 моль оксида углерода (IV).

По уравнению реакции (1) из 1 моль глюкозы получается 2 моль оксида углерода (IV). Пусть для получения 0,1 моль оксида углерода (IV) необходимо  $x$  моль глюкозы. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{x}{0,1}, \quad x = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ моль}$$

Вычислим молярную массу глюкозы:

$$M(C_6H_{12}O_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу глюкозы:

$$m(C_6H_{12}O_6) = \nu(C_6H_{12}O_6) \cdot M(C_6H_{12}O_6) = 0,05 \text{ моль} \cdot 180 \text{ г/моль} = 9 \text{ г.}$$

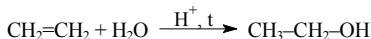
Вычислим массовую долю глюкозы в растворе:

$$c(\text{глюкозы}) = \frac{m(\text{глюкозы})}{m(\text{раствора})} \cdot 100\% = \frac{9 \text{ г}}{100 \text{ г}} \cdot 100\% = 9\%$$

**Ответ:** массовая доля глюкозы в растворе равна 9%.

### Решение задачи № 3

В присутствии кислот вода присоединяется к этилену с образованием этилового спирта:



Вычислим количество вещества этилена:

$$\nu(CH_2=CH_2) = \frac{V(CH_2=CH_2)}{V_M} = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 44640 \text{ моль}$$

Вычислим молярную массу этилового спирта:

$$M(C_2H_5OH) = 12 \cdot 2 + 6 \cdot 1 + 16 = 46 \text{ г/моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль этилена образуется 1 моль спирта, значит из 44640 моль этилена образуется 44640 моль спирта. Молярная масса этилового спирта равна 46 г/моль, вычислим массу спирта:

$$m(C_2H_5OH) = \nu(C_2H_5OH) \cdot M(C_2H_5OH) = 44640 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 2053600 \text{ г} = 2053,6 \text{ кг.}$$

Массовая доля спирта в растворе равна 96%, или 0,96. Вычислим массу раствора спирта:

$$c(C_2H_5OH) = \frac{m(C_2H_5OH)}{m(\text{раствора})},$$

$$m(\text{раствора}) = \frac{m(C_2H_5OH)}{c(C_2H_5OH)} = \frac{2053,6 \text{ кг}}{0,96} = 2139,2 \text{ кг}$$

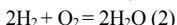
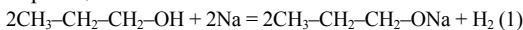
Плотность раствора этилового спирта равна 0,8 г/мл = 0,8 кг/л, вычислим объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = \frac{m(\text{раствора})}{\rho(\text{раствора})} = \frac{2139,2 \text{ кг}}{0,8 \text{ кг/л}} = 2674 \text{ л}$$

**Ответ:** можно получить 2674 л раствора этилового спирта.

### Решение задачи № 4

Уравнения реакций:



В воздухе содержится примерно 21% кислорода. Вычислим объем кислорода, израсходованного при сжигании водорода:

$$V(\text{O}_2) = c(\text{воздуха}) \cdot V(\text{воздуха}) = 0,21 \cdot 10 \text{ л} = 2,1 \text{ л}$$

Вычислим количество вещества кислорода:

$$v(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_M} = \frac{2,1 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,09375 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (2) 2 моль водорода реагирует с 1 моль кислорода. Пусть 0,09375 моль кислорода реагируют с  $x$  моль водорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{0,09375}{x}, \quad x = \frac{0,09375 \cdot 2}{1} = 0,1875 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (1) из 2 моль пропанола образуется 1 моль водорода. Пусть 0,1875 моль водорода образовалось из  $y$  моль пропанола. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{0,1875}{y}, \quad y = \frac{0,1875 \cdot 2}{1} = 0,375 \text{ моль}$$

Молекулярная формула пропанола  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ . Вычислим молярную массу пропанола:

$$M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 8 + 16 = 60 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу пропанола:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = v(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = 0,375 \text{ моль} \cdot 60 \text{ г/моль} = 22,5 \text{ г.}$$

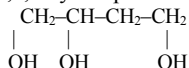
Ответ: прореагировало 22,5 г пропанола.

## Задачи к §2 (стр. 88)

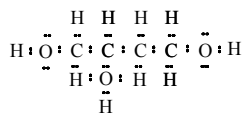
### Ответ на вопрос № 1

Многоатомными спиртами называются соединения, содержащие в молекуле несколько гидроксильных групп.

Молекулярная формула 1,2,4-бутантриола  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_3$ . Структурная формула:

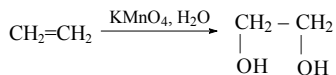


Электронная формула:

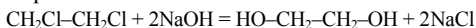


### Ответ на вопрос № 2

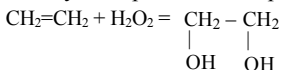
1) Этиленгликоль образуется при окислении этилена раствором перманганата калия.



2) Этиленгликоль можно получить при действии водного раствора щелочи на 1,2-дихлорэтан.



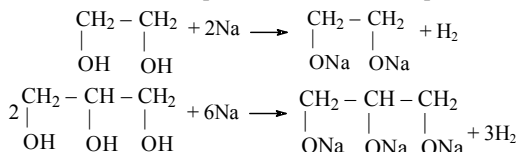
3) Этиленгликоль можно получить при действии перекиси водорода на этилен.



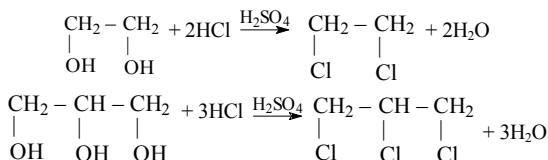
### Ответ на вопрос № 3

Общие с одноатомными спиртами свойства.

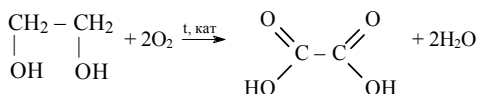
1) При взаимодействии с натрием выделяется водород:



2) При обработке многоатомных спиртов галогеноводородами в присутствии серной кислоты происходит замещение гидроксильных групп на атомы галогена:



3) При окислении многоатомных спиртов образуются многоосновные карбоновые кислоты:

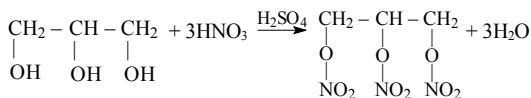


Специфические свойства многоатомных спиртов. При реакции с гидроксидом меди образуются комплексные соединения меди, окрашенные в ярко-синий цвет.

### Ответ на вопрос № 4

Этиленгликоль используют как антифриз – его добавляют к воде в автомобильных радиаторах, чтобы она не замерзала в сильный холод. Этиленгликоль используют для производства синтетического волокна лавсан. Простые эфиры этиленгликоля используют как растворители.

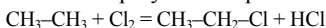
Глицерин применяют в медицине и косметике как основу для мазей и кремов, в легкой промышленности для придания мягкости коже и тканям. При обработке глицерина азотной кислотой в присутствии серной кислоты образуется нитроглицерин. Название «нитроглицерин» сложилось исторически и химически неверно: правильное название – тринитрат глицерина, это сложный эфир глицерина и азотной кислоты.



Пропитывая нитроглицерином различные пористые вещества, получают взрывчатое вещество – динамит. Нитроглицерин применяют также в медицине как сосудорасширяющее средство.

### Ответ на вопрос № 5

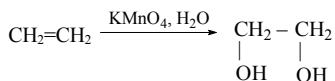
а) При хлорировании этана образуется хлорэтан:



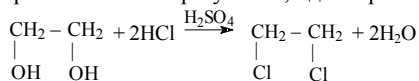
При действии на хлорэтан спиртового раствора щелочи образуется этилен:



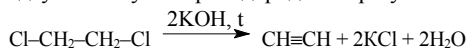
При окислении этилена раствором перманганата калия образуется этиленгликоль:



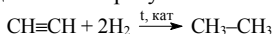
б) При действии на этиленгликоль хлороводорода в присутствии концентрированной серной кислоты образуется 1,2-дихлорэтан:



При действии на 1,2-дихлорэтан спиртового раствора щелочи происходит отщепление двух молекул хлороводорода и образуется ацетилен:



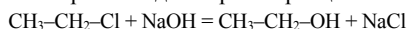
При гидрировании ацетилена в присутствии катализатора образуется этан:



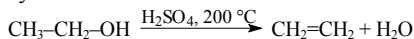
При хлорировании этана образуется хлорэтан:



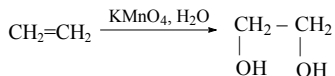
При действии на хлорэтан водного раствора щелочи образуется этанол.



При нагревании этанола с концентрированной серной кислотой отщепляется вода и образуется этилен.

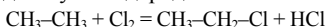


При окислении этилена раствором перманганата калия образуется этиленгликоль:

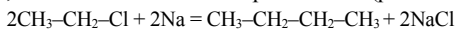


### Ответ на вопрос № 6

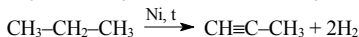
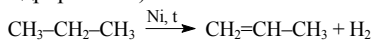
При взаимодействии предельных углеводородов с галогенами образуются галогенопроизводные углеводородов:



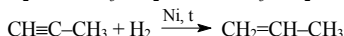
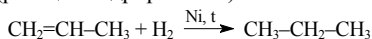
Галогенопроизводные углеводородов реагируют с натрием, при этом образуются предельные углеводороды, содержащие в молекуле вдвое больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное (реакция Вюрца):



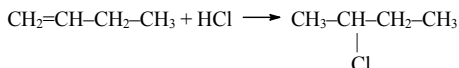
При отщеплении водорода от предельных углеводородов могут образоваться углеводороды ряда этилена – алкены или углеводороды ряда ацетилена – алкины (реакция дегидрирования):



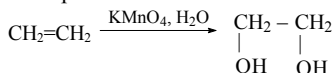
При присоединении водорода к алкенам и алкинам образуются предельные углеводороды (реакция гидрирования):



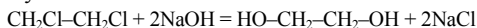
При присоединении галогеноводородов к непредельным углеводородам образуются галогенопроизводные. Присоединение протекает по правилу Марковникова:



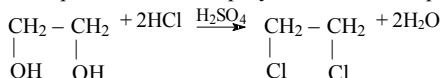
При окислении непредельных углеводородов перманганатом калия образуются двухатомные спирты:



Многоатомные спирты можно также получить при действии водного раствора щелочи на галогенопроизводные, содержащие несколько атомов галогена в молекуле:



При действии на многоатомные спирты галогеноводородов в присутствии концентрированной серной кислоты образуются галогенопроизводные:



### Ответ на вопрос № 7

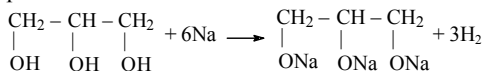
| Характеристика вещества | Этиленгликоль  | Глицерин   |
|-------------------------|--|--|
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$   | $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$   |
| 2. Структурная формула  | $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$ |

|                        |  |   |
|------------------------|--|---|
| 3. Электронная формула | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ + \quad + \\ \text{H} \cdot \overset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{C}}} : \overset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{C}}} \cdot \text{H} \\ \times \quad \times \\ \text{O} \quad \text{O} \\ + \quad + \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ + \quad + \quad + \\ \text{H} \cdot \overset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{C}}} \cdot \overset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{C}}} \cdot \overset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{C}}} \cdot \text{H} \\ \times \quad \times \quad \times \\ \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \\ + \quad + \quad + \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$  |
| 4. Получение           | <p>1. <math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \\ \text{O} \end{array} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{кат.}} \text{HO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}</math></p> <p>2. <math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{Cl} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{Cl} \end{array} + 2\text{KOH} \longrightarrow 2\text{KCl} + \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}</math></p>   | <p>1. <math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{кат.}} \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}</math></p> <p>2. <math>\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Cl} - \text{CHCl} - \text{CH}_2\text{Cl} \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 3\text{KOH} \longrightarrow 3\text{KCl} + \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}</math></p> |
| 5. Физические свойства | Бесцветные сиропообразные жидкости сладковатого вкуса. Они хорошо растворимы в воде.   |   |
| 6. Химические свойства | <p>1) Реакция с щелочными металлами</p> <p><math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 2\text{Na} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{ONa} \quad \text{ONa} \end{array} + \text{H}_2 \uparrow</math></p> <p>2. <math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + \text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad / \\ \text{Cu} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>3. Нитрование</p> <p><math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 2\text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{ONO}_2 \quad \text{ONO} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>4. Дегидратация</p> <p><math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} \xrightarrow[\text{-H}_2\text{O}]{\text{H}^+, \text{t}} \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \\ \text{O} \end{array}</math></p> <p><math>2 \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 6\text{Na} \longrightarrow 3\text{H}_2 + \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{ONa} \quad \text{ONa} \quad \text{ONa} \end{array}</math></p> <p><math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + \text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{O} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad / \quad / \\ \text{Cu} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}</math></p> <p><math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 3\text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{ONO}_2 \quad \text{ONO}_2 \quad \text{ONO}_2 \end{array} + 3\text{H}_2\text{O}</math></p> <p><math>\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} \xrightarrow[\text{-H}_2\text{O}]{\text{H}^+, \text{t}} \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}</math></p> |   |

|               |  |  |
|---------------|--|--|
| 7. Применение | 1. Синтез высокомолекулярных соединений (лавсан, полиэпоксидные смолы).<br>2. Используется в качестве антифриза. | 1. Используется в парфюмерии и медицине.<br>2. Текстильная промышленность.<br>3. Получение нитроглицерина. |
|---------------|--|--|

### Решение задачи № 1

Уравнение реакции:



Молекулярная формула глицерина  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ . Вычислим молярную массу глицерина.

$$M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 3 = 92 \text{ г/моль.}$$

Вычислим количество вещества глицерина:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)}{M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)} = \frac{3,6 \text{ г}}{92 \text{ г/моль}} \approx 0,039 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 2 моль глицерина образуется 3 моль водорода. Пусть из 0,039 моль глицерина получится  $x$  моль водорода. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{3} = \frac{0,039}{x}, \quad x = \frac{0,039 \cdot 3}{2} = 0,0585 \text{ моль}$$

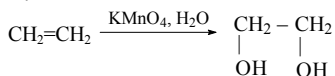
Вычислим объем водорода:

$$V(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot V_M = 0,0585 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 1,31 \text{ л.}$$

**Ответ:** выделилось 1,31 л водорода.

### Решение задачи № 2

Уравнение реакции:



Вычислим количество вещества этилена:

$$\nu(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = \frac{V(\text{CH}_2=\text{CH}_2)}{V_M} = \frac{108000 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 4821 \text{ моль}$$

По уравнению реакция из 1 моль этилена образуется 1 моль этиленгликоля, значит из 4821 моль этилена при теоретическом 100% выходе образовалось бы 4821 моль этиленгликоля. Поскольку практический выход составляет 78%, или 0,78, образуется  $0,78 \cdot 4821 \text{ моль} \approx 3760 \text{ моль}$ .

Молекулярная формула этиленгликоля  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ , вычислим молярную массу этиленгликоля:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 \cdot 2 = 62 \text{ г/моль.}$$

Вычислим массу этиленгликоля:

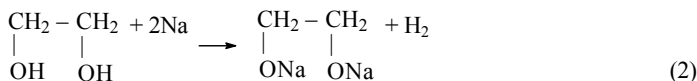
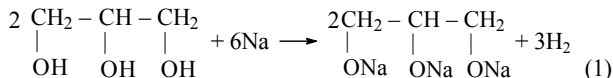
$$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = \nu(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 3760 \text{ моль} \cdot 62 \text{ г/моль} = 233120 \text{ г} \approx 233 \text{ кг.}$$



**Ответ:** можно получить 233 кг этиленгликоля.

### Решение задачи № 3

Уравнения реакций:



Вычислим количество вещества выделившегося водорода:

$$v(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_M} = \frac{5,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,25 \text{ моль}$$

Молекулярная формула этиленгликоля  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу этиленгликоля:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 \cdot 2 = 62 \text{ г/моль.}$$

Вычислим количество вещества этиленгликоля:

$$v(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)}{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)} = \frac{6,2 \text{ г}}{62 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (2) из 1 моль этиленгликоля образуется 1 моль водорода, значит из 0,1 моль этиленгликоля образуется 0,1 моль водорода. Всего же из смеси глицерина и этиленгликоля образовалось 0,25 моль водорода, значит из глицерина выделилось  $0,25 - 0,1 = 0,15$  моль водорода. По уравнению реакции (1) из 2 моль глицерина образуется 3 моль водорода. Пусть 0,15 моль водорода образовалось из  $x$  моль глицерина. Составим пропорцию:

$$\frac{2}{3} = \frac{x}{0,15}, \quad x = \frac{0,15 \cdot 2}{3} = 0,1 \text{ моль}$$

Молекулярная формула глицерина  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ . Вычислим молярную массу глицерина.

$$M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 3 = 92 \text{ г/моль.}$$

Вычислим массу глицерина:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = v(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 0,1 \text{ моль} \cdot 92 \text{ г/моль} = 9,2 \text{ г.}$$

Масса смеси глицерина и этиленгликоля равна:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) + m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 6,2 + 9,2 = 15,4 \text{ г.}$$

Вычислим массовую долю этиленгликоля в смеси:

$$c(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{6,2 \text{ г}}{15,4 \text{ г}} \cdot 100\% \approx 40\%$$

Вычислим массовую долю глицерина в смеси:

$$c(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 100\% - c(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 100\% - 40\% = 60\%.$$

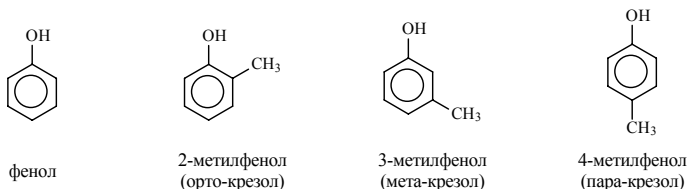
**Ответ:** в смеси содержится 40% этиленгликоля и 60% глицерина.

## Задачи к §3 (стр. 94)

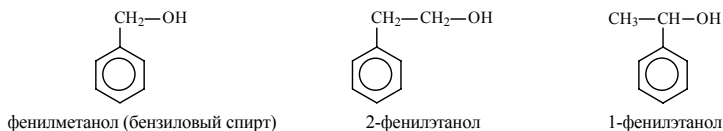
### Ответ на вопрос № 1

Фенолами называются производные ароматических углеводородов, содержащие гидроксильные группы, связанные с бензольным кольцом.

Ароматическими спиртами называются производные ароматических углеводородов, в которых гидроксильные группы связаны не с бензольным кольцом, а с атомами углерода алкильных заместителей. Примеры фенолов:



Примеры ароматических спиртов:



### Ответ на вопрос № 2

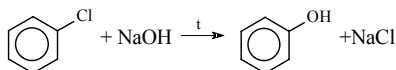
Упрощенная электронная формула фенола:



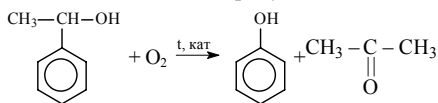
Полная электронная формула была бы очень громоздкой. На рисунке показаны только электроны, принадлежащие атомам гидроксильной группы. Все связи в бензольном кольце образованы точно так же, как в молекуле бензола. Бензольное кольцо обладает свойством притягивать к себе электроны (оно является акцептором электронов). Поэтому в молекуле фенола происходит смещение электронов от атома кислорода к бензольному кольцу, и вследствие этого электроны атома водорода в большей степени смещаются к атому кислорода. Связь между атомами водорода и кислорода становится более полярной и поэтому разрывается легче, чем в спиртах. Атом водорода в фенолах легче замещается на металл, чем в спиртах, то есть является более подвижным.

### Ответ на вопрос № 3

Фенол можно получить при действии щелочи на хлорбензол при высокой температуре.



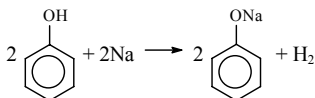
В промышленности фенол получают при окислении изопропилбензола, при этом образуется еще один ценный продукт – ацетон:



Кроме того, фенол выделяют из каменноугольной смолы.

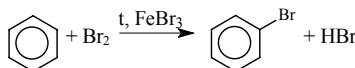
#### Ответ на вопрос № 4

1) Ароматическое кольцо оказывает влияние на гидроксильную группу, в результате чего атом водорода становится более подвижным, чем в спиртах (объяснение см. в ответе на вопрос 2). Если спирты реагируют с выделением водорода с металлическим натрием, а с гидроксидом натрия не реагируют, то фенолы реагируют и с натрием, и с гидроксидом натрия:

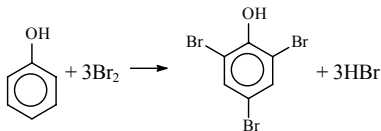


Реакция с гидроксидом натрия – реакция нейтрализации, типичная для кислот. В результате образуется соль – фенолят натрия – и вода.

2) Гидроксильная группа также оказывает влияние на бензольное кольцо, в результате чего реакции замещения в фенолах протекают гораздо легче, чем в ароматических углеводородах. Например, при действии на бензол брома реакция замещения протекает только в присутствии катализатора – бромиды железа – и замещается только один атом водорода, образуется бромбензол:

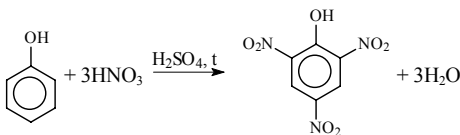


В феноле замещение водорода на бром протекает и без катализатора, и замещаются сразу три атома водорода, образуется 2,4,6-трибромфенол:

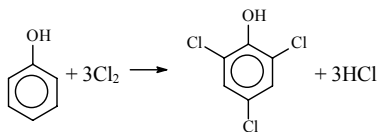


#### Ответ на вопрос № 5

При действии на фенол смеси азотной и серной кислот образуется 2,4,6-тринитрофенол.

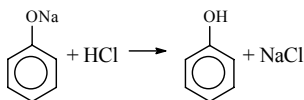


При действии на фенол хлора образуется 2,4,6-трихлорфенол:



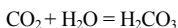
### Ответ на вопрос № 6

Фенол обладает свойствами очень слабой кислоты. Фенолят натрия – натриевая соль фенола. Сильные кислоты вытесняют слабые из растворов их солей. При действии на раствор фенолята натрия сильной кислоты – соляной – происходит выделение фенола:

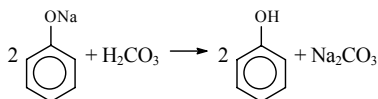


Фенолят натрия растворим в воде, а фенол нерастворим. Поэтому раствор фенолята натрия прозрачен, а при выделении нерастворимого в воде фенола становится мутным.

При растворении в воде оксида углерода (IV) образуется угольная кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .



Угольная кислота – слабая кислота, однако фенол – еще более слабая кислота, поэтому угольная кислота вытесняет фенол из фенолята натрия:

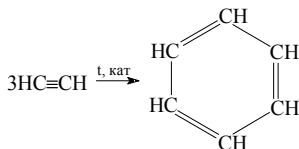


### Ответ на вопрос № 7

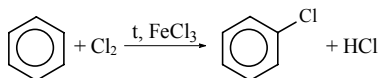
а) Из метана при нагревании можно получить ацетилен:



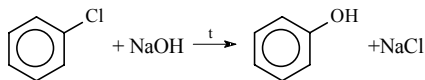
В присутствии катализатора ацетилен превращается в бензол (реакция тримеризации):



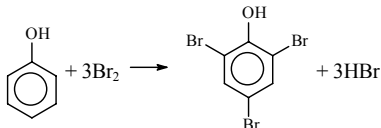
Фенол из бензола можно получить в две стадии. Бензол реагирует с хлором в присутствии хлорида железа, при этом образуется хлорбензол:



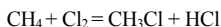
При действии на хлорбензол щелочи при высокой температуре происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и получается фенол:



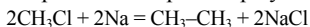
При действии на фенол брома образуется 2,4,6-трибромфенол:



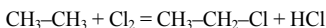
б) Этан из метана можно получить в две стадии. При хлорировании метана образуется хлорметан. При хлорировании метана на свету образуется хлорметан:



При взаимодействии хлорметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



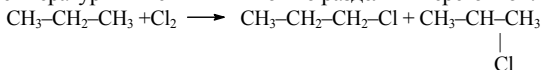
Пропан из этана также можно получить в две стадии. При хлорировании этана образуется хлорэтан:



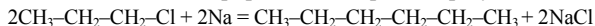
При реакции хлорэтана с хлорметаном в присутствии натрия образуется пропан:



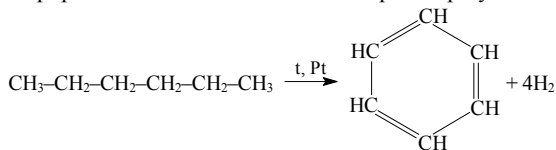
Из пропана в две стадии можно получить гексан. При хлорировании пропана образуется смесь изомеров – 1-хлорпропана и 2-хлорпропана. Изомеры имеют разные температуры кипения и их можно разделить перегонкой.



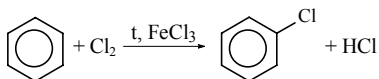
При взаимодействии 1-хлорпропана с натрием образуется гексан:



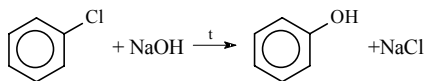
При дегидрировании гексана над катализатором образуется бензол:



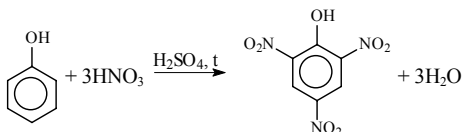
Из бензола можно в три стадии получить пикриновую кислоту (2,4,6-тринитрофенол). При реакции бензола с хлором в присутствии хлорида железа образуется хлорбензол:



При действии на хлорбензол щелочи при высокой температуре происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и получается фенол:

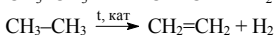
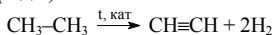


При реакции фенола со смесью азотной и серной кислот образуется пикриновая кислота (2,4,6-тринитрофенол):

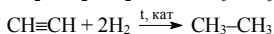
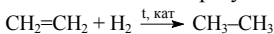


### Ответ на вопрос № 8

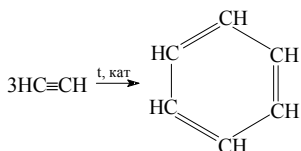
При дегидрировании предельных углеводородов (алканов) образуются непредельные углеводороды – алкены (этиленовые углеводороды) и алкины (ацетиленовые углеводороды):



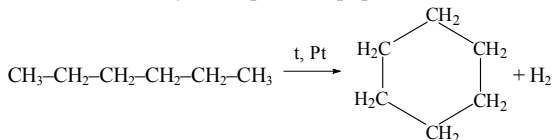
При гидрировании алкенов и алкинов образуются алканы:



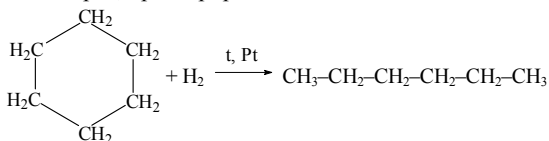
Из ацетилена в присутствии катализатора образуется бензол (реакция тримеризации ацетилена). Это пример превращения непредельных углеводородов в ароматические.



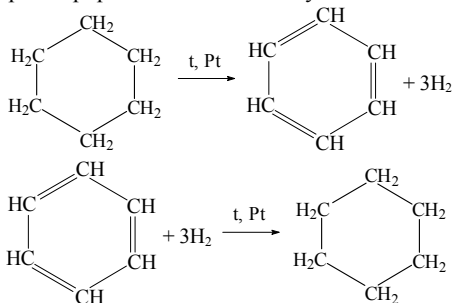
Циклогексан можно получить при дегидрировании гексана:



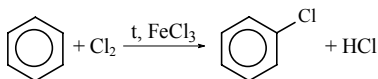
Можно и наоборот, прогидрировать бензол в гексан:



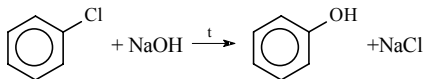
Бензол можно получить также при дегидрировании циклогексана, и наоборот, можно при гидрировании бензола получить циклогексан:




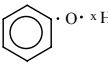
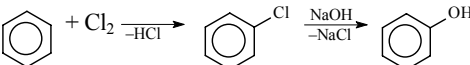
При взаимодействии бензола с галогенами в присутствии катализатора образуются галогенопроизводные бензола. Например, при действии на бензол хлора в присутствии хлорида железа образуется хлорбензол:



При действии на хлорбензол щелочи при высокой температуре происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и получается фенол:



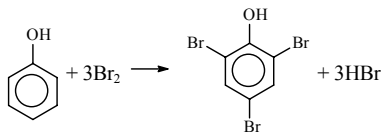
### Ответ на вопрос № 9

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Характеристика вещества | Фенол   |
| 1. Молекулярная формула | $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$   |
| 2. Структурная формула  |  |
| 3. Электронная формула  |  |
| 4. Нахождение в природе | Выделяют из нефти и природного газа   |
| 5. Получение            |  |

|                        |   |
|------------------------|---|
| 6. Физические свойства | Бесцветное, кристаллическое вещество с характерным запахом. $T_{пл} = 40,9^{\circ}\text{C}$ . В холодной воде мало растворим, но уже при $70^{\circ}\text{C}$ растворяется в любых отношениях. Фенол ядовит!  |
| 7. Химические свойства | <p>1. <math>2 \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 2\text{Na} \rightarrow 2 \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\uparrow</math></p> <p><math>\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O}</math></p> <p>2. <math>\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 3\text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})(\text{Br})_3 + 3\text{HBr}</math></p> <p><math>\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 3\text{HNO}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})(\text{NO}_2)_3 + 3\text{H}_2\text{O}</math></p> |
| 8. Применение          | <p>1. Производство полимеров и пластмасс.</p> <p>2. Производство красителей и медикаментов.</p> <p>3. Производство взрывчатых веществ.</p>  |

### Решение задачи № 1

При действии бромной воды на фенол образуются 2,4,6-трибромфенол и бромоводород:



По уравнению реакции из 1 моль фенола образуется 1 моль 2,4,6-трибромфенола, значит из 0,1 моль фенола образуется 0,1 моль 2,4,6-трибромфенола. Молекулярная формула 2,4,6-трибромфенола  $\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}$ . Вычислим молярную массу 2,4,6-трибромфенола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 3 + 80 \cdot 3 + 16 = 331 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу 2,4,6-трибромфенола:

$$m(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}) = 0,1 \text{ моль} \cdot 331 \text{ г/моль} = 33,1 \text{ г}$$

По уравнению реакции из 1 моль фенола образуется 3 моль бромоводорода. Пусть из 0,1 моль фенола образуется  $x$  моль бромоводорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{3} = \frac{0,1}{x}, \quad x = \frac{0,1 \cdot 3}{2} = 0,3 \text{ моль}$$



Вычислим молярную массу бромоводорода:

$$M(\text{HBr}) = 1 + 80 = 81 \text{ г/моль}$$

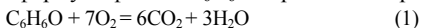
Вычислим массу бромоводорода:

$$m(\text{HBr}) = \nu(\text{HBr}) \cdot M(\text{HBr}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 81 \text{ г/моль} = 24,3 \text{ г/моль.}$$

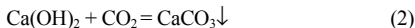
**Ответ:** получится 33,1 г 2,4,6-трибромфенола и 24,3 г бромоводорода.

### Решение задачи № 2

Молекулярная формула фенола  $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ . Уравнение горения фенола:



При пропускании образовавшегося оксида углерода (IV) через воду выпадает осадок карбоната кальция:



Вычислим молярную массу фенола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 6 + 16 = 94 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества фенола:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6\text{O})}{M(\text{C}_6\text{H}_6\text{O})} = \frac{4,7 \text{ г}}{94 \text{ г/моль}} = 0,05 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (1) из 1 моль фенола образуется 6 моль оксида углерода (IV). Пусть из 0,05 моль фенола образуется  $x$  моль оксида углерода (IV). Составим пропорцию:

$$\frac{1}{6} = \frac{0,05}{x}, \quad x = \frac{0,05 \cdot 6}{1} = 0,3 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (2) из 1 моль оксида углерода (IV) образуется 1 моль карбоната кальция, следовательно из 0,3 моль оксида углерода (IV) образуется 0,3 моль карбоната кальция.

Вычислим молярную массу карбоната кальция:

$$M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 16 \cdot 3 = 100 \text{ г/моль}$$

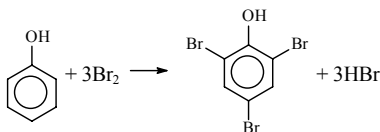
Вычислим массу карбоната кальция:

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 0,3 \text{ моль} \cdot 100 \text{ г/моль} = 30 \text{ г}$$

**Ответ:** образовалось 30 г карбоната кальция.

### Решение задачи № 3

В осадок выпадает 2,4,6-трибромфенол:



Молекулярная формула 2,4,6-трибромфенола  $\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}$ . Вычислим молярную массу 2,4,6-трибромфенола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 3 + 80 \cdot 3 + 16 = 331 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества 2,4,6-трибромфенола:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O})}{M(\text{C}_6\text{H}_3\text{Br}_3\text{O})} = \frac{24 \text{ г}}{331 \text{ г/моль}} = 0,0725 \text{ моль}$$

По уравнению реакции для образования 1 моль 2,4,6-трибромфенола необходимо 3 моль брома. Пусть для образования 0,0725 моль 2,4,6-трибромфенола необходимо  $x$  моль брома. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{3} = \frac{0,0725}{x}, \quad x = \frac{0,0725 \cdot 3}{1} = 0,2175 \text{ моль}$$

Вычислим молярную массу брома:

$$M(\text{Br}_2) = 80 \cdot 2 = 160 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу брома в растворе:

$$m(\text{Br}_2) = \nu(\text{Br}_2) \cdot M(\text{Br}_2) = 0,2175 \text{ моль} \cdot 160 \text{ г/моль} = 34,8 \text{ г}$$

**Ответ:** в растворе содержалось 34,8 г брома.

## Глава VIII. Альдегиды и карбоновые кислоты

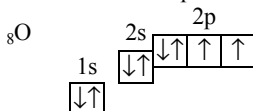
### Задачи к §1 (стр. 102)

#### Ответ на вопрос № 1

К альдегидам относятся производные углеводородов, содержащие в составе молекулы альдегидную группу  $-\text{CH}=\text{O}$ . В кетонах карбонильная группа  $\text{C}=\text{O}$  соединена с двумя углеводородными радикалами. Общая формула альдегидов и кетонов  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$ .

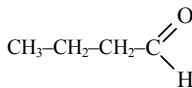
#### Ответ на вопрос № 2

Химические связи в альдегидной группе образуются за счет орбиталей атома углерода и 2р-орбиталей атома кислорода.

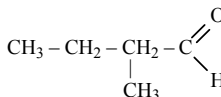


Атом углерода карбонильной группы находится в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Атомы углерода и кислорода в альдегидной группе соединены двойной связью. Одна из этих связей образована одной из гибризованных  $sp^2$ -орбиталей атома углерода и одной из двух р-орбиталей атома кислорода, это  $\sigma$ -связь. Вторая связь,  $\pi$ -связь, образована негибризованной р-орбиталью атома углерода и второй р-орбиталью атома кислорода.

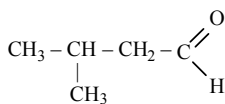
#### Ответ на вопрос № 3



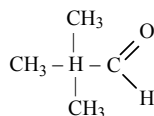
пентаналь



2-метилбутаналь



3-метилбутаналь



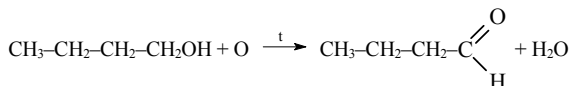
2,2-диметилпропаналь

#### Ответ на вопрос № 4

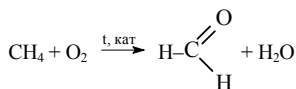
Первое вещество – 4-метилпентаналь, или 4-метилвалериановый альдегид.  
Второе вещество – 3,3-диметилбутаналь или 3,3-диметилмасляный альдегид.

#### Ответ на вопрос № 5

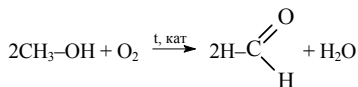
В лаборатории альдегиды получают окислением первичных спиртов. В качестве окислителя могут быть использованы оксид меди (II), перманганат калия, бихромат и другие вещества. Например, при окислении бутилового спирта (бутанол-1) образуется бутаналь (масляный альдегид):



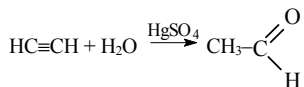
В промышленности метаналь (формальдегид, муравьиный альдегид) получают окислением метана в присутствии катализатора:



Метаналь можно также получить окислением метанола (метилового спирта):

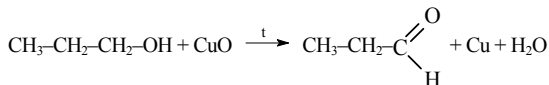


Этаналь (ацетальдегид, уксусный альдегид) образуется при присоединении воды к ацетилену в присутствии солей ртути:

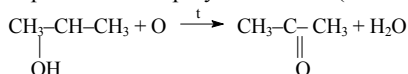


#### Ответ на вопрос № 6

При окислении пропанола-1 образуется пропаналь (пропионовый альдегид).



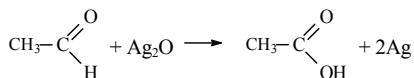
При окислении пропанола-2 образуется ацетон (диметилкетон):



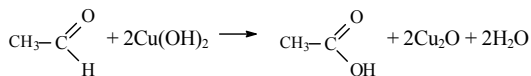
В молекуле пропионового альдегида карбонильная группа связана с углеродным радикалом (этилом) и атомом водорода и представляет собой альдегидную группу. В молекуле ацетона карбонильная группа связана с двумя метильными радикалами. Пропаналь является альдегидом, а ацетон – кетоном. Эти два вещества изомерны друг другу.

### Ответ на вопрос № 7

Качественной реакцией на альдегиды является восстановление аммиачного раствора оксида серебра до металлического серебра (реакция серебряного зеркала). При растворении оксида серебра в водном растворе аммиака образуется соединение  $\text{Ag}[(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ , однако для простоты уравнение записывают с участием оксида серебра. На стенках сосуда осаждается блестящая пленка металлического серебра, которую и называют серебряным зеркалом (в качестве примера приведем окисление уксусного альдегида):



Еще одна качественная реакция – окисление гидроксида меди (II) при нагревании, при этом образуется оксид меди (I), окрашенный в ярко-красный цвет.



### Ответ на вопрос № 8

Атом углерода карбонильной группы находится в состоянии  $\text{sp}^2$ -гибридизации. Атомы углерода и кислорода в карбонильной группе соединены двойной связью. Одна из этих связей образована одной из гибризованных  $\text{sp}^2$ -орбиталей атома углерода и одной из двух р-орбиталей атома кислорода, это  $\sigma$ -связь. Вторая связь,  $\pi$ -связь, образована негибризованной р-орбиталью атома углерода и второй р-орбиталью атома кислорода.  $\pi$ -Связь легко разрывается, поэтому альдегиды и кетоны легко вступают в реакции присоединения.

### Ответ на вопрос № 9

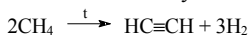
Метаналь используют в производстве фенолформальдегидной смолы, образующейся при реакции метанала (формальдегида) с фенолом. Водный раствор формальдегида (формалин) используют для обработки кож, консервирования биологических препаратов, для дезинфекции. Из этанала получают уксусную кислоту.

### Ответ на вопрос № 10

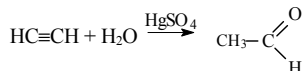
Фенопласты – пластмассы, получаемые при смешивании фенолформальдегидной смолы, получаемой из фенола и формальдегида, с различными наполнителями.

### Ответ на вопрос № 11

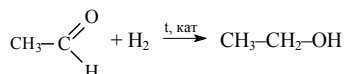
а) Из метана при нагревании можно получить ацетилен:



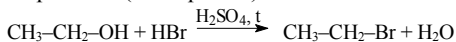
Ацетилен в присутствии сульфата ртути (II) присоединяет воду, образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова):



Уксусный альдегид можно восстановить до этилового спирта:



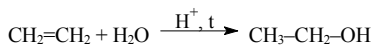
При действии на этиловый спирт бромоводорода в присутствии серной кислоты образуется бромэтан (этилбромид):



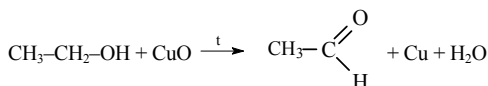
При действии на этилбромид спиртового раствора щелочи при нагревании отщепляется бромоводород и образуется этилен:



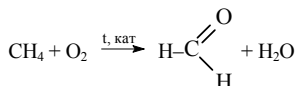
При присоединении к этилену воды в присутствии кислот образуется этиловый спирт:



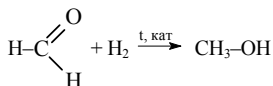
Этанол окисляется оксидом меди при нагревании в уксусный альдегид:



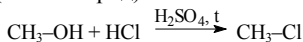
б) При окислении метана в присутствии катализатора образуется метаналь:



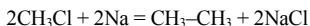
Метаналь при гидрировании превращается в метанол:



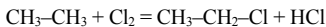
При действии на метанол хлороводорода в присутствии серной кислоты образуется хлорметан (метилхлорид):



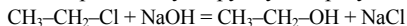
При взаимодействии хлорметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



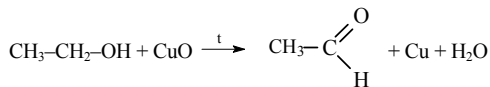
Из этана в две стадии можно получить этанол. При хлорировании этана образуется хлорэтан:



При действии на хлорэтан водного раствора щелочи происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и образуется этанол.

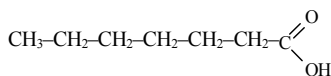


Этанол окисляется оксидом меди при нагревании в уксусный альдегид:



### Ответ на вопрос № 12

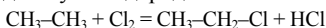
|   |  |  |
|---|--|--|
| $\text{CH}_3\text{-OH}$   | $\text{H}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$   | $\text{H}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$  |
| метанол (метилвый спирт)  | метаналь<br>(муравьиный альдегид)  | муравьиная<br>(метановая) кислота  |
| $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$   | $\text{CH}_3\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$  | $\text{CH}_3\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$                                     |
| этанол (этиловый спирт)   | этаналь (уксусный альдегид)  | этановая (уксусная) кислота  |
| $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$                                     | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$                                      | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$                         |
| пропанол (пропиловый спирт)   | пропаналь<br>(пропионовый альдегид)  | пропановая<br>(пропионовая) кислота  |
| $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$                         | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$                          | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$             |
| бутанол (бутиловый спирт)   | бутаналь (масляный альдегид)   | бутановая (масляная) кислота   |
| $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$             | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$              | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$ |
| пентанол (пентиловый спирт)   | пентаналь (валериановый альдегид)  |  |
|   | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$ |  |
|   | пентановая (валериановая) кислота  |  |
| $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$  |  |
| гексанол (гексиловый спирт)   | гексаналь (капроновый альдегид)  |  |



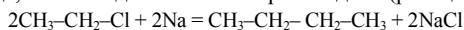
гексановая (капроновая) кислота

### Ответ на вопрос № 13

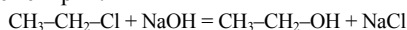
При взаимодействии предельных углеводородов с галогенами образуются галогенопроизводные углеводородов:



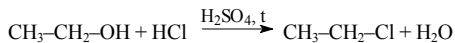
Галогенопроизводные углеводородов реагируют с натрием, при этом образуются предельные углеводороды, содержащие в молекуле вдвое больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное (реакция Вюрца):



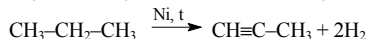
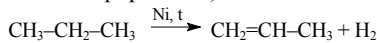
При действии на галогенопроизводные углеводородов водного раствора щелочи образуются спирты:



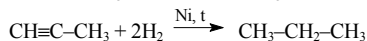
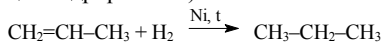
При взаимодействии спиртов с галогеноводородами в присутствии концентрированной серной кислоты образуются галогенопроизводные углеводородов:



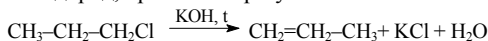
При отщеплении водорода от предельных углеводородов могут образоваться углеводороды ряда этилена – алкены или углеводороды ряда ацетилена – алкины (реакция дегидрирования):



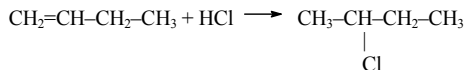
При присоединении, водорода к алкенам и алкинам образуются предельные углеводороды (реакция гидрирования):



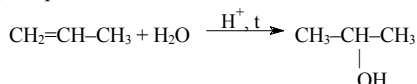
Под действием спиртового раствора щелочи от галогенопроизводных отщепляется галогеноводород, при этом образуются алкены:



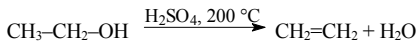
При присоединении галогеноводородов к непредельным углеводородам образуются галогенопроизводные. Присоединение протекает по правилу Марковникова:



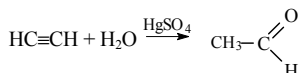
При присоединении к алкенам воды образуются спирты, реакция также протекает по правилу Марковникова.



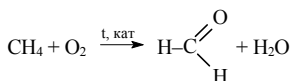
При сильном нагревании спиртов с серной кислотой происходит дегидратация и образуются алкены:



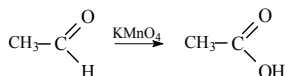
В результате присоединения к ацетилену воды образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова). Это пример превращения непредельного углеводорода в альдегид.



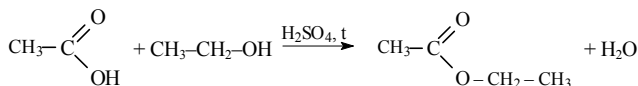
При окислении метана кислородом в присутствии катализатора образуется метаналь (формальдегид). Это пример превращения предельного углеводорода в альдегид.



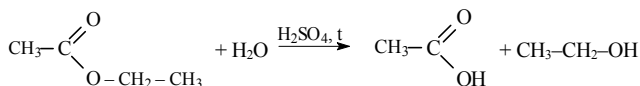
При окислении альдегидов образуются карбоновые кислоты:



При взаимодействии спиртов и карбоновых кислот в присутствии катализатора, например, серной кислоты, образуются сложные эфиры.



Если нагреть смесь сложного эфира и воды в присутствии серной кислоты, то протекает обратная реакция – гидролиз сложного эфира – и образуются спирт и карбоновая кислота.



#### Ответ на вопрос № 14

| Характеристика вещества | Метаналь   | Этаналь   |
|-------------------------|--|---|
| 1. Молекулярная формула | $\text{CH}_2\text{O}$  | $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$  |
| 2. Структурная формула  | $\begin{array}{c} \text{H} - \text{C} = \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} - \text{C} - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ |



|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| 3. Электронная формула | $\begin{array}{c} \text{H} \cdot \cdot \text{C} \cdot \cdot \text{O} \\   \\ \text{H} \end{array}$  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad \cdot \cdot \\ \text{H} \cdot \cdot \text{C} \cdot \cdot \text{O} \cdot \cdot + \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$   |
| 4. Получение           | <p>a)</p> $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \xrightarrow{t, \text{кат}} \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} + \text{H}_2\text{O}$   | <p>a) <math>2\text{CH}_2 = \text{CH}_4 + \text{O}_2 \xrightarrow{t, \text{кат}} =</math></p> $= 2 \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C} \\   \\ \text{H} \end{array}$ <p>б) <math>\text{CH}\equiv\text{HC} + \text{H}_2\text{O} = \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C} \\   \\ \text{H} \end{array}</math></p> |
| 5. Физические свойства | бесцветный газ с запахом; раствор метанала в воде называется формалином   | жидкость с резким запахом   |
| 6. Химические свойства | <p>1. <math>\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} \xrightarrow{[\text{H}]} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}</math></p> <p><math>\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH} \\   \\ \text{H} \end{array} \xrightarrow{[\text{H}]} \text{CH}_3\text{OH}</math></p> <p>2. <math>\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} + \text{CuO} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C} \\   \\ \text{OH} \end{array} + \text{Cu}\downarrow</math></p> <p><math>\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH} \\   \\ \text{H} \end{array} + \text{CuO} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH} \\   \\ \text{OH} \end{array} + \text{Cu}\downarrow</math></p> |   |
| 7. Применение          | 1. Производство фенол-формальдегидной смолы.<br>2. Получение формалина.   | 1. Производство уксусной кислоты.   |

### Решение задачи № 1

Зная плотность паров вещества по воздуху, найдем его молярную массу:

$$D_{\text{H}_2} = \frac{M(\text{вещества})}{2 \text{ г/моль}},$$

$$M(\text{вещества}) = D_{\text{H}_2} \cdot 29 \text{ г/моль} = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль}.$$

Вычислим количество неизвестного вещества:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{7,5 \text{ г}}{30 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}$$

Найдем молярные массы воды и оксида углерода (IV):

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 + 16 = 18 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{CO}_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества воды и оксида углерода (IV), образовавшихся при сжигании вещества:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4,5 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{11 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}$$

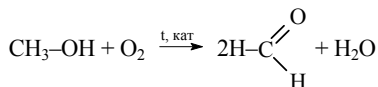
В молекуле воды 2 атома водорода, значит в исходном веществе содержалось  $0,25 \cdot 2 = 0,5$  моль атомов водорода. В молекуле оксида углерода один атом углерода, значит в исходном веществе содержалось 0,25 моль атомов углерода.

При сжигании вещества образовались только вода и оксид углерода (IV), значит в состав вещества входят только водород, углерод и кислород. В 0,25 моль вещества содержится 0,5 моль атомов водорода и 0,25 моль атомов углерода, то есть в молекулу входит 1 атом углерода и 2 атома водорода. Относительная молекулярная масса вещества равна 30, на кислород приходится  $30 - 2 - 12 = 16$ . Относительная атомная масса кислорода равна 16, следовательно в молекуле один атом кислорода. Итак, молекулярная формула вещества  $\text{CH}_2\text{O}$ , это метаналь (формальдегид).

**Ответ:** формальдегид.

### Решение задачи № 2

Уравнение реакции:



По уравнению реакции из 2 моль метанола получается 2 метаналь. Молекулярная формула метаналь  $\text{CH}_2\text{O}$ . Вычислим молярную массу метаналь:

$$M(\text{CH}_2\text{O}) = 12 + 1 \cdot 2 + 16 = 30 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу метаналь:

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = \nu(\text{CH}_2\text{O}) \cdot M(\text{CH}_2\text{O}) = 2 \text{ моль} \cdot 30 \text{ г/моль} = 60 \text{ г}$$

Вычислим массу полученного раствора:

$$m(\text{раствора}) = m(\text{воды}) + m(\text{CH}_2\text{O}) = 200 \text{ г} + 60 \text{ г} = 260 \text{ г}$$

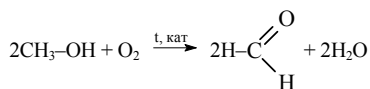
Вычислим массовую долю метаналь в полученном растворе.

$$c(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O})}{m(\text{раствора})} \cdot 100\% = \frac{60 \text{ г}}{260 \text{ г}} \cdot 100\% \approx 23\%$$

**Ответ:** в полученном растворе содержится 23% метан.

### Решение задачи № 3

Уравнение реакции:



Вычислим массу метанала в полученном растворе:

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = c(\text{CH}_2\text{O}) \cdot m(\text{раствора}) = 0,4 \cdot 1 \text{ т} = 0,4 \text{ т} = 4 \cdot 10^5 \text{ г}$$

Молекулярная формула метанала  $\text{CH}_2\text{O}$ . Вычислим молярную массу метанала:

$$M(\text{CH}_2\text{O}) = 12 + 1 \cdot 2 + 16 = 30 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества метанала:

$$\nu(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O})}{M(\text{CH}_2\text{O})} = \frac{4 \cdot 10^5 \text{ г}}{30 \text{ г/моль}} \approx 13333 \text{ моль}$$

По уравнений реакции для получения 2 моль метанала необходимо 1 моль кислорода. Пусть для получения 13333 моль метанала нужно  $x$  моль кислорода. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{x}{13333}, \quad x = \frac{13333 \cdot 1}{2} = 6666,5 \text{ моль}$$

Вычислим объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot V_M = 6666,5 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 149 \text{ 300 л} = 149,3 \text{ м}^3$$

В воздухе содержится примерно 21% кислорода по объему, или 0,21.

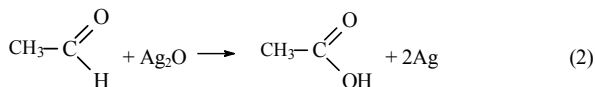
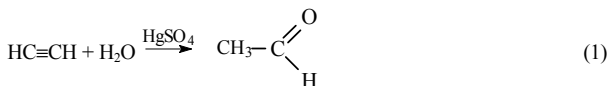
Вычислим объем воздуха, необходимый для окисления метанола:

$$c(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{возд}}}, \quad V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{c(\text{O}_2)} = \frac{149,3 \text{ м}^3}{0,21} \approx 711 \text{ м}^3$$

**Ответ:** необходимо  $711 \text{ м}^3$  воздуха.

### Решение задачи № 4

Уравнения реакций:



Молярная масса серебра равна 108 г/моль. Вычислим количество вещества серебра:

$$\nu(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} = \frac{2,7 \text{ г}}{108 \text{ г/моль}} = 0,025 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (2) 1 моль альдегида реагирует с выделением 2 моль серебра. Пусть для образования 0,025 моль серебра в реакцию должно вступить  $x$  моль уксусного альдегида. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{2} = \frac{x}{0,025}, \quad x = \frac{0,025 \cdot 1}{2} = 0,0125 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (1) из 1 моль ацетилена образуется 1 моль уксусного альдегида, значит для получения 0,0125 моль альдегида необходимо 0,0125 моль ацетилена. Вычислим объем ацетилена:

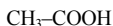
$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_2) \cdot V_M = 0,0125 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 0,28 \text{ л}$$

**Ответ:** необходимо 0,28 л ацетилена.

## Задачи к §2 (стр. 113)

### Ответ на вопрос № 1

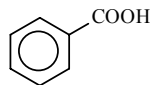
К карбоновым кислотам относятся производные углеводородов, в молекуле которых есть одна или несколько карбоксильных групп  $-\text{COOH}$ . По строению углеводородного скелета кислоты делятся на предельные, непредельные и ароматические. Примером предельных кислот может служить этановая (уксусная) кислота, примером непредельных – пропеновая (акриловая) кислота, примером ароматических – фенилметановая (бензойная) кислота:



уксусная кислота

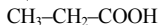


акриловая кислота



бензойная кислота

По количеству карбоксильных групп в молекуле карбоновые кислоты делятся на одноосновные (с одной карбоксильной группой), двухосновные (с двумя карбоксильными группами), трехосновные и т.д. Примером одноосновной кислоты может служить пропановая (пропионовая) кислота, двухосновных – щавелевая кислота.



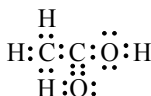
пропионовая кислота



щавелевая кислота

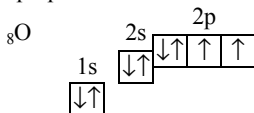
### Ответ на вопрос № 2

Электронная формула уксусной кислоты:



Карбоксильную группу  $\text{COOH}$  можно рассматривать, как комбинацию карбонильной  $\text{C}=\text{O}$  и гидроксильной  $\text{OH}$  групп. Атом углерода в карбоксильной группе находится в состоянии  $\text{sp}^2$ -гибридизации. С одним из ато-

мов кислорода также, как в альдегидах, образуется двойная связь за счет орбиталей атома углерода и 2p-орбиталей атома кислорода.



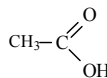
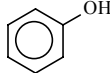
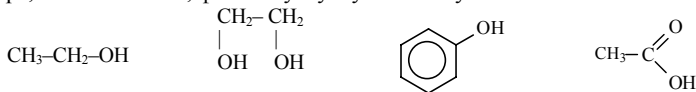
Одна из этих связей образована одной из гибризованных  $sp^2$ -орбиталей атома углерода и одной из двух p-орбиталей атома кислорода, это  $\sigma$ -связь. Вторая связь,  $\pi$ -связь, образована негибризованной p-орбиталью атома углерода и второй p-орбиталью атома кислорода.

С другим атомом кислорода образуется одна  $\sigma$ -связь за счет другой  $sp^2$ -орбитали атома углерода и одной p-орбитали атома кислорода. Другая p-орбиталь атома кислорода участвует в образовании  $\sigma$ -связи с атомом водорода (так же, как в гидроксильной группе спиртов).

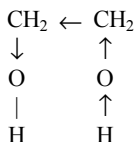
Электроотрицательность кислорода больше, чем углерода и кислорода. Поэтому в карбоксильной группе электроны, участвующие в, смещены к атомам кислорода.

### Ответ на вопрос № 3

Ответ. Рассмотрим для наглядности в качестве примеров этиловый спирт, этиленгликоль, фенол и уксусную кислоту:



В молекуле этилового спирта гидроксильная группа связана с этильным радикалом  $\text{CH}_3\text{CH}_2$ . В молекуле этиленгликоля ко второму атому углерода также присоединена гидроксильная группа. У атома кислорода электроотрицательность больше, чем у атома углерода, поэтому атом кислорода второй гидроксильной группы оттягивает на себя электроны от атома углерода. В результате этот эффект оттягивания электронной плотности по цепочке передается к атому кислорода первой карбоксильной группы (на рисунке изображено стрелками), и электроны от атома водорода смещаются к атому кислорода.



В результате связь O-H становится более полярной и легче разрывается (естественно, влияние гидроксильных групп взаимно: точно так же первая гидроксильная группа увеличивает кислотность второй).

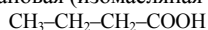
В молекуле фенола гидроксильная группа соединена с ароматическим кольцом, которое обладает свойством притягивать электроны. Поэтому связь O-H в фенолах более полярна, чем в спиртах, и легче разрывается.

В молекулах карбоновых кислот гидроксильная группа соединена с карбонильной группой С=О. Атом кислорода карбонильной группы оттягивает на себя электроны от атома углерода, который, в свою очередь, оттягивает электроны от атома кислорода гидроксильной группы. Наконец, атом кислорода оттягивает к себе электроны от атома водорода. В результате связь О–Н становится более полярной и легко разрывается. В молекуле кислоты атомы кислорода карбонильной и гидроксильной групп соединены с одним атомом углерода, поэтому этот эффект смещения электронов проявляется очень сильно и в карбоновых кислотах связь О–Н разрывается легче всего.

Таким образом, в ряду: спирты, многоатомные спирты, фенолы, карбоновые кислоты, – возрастает легкость разрыва связи О–Н в гидроксильной группе, то есть увеличивается подвижность атома водорода гидроксильной группы.

#### Ответ на вопрос № 4

Формуле  $C_4H_8O_2$  соответствуют бутановая (масляная) кислота и 2-метилпропановая (изомаляная кислота):



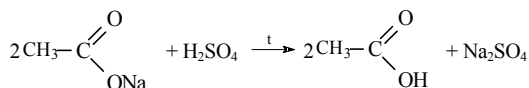
бутановая кислота



2-метилпропановая кислота

#### Ответ на вопрос № 5

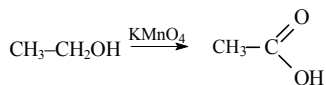
а) При действии на ацетат натрия концентрированной горной кислоты образуется уксусная кислота:



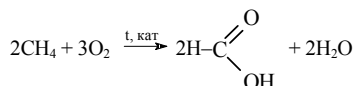
б) Уксусная кислота образуется при окислении уксусного альдегида:



в) Уксусная кислота образуется также при окислении этанола

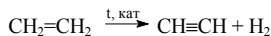


г) При окислении метана в присутствии катализатора образуется муравьиная кислота:

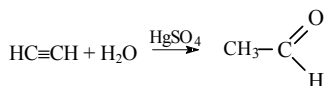


### Ответ на вопрос № 6

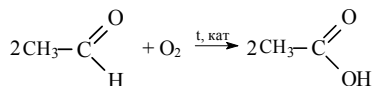
При дегидрировании этилена в присутствии катализатора образуется ацетилен:



Ацетилен присоединяет воду в присутствии солей ртути, при этом образуется уксусный альдегид:



Уксусный альдегид можно окислить в уксусную кислоту:

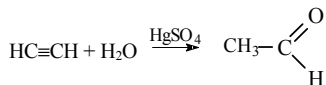


### Ответ на вопрос № 7

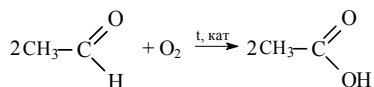
а) При сильном нагревании из метана можно получить ацетилен:



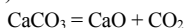
Ацетилен присоединяет воду в присутствии солей ртути, при этом образуется уксусный альдегид:



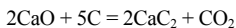
Уксусный альдегид можно окислить в уксусную кислоту:



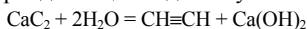
б) При сильном нагревании карбонат кальция разлагается на оксид кальция и оксид углерода (IV):



Оксид кальция при высокой температуре реагирует с углем с образованием карбида кальция:



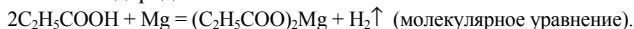
При действии на карбид кальция воды получается ацетилен:

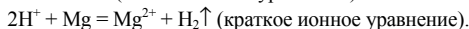
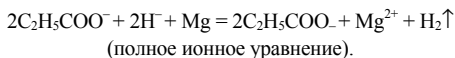


Далее из ацетилена получают уксусную кислоту так же, как в случае а).

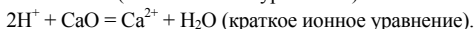
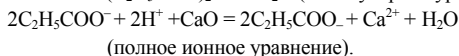
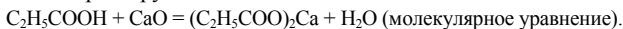
### Ответ на вопрос № 8

1) Кислоты реагируют с металлами, находящимися в ряду напряжений металлов левее водорода.

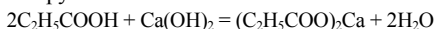




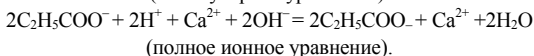
2) Кислоты реагируют с оксидами металлов:



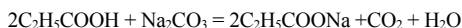
3) Кислоты реагируют с основаниями:



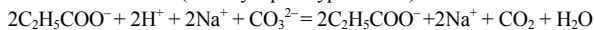
(молекулярное уравнение).



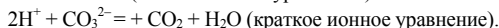
4) Кислоты вытесняют более слабые кислоты из их солей:



(молекулярное уравнение).



(полное ионное уравнение).

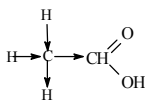


### Ответ на вопрос № 9

Электроотрицательность атома хлора выше, чем атома углерода. Поэтому хлор оттягивает на себя электроны, участвующие в образовании химической связи между атомами хлора и кислорода. Этот эффект смещения электронной плотности передается по цепочке химических связей, как показано на рисунке. В результате связь O–H в карбоксильной группе становится более полярной и поэтому легче разрывается. В результате хлоруксусная кислота диссоциирует на ионы легче, чем уксусная кислота, то есть является более сильной кислотой.

### Ответ на вопрос № 10

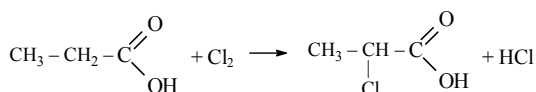
Муравьиная кислота HCOOH является более сильной, чем уксусная кислота CH<sub>3</sub>COOH. Это объясняется влиянием метильного радикала. Легкость разрыва связи O–H в карбоновых кислотах объясняется смещением электронной плотности к атому кислорода карбонильной группы. В молекуле уксусной кислоты карбоксильная группа связана с метильным радикалом, а в молекуле муравьиной кислоты – с атомом водорода. В молекуле уксусной кислоты происходит смещение электронной плотности от атомов водорода в метильном радикале к атому углерода карбоксильной группы (на рисунке показано стрелками).





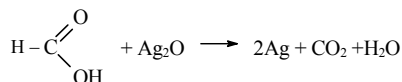
В результате смещение электронов от атома водорода гидроксильной группы уменьшается, связь О–Н становится менее полярной и разрывается труднее. Поэтому уксусная кислота более слабая, чем муравьиная, за счет влияния металлического радикала.

Карбоксильная группа также оказывает влияние на углеводородный радикал. Например, замещение атомов водорода у ближайшего к карбоксильной группе атома углерода на атомы галогена происходит легче, чем в углеводородах.



### Ответ на вопрос № 11

В молекуле муравьиной кислоты карбоксильная группа связана с атомом водорода, и получается, что в молекуле есть альдегидная группа –СН=О. Поэтому муравьиная кислота, как и альдегиды, проявляет свойства восстановителя, например, дает реакцию серебряного зеркала.



В молекулах остальных карбоновых кислот карбоксильная группа связана не с атомом водорода, а с углеводородным радикалом, поэтому другие карбоновые кислоты не могут проявлять свойств восстановителя.

### Ответ на вопрос № 12

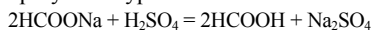
Муравьиная кислота используется как восстановитель. Некоторые сложные эфиры муравьиной кислоты используются как душистые вещества и вкусовые добавки.

Уксусная кислота используется в пищевой промышленности как консервант и вкусовая добавка. Эфиры уксусной кислотой главным образом этилацетат, используют как растворители. Уксусную кислоту используют в производстве (аспирин, парацетамол). Уксусная кислота используется в производстве триацетатцеллюлозы, из которой изготавливают ацетатное волокно (искусственный шелк), фото- и киноплёнку.

Натриевые соли высших карбоновых кислот составляют основную часть мыла.

### Ответ на вопрос № 13

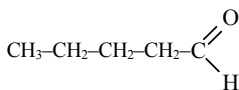
При обработке серной кислотой из натриевой соли муравьиной кислоты (формиата натрия) образуется муравьиная кислота:



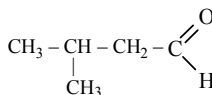
При сильном нагревании муравьиной кислоты с концентрированной серной кислотой выделяется оксид углерода (II):



3) Пентаналь (валериановый альдегид) и 3-метилбутаналь (изовалериановый альдегид):



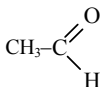
пентаналь



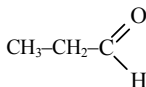
3-метилбутаналь

б) Гомологи – вещества, структурные формулы которых образуются одна из другой прибавлением  $\text{CH}_2$ -группы. Гомологами являются:

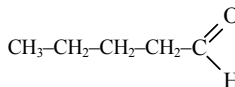
1) Этаналь (уксусный альдегид), пропаналь (пропионовый альдегид) и пентаналь (валериановый альдегид):



этаналь

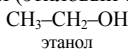


пропаналь

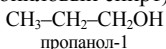


пентаналь

2) Этанол (этиловый спирт) и пропанол-1 (пропиловый спирт):

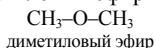


этанол



пропанол-1

3) Диметиловый эфир и метилэтиловый эфир:



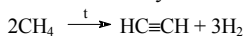
диметиловый эфир



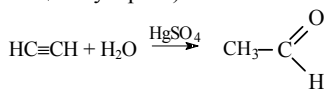
метилэтиловый эфир

### Ответ на вопрос № 17

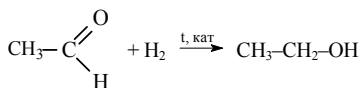
Из метана при нагревании можно получить ацетилен:



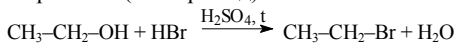
Ацетилен в присутствии сульфата ртути (II) присоединяет воду, образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова):



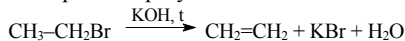
Уксусный альдегид можно восстановить до этилового спирта:



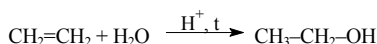
При действии на этиловый спирт бромоводорода в присутствии серной кислоты образуется бромэтан (этилбромид):



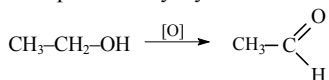
При действии на этилбромид спиртового раствора щелочи при нагревании отщепляется бромоводород и образуется этилен:



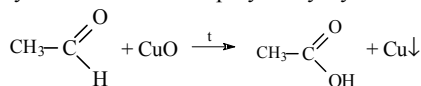
При присоединении к этилену воды в присутствии кислот образуется этиловый спирт:



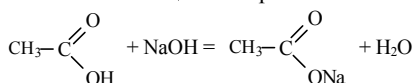
Этанол окисляется при нагревании в уксусный альдегид:



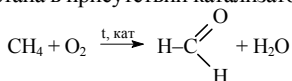
При окислении уксусного альдегида образуется уксусная кислота:



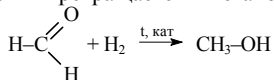
При взаимодействии уксусной кислоты и гидроксида натрия образуется натриевая соль уксусной кислоты – ацетат натрия.



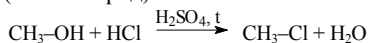
б) При окислении метана в присутствии катализатора образуется метаналь:



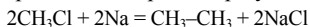
Метаналь при гидрировании превращается в метанол:



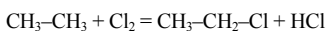
При действии на метанол хлороводорода в присутствии серной кислоты образуется хлорметан (метилхлорид):



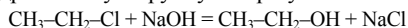
При взаимодействии хлорметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



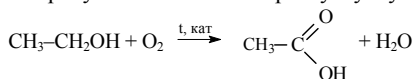
Из этана в две стадии можно получить этанол. При хлорировании этана образуется хлорэтан:



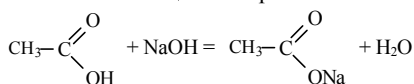
При действии на хлорэтан водного раствора щелочи происходит замещение атома хлора на гидроксильную группу и образуется этанол.



Этанол окисляется в присутствии катализатора в уксусную кислоту:



При взаимодействии уксусной кислоты и гидроксида натрия образуется натриевая соль уксусной кислоты – ацетат натрия.

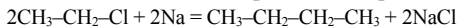


При сильном нагревании ацетата натрия с твердым гидроксидом натрия выделяется метан:

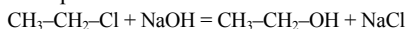


### Ответ на вопрос № 18

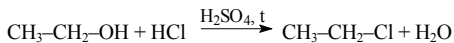
Галогенопроизводные углеводородов реагируют и с натрием, при этом образуются предельные углеводороды, содержащие в молекуле вдвое больше атомов углерода, чем исходное галогенопроизводное (реакция Вюрца):



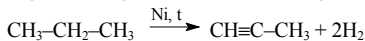
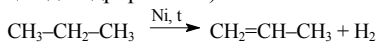
При действии на галогенопроизводные углеводородов водного раствора щелочи образуются спирты:



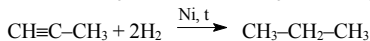
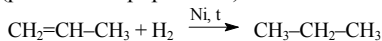
При взаимодействии спиртов с галогеноводородами в присутствии концентрированной серной кислоты образуются галогенопроизводные углеводородов:



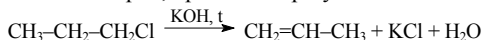
При отщеплении водорода от предельных углеводородов могут образоваться углеводороды ряда этилена – алкены или углеводороды ряда ацетиленов – алкины (реакция дегидрирования):



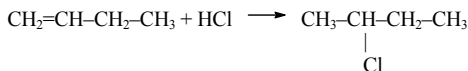
При присоединении водорода к алкенам и алкинам образуются предельные углеводороды (реакция гидрирования):



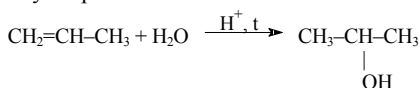
Под действием спиртового раствора щелочи от галогенопроизводных отщепляется галогеноводород, при этом образуются алкены:



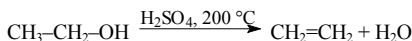
При присоединении галогеноводородов к непредельным углеводородам образуются галогенопроизводные. Присоединение протекает по правилу Марковникова:



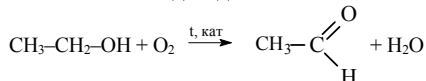
При присоединении к алкенам воды образуются спирты, реакция также протекает по правилу Марковникова.



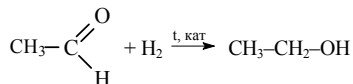
При сильном нагревании спиртов с серной кислотой происходит дегидратация и образуются алкены:



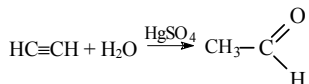
Спирты можно окислить в альдегиды:



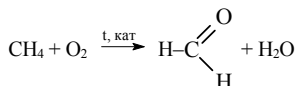
Можно, наоборот, восстановить альдегиды в спирты:



В результате присоединения к ацетилену воды образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова). Это пример превращения непредельного углеводорода в альдегид.



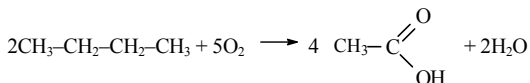
При окислении метана кислородом в присутствии катализатора образуется метаналь (формальдегид). Это пример превращения предельного углеводорода в альдегид.



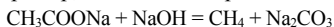
При окислении альдегидов образуются карбоновые кислоты:



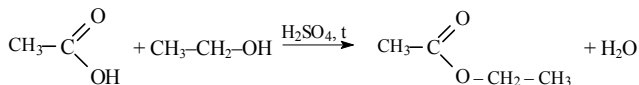
Некоторые карбоновые кислоты можно получить из предельных углеводородов. Например, при окислении бутана в присутствии катализатора образуется уксусная кислота:



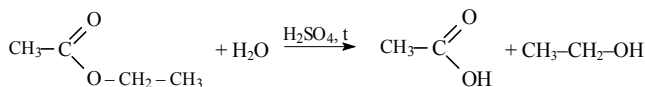
При нагревании солей карбоновых кислот с твердой щелочью выделяется предельный углеводород, содержащий на 1 атом углерода меньше, чем исходная кислота. Например, из ацетата натрия выделяется метан:



При взаимодействии спиртов и карбоновых кислот в присутствии катализатора, например, серной кислоты, образуются сложные эфиры.



Если нагреть смесь сложного эфира и воды в присутствии серной кислоты, то протекает обратная реакция – гидролиз сложного эфира – и образуются спирт и карбоновая кислота.



### Ответ на вопрос № 19

| Характеристика вещества | Муравьиная   | Уксусная   | Стеариновая   |
|-------------------------|--|--|---|
| 1. Молекулярная формула | CHCOOH   | CH <sub>3</sub> COOH   | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH   |
| 2. Получение            | 1) 2CH <sub>4</sub> + O <sub>2</sub> =<br>= 2CHCOOH +<br>+ 2H <sub>2</sub> O   | 2C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 5O <sub>2</sub><br>$\xrightarrow[t, \text{кат}]{} 4\text{CH}_3\text{COOH} +$<br>2H <sub>2</sub> O  | 2CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>34</sub> CH +<br>+ 5O <sub>2</sub> $\xrightarrow[t, \text{кат}]{} 4\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH} +$<br>+ 2H <sub>2</sub> O |
| 3. Структурная формула  | $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$   | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$   |   |
| 3. Электронная формула  | $\text{H} + \cdot\text{C} \cdot \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}}_x + \text{H}$  | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} + \cdot\overset{\cdot\cdot}{\text{C}} \cdot \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{C}}} \cdot \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}}_x + \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ |   |
| 5. Физические свойства  | жидкости с резким запахом, хорошо растворимы в воде  |  | твердое вещество без запаха, нерастворимо в воде  |
| 6. Нахождение в природе | в муравьях, хвое, крапиве  |  |   |
| 7. Применение           | 1. Реакции со спиртами<br>$\text{RCOOH} + \text{R}'\text{OH} \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}' + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \longrightarrow \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ 2. Реакции с NH <sub>3</sub><br>$\text{RCOOH} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{HCOOH} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{HCONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ |  |   |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>3. Реакция с гидроксидами металлов</p> $R-COOH + MOH \longrightarrow RCOOM + H_2O$ $C_{17}H_{35}COOH + NaOH \longrightarrow C_{17}H_{35}COONa + H_2O$ $2CH_3COOH + 2Na \longrightarrow 2CH_3COONa + H_2\uparrow$ <p>4. Получение ангидридов</p> $2CH_3COOH \xrightarrow{P_2O_5} \begin{array}{c} O \\ // \\ CH_3-C \\ \backslash \\ O \\ // \\ CH_3-C \\ \backslash \\ O \end{array}$ <p>5. Получение галогенпроизводных</p> $CH_3COOH + SOCl_2 = CH_3-C \begin{array}{c} O \\ // \\ \backslash \\ Cl \end{array} + SO_2\uparrow + HCl\uparrow$ |
|--|--|

### Решение задачи № 1

Зная плотность паров вещества по воздуху, найдем его молярную массу:

$$D_{\text{возд}} = \frac{M(\text{вещества})}{29 \text{ г/моль}},$$

$$M(\text{вещества}) = D_{\text{возд}} \cdot 29 \text{ г/моль} = 2,07 \cdot 29 \approx 60 \text{ г/моль}.$$

Нам известны массовые отношения элементов в веществе. Чтобы найти мольные отношения, нужно массовые отношения разделить на относительные атомные массы элементов.

$$n(C) : n(H) : n(O) = \frac{m(C)}{12} : \frac{m(H)}{1} : \frac{m(O)}{16}$$

Получим:

$$n(C) : n(H) : n(O) = \frac{0,4}{12} : \frac{0,0666}{1} : \frac{0,5334}{16} = 0,333 : 0,666 : 0,333$$

Соотношения должны быть целочисленными, поэтому умножим их на 3, получим:

$$n(C) : n(H) : n(O) = 1 : 2 : 1.$$

Простейшая формула вещества  $CH_2O$ . Этой формуле должна соответствовать молярная масса:

$$M(CH_2O) = 12 + 1 \cdot 2 + 16 = 30 \text{ г/моль}.$$

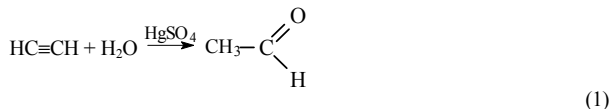
Однако на самом деле молярная масса равна 60 г/моль, то есть в 60:30 = 2 раза больше. Следовательно, чтобы получить истинные коэффициенты в формуле, нужно найденное соотношение умножить на 2. Формула вещества  $C_2H_4O_2$ , это уксусная кислота  $CH_3-COOH$ .

**Ответ:** уксусная кислота.

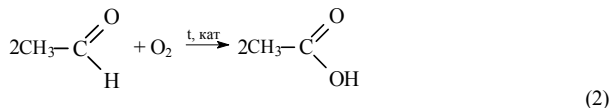


### Решение задачи № 2

Из ацетилена при присоединении воды в присутствии солей ртути образуется уксусный альдегид:



При окислении уксусного альдегида образуется уксусная кислота:



Вычислим количество вещества ацетилена:

$$v(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V_M} = \frac{112 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 5 \text{ моль}$$

По уравнению (1) из 1 моль ацетилена образуется 1 моль уксусного альдегида, значит из 5 моль ацетилена получится 5 моль уксусного альдегида. По уравнению (2) из 2 моль уксусного альдегида образуется 2 моль уксусной кислоты, следовательно, из 5 моль уксусного альдегида получится 5 моль уксусной кислоты. Молекулярная формула уксусной кислоты  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу уксусной кислоты:

$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 16 \cdot 2 = 60 \text{ г/моль}$$

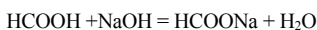
Вычислим массу уксусной кислоты:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 5 \text{ моль} \cdot 60 \text{ г/моль} = 300 \text{ г.}$$

**Ответ:** можно получить 300 г уксусной кислоты.

### Решение задачи № 3

Уравнение реакции:



Образуется натриевая соль муравьиной кислоты – формиат натрия.

Вычислим массу гидроксида натрия в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot m(\text{раствора}) = 0,1 \cdot 2000 \text{ г} = 200 \text{ г}$$

Вычислим молярную массу гидроксида натрия:

$$M(\text{NaOH}) = 23 + 16 + 1 = 40 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества гидроксида натрия:

$$v(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{200 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 5 \text{ моль}$$

По уравнению реакции 1 моль гидроксида натрия взаимодействует с 1 моль муравьиной кислоты, при этом образуется 1 моль формиата натрия. Следовательно, для нейтрализации 5 моль натрия необходимо 5 моль муравьиной кислоты. Образуется 5 моль формиата натрия.

Молекулярная формула муравьиной кислоты  $\text{CH}_2\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу муравьиной кислоты:

$$M(\text{CH}_2\text{O}_2) = 12 + 1 \cdot 2 + 16 \cdot 2 = 46 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу муравьиной кислоты:

$$m(\text{CH}_2\text{O}_2) = \nu(\text{CH}_2\text{O}_2) \cdot M(\text{CH}_2\text{O}_2) = 5 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 230 \text{ г}$$

Для нейтрализации гидроксида натрия взяли раствор муравьиной кислоты с массовой долей 0,7. Вычислим массу раствора:

$$c(\text{кислоты}) = \frac{m(\text{кислоты})}{m(\text{раствора})}, m(\text{раствора}) = \frac{m(\text{кислоты})}{c(\text{кислоты})} = \frac{230 \text{ г}}{0,7} = 328,6 \text{ г}$$

Молекулярная формула формиата натрия  $\text{CHO}_2\text{Na}$ .

Вычислим молярную массу формиата натрия:

$$M(\text{CHO}_2\text{Na}) = 12 + 1 + 16 \cdot 2 + 23 = 68 \text{ г/моль}$$

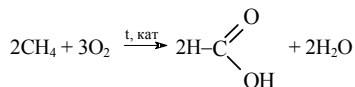
Вычислим массу формиата натрия:

$$m(\text{CHO}_2\text{Na}) = \nu(\text{CHO}_2\text{Na}) \cdot M(\text{CHO}_2\text{Na}) = 5 \text{ моль} \cdot 68 \text{ г/моль} = 340 \text{ г}$$

Ответ: необходимо 328,6 г раствора муравьиной кислоты, образуется 340 г формиата натрия.

#### Решение задачи № 4

Муравьиную кислоту можно получить при делении метана в присутствии катализатора:



Молекулярная формула муравьиной кислоты  $\text{CH}_2\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу муравьиной кислоты:

$$M(\text{CH}_2\text{O}_2) = 12 + 1 \cdot 2 + 16 \cdot 2 = 46 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества муравьиной кислоты ( $30 \text{ т} = 3 \cdot 10^7 \text{ г}$ ):

$$\nu(\text{CH}_2\text{O}_2) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O}_2)}{M(\text{CH}_2\text{O}_2)} = \frac{3 \cdot 10^7 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} \approx 652000 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 2 моль метана образуется 2 моль муравьиной кислоты, следовательно для получения 652000 моль муравьиной кислоты при 100% выходе необходимо 652000 моль метана. Однако выход составляет только 90%, или 0,9, поэтому необходимо  $652000/0,9 = 724000$  моль.

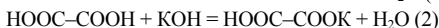
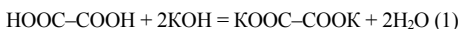
Вычислим объем метана:

$$V(\text{CH}_4) = \nu(\text{CH}_4) \cdot V_M = 724000 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 16220000 \text{ л} = 16220 \text{ м}^3.$$

Ответ: потребуется  $16220 \text{ м}^3$ .

#### Решение задачи № 5

Возможно образование средней (уравнение 1) и кислой (уравнение 2) солей:



Вычислим массу гидроксида калия, содержащегося в растворе:

$$m(\text{KOH}) = c(\text{KOH}) \cdot m(\text{раствора}) = 0,1 \cdot 112 \text{ г} = 11,2 \text{ г}$$

Вычислим молярную массу гидроксида калия:

$$M(\text{KOH}) = 39 + 16 + 1 = 56 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества гидроксида калия:

$$v(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{11,2 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль}$$

Молекулярная формула шавелевой кислоты  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ . Вычислим молярную массу шавелевой кислоты:

$$M(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 16 \cdot 4 = 90 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества шавелевой кислоты:

$$v(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4)}{M(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4)} = \frac{18 \text{ г}}{90 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль}$$

Таким образом, на 0,2 моль гидроксида калия приходится 0,2 моль шавелевой кислоты. Это соотношение соответствует уравнению (2), согласно которому для нейтрализации 1 моль гидроксида калия необходимо 1 моль шавелевой кислоты. Следовательно, образуется кислая соль – гидрооксалат калия. По уравнению 2 из 1 моль шавелевой кислоты образуется 1 моль гидрооксалата калия, следовательно из 0,2 моль шавелевой кислоты получится 0,2 моль гидрооксалата калия.

Молекулярная формула гидрооксалата калия  $\text{C}_2\text{HO}_4\text{K}$ . Вычислим его молярную массу:

$$M(\text{C}_2\text{HO}_4\text{K}) = 12 \cdot 2 + 1 + 16 \cdot 4 + 39 = 128 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу гидрооксалата калия:

$$m(\text{C}_2\text{HO}_4\text{K}) = v(\text{C}_2\text{HO}_4\text{K}) \cdot M(\text{C}_2\text{HO}_4\text{K}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 128 \text{ г/моль} = 25,6 \text{ г.}$$

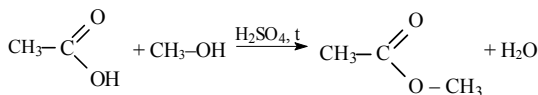
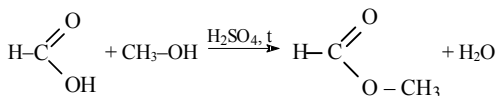
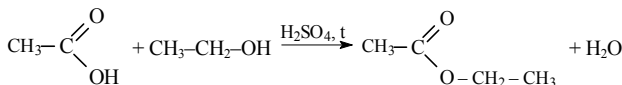
**Ответ:** получится 25,6 г гидрооксалата калия  $\text{HOOC-COOK}$ .

## Глава IX. Сложные эфиры. Жиры.

### Задачи к §§1, 2 (стр. 122)

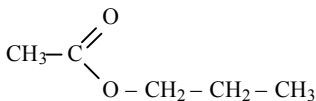
#### Ответ на вопрос № 1

Сложными эфирами называют производные карбоновых кислот, в которых атом водорода гидроксильной группы замещен на углеводородный радикал. Сложные эфиры образуются при реакциях карбоновых кислот со спиртами в присутствии катализаторов, например, серной кислоты.

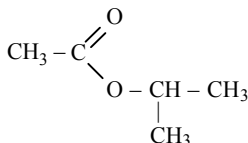


### Ответ на вопрос № 2

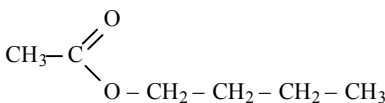
Для сложных эфиров характерна изомерия углеводородного скелета. Например, изомерами являются пропилацетат и изопропилацетат. Поскольку в молекуле сложного эфира содержится два углеводородных радикала – в остатке кислоты и в остатке спирта – то возможна изомерия каждого из радикалов. Например, изомерами являются пропилацетат и изопропилацетат (изомерия в спиртовом радикале) или этилбутират и этилизобутират (изомерия в кислотном радикале).



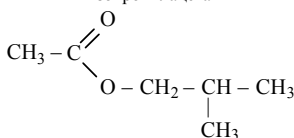
пропилацетат



изопропилацетат

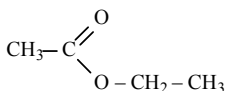


этилбутират

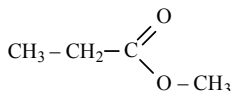


этилизобутират

Сложные эфиры также являются изомерами, если радикалы в остатке кислоты и остатке спирта «меняются местами», например этилацетат и метилпропионат:



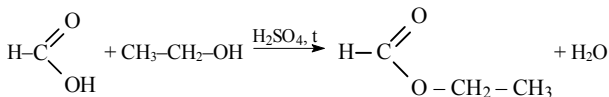
этилацетат



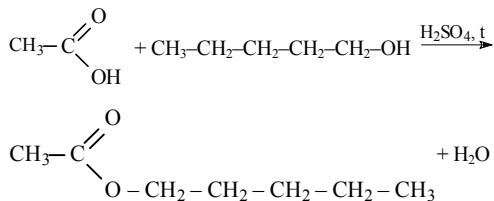
метилпропионат

### Ответ на вопрос № 3

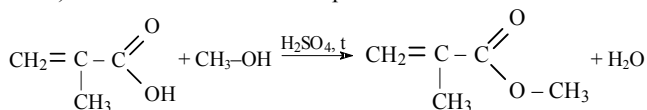
а) Этилформиат образуется при реакции муравьиной кислоты и этилового спирта.



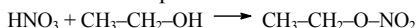
б) Пентилацетат образуется при реакции уксусной кислоты с пентильным спиртом:



в) Метилметакрилат образуется при реакции метакриловой (2-метилпропеновой) кислоты с метиловым спиртом:



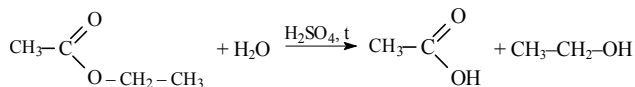
г) Этиловый эфир азотной кислоты (этилнитрат) образуется при реакции азотной кислоты и этилового спирта:



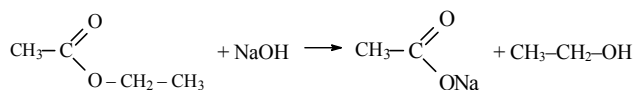
#### Ответ на вопрос № 4

**Физические свойства.** Сложные эфиры – бесцветные жидкости, мало-растворимые или совсем не растворимые в воде, обладают специфическим запахом (в малых концентрациях – приятным, часто фруктовым или цветочным). Сложные эфиры высших спиртов и высших кислот – твердые вещества.

**Химические свойства.** Наиболее характерная реакция для сложных эфиров – гидролиз. Гидролиз происходит в присутствии кислот или щелочей. При гидролизе сложного эфира в присутствии кислот образуется карбоновая кислота и спирт:



При гидролизе сложного эфира в присутствии щелочей образуются соль карбоновой кислоты и спирт:



#### Ответ на вопрос № 5

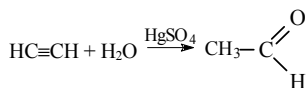
Некоторые сложные эфиры используют как растворители (наибольшее практическое значение имеет этилацетат). Многие сложные эфиры благодаря приятному запаху применяются в пищевой и парфюмерно-косметической промышленности. Сложные эфиры непредельных кислот используют для производства оргстекла, наиболее широко для этой цели используется метилметакрилат.

#### Ответ на вопрос № 6

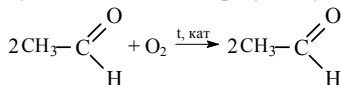
а) Из метана при нагревании можно получить ацетилен:



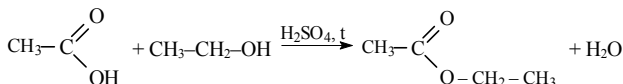
Знаком вопроса обозначен уксусный альдегид. Уксусный альдегид образуется при присоединении воды к ацетилену в присутствии солей ртути (II) (реакция Кучерова):



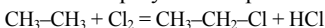
При окислении уксусного альдегида образуется уксусная кислота:



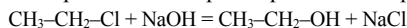
При нагревании смеси уксусной кислоты и этилового спирта образуется этилацетат:



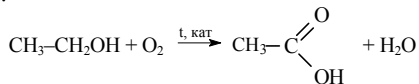
б) При хлорировании этана образуется хлорэтан:



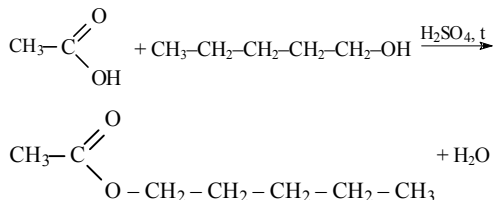
При действии на хлорэтан водного раствора щелочи образуется этанол.



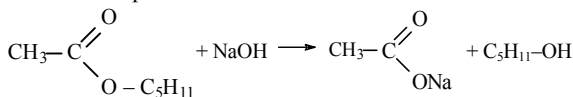
При окислении этилового спирта в присутствии катализатора образуется уксусная кислота:



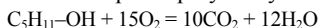
При реакции уксусной кислоты с пентильным спиртом образуется пентилацетат:



При реакции пентилацетата с гидроксидом натрия образуется пентильный спирт и ацетат натрия:



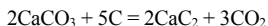
При горении пентилового спирта образуется углекислый газ:



### Ответ на вопрос № 7

Из угля и известняка можно получить этилацетат по следующей схеме:

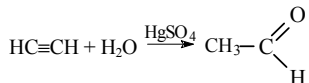
Оксид кальция при высокой температуре реагирует с углем с образованием карбида кальция:



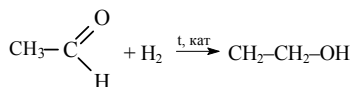
При действии на карбид кальция воды получается ацетилен:



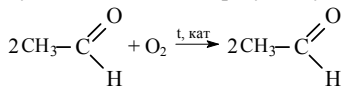
Ацетилен в присутствии сульфата ртути (II) присоединяет воду, образуется уксусный альдегид (реакция Кучерова):



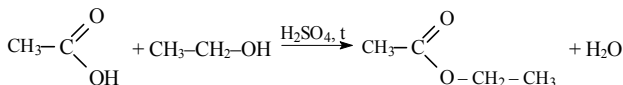
Уксусный альдегид можно восстановить до этилового спирта:



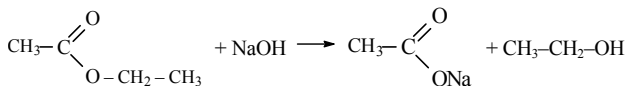
При окислении уксусного альдегида образуется уксусная кислота:



При реакции уксусной кислоты с этиловым спиртом в присутствии серной кислоты образуется этилацетат:



Из этилацетата можно получить метан в две стадии. При реакции этилацетата со щелочью образуется ацетат натрия и этиловый спирт:



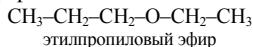
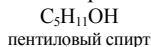
При сильном нагревании ацетата натрия с твердым гидроксидом натрия выделяется метан:



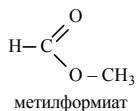
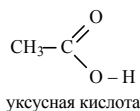
### Ответ на вопрос № 8

Изомерами являются:

1) Пентильовый спирт и этилпропиловый эфир:

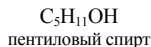
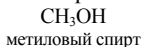


2) Уксусная кислота и метилформиат:

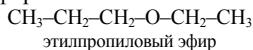
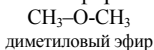


Гомологами являются:

- 1) Метиловый спирт и пентильовый спирт:



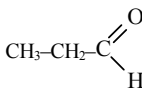
- 2) Диметиловый эфир и этилпропиловый эфир:



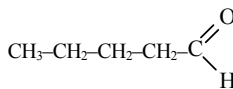
- 3) Метаналь, пропаналь, и пентаналь:



метаналь



пропаналь



пентаналь

### Ответ на вопрос № 10

В состав твердых жиров входят только предельные кислоты, а в состав жидких – непредельные кислоты. Важнейшие предельные кислоты, входящие в состав жиров:

масляная  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$

пальмитиновая  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$

стеариновая  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COOH}$

Важнейшие непредельные кислоты, входящие в состав жиров:

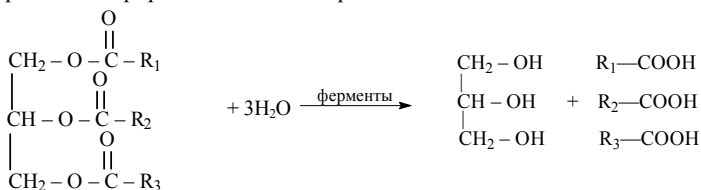
олеиновая  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$

линолевая  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$

линоленовая  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$

### Ответ на вопрос № 11

В организме жиры являются источником энергии. В процессе пищеварения жиры расщепляются на глицерин и карбоновые кислоты под действием ферментов – природных катализаторов:



$\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$ ,  $\text{R}_3$  обозначают радикалы важнейших карбоновых кислот (предельных или непредельных, структурные формулы приведены в ответе на вопрос 10).

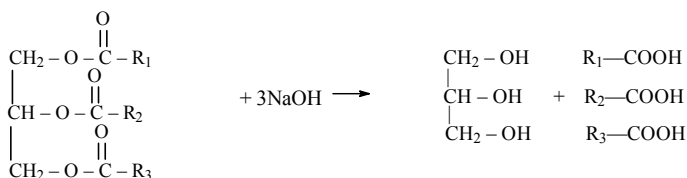
Образовавшиеся глицерин и карбоновые кислоты претерпевают затем сложные превращения, приводящие в конце концов к оксиду углерода (IV) и воде; при этом выделяется также энергия, необходимая для жизнедеятельности организма.



### Ответ на вопрос № 12

**Физические свойства.** Жиры представляют собой твердые или жидкие вещества. Температуры кипения жиров очень велики. Жиры не растворимы в воде.

**Химические свойства.** Как и все сложные эфиры, жиры гидролизуются под действием щелочей. При этом образуются глицерин и соли карбоновых кислот:

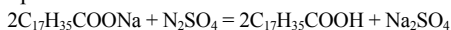


### Ответ на вопрос № 13

Основное применение жиров – производство продуктов питания. Жиры применяют также в производстве косметических средств. Раньше из жиров получали мыло, однако теперь необходимые для производства мыла высшие карбоновые кислоты получают окислением высших углеводов, которые выделяют из нефти.

### Ответ на вопрос № 14

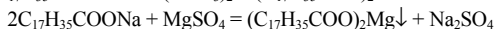
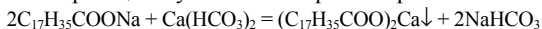
Мыло представляет собой смесь натриевых солей высших карбоновых кислот. Карбоновые кислоты – слабые кислоты, поэтому серная кислота вытесняет их из солей. Для примера составим уравнение реакции между стеаратом натрия и серной кислотой:



Стеарат натрия растворим в воде, а стеариновая кислота – нет, она и всплывает на поверхность.

### Ответ на вопрос № 15

Мыло представляет собой смесь натриевых солей высших карбоновых кислот. В жесткой воде содержатся растворимые соли магния и кальция. Происходит реакция обмена, в результате которой образуются нерастворимые кальциевые или магниевые соли карбоновых кислот. Для примера составим уравнения реакций с участием стеарата натрия:



Часть мыла расходуется, таким образом, на образование нерастворимых кальциевых и магниевых солей, и расход мыла увеличивается.

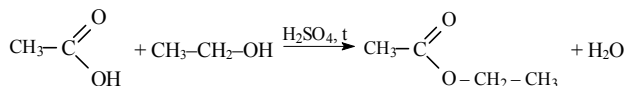
### Ответ на вопрос № 16

Синтетические моющие средства представляют собой натриевые соли алкилсульфокислот общей формулой  $\text{R}-\text{SO}_3\text{H}$ . Сульфокислоты – производные углеводов, содержащие сульфогруппу  $-\text{SO}_3\text{H}$ . Их можно рассматривать также как производные серной кислоты, в которой одна  $\text{OH}$ -группа

замещена на алкильный радикал. Кальциевые и магниевые соли сульфокислот также растворимы в воде, поэтому в жесткой воде они сохраняют моющее действие, в этом их преимущество перед мылом, которое в жесткой воде моет плохо (см. ответ на вопрос 15).

### Решение задачи № 1

Уравнение реакции:



Молекулярная формула уксусной кислоты  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу уксусной кислоты:

$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 16 \cdot 2 = 60 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества уксусной кислоты:

$$v(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)}{M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)} = \frac{120 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль}$$

Молекулярная формула этилового спирта  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Вычислим молярную массу этилового спирта:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 = 46 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества этилового спирта:

$$v(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})}{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})} = \frac{138 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 3 \text{ моль}$$

По уравнению реакции 1 моль уксусной кислоты реагирует с 1 моль этилового спирта, значит, для реакции с 2 моль уксусной кислоты необходимо 2 моль этилового спирта. Значит, этиловый спирт взят в избытке и расчет ведем по количеству вещества уксусной кислоты. По уравнению реакции из 1 моль уксусной кислоты образуется 1 моль этилацетата, значит из 2 моль кислоты при теоретическом 100% выходе получится 2 моль этилацетата. Однако реальный выход составляет 90%, или 0,9, следовательно получится  $2 \cdot 0,9 = 1,8$  моль этилацетата.

Молекулярная формула этилацетата  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу этилацетата:

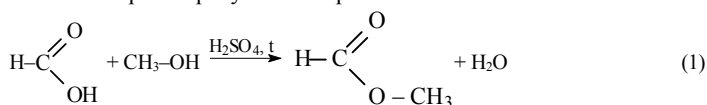
$$M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) = 12 \cdot 4 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 2 = 88 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу этилацетата:

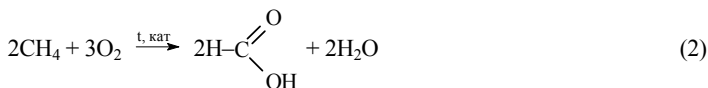
$$m(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) = v(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) = 1,8 \text{ моль} \cdot 88 \text{ г/моль} = 158,4 \text{ г.}$$

### Решение задачи № 2

Метилформиат образуется при взаимодействии муравьиной кислоты и метилового спирта в присутствии серной кислоты:



Муравьиную кислоту можно получить при окислении метана в присутствии катализатора:



При окислении метана можно также получить формальдегид, при восстановлении которого образуется метиловый спирт:



По уравнению (1) для получения 1 моль метилформиата необходимо по 1 моль метилового спирта и муравьиной кислоты. По уравнению (2) из 2 моль метана образуется 2 моль муравьиной кислоты, то есть из 1 моль метана – 1 моль кислоты. По уравнению (3) из 1 моль метана образуется 1 моль формальдегида. По уравнению (4) из 1 моль формальдегида образуется 1 моль метанола, то есть для получения 1 моль метилового спирта нужно 1 моль метана.

Итак, для получения 1 моль метилформиата необходимо 2 моль метана – 1 моль для получения метилового спирта и 1 моль для получения муравьиной кислоты.

Молекулярная формула метилформиата  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ . Вычислим молярную массу метилформиата:

$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 16 \cdot 2 = 60 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества метилформиата:

$$v(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)}{M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)} = \frac{6000 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 100 \text{ моль}$$

Как было показано выше, для получения 1 моль метилформиата необходимо 2 моль метана, следовательно для получения 100 моль метилформиата необходимо 200 моль метана.

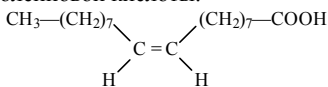
Вычислим объем метана:

$$V(\text{CH}_4) = v(\text{CH}_4) \cdot V_M = 200 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 4480 \text{ л.}$$

**Ответ:** необходимо 4480 л метана.

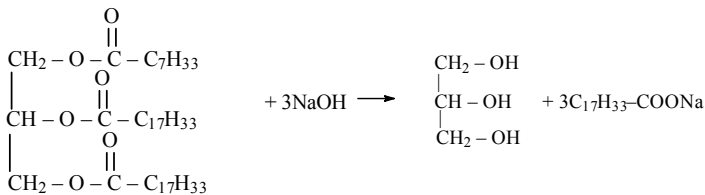
### Решение задачи № 3

Формула олеиновой кислоты:



или  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}-\text{COOH}$ .

Уравнение реакции:



Молекулярная формула глицерина  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ . Вычислим молярную массу глицерина:

$$M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 3 = 92 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества глицерина ( $5,83 \text{ т} = 5,83 \cdot 10^6 \text{ г}$ ):

$$v(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)}{M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)} = \frac{5,83 \cdot 10^6 \text{ г}}{92 \text{ г/моль}} \approx 63370 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль глицерида олеиновой кислоты образуется 1 моль глицерина, значит для получения 63370 моль глицерина при теоретическом 100% выходе необходимо 63370 моль глицерида олеиновой кислоты. Однако выход составляет 85%, и практически необходимо  $63370/0,85 = 74553$  моль глицерида олеиновой кислоты.

Молекулярная формула глицерида олеиновой кислоты  $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$ . Вычислим молярную массу глицерида олеиновой кислоты:

$$M(\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6) = 12 \cdot 57 + 104 + 16 \cdot 6 = 884 \text{ г/моль}$$

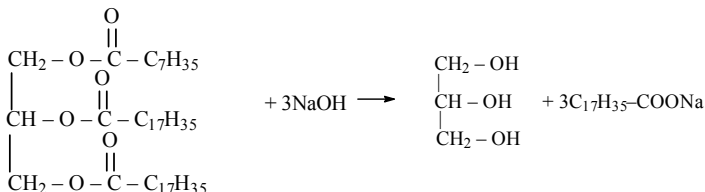
Вычислим массу глицерида олеиновой кислоты:

$$\begin{aligned}
 m(\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6) &= v(\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6) \cdot M(\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6) = \\
 &= 74553 \text{ моль} \cdot 884 \text{ г/моль} \approx 65,9 \cdot 10^6 \text{ г} = 65,9 \text{ т}.
 \end{aligned}$$

**Ответ:** необходимо 65,9 т глицерида олеиновой кислоты.

#### Решение задачи № 4

Формула стеариновой кислоты  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{-COOH}$ . При действии гидроксида натрия на глицерид стеариновой кислоты образуется глицерин и стеарат натрия:



Молекулярная формула глицерида стеариновой кислоты  $\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6$ .

Вычислим массу чистого глицерида стеариновой кислоты, содержащегося в жире:

$$m(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) = c(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) \cdot m(\text{жира}) = 0,8 \cdot 1,5 \text{ т} = 1,2 \text{ т}.$$

Вычислим молярную массу глицерида стеариновой кислоты:

$$M(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) = 12 \cdot 57 + 110 + 16 \cdot 6 = 890 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества глицерида стеариновой кислоты:

$$\nu(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6)}{M(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6)} = \frac{1,2 \cdot 10^6 \text{ г}}{890 \text{ г/моль}} \approx 1348 \text{ моль}$$

По уравнению реакции из 1 моль глицерида стеариновой кислоты образуется 3 моль стеарата натрия. Пусть из 1348 моль глицерида стеариновой кислоты получится  $x$  моль стеарата натрия. Составим пропорцию:

$$\frac{1}{3} = \frac{1348}{x}, \quad x = \frac{1348 \cdot 3}{1} = 4044 \text{ моль}$$

Молекулярная формула стеарата натрия  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{O}_2\text{Na}$ . Вычислим молярную массу стеарата натрия:

$$M(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{O}_2\text{Na}) = 12 \cdot 18 + 1 \cdot 35 + 16 \cdot 2 + 23 = 306 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу стеарата натрия:

$$\begin{aligned} m(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{O}_2\text{Na}) &= \nu(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{O}_2\text{Na}) \cdot M(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{O}_2\text{Na}) = \\ &= 4044 \text{ моль} \cdot 306 \text{ г/моль} \approx 1240000 \text{ г} = 1,24 \text{ т}. \end{aligned}$$

Стеарат натрия составляет 70%, или 0,7 от массы мыла, следовательно масса мыла равна  $1,24 \text{ т} / 0,7 = 1,77 \text{ т}$ .

**Ответ:** можно получить 1,77 т мыла.

## Глава X. Углеводы

### Задачи к §§1-4 (стр. 137)

#### Ответ на вопрос № 1

Название «углеводы» сложилось исторически. В соответствии с формулой формально можно считать, что углеводы состоят из угля и воды, их общая формула  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ .

#### Ответ на вопрос № 2

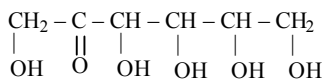
Углеводы разделяют на моносахариды, дисахариды (состоящие из двух остатков моносахаридов) и полисахариды (состоящие из трех и более остатков моносахаридов). Моносахариды классифицируют также по числу атомов углерода в молекуле – на тетрозы, пентозы и гексозы.

#### Ответ на вопрос № 3

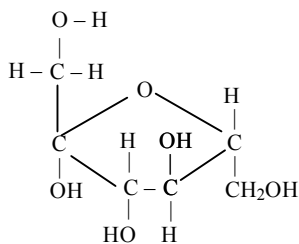
При реакции глюкозы с уксусной кислотой 1 моль глюкозы реагирует с 5 моль уксусной кислоты, значит в молекуле содержится 5 OH-групп. Глюкоза дает реакцию серебряного зеркала, причем при реакции с 1 моль глюкозы выделяется 2 моль серебра, следовательно в молекуле содержится 1 альдегидная группа.

#### Ответ на вопрос № 4

Также, как и глюкоза, фруктоза может существовать в открытой и циклической форме:



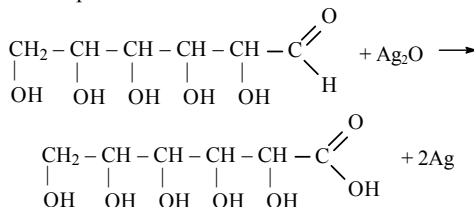
открытая форма



циклическая форма

### Ответ на вопрос № 5

В молекуле глюкозы есть альдегидная группа, поэтому глюкоза дает реакцию серебряного зеркала:

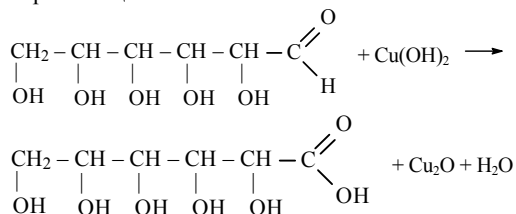


В молекуле фруктозы альдегидной группы нет (см. ответ на вопрос 4), поэтому реакцию серебряного зеркала фруктоза не дает.

### Ответ на вопрос № 6

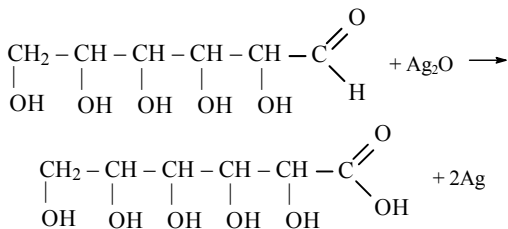
Как и глицерин, глюкоза является многоатомным спиртом и поэтому дает синее окрашивание при реакции с гидроксидом меди (II) без нагревания.

В отличие от глицерина, в молекуле глюкозы есть альдегидная группа, поэтому при нагревании с гидроксидом меди (II) образуется оксид меди (I), окрашенный в красный цвет:

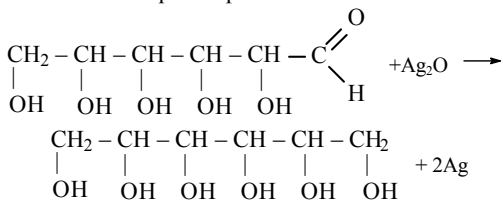


### Ответ на вопрос № 7

а) При реакции с аммиачным раствором оксида серебра глюкоза проявляет восстановительные свойства, при этом образуется глюконовая кислота.

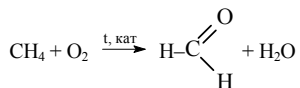


б) При гидрировании в присутствии катализатора из глюкозы можно получить шестиатомный спирт – сорбит:

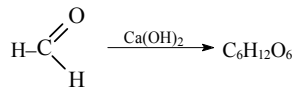


### Ответ на вопрос № 8

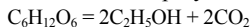
а) При окислении метана в присутствии катализатора образуется метаналь (формальдегид):



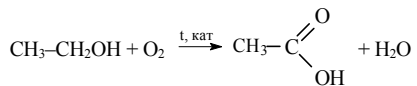
В присутствии гидроксида кальция из метаняля образуется смесь углеводов, в том числе глюкоза:



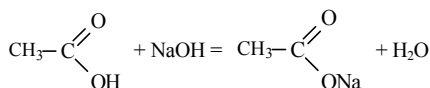
При спиртовом брожении глюкозы образуется этиловый спирт:



При окислении этилового спирта в присутствии катализатора образуется уксусная кислота:



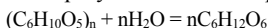
Из уксусной кислоты в две стадии можно получить метан. При взаимодействии уксусной кислоты и гидроксида натрия образуется натрияевая соль уксусной кислоты – ацетат натрия.



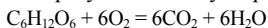
При сильном нагревании ацетата натрия с твердым гидроксидом натрия выделяется метан:



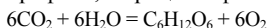
При гидролизе крахмала образуется глюкоза. Уравнение реакции:



При сжигании глюкозы образуется оксид углерода (IV):

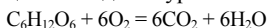


Превращение оксида углерода в глюкозу осуществимо только в клетках растений, содержащих хлорофилл, в процессе фотосинтеза:



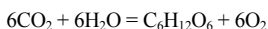
### Ответ на вопрос № 9

При окислении глюкозы в организме выделяется необходимая для жизнедеятельности энергия. Эта реакция протекает через множество промежуточных соединений и в конце концов приводит к оксиду углерода (IV) и воде, так что общее уравнение реакции совпадает с уравнением горения глюкозы:

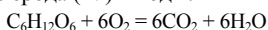


### Ответ на вопрос № 10

При фотосинтезе происходит образование глюкозы и выделяется кислород. Процесс фотосинтеза происходит в зеленых клетках растений, для него необходим свет:

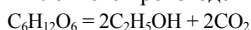


При дыхании происходит окисление глюкозы через ряд промежуточных соединений до оксида углерода (IV) и воды:

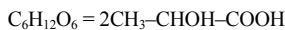


### Ответ на вопрос № 11

1) Спиртовое брожение, при котором образуется этиловый спирт. Имеет важное значение для промышленного производства этилового спирта:

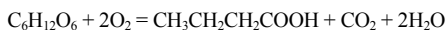


2) Молочнокислое брожение, при этом образуется молочная (2-гидроксипропионовая) кислота.



Процесс молочнокислого брожения происходит при квашении капусты, солении огурцов, а также при силосовании кормов.

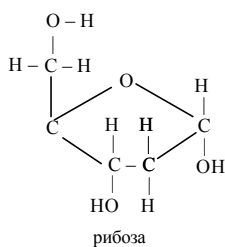
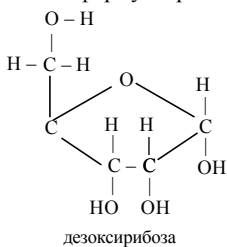
3) Маслянокислое брожение, при котором образуется масляная (бутановая) кислота.



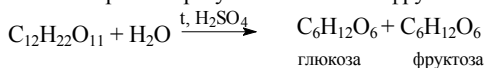


**Ответ на вопрос № 12**

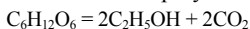
Приведем формулы рибозы и дезоксирибозы:

**Ответ на вопрос № 13**

При гидролизе сахарозы образуются глюкоза и фруктоза:

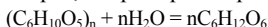


При спиртовом брожении глюкозы образуется этанол:

**Ответ на вопрос № 14**

Сахарозу получают из растений, в которых она содержится в достаточно большом количестве, например из сахарной свеклы или сахарного тростника. Получение сводится лишь к очистке вещества.

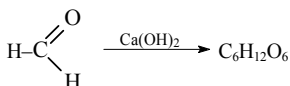
Глюкозы в промышленности получают при гидролизе крахмала, получаемого из растительного сырья, например из картофеля:

**Ответ на вопрос № 15**

При образовании крахмала происходит отщепление воды от молекул глюкозы и образуются макромолекулы крахмала, состоящие из большого количества остатков молекул глюкозы:

**Ответ на вопрос № 16**

а) В присутствии гидроксида кальция из метаналь образуется смесь углеводов, в том числе глюкоза:

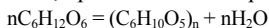


б) Превращение глюкозы в крахмал или целлюлозу осуществимо только в живых организмах:

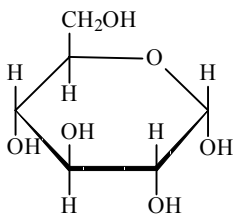


### Ответ на вопрос № 17

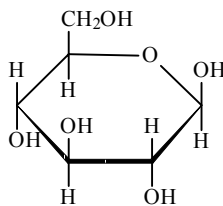
Целлюлоза является природным полимером. Молекулы целлюлозы образуются из молекул глюкозы, при этом также образуется вода:



Отличие свойств глюкозы и крахмала объясняется следующим образом. Глюкоза может существовать в двух циклических формах, называемых  $\alpha$ - и  $\beta$ -формами. В  $\alpha$ -форме гидроксильная группа при первом атоме углерода направлена вниз, а в  $\beta$ -форме вверх по отношению к плоскости молекулы:

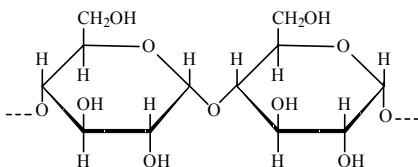


$\alpha$ -форма

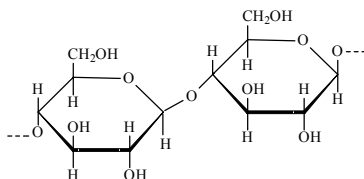


$\beta$ -форма

При образовании молекул крахмала и целлюлозы отщепляется молекула воды от гидроксильных групп в первом и четвертом положениях (аналогично образованию простых эфиров из спиртов). Но из  $\alpha$ -формы глюкозы образуется крахмал, а из  $\beta$ -формы – целлюлоза:



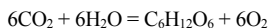
крахмал



целлюлоза

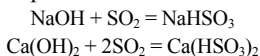
### Ответ на вопрос № 19

Целлюлоза образуется в растениях из глюкозы, образующейся в процессе фотосинтеза:



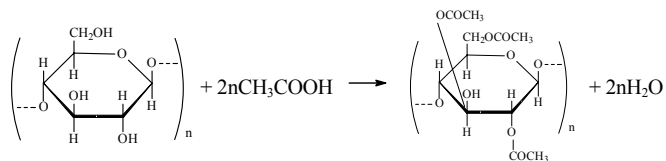
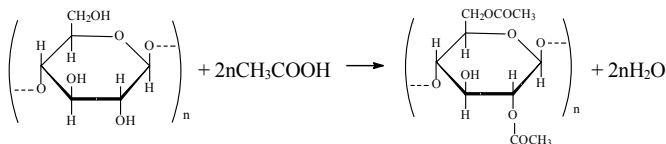
### Ответ на вопрос № 20

Для получения целлюлозы из древесины измельченную древесину нагревают с растворами гидросульфитов натрия или кальция. При этом другие содержащиеся в древесине вещества переходят в раствор, а нерастворенной остается чистая целлюлоза. Сульфиты натрия и кальция получают из оксида серы (IV) и гидроксидов натрия или кальция:



### Ответ на вопрос № 21

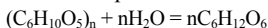
Могут образоваться триацетилцеллюлоза или диацетилцеллюлоза:



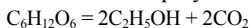
### Ответ на вопрос № 22

Метанол образуется вместе с другими веществами при сухой перегонке древесины, то есть при нагревании без доступа воздуха.

При гидролизе содержащейся в древесине целлюлозы образуется глюкоза:



При спиртовом брожении глюкозы образуется этанол:



### Ответ на вопрос № 23

Большое количество целлюлозы используется для изготовления бумаги. При обработке целлюлозы уксусной кислотой образуется триацетилцеллюлоза, из которой получают ацетатный шелк, фото- и кинолентку. При обработке целлюлозы азотной кислотой образуется тринитрат целлюлозы, который применяют для изготовления пороха и взрывчатых веществ (пироксилина).

### Ответ на вопрос № 24

Основные волокна, получаемые из целлюлозы – вискоза и ацетатное волокно. Вискоза по составу представляет собой чистую целлюлозу, ацетатное волокно состоит из триацетилцеллюлозы.

### Решение задачи № 1

а) Вычислим количество вещества А:

$$\nu(A) = \frac{m(A)}{M(A)} = \frac{0,9 \text{ г}}{180 \text{ г/моль}} = 0,005 \text{ моль}$$

Найдем молярные массы воды и оксида углерода (IV):

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 + 16 = 18 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{CO}_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль}$$

Вычислим количество вещества воды и оксида углерода (IV), образовавшихся при сжигании вещества:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,54 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{1,32 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}$$

В молекуле воды 2 атома водорода, значит в исходном веществе содержалось  $0,03 \cdot 2 = 0,06$  моль атомов водорода. В молекуле оксида углерода один атом углерода, значит в исходном веществе содержалось  $0,03$  моль атомов углерода.

При сжигании вещества А образовались только вода и оксид углерода (IV), значит в состав вещества входят только водород, углерод и кислород. В  $0,005$  моль вещества А содержится  $0,06$  моль атомов водорода и  $0,03$  моль атомов углерода, то есть в молекулу входит  $0,03/0,005 = 6$  атомов углерода и  $0,06/0,005 = 12$  атомов водорода. Относительная молекулярная масса вещества А равна 180, на кислород приходится  $180 - 6 \cdot 12 - 1 \cdot 12 = 96$ . Относительная атомная масса кислорода равна 16, следовательно в молекуле  $96/16 = 6$  атомов кислорода. Итак, молекулярная формула вещества А  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Это может быть глюкоза, фруктоза или другой углевод с формулой  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

б) Вычислим количество вещества В:

$$\nu(B) = \frac{m(B)}{M(B)} = \frac{1,71 \text{ г}}{342 \text{ г/моль}} = 0,005 \text{ моль}$$

Вычислим количество вещества воды и оксида углерода (IV), образовавшихся при сжигании вещества В:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,99 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,055 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{2,64 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,06 \text{ моль}$$

В молекуле воды 2 атома водорода, значит в исходном веществе В содержалось  $0,055 \cdot 2 = 0,11$  моль атомов водорода. В молекуле оксида углерода один атом углерода, значит в исходном веществе В содержалось  $0,06$  моль атомов углерода.

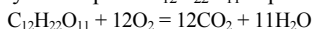
При сжигании вещества В образовались только вода и оксид углерода (IV), значит в состав вещества В входят только водород, углерод и кислород. В  $0,005$  моль вещества В содержится  $0,11$  моль атомов водорода и  $0,06$  моль атомов углерода, то есть в молекулу входит атомов

0,06/0,005 = 12 атомов углерода и 0,11/0,005 = 22 атома водорода. Относительная молекулярная масса вещества В равна 342, на кислород приходится  $342 - 12 \cdot 12 - 1 \cdot 22 = 176$ . Относительная атомная масса кислорода равна 16, следовательно в молекуле  $176/16 = 11$  атомов кислорода. Итак, молекулярная формула вещества В  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , это может быть сахароза, мальтоза или другой изомерный им углевод с формулой  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

**Ответ:** формула вещества А  $C_6H_{12}O_6$ , формула вещества В  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

### Решение задачи № 2

Молекулярная формула сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Уравнение реакции горения:



По уравнению реакции из 1 моль сахарозы образуется 12 моль оксида углерода (IV). Пусть из 0,25 моль сахарозы образуется x моль оксида углерода (IV). Составим пропорцию:

$$\frac{1}{12} = \frac{0,25}{x}, \quad x = \frac{0,25 \cdot 12}{1} = 3 \text{ моль}$$

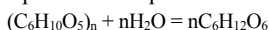
Вычислим объем оксида углерода (IV):

$$V(CO_2) = \nu(CO_2) \cdot V_M = 3 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 6,72 \text{ л.}$$

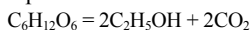
**Ответ:** выделится 6,72 л оксида углерода (IV).

### Решение задачи № 3

Уравнение гидролиза крахмала с образованием глюкозы:



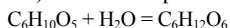
Уравнение спиртового брожения глюкозы:



Вычислим массу крахмала, содержащегося в картофеле:

$$m((C_6H_{10}O_5)_n) = \nu((C_6H_{10}O_5)_n) \cdot m(\text{крахмала}) = 0,2 \cdot 1000 \text{ кг} = 200 \text{ кг.}$$

Крахмал представляет собой полимер, состоящий из множества звеньев  $C_6H_{10}O_5$ . Значение n в формуле крахмала может быть различным. Для нас важно вычислить количество вещества образующейся при гидролизе глюкозы, поэтому примем (условно!) значение n равным 1.



С учетом этого будем рассматривать крахмал как вещество с формулой  $C_6H_{10}O_5$ . Вычислим его молярную массу:

$$M(C_6H_{10}O_5) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 10 + 16 \cdot 5 = 162 \text{ г/моль.}$$

Вычислим количество вещества крахмала:

$$\nu(C_6H_{10}O_5) = \frac{m(C_6H_{10}O_5)}{M(C_6H_{10}O_5)} = \frac{200000 \text{ г}}{162 \text{ г/моль}} \approx 1234,5 \text{ моль}$$

Из 1 моль крахмала по уравнению реакции (3) образуется 1 моль глюкозы, значит из 1234,5 моль образуется 1234,5 моль глюкозы. По уравнению (2) из 1 моль глюкозы образуется 2 моль спирта, значит из 1234,5 моль глюкозы образуется  $1234,5 \cdot 2 = 2469$  моль спирта.

Молекулярная формула этилового спирта  $C_2H_6O$ . Вычислим молярную массу этилового спирта:

$$M(C_2H_6O) = 12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 = 46 \text{ г/моль}$$

Вычислим массу этилового спирта, который теоретически можно получить из этого количества глюкозы:

$$m_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 2469 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} \approx 113600 \text{ г} = 113,6 \text{ кг}.$$

Практически же получили 100 л спирта. Вычислим его массу:

$$m_{\text{практ}}(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = \rho(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 0,8 \text{ кг/л} \cdot 100 \text{ л} = 80 \text{ кг}.$$

Вычислим выход спирта, разделив практически полученную массу на теоретически возможную:

$$\text{выход}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m_{\text{практ}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{80 \text{ кг}}{113,6 \text{ кг}} \cdot 100\% = 70,4\%$$

Ответ: выход этилового спирта равен 70,4%.