

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

С.Л. Белопухов, И.И. Дмитриевская, Г.С. Браташ, О.А. Жарких

# СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

*Учебное пособие*

УДК 547(075):372.854

ББК 24.2

Т 65

Рецензенты: доктор химических наук, профессор ФГБОУ ВО «Московская ГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина» **Царькова М.С.**, доктор биологических наук, профессор ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» **Осипова Л.В.**

Сборник задач по органической химии: Учебное пособие / С.Л. Белопухов, И.И. Дмитриевская, Г.С. Браташ, О.А. Жарких. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2024. 206 с.

Учебное пособие содержит задачи и примеры по всем разделам органической химии и соответствует программе 3-го поколения курса «Органическая химия» для бакалавров сельскохозяйственных вузов, отражает современное развитие органической химии. Каждый раздел содержит теоретическое введение, примеры решения типовых задач, задачи и упражнения для самостоятельного решения. В пособии удачно подобраны наиболее существенные реакции и соответствующие им методики, приведены спектральные данные, необходимые для идентификации синтезируемого органического вещества.

*Учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлениям 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, 35.03.04 Агрономия, 35.03.05 Садоводство и рекомендуется Федеральным УМО для использования в учебном процессе.*

ISBN 978-5-9675-2046-4

© Коллектив авторов, 2024

## Введение

Органическая химия в современных условиях является важным фактором технического прогресса во многих отраслях народного хозяйства. Особое значение приобретает знание органической химии, так как в настоящее время промышленность органического синтеза в России продолжает своё бурное развитие в 21-ом веке.

Органическая химия изучает соединения углерода – углеводороды и их производные, в состав которых могут входить почти все элементы периодической системы.

Наличие углерода в каждом органическом веществе позволило шведскому химику Берцелиусу определить «органическую химию как химию соединений углерода» (1806 г.). Впоследствии это определение ввел в свой учебник по органической химии и Кекуле. Оно является общепринятым в настоящее время.

Выделение органической химии в самостоятельную научную дисциплину обусловлено большим числом и многообразием соединений углерода, наличием специфических свойств, отличающих их от соединений других элементов, и, наконец, их исключительным значением в жизни человека.

Программой предмета «Органическая химия» предусматривается изучение теоретических основ курса, свойств важнейших представителей отдельных классов органических веществ, имеющих наибольшее техническое или биологическое значение и способов их получения.

Органическая химия является одной из наиболее сложных химических дисциплин, требующих повседневного систематического изучения и запоминания большого количества материала.

## Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ. ТЕОРИЯ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ .....	6
2. ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АЛКАНЫ).....	13
3. НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ.....	25
3.1. Алкены .....	31
3.2. Диены .....	37
3.3. Алкины .....	39
4. АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ.....	45
5. ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ .....	56
6. СПИРТЫ И ФЕНОЛЫ .....	65
6.1. Спирты.....	73
6.2. Фенолы .....	77
7. АМИНЫ И АМИНОСПИРТЫ.....	81
8. АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ. ....	92
9. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ .....	104
10. ОКСИ- И ОКСОКИСЛОТЫ.....	119
11. ОПТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЯ.....	129
12. САХАРА (УГЛЕВОДЫ).....	136
13. АМИНОКИСЛОТЫ И БЕЛКИ.....	147
14. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ. ....	161
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	170
Номенклатура органических соединений.....	170
Таблицы химических сдвигов протонов разных типов.....	192
ОТВЕТЫ И УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ .....	194
ЛИТЕРАТУРА .....	205

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Каждая тема курса представлена в пособии простыми и более сложными заданиями, требующими только анализа и ответа или предварительных расчетных операций.

При изучении курса «Органическая химия» в сельскохозяйственном ВУЗе большое значение имеет приобретение навыков в решении расчетных задач. Этот навык впоследствии используется и закрепляется в специальных курсах «Агрохимия», «Почвоведение», «Защита растений», «Экология», «Биохимия» и др. при расчете доз удобрений, концентраций рабочих растворов пестицидов и т.д.

Предлагаемый сборник задач и упражнений составлен в соответствии с типовой программой 3-го поколения и отвечает требованиям стандартов высшего профессионального образования. По возможности в каждый раздел сборника включены задачи с использованием биологических объектов. В начале каждого раздела сборника приведены примеры с подробным разбором хода решения. В приложении приведены таблицы и данные, необходимые для решения задач.

Для приобретения навыков решения задач по теоретическому курсу органической химии студенты выполняют домашнее задание по следующим темам:

1. Химическая связь. Теория химического строения органических соединений
2. Предельные углеводороды (алканы)
3. Непредельные углеводороды
4. Ароматические углеводороды
5. Галогенопроизводные углеводородов
6. Спирты и фенолы
7. Амины и аминоспирты
8. Альдегиды и кетоны
9. Карбоновые кислоты и их производные
10. Окси- и оксокислоты
11. Оптическая изомерия
12. Сахара (углеводы)
13. Аминокислоты и белки
14. Гетероциклические соединения

Выполнение задания является необходимым условием допуска студента к зачету или экзамену по курсу органической химии. Контроль качества выполнения задания определяется преподавателем, оценка соответствует числу правильно решенных задач.

Для более качественного выполнения домашнего задания в учебном пособии разбираются основополагающие элементы изучаемых разделов, и приводится решение типовых задач.

# 1. Химическая связь. Теория химического строения органических соединений

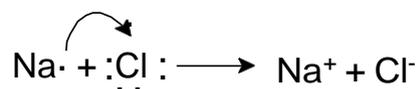
Теория строения А.М.Бутлерова (1861г.) служила и служит стержнем органической химии. Положения теории строения:

- 1) Химическое строение – это определённый порядок связи атомов в молекуле
- 2) Химические свойства соединения определяются составом и строением его молекул. Различное строение при одном и том же составе, и молекулярной массе вещества обуславливает явление изомерии.
- 3) Изучая продукты химических превращений соединения, можно установить его строение.
- 4) Атомы и группы атомов, входящие в состав молекулы, оказывают взаимное влияние друг на друга.

## Типы химических связей в органических соединениях

### Ионная связь.

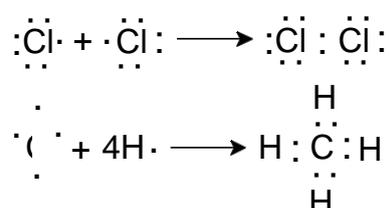
Атомы элементов с числом электронов на внешнем электронном уровне, отличным от 8 (все элементы кроме инертных газов), стремятся изменить свою электронную конфигурацию таким образом, чтобы на их внешних оболочках оказалось по 8 электронов. Один из способов образования такой конфигурации – перенос электронов: атомы одного элемента отдают электроны атомам другого элемента. В данном случае между этими атомами образуется ионная (гетерополярная) связь:



Связь между двумя разноимёнными ионами осуществляется за счёт электростатического взаимодействия. Данный вид связи возникает между атомами, сильно отличающимися по электроотрицательности.

### Ковалентная связь.

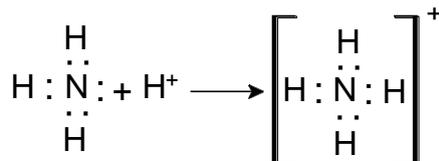
При взаимодействии атомов, равных (один и тот же элемент) или близких по электроотрицательности, переноса электронов не происходит. Образование электронной конфигурации благородного газа для таких атомов происходит вследствие обобщения двух, четырёх или шести электронов взаимодействующими атомами. Каждая из обобщённых пар электронов образует одну ковалентную (гомеополярную) связь:



Ковалентная связь – наиболее распространённый в органической химии тип связи.

### Донорно-акцепторный механизм.

При взаимодействии атомов, имеющих не поделённые электронные пары, с протоном или другим атомом, у которого не хватает до образования октета двух электронов, не поделённая электронная пара становится общей и образует между этими атомами новую ковалентную связь. При этом атом, отдающий электроны, называют донором, а атом, принимающий электроны – акцептором.



### **Классификация реакций в органической химии**

Существует 3 типа реакций:

- замещение
- присоединение
- отщепление (элиминирование)

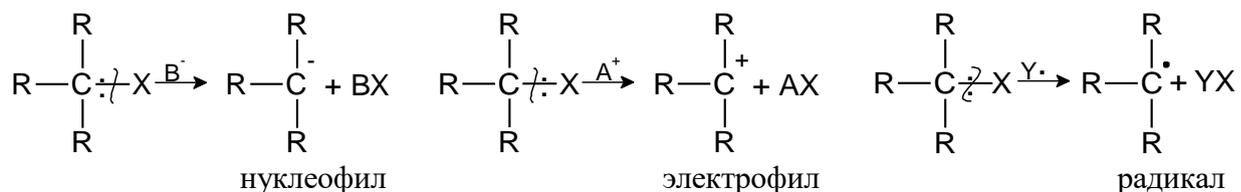
В этих реакциях участвует 3 типа реагентов:

Электрофилы

Нуклеофилы

Радикалы

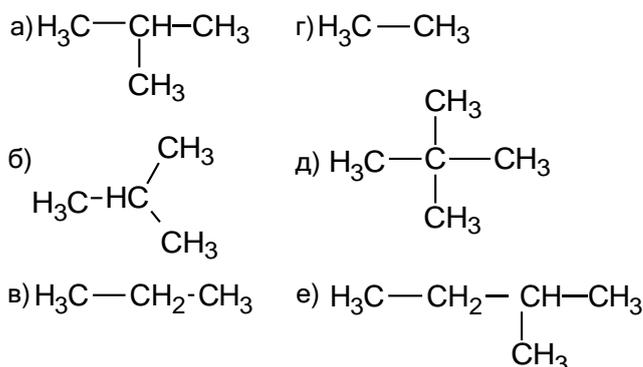
Эти реагенты образуются в результате 2 способов разрыва ковалентной связи:



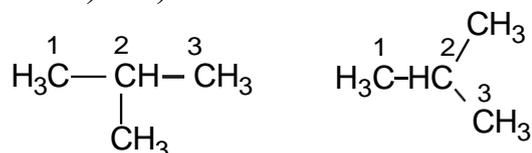
Реакции замещения, в свою очередь, по типу реагента делят на электрофильные, нуклеофильные и радикальные. Реакции присоединения к углерод-углеродной двойной связи чаще всего являются электрофильными реакциями, реакции отщепления (элиминирования), приводящие в большинстве случаев к образованию дополнительной связи между атомами, могут вызываться нуклеофильными или электрофильными агентами.

## Примеры решения задач

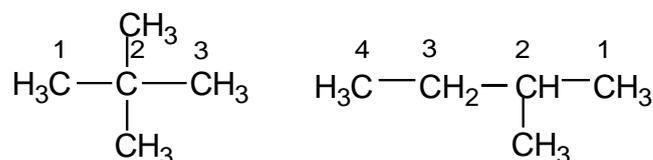
1. Укажите, сколько веществ изображено следующими формулами:



*Решение.* Сначала находим соединения с одинаковой брутто-формулой. Вещества: а) и б) отвечают формуле  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , а также вещества д) и е)  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ . Теперь назовем вещества: а) и б).



И в том и в другом случае вещество называется 2-метилпропан, это одно и то же вещество. Теперь назовем вещества д) и е). Выбираем и нумеруем главную цепь:



Вещество д) 2,2-диметилпропан, вещество е) 2-метилбутан — это разные вещества.

Таким образом, в задании изображено 5 веществ.

2. Укажите, под каким валентным углом расположены С - С связи в молекуле гексана и какова длина связи.

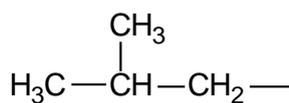
*Решение.* Гексан относится к классу алканов, т.е. является насыщенным углеводородом. Каждый атом углерода в молекулах алканов находится в состоянии  $sp^3$ -гибридизации — все 4 гибридные орбитали атома углерода равны по форме и энергии, 4 электронных облака направлены в вершины тетраэдра под углами  $109^\circ 28'$ . Длина углеродной связи — 0,154 нм.

3. Укажите, сколько существует изомерных радикалов  $\text{C}_4\text{H}_9$ , назовите их.

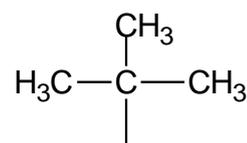
*Решение.* Сначала записываем радикалы с неразветвленной цепью:



Существует так же два изомерных радикала с разветвленной цепью:



*изо-бутил-*

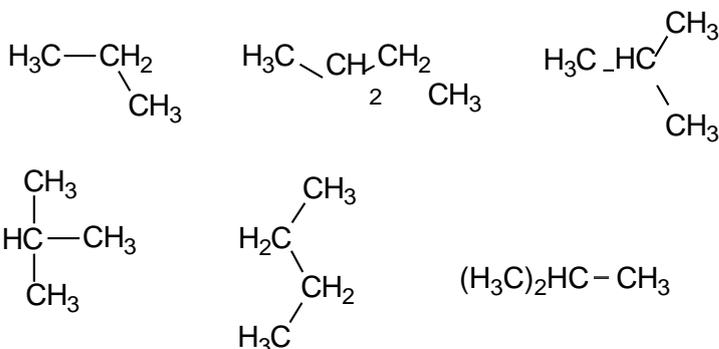


*трет-бутил-*

Таким образом для радикала  $\text{C}_4\text{H}_9$  существует 4 изомера.

### Задачи для самостоятельного решения

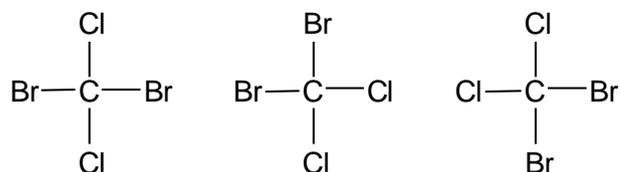
- 1.1. Объясните, чем обусловлено многообразие органических соединений.
- 1.2. Напишите формулы органических соединений (не менее двух), имеющих одновременно ионную и ковалентную связи.
- 1.3. Напишите структурные (графические) формулы следующих соединений:
  - а) этан;
  - б) муравьиная (метановая) кислота;
  - в) натриевая соль уксусной (этановой) кислоты.
- 1.4. Приведите примеры органических соединений (не менее трёх), в которых химическая связь образована по донорно-акцепторному механизму.
- 1.5. Объясните, почему существует ион  $\text{NH}_4^+$  и не существует ион  $\text{CH}_5^+$ .
- 1.6. Напишите структурные формулы 2-аминобензойной кислоты и 3-хлорфенола. Укажите характер химических связей в каждом из соединений, валентности и степени окисления элементов.
- 1.7. Укажите, под каким валентным углом расположены C - C связи в молекуле пропана.
- 1.8. Укажите, сколько веществ изображено следующими формулами:



1.9. Дайте определения следующим понятиям:

- а) теплота образования;
- б) теплота разложения;
- в) теплота сгорания.

1.10. Укажите, сколько веществ изображено формулами:



1.11. Дайте определение следующим терминам:

- а) структурная изомерия;
- б) изомерия положения;
- в) цис-, транс-изомерия;
- г) оптическая изомерия

Приведите примеры изомеров всех указанных типов.

1.12. Из перечисленных соединений выберите для диметилбутена:

- а) гомологи;
- б) изомеры

- 1) бутан;
- 2) гексен-1;
- 3) 2,2-диметилпропан;
- 4) этилацетилен;
- 5) 2-метилпентен;
- 6) бутадиен-1,3;
- 7) бутен-1;
- 8) октан;
- 9) гептен-3.

1.13. Укажите, сколько существует изомерных радикалов  $\text{C}_3\text{H}_7$ , назовите их.

1.14. Напишите структурную формулу 2,2,4,4-тетраметилгексана. Напишите формулу его изомера, имеющего в качестве заместителя только пропил.

1.15. Приведите структурные формулы всех спиртов, изомерных метилпропиловому эфиру.

1.16. Приведите структурные формулы всех углеводородов, имеющих в своём составе только бензольное кольцо, этильный и изопропильный радикалы.

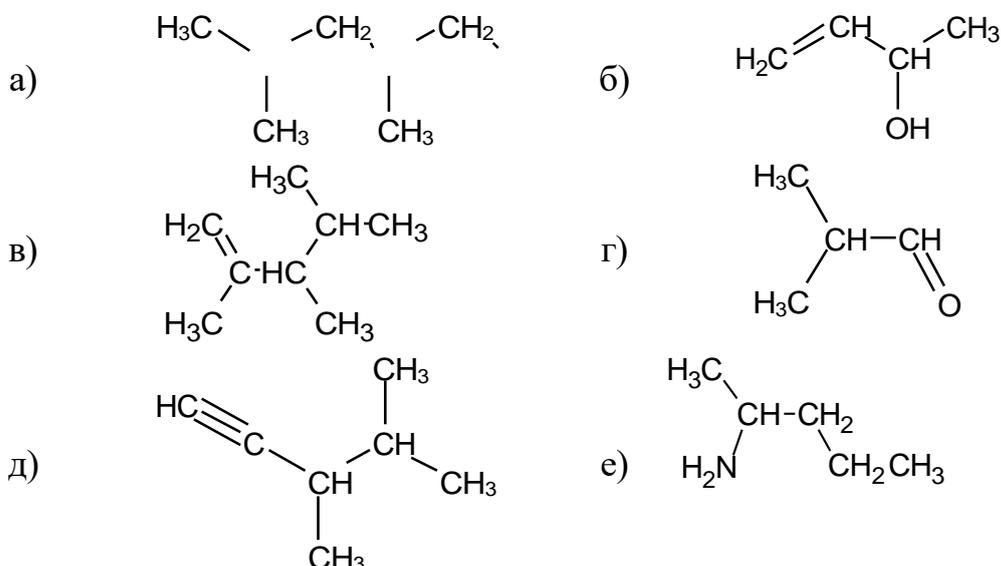
1.17. Напишите структурные формулы всех веществ, имеющих формулу  $\text{C}_7\text{H}_6\text{Cl}_2$ .

1.18. Нециклическое органическое соединение X имеет молекулярную формулу  $C_4H_{10}O$ . Укажите 7 возможных структур соединения этого соединения.

1.19. Напишите общие формулы гомологических рядов: алкинов, диенов, предельных одноатомных спиртов, непредельных монокарбоновых кислот, предельных альдегидов.

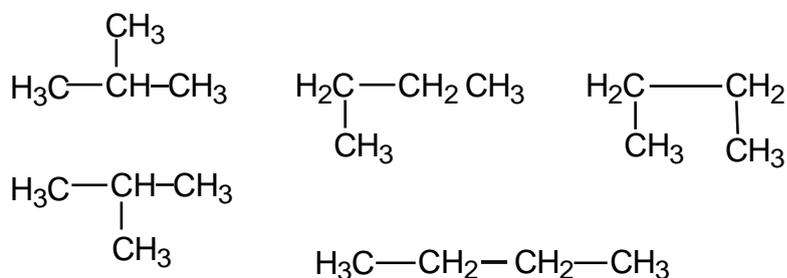
1.20. Дайте определение понятиям: первичный, вторичный, третичный и четвертичный атом углерода.

1.21. Назовите по международной номенклатуре IUPAC следующие соединения:



1.22. Напишите общие схемы трёх типов реакций в органической химии: замещение, присоединение, отщепление (элиминирование). Приведите конкретные примеры реакций всех трёх типов.

1.23. Укажите, сколько веществ изображено формулами:



1.24. Дайте определения следующим реагирующим органическим частицам: радикал, электрофил, нуклеофил. Приведите примеры способов разрыва ковалентной связи с образованием этих частиц.

- 1.25. Напишите структурные формулы всех возможных изомеров для каждого из приведённых ниже соединений (а-з). Выделите и назовите функциональные группы. Отнесите каждое из соединений к соответствующему классу. Назовите все изомеры по номенклатуре IUPAC
- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| а) $C_9H_{10}O_2$ ; | д) $H_2N-CH_2-CH=CH-CH=O$ ; |
| б) $C_4H_8O_3$ ;    | е) $C_4H_{10}O$ ;           |
| в) $C_6H_7NO$ ;     | ж) $C_5H_8$ ;               |
| г) $C_4H_7BrO_2$ ;  | з) $C_5H_{13}N$ .           |
- 1.26. В трёх склянках без этикеток содержатся следующие жидкости: 2-метилпентен-1; 2,2-дихлорэтан; *n*-гептан. Предложите пути идентификации этих веществ.
- 1.27. Какой из приведённых ниже алкенов будет легче вступать в реакцию бромирования: этилен, пропен, 2,2-диметилбутен-2? Свой ответ поясните.
- 1.28. Реакция бромирования циклопентена приводит к образованию транс-1,2-дибромциклопентана. Обсудите механизм данной реакции.
- 1.29. Используя в качестве исходных органические соединения, напишите уравнения реакций, в ходе которых получается пропен. Укажите условия проведения химических реакций и дайте названия исходным веществам.
- 1.30. Составьте формулу 4-этилгексина-2. Напишите молекулярную формулу данного вещества. Составьте формулу трёх его изомеров. Назовите их.
- 1.31. Напишите уравнения реакций получения кумола алкилированием бензола: пропанолом-1; пропилбромидом. Укажите условия проведения этих реакций.
- 1.32. В четырёх склянках без этикеток находятся тетрахлорметан; *n*-гептан; 2-метилпентен-1; 3-метилпентен-1. Как химическим путём распознать, какое вещество находится в каждой из склянок?
- 1.33. В реакциях электрофильного замещения в бензольном кольце используются кислоты Льюиса. Определите это понятие и приведите соответствующие примеры. Какие другие определения кислот вы знаете?
- 1.34. В 1927 году С.В. Лебедев подал на конкурс работу под девизом «Диолефин». О синтезе какого углеводорода шла речь? Напишите уравнения реакций, получившейся впоследствии название реакция Лебедева.

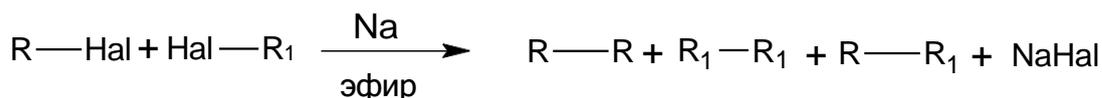
## 2. Предельные углеводороды (алканы)

Алканы (предельные углеводороды, насыщенные углеводороды, парафины). Общая формула –  $C_nH_{(2n+2)}$ . Для атома углерода в алканах характерно 1-е валентное состояние –  $sp^3$  гибридизация.

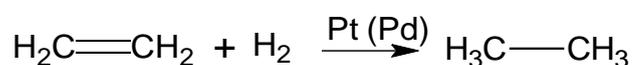
### Получение алканов

Алканы, наряду с углеводородами других рядов, входят в состав нефтей. Низшие газообразные алканы – метан, этан, пропан – находятся в природном газе, большая часть которого (98 %) и состоит из метана.

-Реакция Вюрца:



- присоединение водорода к ненасыщенным углеводородам:

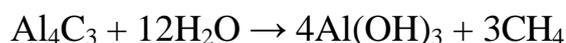


Получение метана:

Прокаливание уксуснокислого натрия со щёлочью:



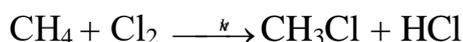
Гидролиз карбида алюминия:



### Химические свойства

Основной тип реакции, характерной для алканов – замещение, главным образом, радикальное.

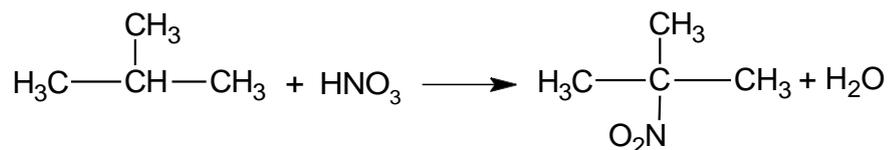
- Галогенирование. Реакция происходит только при каталитическом действии УФ-облучения (связь в молекуле галогена при этом разрывается по радикальному механизму):



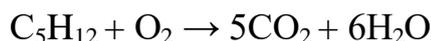
При избытке хлора образуется смесь хлорзамещённых алканов:  $CH_2Cl_2$ ,  $CHCl_3$ ,  $CCl_4$ .

При галогенировании несимметричной разветвлённой молекулы алкана легче всего замещается водород у третичного атома, затем у вторичного и труднее всего у первичного атома углерода.

- Нитрование по Коновалову (разбавленная  $\text{HNO}_3$ ,  $140^\circ \text{C}$ )



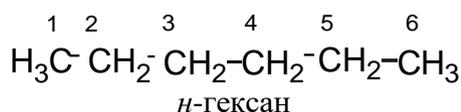
- Окисление при высоких температурах. Окисление в пламени (горение) приводит к полному сгоранию всех алканов до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Такое сгорание происходит в двигателях всех типов.



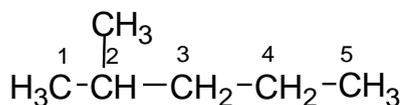
### Примеры решения задач

1. Изобразите структурные формулы изомеров алкана  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  и назовите их.

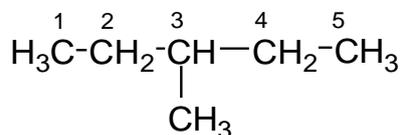
*Решение.* Один изомер состава  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  имеет углеродную цепь без разветвлений:



Два изомера – с пятью атомами углерода в главной цепи:

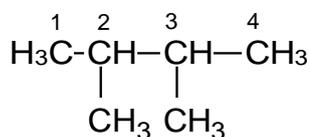


2-метилпентан

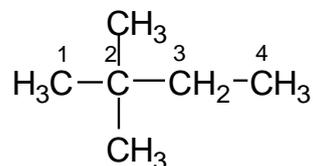


3-метилпентан

Наконец, еще два изомера имеют главную углеродную цепь, состоящую из четырех атомов:



2,3-диметилбутан

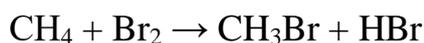


2,2-диметилбутан

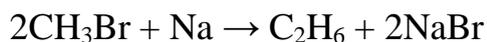
Следовательно, эмпирической формуле  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  соответствуют пять изомеров.

2. Напишите уравнения реакций, при помощи которых из метана и неорганических реагентов можно получить бутан.

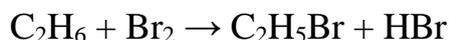
*Решение.* Бромированием метана можно получить бромметан (бромистый метил):



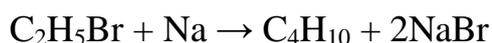
При нагревании бромметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



При взаимодействии этана с бромом можно получить бромэтан:



Бутан образуется из бромэтана по реакции Вюрца:



3. Органическое вещество содержит углерод (массовая доля 84,21 %) и водород (15,79 %). Плотность паров вещества по воздуху составляет 3,93. Определите формулу этого вещества.

*Решение.* Представляем формула вещества в виде  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Выбираем для расчетов образец вещества массой 100 г. Определяем массу и количество вещества углерода и водорода в этом образце:

$$\begin{aligned} m(\text{C}) &= m(\text{вещества}) \cdot \omega(\text{C}); \\ m(\text{C}) &= 100 \cdot 0,8421 \text{ г} = 84,21 \text{ г}; \\ m(\text{H}) &= m(\text{вещества}) \cdot \omega(\text{H}); \\ m(\text{H}) &= 100 \cdot 0,1579 \text{ г} = 15,79 \text{ г}; \\ \nu(\text{C}) &= \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} \\ \nu(\text{C}) &= \frac{84,21}{12} \text{ моль} = 7,02 \text{ моль} \\ \nu(\text{H}) &= \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} \\ \nu(\text{H}) &= \frac{15,79}{1} \text{ моль} = 15,79 \text{ моль} \end{aligned}$$

Находим отношение количеств веществ водорода и углерода, входящих в состав соединения:

$$\frac{\nu(\text{H})}{\nu(\text{C})} = \frac{15,79}{7,02} = 2,25$$

Это отношение равно отношению коэффициентов  $y$  и  $x$ :

$$\frac{\nu(\text{H})}{\nu(\text{C})} = \frac{y}{x}$$

или

$$\frac{y}{x} = 2,25 \quad (\text{а})$$

Зная плотность паров углеводорода по воздуху, рассчитываем его молярную массу:

$$M(C_xH_y) = 29D_B;$$

$$M(C_xH_y) = 29 \cdot 3,93 \text{ г/моль} = 114 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса может быть также представлена в виде:

$$M(C_xH_y) = M(C) \cdot x + M(H) \cdot y;$$

$$M(C_xH_y) = 12x + y.$$

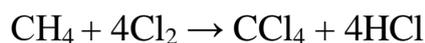
Получаем:

$$12x + y = 114. \quad (\text{б})$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим:  $x = 8$ ,  $y = 18$ , т.е. формула углеводорода  $C_8H_{18}$ , это – октан.

4. Рассчитайте массу тетрахлорида углерода, который можно получить при хлорировании метана объемом 11,2 л молекулярным хлором, объем которого в реакционной системе равен 56 л. Объемы газов приведены к нормальным условиям. Выход продукта составляет 70 % от теоретически возможного.

*Решение.* Записываем уравнение реакции хлорирования метана до тетрахлорида углерода:



Определяем количества исходных веществ:

$$v(CH_4) = \frac{V(CH_4)}{V_m}$$

$$v(CH_4) = \frac{11,2}{22,4} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}$$

$$v(Cl_2) = \frac{V(Cl_2)}{V_m}$$

$$v(Cl_2) = \frac{56}{22,4} \text{ моль} = 2,5 \text{ моль}$$

$$v(CH_4) : v(Cl_2) = 0,5 : 2,5 = 1 : 5$$

следовательно, хлор взят в избытке.

Из уравнения реакции следует:

$$v(CCl_4) = v(CH_4)$$

$$\nu(\text{CCl}_4) = 0,5 \text{ моль}$$

Определяем массу тетрахлорида углерода, который может быть получен при количественном выходе:

$$\begin{aligned} m(\text{CCl}_4) &= \nu(\text{CCl}_4) \cdot M(\text{CCl}_4) \\ m(\text{CCl}_4) &= 0,5 \cdot 154 \text{ г} = 77 \text{ г} \end{aligned}$$

Учитывая, что выход продукта составляет 70 % от теоретического возможного, находим массу полученного  $\text{CCl}_4$ :

$$\begin{aligned} m_p(\text{CCl}_4) &= \frac{m(\text{CCl}_4) \cdot \omega_{\text{ВЫХ}}}{100} \\ m_p(\text{CCl}_4) &= \frac{77 \cdot 70}{100} \text{ г} = 53,9 \text{ г} \end{aligned}$$

### Задачи для самостоятельного решения.

2.1. Выберите предельные углеводороды из предложенных:

- |                                |                                   |                                |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| а) $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ; | г) $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ ; | ж) $\text{C}_6\text{H}_6$ ;    |
| б) $\text{C}_7\text{H}_{14}$ ; | д) $\text{C}_{22}\text{H}_{44}$ ; | з) $\text{C}_8\text{H}_6$ ;    |
| в) $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ; | е) $\text{C}_2\text{H}_2$ ;       | и) $\text{C}_6\text{H}_{12}$ . |

2.2. Напишите структурные формулы следующих углеводородов:

- |                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| а) 4-этилгептан;         | д) 2,6-диметил-4-пропилгептан; |
| б) 2-метил-4-этилгексан; | е) 2,2,4,4-тетраметилпентан;   |
| в) 2,2-диметилпропан;    | ж) 2-метил-4,5-диэтилгептан.   |
| г) 2,2,3-триметилпентан; |                                |

2.3. Напишите структурные формулы всех возможных изомеров пентана и назовите их. Укажите число первичных, вторичных, третичных и четвертичных атомов в каждом изомере.

2.4. Исправьте ошибки в названиях следующих соединений:

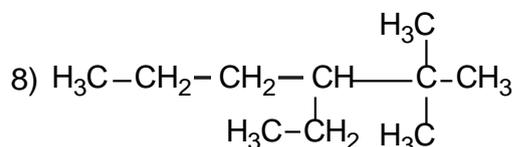
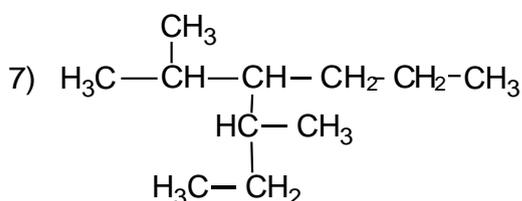
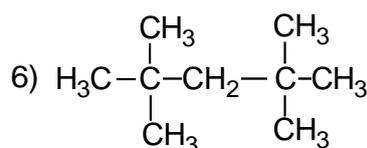
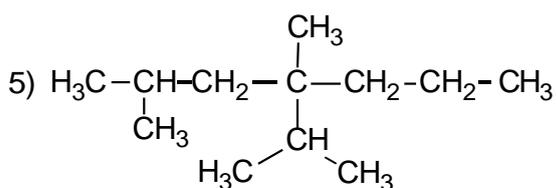
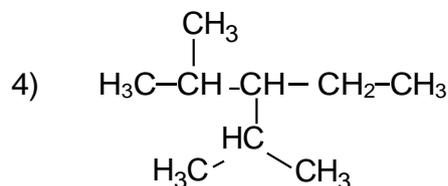
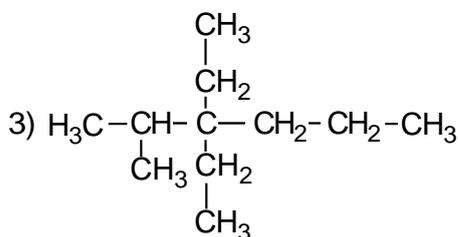
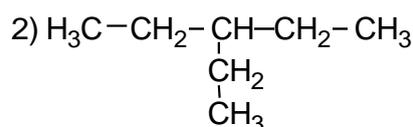
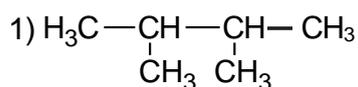
- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| а) 2-этилпентан;             | д) 6-этил-2-метилгептан;       |
| б) 2-этил-3-пропилбутан;     | е) 4,4-диметил-2-пропилгексан; |
| в) 2-метил-2,4-диэтилпентан; | ж) 1,1,2,2-тетраметилэтан;     |
| г) 2-диэтил-6-метилгексан;   | з) 2,2,3,3-тетраметилэтан.     |

2.5. Напишите все изомеры состава  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ :

- А) не содержащие третичных атомов углерода
- Б) содержащих один вторичный атом углерода
- В) содержащие два третичных атома углерода

Назовите все изомеры по номенклатуре IUPAC

2.6. Назовите по номенклатуре IUPAC следующие углеводороды:



2.7. Напишите структурные формулы и назовите по номенклатуре IUPAC все изомеры следующих углеводородов:



2.8. Назовите простейший алкан, который имеет изомеры.

2.9. Запишите все изомеры октана, главная цепь которых состоит из пяти атомов. Назовите их по номенклатуре IUPAC.

2.10. Напишите структурные формулы

а) трёх гомологов пентана

б) двух гомологов октана

2.11. Напишите структурную формулу углеводорода состава  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  с наибольшим числом метильных групп и назовите его по номенклатуре IUPAC.

2.12. Укажите ошибки в названиях и дайте правильные названия по номенклатуре IUPAC:

а) 4-изобутил-7,7-диметилотан;

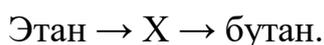
б) 2-этил-6-изопропилгексан.

- 2.13. Запишите и назовите углеводороды среди первых семи членов ряда алканов, содержащих четвертичный атом углерода.
- 2.14. Назовите углеводороды, которые образуются при действии металлического натрия на:
- иодистый изобутил;
  - иодистый метил + иодистый этил;
  - бромистый этил + хлористый изопропил.

Запишите уравнения соответствующих реакций

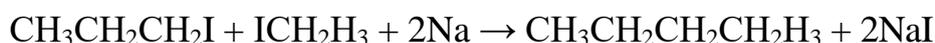
- 2.15. Используя реакцию Вюрца, получите следующие углеводороды:
- н-гептан;
  - 2-метилпентан;
  - 3-метилпентан;
  - 2,2-диметилбутан.

- 2.16. Назовите промежуточное соединение при синтезе бутана по схеме:



Запишите уравнения соответствующих реакций.

- 2.17. Назовите побочные продукты, образующиеся при получении пентана по схеме:

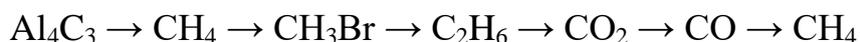


- 2.18. При полном восстановлении кислородсодержащих органических соединений образуются предельные углеводороды. Назовите по номенклатуре IUPAC углеводороды, которые образуются при полном восстановлении:

- н-бутилового спирта;
- ацетона;
- изовалериановой кислоты;
- этилацетата

- 2.19. Запишите уравнения реакций, при помощи которых можно получить бутан из метана и неорганических реагентов.

- 2.20. Напишите уравнения реакций, для осуществления превращения:

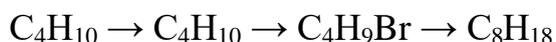


- 2.21. Назовите галогенпроизводные, с помощью которых можно получить н-гексан, 2,5-диметилгексан по реакции Вюрца. Напишите уравнения реакций.

- 2.22. Рассчитайте объем метана, который можно получить из 25 г безводного ацетата натрия.
- 2.23. Напишите уравнение реакции горения следующих углеводородов:  
а) бутана;  
б) изопентана;  
г) декана.
- 2.24. Назовите галогенопроизводные, которые образуются при действии 1 моля хлора на:  
а) пропана;  
б) изобутана.
- 2.25. Напишите уравнения реакций нитрования по Коновалову для:  
а) изопентана  
б) 2,2,3-триметилпентана

Укажите условия проведения реакции.

- 2.26. Назовите простейший предельный углеводород, который при радикальном хлорировании дает смесь трех моноклорпроизводных.
- 2.27. Назовите по номенклатуре IUPAC все изомерные гептаны, которые образуются при замещении одного водородного атома в 2-метилбутане на радикал  $C_2H_5$ .
- 2.28. Укажите, какое минимальное число стадий необходимо для того, чтобы из метана получить его ближайший гомолог.
- 2.29. Назовите вещество, которое можно получить трехстадийным синтезом из бутана по схеме:



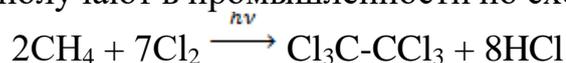
- 2.30. При нагревании 1-иодгексана с иодистоводородной кислотой (в запаянной трубке) получают углеводород. Напишите уравнение реакции и назовите образующийся углеводород.
- 2.31. Объясните, что означают термины:  
а) «реакция радикального замещения»;  
б) «гомолитическая реакция»
- 2.32. Напишите формулу изомера бутана, который при хлорировании образует преимущественно только одно моноклорпроизводное.

- 2.33. Определите, в каком из соединений процентное содержание водорода больше:
- 2-метилбутан и декан;
  - этан и метан;
  - бутан и 2-метилпропан.
- 2.34. Рассчитайте массу углекислого газа и воды, которая образуется при сжигании без доступа кислорода (над оксидом меди):
- 0,2840 г декана
  - 0,2280 г 2-метилгептана
- 2.35. Закончите уравнения, расставьте стехиометрические коэффициенты, укажите условия протекания реакций:
- $\text{Al}_4\text{C}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
  - $\text{CH}_3\text{COONa (тв.)} + \text{NaOH (тв.)} \xrightarrow{\text{сплавление}}$
  - $\text{CH}_3\text{Br} + \text{CH}_3\text{-CHBr-CH}_3 + \text{Na} \rightarrow$
  - $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow$
  - $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3 + \text{HNO}_3 \text{ (разб.)} \xrightarrow[140^\circ]{\text{горение}}$
  - $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\hspace{2cm}}$
- 2.36. Напишите структурную формулу алкана состава  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , если известно, что при его хлорировании образуется преимущественно третичное хлорпроизводное, при нитровании – третичное нитросоединение.
- 2.37. Укажите условия проведения реакций (катализаторы, температура):
- $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{-OH}$
  - $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2=\text{O}$
  - $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCOOH}$
- 2.38. В лаборатории имеются реактивы:
- йодметан;
  - 2-хлорпропан;
  - 1-бром-3-метилбутан;
  - бромэтан;
  - 1-йод-2-метилпропан;
  - 1-хлорпентан.
- Предложите схемы синтеза следующих углеводородов:
- н-гексан;
  - 2-метилгексан;
  - бутан;
  - пропан;
  - н-декан;
  - 2-метилпропан.
- 2.39. Назовите углеводороды, которые образуются при изомеризации н-пентана ( $\text{AlCl}_3$ ,  $100^\circ\text{C}$ ).

- 2.40. Напишите уравнение синтеза метана по реакции Фишера-Тропша. Укажите катализаторы и условия проведения реакции.
- 2.41. Нарисуйте теоретические спектры ПМР в шкале  $\delta$  с учетом сравнительной интенсивности и спин-спинового расщепления для:  
 а) пропана;  
 б) тетраметилметана.
- 2.42. Укажите какой группе соответствует полоса поглощения  $1380 \text{ см}^{-1}$  в ИК-спектре бутана.
- 2.43. Объясните, можно ли с помощью УФ- и ИК-спектров отличить следующие соединения:  
 а) 2,2-диметилбутан;  
 б) гексан.
- 2.44. Радикальное хлорирование алкана  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  с целью получения исключительно продукта однократного замещения (исходный углеводород взят в избытке к хлору) завершилось образованием единственного продукта – монохлорида  $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{Cl}$ . Изобразите структурные формулы исходного и конечного соединений; назовите эти соединения. Аналогичные структурные формулы запишите также для углеводородов:  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  и продуктов их монохлорирования.
- 2.45. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения, укажите условия протекания:



- 2.46. Напишите уравнения реакций, приведённых на схеме:  
 1,5-дихлорпентан  $\rightarrow$  циклопентан  $\rightarrow$  бромциклопентан  $\rightarrow$  дициклопентил.
- 2.47. Гексахлорэтан получают в промышленности по схеме:



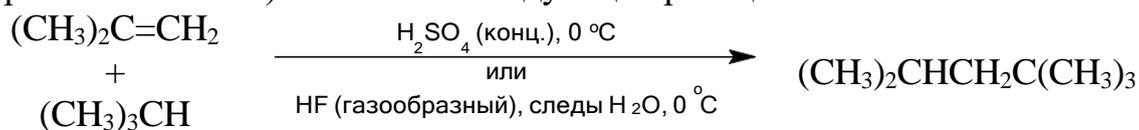
Предложите схему образования гексахлорэтана.

- 2.48. Назовите углеводороды, которые образуются при пропускании н-гексана над поверхностью платинового катализатора, находящегося на подложке из оксида алюминия ( $t=500 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p=20 \text{ атм.}$ ).
- 2.49. При гидролизе карбида алюминия образовался метан объёмом 3,36 л (н.у.). Вычислите массу образовавшегося гидроксида алюминия.

- 2.50. Рассчитайте, какой объём этана можно получить при сплавлении 20 г безводного пропионата натрия с избытком гидроксида натрия.
- 2.51. Вещество X содержит 83,3% углерода по массе и водород. Напишите возможные структурные формулы X.
- 2.52. Органическое вещество содержит 84,21% углерода и 15,79% водорода. Плотность паров по воздуху составляет 3,93. Определите формулу этого вещества.
- 2.53. Установите молекулярную формулу алкана, если известно, что его монохлорпроизводное содержит 38,38 % хлора по массе.
- 2.54. При сплавлении 28,8 г натриевой соли предельной монокарбоновой кислоты с избытком гидроксида натрия выделилось 4,63 л газа (н.у.), что составляет 79% от теоретического выхода. Определите формулу выделившегося газа.
- 2.55. При хлорировании хлорзамещённого алкана с массовой долей хлора 55% получили полностью замещённое хлорпроизводное с массовой долей хлора 89,9%. Определите исходное вещество и продукт реакции.
- 2.56. Укажите, в каком соединении из предложенных содержится бóльший процент водорода: в 2-метилпентане или н-декане.
- 2.57. При сгорании 23,2 г органического вещества, плотность которого по воздуху составляет 2, образовалось 35,84 л (н.у.) углекислого газа и 36 г воды. Определите молекулярную формулу этого вещества.
- 2.58. К смеси метана и этана объёмом 5 л добавили 20 л кислорода. После сжигания смеси и конденсации образовавшейся воды объём газов, приведённый к нормальным условиям, составил 13 л. рассчитайте объёмную долю метана в исходной смеси.
- 2.59. Рассчитайте массу этана, которую можно получить при гидрировании 11,2 л (н.у.) смеси, содержащей равные объёмные доли этилена и ацетилена.
- 2.60. При полном сгорании органического вещества образовалось 1,76 г углекислого газа и 0,72 г воды. Определить формулу вещества, если плотность его по кислороду  $D=0,875$ .

- 2.61. При полном сгорании органического вещества образовалось 0,88 г углекислого газа и 0,27 г воды. Определить формулу вещества, если плотность его по воздуху  $D=1,862$ .
- 2.62. При восстановлении бутена-2 водородом в присутствии катализатора получено 4,48 л алкана. Выход вещества от теоретически возможного составляет 80%. Рассчитайте массу бутена-2, которая вступила в химическую реакцию.
- 2.63. Определите, вещество и массу вещества, которое вступило в реакцию нитрования азотной кислотой при температуре  $140^{\circ}\text{C}$  с выходом 80% от теоретически возможного, если в результате реакции получено 9,2 г 2-нитро-2-метилбутана.
- 2.64. Определите процентный состав смеси моноклорпроизводных, образующихся при термическом хлорировании 2,2,4-триметилпентана. При  $100^{\circ}\text{C}$  соотношение скоростей замещения атомов водорода при первичном, вторичном и третичном атомах углерода составляет 1 : 4,3 : 7. Продукты реакции назовите по систематической номенклатуре.
- 2.65. В присутствии 60%-ной серной кислоты (при  $70^{\circ}\text{C}$ ) изобутилен превращается в смесь изомерных октенов, которые в условиях каталитического гидрирования дают один и тот же разветвленный предельный углеводород 2,2,4-триметилпентан (техническое название («изооктан»). О каких изомерных октенах идет речь? Приведите механизм образования.

Другой промышленный метод синтеза изооктана (2,2,4-триметилпентана) основан на следующей реакции:

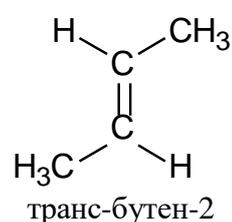
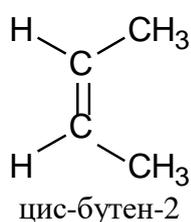


Предложите механизм этой реакции.

### 3. Непредельные углеводороды

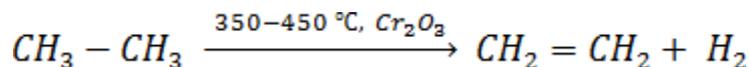
**Алкены** – непредельные углеводороды, содержащие одну двойную связь между атомами углерода, образующие гомологический ряд с общей формулой  $C_nH_{2n}$ .

Для алкенов характерны виды изомерии: углеродного скелета, положения двойной связи, межклассовая и пространственная. Алкены могут существовать в виде пространственных или геометрических изомеров. Различают цис- изомеры: заместители расположены по одну сторону от плоскости двойной связи; транс- изомеры: заместители расположены по разные стороны от плоскости двойной связи.

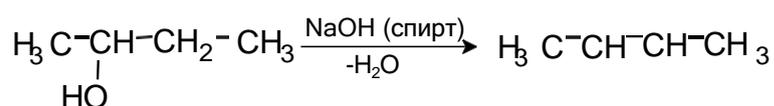
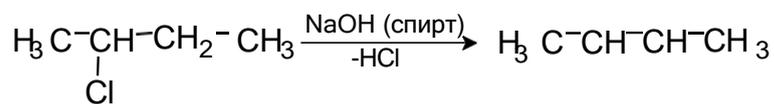


#### Методы получения алкенов

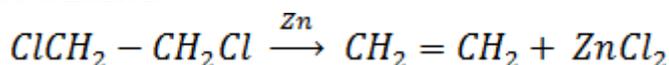
- Дегидрирование алканов



- Дегидрогалогенирование и дегидратация (Правило Зайцева – водород отщепляется от менее гидрогенизированного атома углерода)



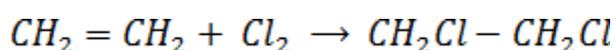
- Дегалогенирование алканов



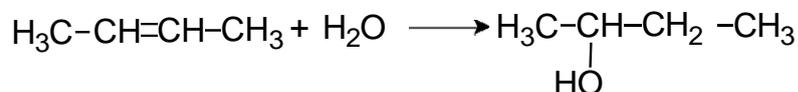
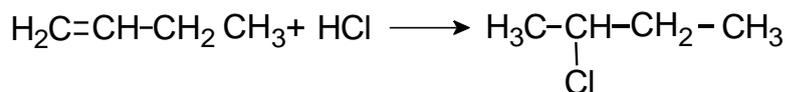
#### Химические свойства

Алкены химически активны. Их химические свойства во многом определяются наличием двойной связи. Для алкенов наиболее характерны реакции электрофильного и радикального присоединения.

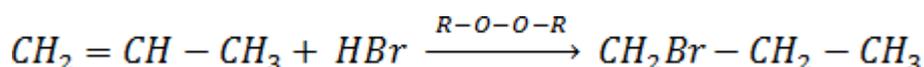
- Галогенирование:



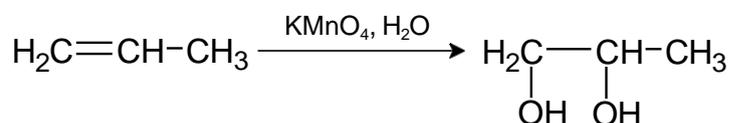
- Гидрогалогенирование и гидратация (правило Марковникова – водород присоединяется к более гидрогенизированному атому углерода)



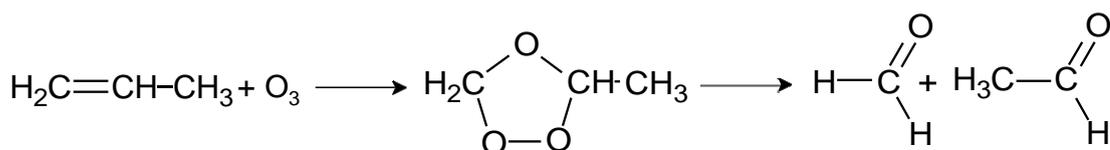
- эффект Хараши (присоединение против правила Марковникова)



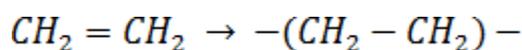
- окисление по Вагнеру (перманганатом калия в нейтральной среде):



- озонолиз



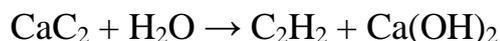
- реакция полимеризации



**Алкины** – углеводороды, содержащие тройную связь между атомами углерода, образующие гомологический ряд с общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ . Атомы углерода при тройной связи находятся в состоянии sp-гибридизации.

*Методы получения*

- карбидный метод получения ацетилена



- пиролиз углеводородов

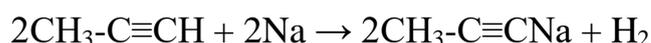


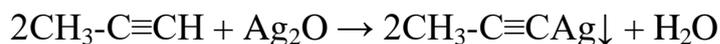
- дегидрогалогенирование галогеналканов



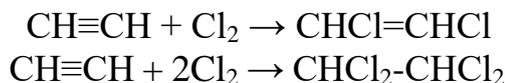
*Химические свойства*

- алкины с концевой тройной связью являются C-H кислотами

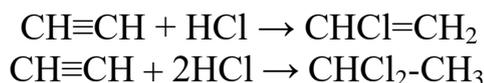




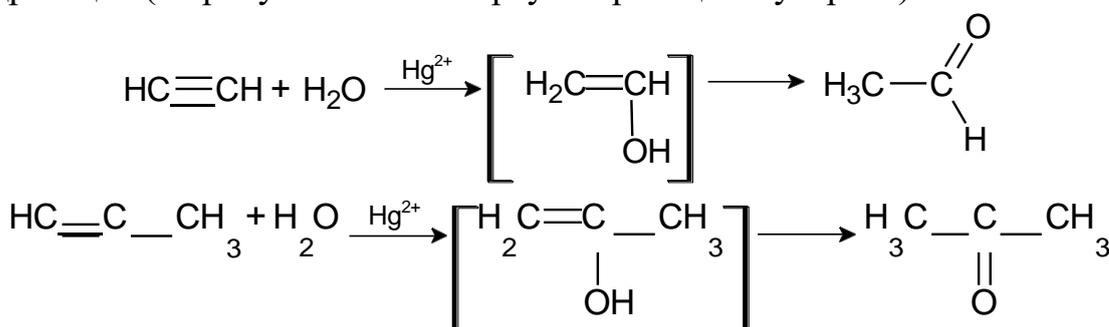
- присоединение галогенов (присоединение по тройной связи идет труднее, чем по двойной)



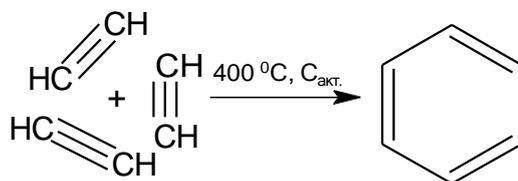
- гидрогалогенирование



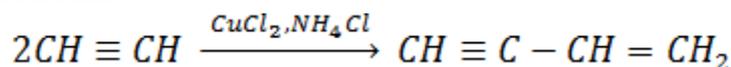
- гидратация (в присутствии солей ртути - реакция Кучерова)



- тримеризация ацетилена



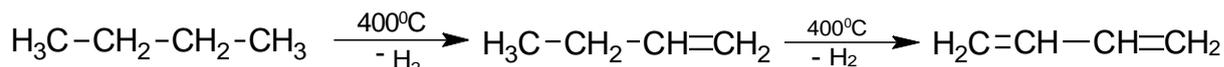
- димеризация ацетилена



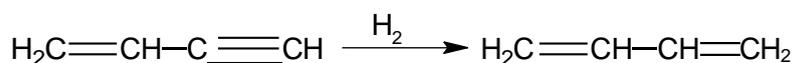
**Диены** – непредельные углеводороды, содержащие две двойные связи, изомерны по своему составу ацетиленовым углеводородам и обладают такой же общей формулой:  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

*Получение диенов.*

- постадийное дегидрирование над медно-хромовым катализаторами:

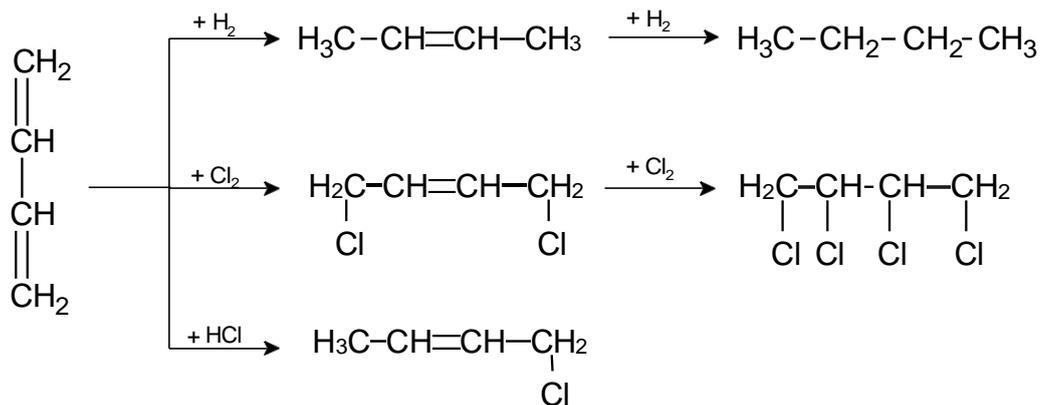


- осторожное гидрирование винилацетилена над катализатором (Fe)

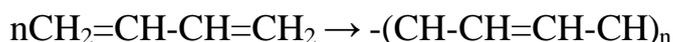


*Химические свойства диенов.*

- диены с сопряжёнными связями вступают в реакции присоединения в положение 1,4:



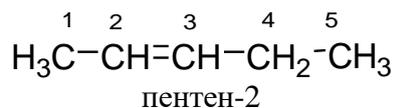
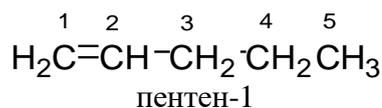
- реакция полимеризации:



### Примеры решения задач

1. Напишите структурные формулы всех изомерных алкенов (с учетом цис-, транс- изомеров), соответствующих эмпирической формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ .

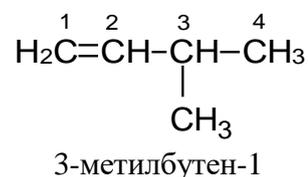
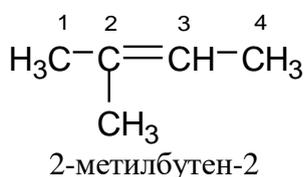
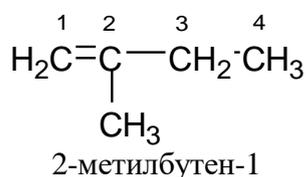
*Решение.* Два изомерных алкена, отвечающие формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ , могут иметь по пять атомов углерода в главной цепи:



Пентен-2 существует в виде двух геометрических изомеров: цис- и транс-форма:

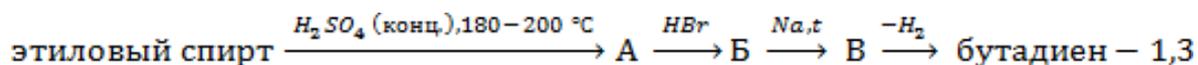


Существуют также три изомера с четырьмя углеродными атомами в главной цепи:

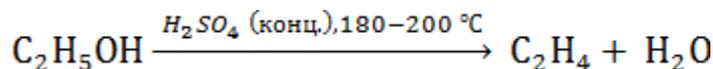


Таким образом, формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$  соответствуют шесть изомерных алкенов.

2. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



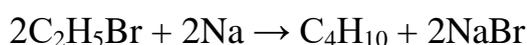
*Решение.*1) При нагревании этилового спирта до 180-200 °С с концентрированной серной кислотой должен образоваться продукт, реагирующий с бромоводородом. Это – этилен (вещество А). Уравнение реакции:



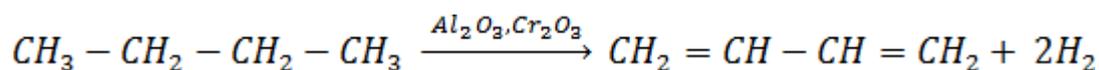
2) В результате присоединения бромоводорода к этилену образуется бромэтан (Б):



3) При нагревании бромэтана в присутствии натрия образуется бутан (В):



4) Дегидрирование бутана в присутствии катализатора из оксидов алюминия и хрома (III) – один из способов получения бутадиена-1,3:



3. Предложите два способа получения этана из метана. Напишите уравнения реакций, которые необходимо осуществить.

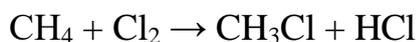
*Решение.*1) Нагревая метан при высоких температурах, получаем ацетилен:



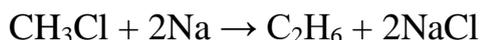
Гидрируя ацетилен, получаем этан:



2) Хлорируя метан, получаем хлорметан:



Нагревая хлорметан с натрием (синтез Вюрца), получаем этан:



4. Состав соединения выражается формулой  $\text{C}_4\text{H}_6$ . Известно, что это вещество легко взаимодействует с бромной водой, не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, но присоединяет воду в присутствии солей ртути (II). Напишите структурную формулу соединения и назовите его.

*Решение.* Из формулы углеводорода следует, что он может относиться к алкинам, алкадиенам и циклическим алкенам, состав которых выражается формулой  $C_nH_{2n-2}$ .

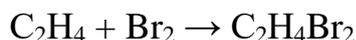
Реакция присоединения воды в присутствии солей ртути (II) характерна для алкинов. Так как углеводород не взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра, он не содержит тройную связь при первом углеродном атоме. Следовательно, структурная формула алкина такова:



Это – бутин-2.

5. Смесь метана и этилена объемом 400 мл (нормальные условия) обесцветила бромную воду с массовой долей брома 3,2 % массой 40 г. Определите объемную долю этилена в смеси.

*Решение.* С бромной водой легко взаимодействует только этилен с образованием 1,2-дибромэтана:



Определяем массу и количество вещества молекулярного брома, содержащегося в бромной воде:

$$m(Br_2) = m\omega(Br_2)$$
$$m(Br_2) = 40 \cdot 0,032 \text{ г} = 1,28 \text{ г}$$

$$v(Br_2) = \frac{m(Br_2)}{M(Br_2)}$$
$$v(Br_2) = \frac{1,28}{160} \text{ моль} = 0,008 \text{ моль}$$

Из уравнения следует:

$$v(C_2H_4) = v(Br_2)$$
$$v(C_2H_4) = 0,008 \text{ моль}$$

Находим объем этилена при нормальных условиях:

$$V(C_2H_4) = v(C_2H_4) \cdot V_m$$
$$V(C_2H_4) = 0,008 \cdot 22,4 \text{ л} = 0,1792 \text{ л} = 179,2 \text{ мл}$$

Определяем объемную долю этилена в смеси:

$$\varphi(C_2H_4) = \frac{V(C_2H_4)}{V(\text{смеси})}$$
$$\varphi(C_2H_4) = \frac{179,2}{400} = 0,448 \text{ или } 44,8 \%$$

## Задачи для самостоятельного решения.

### 3.1. Алкены

3.1.1. Объясните, какой главный признак отличает непредельные углеводороды от других углеводородов.

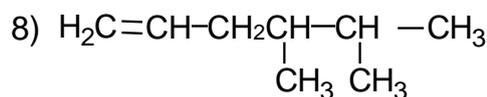
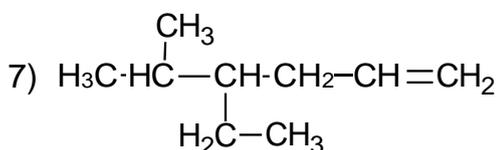
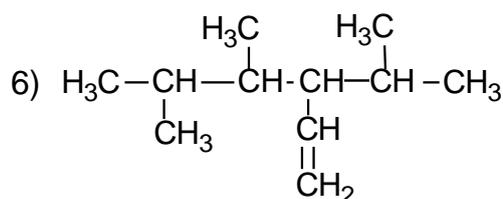
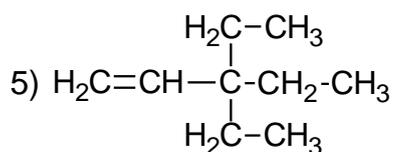
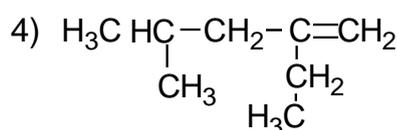
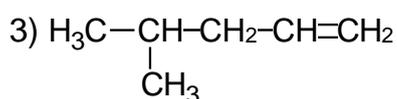
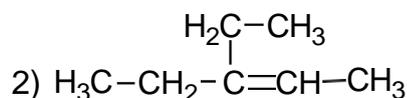
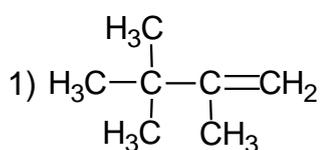
3.1.2. Напишите структурные формулы следующих алкенов:

- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| а) 2-метилбутен-1;         | ж) 2,3,5-триметилгексен-3;     |
| б) 3-метилбутен-1;         | з) 2,2,5-триметилгексен-3;     |
| в) 3-метилпентен-1;        | и) 3,3-диметилгептен-1;        |
| г) 3-этилпентен-2;         | к) 2,3,4,4-тетраметилпентен-2; |
| д) 2,3-диметилгексен-3;    | л) 2,3,3-триметилгексен-2;     |
| е) 2,4,4-триметилпентен-2; | м) 2,3,4-триметилпентен-2      |

3.1.3. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- 2,3,5-триметилгептен-1;
- 2,3-диметилпентен-1;
- 3,3-диметилоктен-1.

3.1.4. Назовите по номенклатуре IUPAC следующие алкены:



3.1.5. Напишите структурные формулы всех изомеров, следующих алкенов и назовите их по номенклатуре IUPAC:

- пентен
- гексен

Укажите, сколько из приведенных соединений содержат третичный атом углерода.

3.1.6. Проверьте, правильно ли названы по номенклатуре IUPAC следующие алкены. Исправьте ошибки в названии.

- |                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| а) 2-этилпентен-3;      | д) 4,6-диметилгептен-3;        |
| б) 3-метилпентен-1;     | е) 3-метил-2-изопропилбутен-1; |
| в) 3-пропилгексен-5;    | ж) 1-метил-3-этилбутен-2;      |
| г) 5,5-диметилгексен-1; | з) 2,4,4-триметилпентен-1.     |

3.1.7. Напишите цис-, и транс-изомеры для следующих углеводородов:

- а)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$
- б)  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$
- в)  $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | \\ -\text{CH}_3 \end{array}$

3.1.8. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:

- а)  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_2\text{C}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_2 \end{array}$
- б)  $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$
- в)  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$
- г)  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH} \quad \text{CH} \end{array}$

3.1.9. Напишите все изомеры (включая цис-транс-изомеры) для следующих алкенов и назовите их по номенклатуре IUPAC:

- а)  $\text{C}_4\text{H}_8$ ;
- б)  $\text{C}_6\text{H}_{12}$

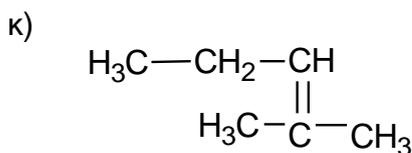
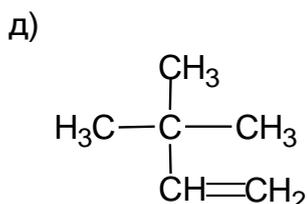
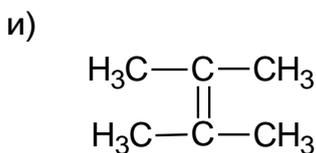
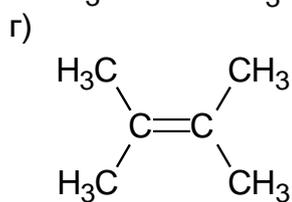
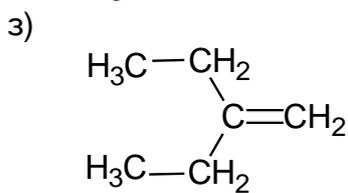
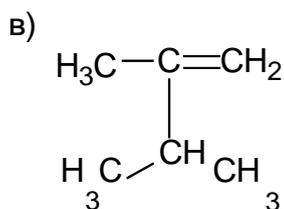
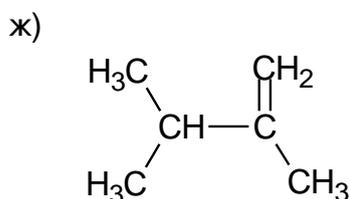
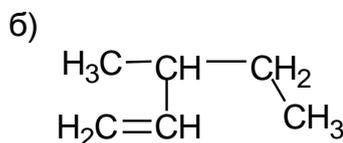
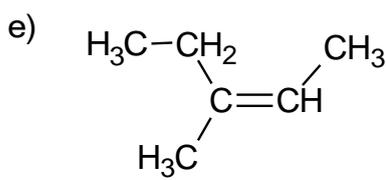
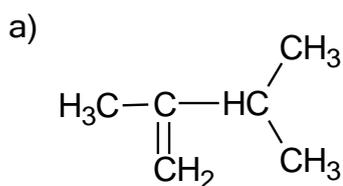
3.1.10. Из предложенных ниже алкенов выберите те, для которых возможна цис-, транс-изомерия. Напишите формулы этих изомеров.

- |   |   |
|---|---|
| а) $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$                       | в) $\text{Br}-\text{CH}=\underset{\text{Br}}{\text{CH}}-\text{Br}$  |
| б) $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ | г) $\text{Br}-\text{CH}=\underset{\text{Br}}{\text{C}}-\text{CH}_3$ |

3.1.11. Назовите углеводороды, которые образуются при дегидратации следующих соединений:

- а)  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ;
- б)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ;
- в)  $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ .

3.1.12. Определите, сколько соединений представлено следующими формулами. Назовите их по номенклатуре IUPAC.



3.1.13. Назовите непредельные углеводороды, которые образуются при дегидратации следующих спиртов:

- а)  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ ;  
 б)  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{OH})(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ ;  
 в)  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ .

Запишите уравнения соответствующих реакций.

3.1.14. Назовите моногалогенпроизводные, из которых можно получить следующие алкены:

- а) бутен-1; в) 2-метилбутен-2;  
 б) гексен-2; г) пентен-1.

Запишите уравнения реакций.

3.1.15. Напишите уравнения реакций окисления по Вагнеру (получение гликолей) для следующих соединений:

- а) гептен-2; г) бутен-2;  
б) 3-бромпропен-1; д) 2-метилбутен-1  
в) 2-метилпропен-1;

3.1.16. Напишите уравнения реакций расщепления озонидов следующих соединений:

- а) 2,5-диметилгептена-4; в) 5,5-дибром-2-метилгексен-2;  
б) 2,2-диметилгексена-3; г) 2-метилпропен-1.

3.1.17. Предложите способ получения бутена-2 из бутена-1.

3.1.18. Напишите уравнения реакций для получения 2-хлор-2-метилбутана из 3-метилбутанола-1 (изоамилового спирта).

3.1.19. Имеются следующие органические вещества:

- а) бутанол-1; г) 2-метилпропанол-1;  
б) иодистый метил; д) диодметан.  
в) бромистый аллил;

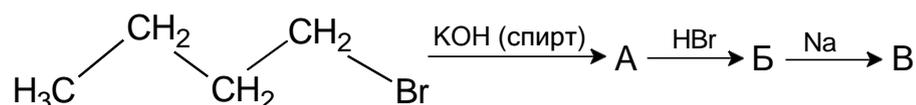
Исходя из данных веществ, синтезируйте:

- 1) октен-1; 4) этилен;  
2) 2,2,3,3-тетраметилбутан; 5) 2,5-диметилгексан;  
3) 3-метилгексан; 6) 2,2,4-триметилпента.

3.1.20. Напишите уравнения реакций для осуществления превращения:



3.1.21. Напишите формулы промежуточных и конечного продуктов в следующей схеме:



3.1.22. Назовите соединения, которые образуются в результате окисления водным раствором перманганата калия при 20 °С (реакция Вагнера) следующих веществ:

- а) гексен-2;  
б) 2-метилпропен;  
в) бутен-1.



этого углеводорода и, если они возможны, структурные формулы изомеров.

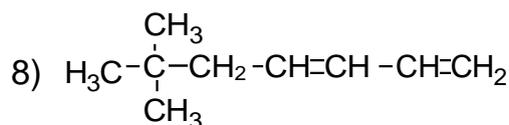
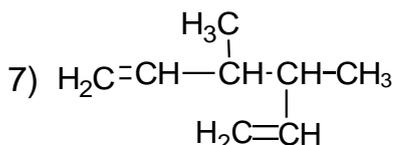
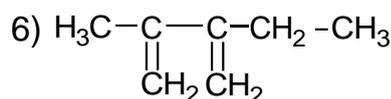
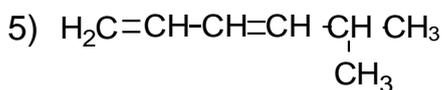
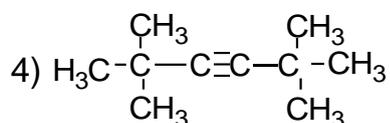
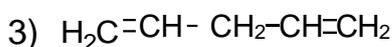
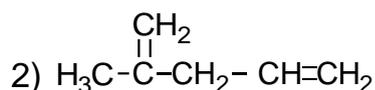
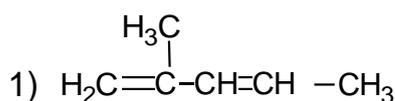
- 3.1.32. Рассчитайте массу бромной воды с массовой долей брома 1,6 %, которую может обесцветить пропилен объемом 1,12 л (нормальные условия).
- 3.1.33. При дегидратации 36,8 г этилового спирта получен этилен, который пропустили через избыток водного раствора перманганата калия. При этом выпал осадок массой 34,8 г. Определите массовую долю выхода этилена при дегидратации.
- 3.1.34. Смесь бутана и бутена-2 массой 1 г обесцвечивает 15 мл раствора брома (в 1 л тетрахлорметана растворено 160 г брома). Рассчитайте содержание бутена-2 в смеси (в %).
- 3.1.35. Определите истинную формулу углеводорода, содержащего 85,71% углерода и 14,29% водорода, если относительная плотность этого вещества по кислороду равна 1,75. Напишите изомеры для данного соединения.
- 3.1.36. Напишите механизм радикальной полимеризации, инициируемой перекисью, алкена  $R-CH=CH_2$ .
- 3.1.37. Смесь этана и этена объёмом 10 л обесцветила 316 г 5%-го раствора перманганата калия. Определите объёмную долю этана в смеси.
- 3.1.38. Алкен массой 16,8 г присоединяет максимально 32 г брома. Определите формулу алкена и назовите его по номенклатуре IUPAC, если известно, что алкен имеет неразветвлённое строение и содержит двойную связь у первого атома углерода.
- 3.1.39. Углеводород массой 5,6 г присоединяет 2,24 л (н.у.) водорода в присутствии катализатора. При окислении углеводорода водным раствором перманганата калия при 20 °С образуется вещество с симметричной структурой. Определите строение исходного углеводорода.
- 3.1.40. Отношение молярных масс двух алкенов равно 0,5. Отношение молярных масс алканов, образующихся после гидрирования алкенов, стало равным 0,5172. Определите формулы алкенов.

## 3.2. Диены

3.2.1. Напишите структурные формулы следующих углеводородов:

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| а) бутадиен-1,3;         | е) 2-метилпентдиен-1,3;      |
| б) 2-метилбутадиен-1,3;  | ж) 2,5-диметилгексадиен-2,4; |
| в) гексадиен-1,4;        | з) 2,3-диметилбутадиен-1,3;  |
| г) 2-метилпентадиен-2,4; | и) 2,4-диметилпентадиен-2,4. |
| д) 2-метилгексадиен-1,5; |                              |

3.2.2. Назовите следующие углеводороды по номенклатуре IUPAC:



3.2.3. Найдите ошибки в названиях соединений и дайте правильные названия.

- а) 1,4-диметилпентадиен-1,4;
- б) 1-метилбутин-3;
- в) 3-метилгептин-3,5.

3.2.4. Напишите структурные формулы изомерных диеновых углеводородов (включая цис-, транс-изомеры)  $\text{C}_5\text{H}_8$ . Назовите их по номенклатуре IUPAC.

3.2.5. Назовите все возможные изомеры, образующиеся при присоединении бромоводородной кислоты к 2-хлорбутадиену-1,3.

3.2.6. Напишите структурные формулы всех диеновых углеводородов, образующих при гидрировании 2-метилпентан, и назовите их по номенклатуре IUPAC.

3.2.7. Напишите уравнения реакций между металлическим цинком и:

- а) 2,3-дибромбутеном-1;
- б) 2,2,3,3-тетрабромпентаном.

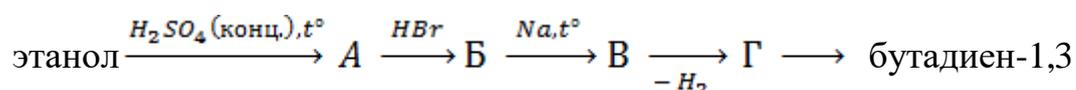
Назовите полученные соединения

3.2.8. Назовите углеводороды, которые образуются при действии металлического натрия на смесь 3-бромпропена-1 и 3-бромбутена-1. Укажите, к какому классу веществ они относятся, напишите уравнения реакций.

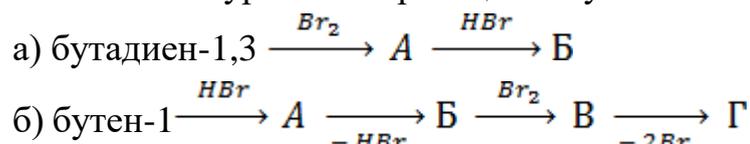
3.2.9. Напишите схемы получения:

- бутадиена-1,3 из ацетилена (этина);
- 2-метилбутадиена-1,3 (изопрена) из ацетилена;
- изопрена из 2-метилбутана.

3.2.10. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить превращение:

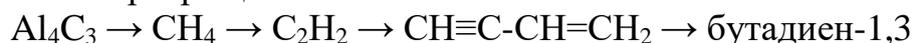


3.2.11. Напишите уравнения реакций по указанной схеме:



3.2.12. Приведите примеры реакций 1,2- и 1,4-присоединения к сопряжённым диеновым углеводородам. Объясните термины: «сопряжённая система связей» и «эффект сопряжения».

3.2.13. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



3.2.14. Напишите уравнения полимеризации бутадиена-1,3.

3.2.15. Нарисуйте теоретический спектр ПМР в шкале  $\delta$  с учетом сравнительной интенсивности и спин-спиновго расщепления для:

- изопрена;
- дивинилметана.

3.2.16. Напишите уравнения последовательных реакций между следующими веществами:

1) диаллил:

- +  $H_2SO_4$ ,
- +  $Na_2CO_3 + H_2O$ ,
- +  $HBr$

2) 2,3-диметилбутадиен-1,3:

- +  $HBr$ ,
- +  $Na$ ,
- +  $Br_2$

3.2.17. Заполните следующую таблицу:

Реагенты	Исходные вещества			
	Этан	Этилен	Ацетилен	Бутадиен-1,3
Cl <sub>2</sub>				
HCl				
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				
KMnO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O				
H <sub>2</sub> (+Pt)				

В каждой клетке поместите формулу вещества, образующегося в результате взаимодействия реагента и соответствующего исходного вещества.

3.2.18. Укажите в какой области лежат полосы поглощения сопряженных кратных связей диенов:

- а) в ИК-спектре;
- б) в УФ-спектре.

3.2.19. Смесь бутадиена-1,3 и этилена объёмом 8,96 л (н.у.) полностью прореагировала с 2000 г 5,6%-го раствора брома в тетрахлорметане. Вычислите объёмную долю бутадиена-1,3 в этой смеси.

3.2.20. Вычислите массу бутадиена-1,3, который образуется по способу Лебедева из этанола объёмом 300 л с массовой долей спирта 96% ( $\rho=0,8$  г/см<sup>3</sup>), если объёмная доля практического выхода бутадиена-1,3 равна 75%.

3.2.21. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить превращение:  
метан → этан → этен → этанол → бутадиен-1,3 → каучук

3.2.22. Определите формулу диенового углеводорода, если при сгорании 4 л этого углеводорода образуются 12 л диоксида углерода и пары воды объёмом 8 л. Плотность паров диена по водороду равна 20.

3.2.23. При окислении углеводорода C<sub>8</sub>H<sub>14</sub> перманганатом калия в кислой среде образуются ацетон и щавелевая кислота (этандиовая-1,2 кислота). Определите структуру этого углеводорода и назовите его.

### 3.3. Алкины

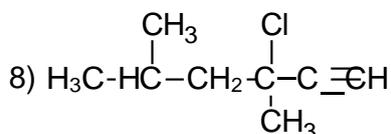
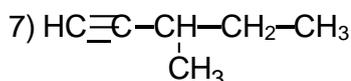
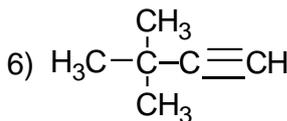
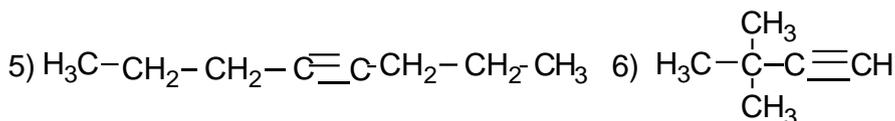
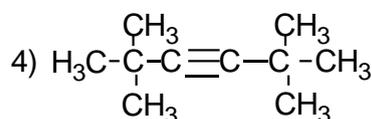
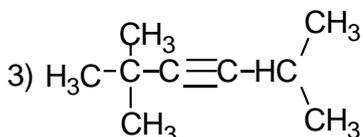
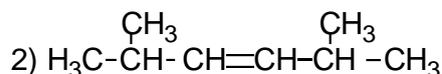
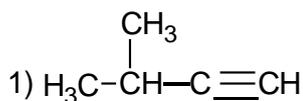
3.3.1. Напишите структурные формулы следующих углеводородов:

- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 1) бутин-2;             | 5) 3,3-диметилбутин-1;     |
| 2) гексин-3;            | 6) 3-метил-4-иодбутин-1;   |
| 3) 4-метилпентин-1;     | 7) 2,8-диметинонин-4;      |
| 4) 2,5-диметилгексин-3; | 8) 2,2,5-триметилгексин-3; |

3.3.2. Напишите структурные формулы и назовите изомеры ацетиленовых углеводородов:

- а) C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>;  
 б) C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>;  
 в) C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>.

3.3.3. Назовите по номенклатуре IUPAC следующие соединения:



3.3.4. Напишите структурные формулы изомерных алкинов C<sub>7</sub>H<sub>12</sub>, главная цепь которых состоит из пяти углеродных атомов. Назовите их по номенклатуре IUPAC.

3.3.5. Определите, правильно ли названы по номенклатуре IUPAC следующие соединения. Исправьте обнаруженные неправильные названия.

- |                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| а) 2-этилпентин-3;     | е) 2,2-диметилгексин-3;    |
| б) 2,5-диэтилгексин-3; | ж) 2-метил-5-этилгексин-3; |
| в) 1-метилбутин-2;     | з) 2-метилпентин-4;        |
| г) 2-пропилпентин-4;   | и) 3,5-диэтилгексин-1.     |
| д) 1,4-диметилбутин-2; |                            |

3.3.6. Назовите по номенклатуре IUPAC соединения, которые образуются при гидрировании следующих соединений:

- а) бутин-1;  
 б) 3-метилпентин-1;  
 в) 3,3-диметилбутин-1.

3.3.7. Напишите структурные формулы всех алкинов, образующих при гидрировании 2,2-диметилгексан.

3.3.8. Напишите уравнения следующих реакций:

- а) бутин-2 + HBr;
- б) 3-метилбутин-1 + 2HCl;
- в) 2,5-диметилгексин-3 + Cl<sub>2</sub>.

3.3.9. Напишите структурную формулу углеводорода C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>, если известно, что он реагирует с бромом, с аммиачным раствором оксида серебра, при гидратации образует метилизопропилкетон.

3.3.10. Напишите уравнения реакций с избытком спиртового раствора щёлочи для следующих соединений:

- а) 2,2-дибромбутан;
- б) 3,3-дихлорпентан;
- в) 4,4-дииод-2-метилбутан;
- г) 1,1-дихлорпентан.

Назовите образующиеся соединения по номенклатуре IUPAC.

3.3.11. Предложите способы получения:

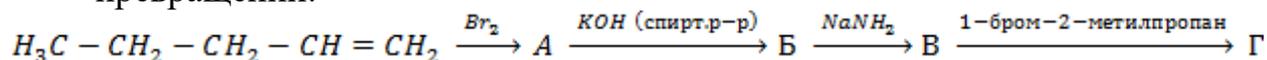
- а) бутин-1 из бутанола-1;
- б) бутин-2 из бутена-2;
- в) бутин-2 из бутина-1.

3.3.12. Напишите уравнения реакций получения следующих соединений из ацетилен (этина):

- а) пропин;
- б) 4-метилпентин-1;
- в) винилацетилен (бутен-1-ин-3).

3.3.13. Предложите реакции, с помощью которых можно отличить пентин-1 от пентина-2.

3.3.14. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:



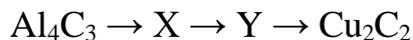
3.3.15. Предложите реакции, с помощью которых можно отличить:

- а) этилен и ацетилен;
- б) этилацетилен, диметилацетилен и пропен;
- в) пентан, пентен-2 и пентин-1.



- 3.3.25. Напишите уравнения реакции Кучерова для следующих соединений:
- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| а) пропин-1;      | в) гептин-3;          |
| б) 3-метилбутин-1 | г) 3,3-диметилбутин-1 |

- 3.3.26. Напишите уравнения, при помощи которых можно осуществить превращения:



- 3.3.27. Имеются следующие соединения:
- 1) натриевое производное изопропилацетилена;
  - 2) серебряное производное трет-бутилацетилена;
  - 3) иодистый метил;
  - 4) бромистый изопропил.

Назовите соединения, которые образуются при взаимодействии:

- |           |           |
|-----------|-----------|
| а) 1 + 3; | в) 1 + 4; |
| б) 2 + 3; | г) 2 + 4  |

- 3.3.28. Выберите соединения из предложенных, которые взаимодействуют с аммиачным раствором оксида серебра и напишите уравнения реакций:

- |              |                    |
|--------------|--------------------|
| а) пропин-1; | в) бутин-1;        |
| б) бутин-2   | г) 2-метилпентин-1 |

- 3.3.29. Нарисуйте теоретический спектр ПМР с учетом сравнительной интенсивности и спин-спинового расщепления в шкале  $\delta$  для:

- а) пропина;
- б) 3-метилбутина-1;
- б) пентина-2.

- 3.3.30. Укажите в какой области лежит полоса поглощения тройной углерод-углеродной связи в ИК-спектре.

- 3.3.31. Определите структурную формулу углеводорода с массовой долей углерода 88,89%, если известно, что он:

- а) обесцвечивает холодный водный раствор перманганата калия;
- б) при взаимодействии с аммиачным раствором оксида серебра образует жёлтый осадок;
- в) 1,12 л этого углеводорода присоединяют 16 г брома.

- 3.3.32. Смесь массой 10 г, содержащую карбид и карбонат кальция, обработали избытком воды. При этом образовалось 2,24 л газа (н.у.). Найдите массовые доли компонентов в исходной смеси.

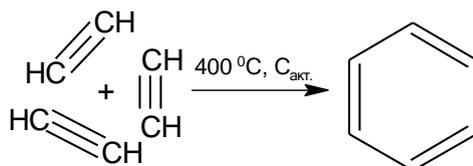
3.3.33. При пропускании смеси этана и ацетилена через водный раствор брома масса раствора увеличилась на 1,3 г, а при сгорании такого же количества смеси углеводородов образовалось 14 л диоксида углерода. Определите объёмные доли углеводородов в исходной смеси.

## 4. Ароматические углеводороды

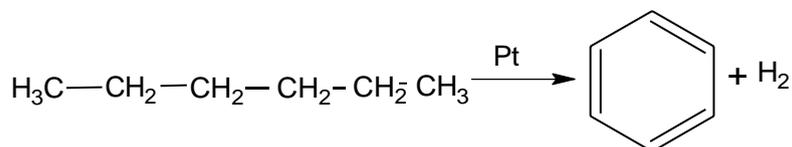
**Ароматические углеводороды (Арены)** – циклические органические соединения, которые имеют в своём составе сопряжённую систему двойных связей. Основными отличительными свойствами являются повышенная устойчивость ароматической системы и, несмотря на ненасыщенность, склонность к реакциям замещения, а не присоединения.

### Методы получения

- тримеризация ацетилена:

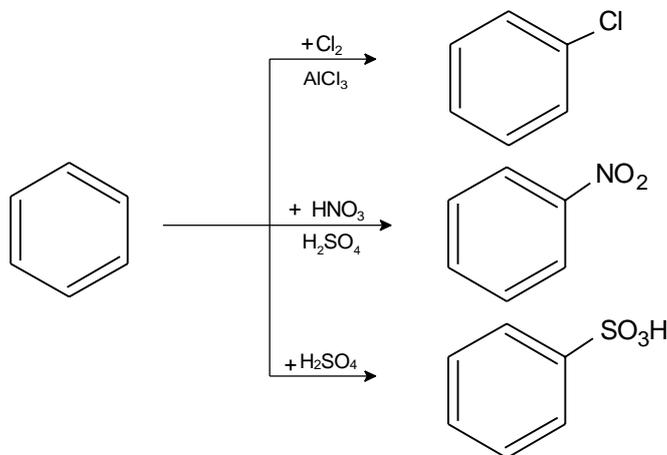


- ароматизация парафинов (Зелинский, Казанский, Платэ).

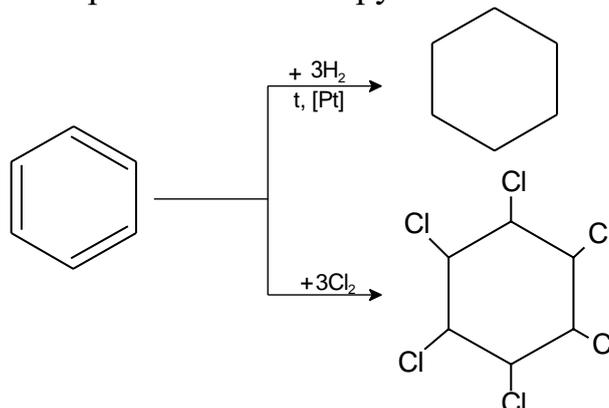


### Химические свойства аренов

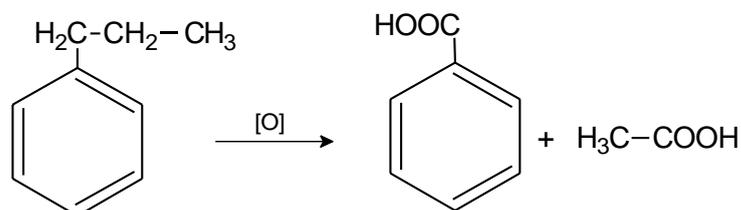
- реакции электрофильного замещения



- реакции присоединения. В редких случаях бензол способен к реакциям присоединения, при этом ароматичность нарушается:



- окисление. При окислении гомологов бензола окислению всегда подвергается  $\alpha$ -углеродный атом по отношению к ароматическому ядру:



**Реакции электрофильного замещения** в ряду бензола подчиняются следующим правилам:

- место вступления нового электрофильного заместителя определяется характером **уже присутствующих** одного или нескольких заместителей в бензольном цикле.

- заместители (ориентанты) делятся на две группы:

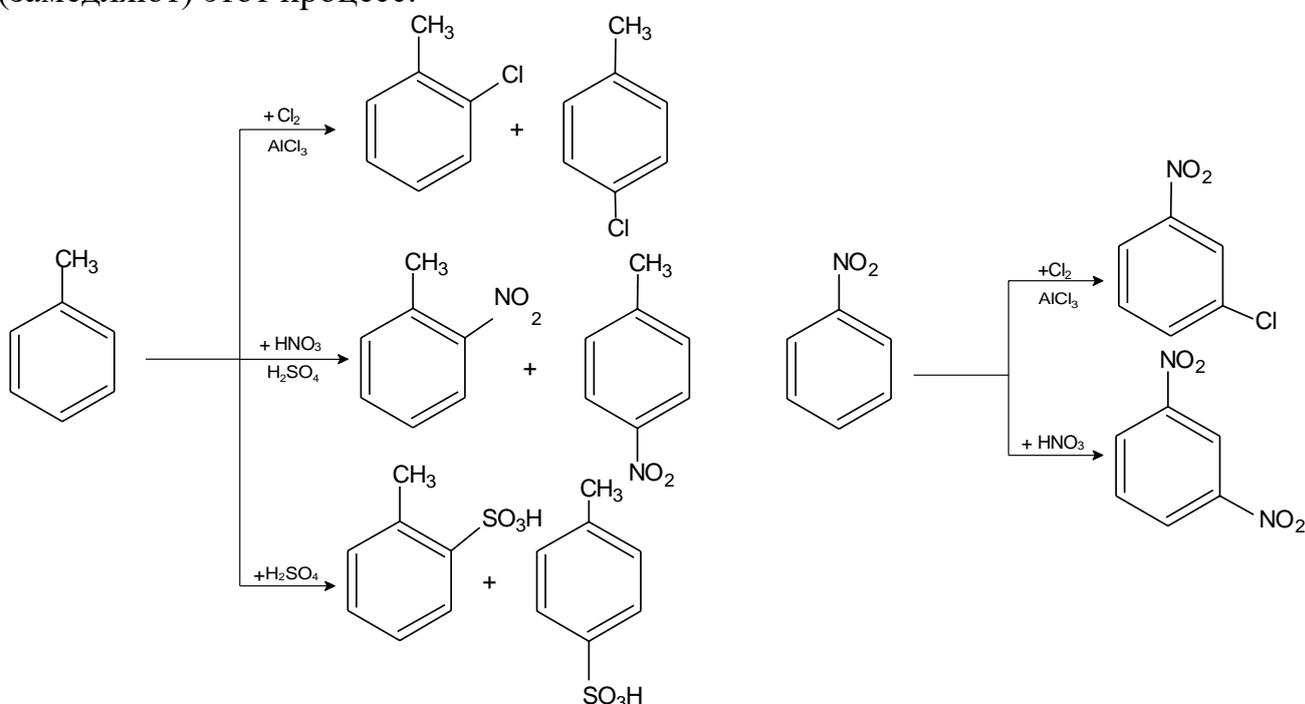
а) заместители 1-го рода, или орто-пара-ориентанты, направляющие новый заместитель в орто- и пара- положения:

-OH, -NH<sub>2</sub>, -NHR, -NR<sub>2</sub>, -OR, -CH<sub>3</sub>, -SH, -SR, -NHCOR, -Hal.

б) заместители второго рода, или мета-ориентанты, направляющие новый заместитель в мета- положение:

-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, -NO<sub>2</sub>, -SO<sub>3</sub>H, -CHAl<sub>3</sub>, -CHO, -COR, -COOH, -COOR, -CN

- заместители первого рода облегчают (ускоряют) вступление нового электрофильного заместителя, заместители второго рода – затрудняют (замедляют) этот процесс.

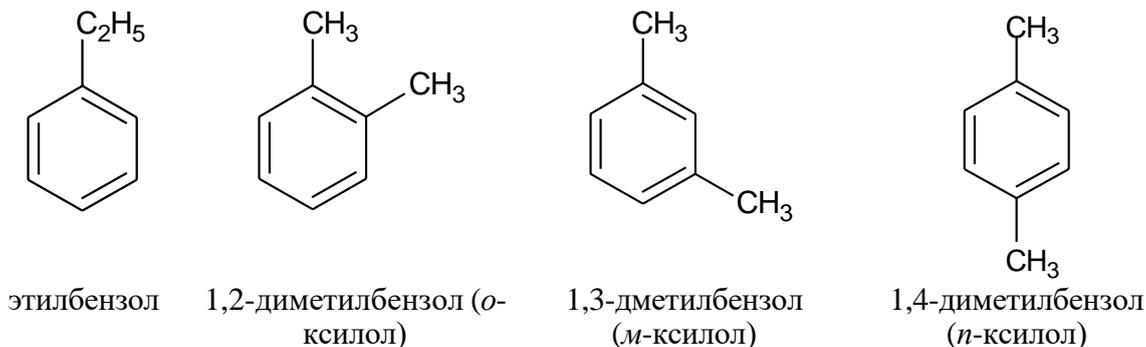


*Согласованная и несогласованная ориентация.* При наличии двух заместителей разного типа место вступления нового заместителя определяет заместитель первого рода, если же оба ориентанта одного рода, то место вступления определяет более сильный.

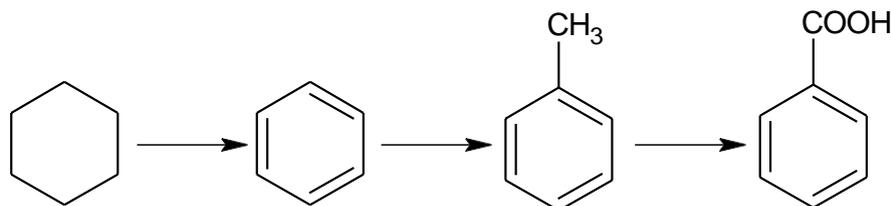
### Примеры решения задач.

1. Составьте структурные формулы изомеров, отвечающих формуле  $C_8H_{10}$  и содержащих ароматическое кольцо.

*Решение.* Вещества, в состав молекул которых входят ароматические кольца, отвечающие формуле  $C_8H_{10}$ , относятся к гомологам бензола, так как общая формула гомологического ряда бензола  $C_nH_{2n-6}$ . Формуле  $C_8H_{10}$  отвечают четыре гомолога бензола:

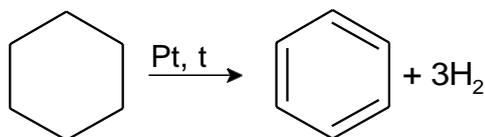


2. Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

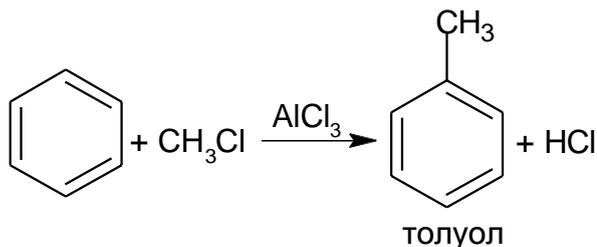


Укажите условия протекания реакций.

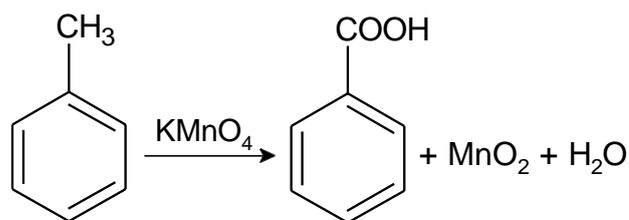
*Решение.* 1) Циклогексан превращается в бензол при пропускании его паров над нагретым платиновым катализатором:



2) Ввести алкильную группу в бензольное кольцо можно действием галогеналкила в присутствии хлорида алюминия:

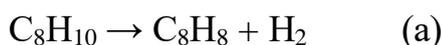
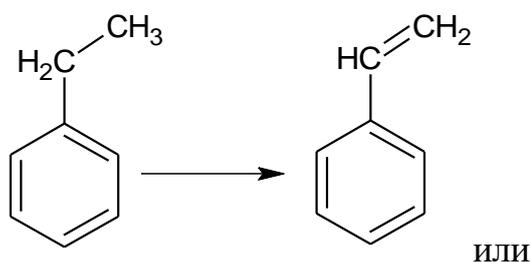


3) При действии раствора перманганата калия на толуол образуется бензойная кислота:



3. При дегидратации этилбензола массой 4,24 получили стирол (винилбензол). Выход продукта реакции составил 75%. Рассчитайте массу раствора брома в тетрахлориде углерода, которую может обесцветить полученный стирол, если массовая доля брома в растворе составляет 4%.

*Решение.* Записываем уравнение реакции дегидрирования этилбензола:



Определяем исходное количество вещества этилбензола:

$$v(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_{10})}{M(\text{C}_8\text{H}_{10})}$$

$$v(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \frac{4,24}{106} \text{ моль} = 0,04 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$v(\text{C}_8\text{H}_8) = v(\text{C}_8\text{H}_{10})$$

$$v(\text{C}_8\text{H}_8) = 0,04 \text{ моль}$$

Определяем массу стирола, который мог бы образоваться при количественном выходе:

$$m(\text{C}_8\text{H}_8) = v(\text{C}_8\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_8\text{H}_8)$$

$$m(\text{C}_8\text{H}_8) = 0,04 \cdot 104 = 4,16 \text{ г}$$

Учитывая выход стирола, определяем массу реально полученного вещества:

$$m_p(\text{C}_8\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_8) \cdot \omega_{\text{вых.}}}{100}$$

$$m_p(C_8H_8) = \frac{4,16 \cdot 75}{100} = 3,12 \text{ г}$$

Количество вещества реально полученного стирола в данной реакции составляет:

$$v_p(C_8H_8) = \frac{m(C_8H_8)}{M(C_8H_8)}$$
$$v_p(C_8H_8) = \frac{3,12}{104} = 0,03 \text{ моль}$$

Записываем уравнение реакции стирола с бромом:



На основании уравнения (б) записываем:

$$v(Br_2) = v_p(C_8H_8)$$
$$v(Br_2) = 0,03 \text{ моль}$$

Определяем массу брома, который может вступить в реакцию:

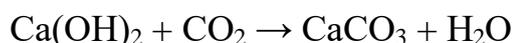
$$m(Br_2) = v(Br_2) \cdot M(Br_2)$$
$$m(Br_2) = 0,03 \cdot 160 = 4,8 \text{ г}$$

Находим массу раствора брома в тетрахлориде углерода:

$$m_{p-ра} = \frac{m(Br_2)}{\omega(Br_2)}$$
$$m_{p-ра} = \frac{4,8}{0,04} = 120 \text{ г}$$

4. При сжигании гомолога бензола массой 0,92 г в кислороде получили оксид углерода (IV), который пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. При этом образовался осадок массой 7 г. Определите формулу углеводорода и назовите его.

*Решение.* Записываем уравнение реакции между оксидом углерода (IV) и гидроксида кальция, который взят в избытке:



Определяем количество вещества карбоната кальция, полученного в результате реакции:

$$v(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)}$$

$$v(\text{CaCO}_3) = \frac{7}{100} = 0,07 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует:

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{CaCO}_3)$$

$$v(\text{CO}_2) = 0,07 \text{ моль}$$

Вычисляем количество вещества атомного углерода в оксиде углерода (IV):

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2)$$

$$v(\text{C}) = 0,07 \text{ моль}$$

Такое же количество вещества атомного углерода содержалось в исходном углеводороде. Определяем массу углерода:

$$m(\text{C}) = v(\text{C}) \cdot M(\text{C})$$

$$m(\text{C}) = 0,07 \cdot 12 = 0,84 \text{ г}$$

Находим массу водорода, который содержался в углеводороде:

$$m(\text{H}) = m(\text{гомолога бензола}) - m(\text{C})$$

$$m(\text{H}) = 0,92 - 0,84 = 0,08 \text{ г}$$

Количество вещества атомного водорода составляет:

$$v(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}$$

$$v(\text{H}) = \frac{0,08}{1} = 0,08 \text{ моль}$$

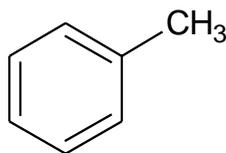
Вычисляем отношение количеств веществ углерода и водорода в веществе:

$$\frac{v(\text{C})}{v(\text{H})} = \frac{0,07}{0,08} = 0,875$$

Представляем формулу гомолога бензола в виде  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ . Отношение количеств веществ углерода и водорода в этом веществе равно  $n:(2n-6)$ . Следовательно,

$$\frac{n}{2n-6} = 0,875$$

Отсюда получаем:  $n = 7$ , т.е. формула  $C_7H_8$ , или



Это – метилбензол или толуол.

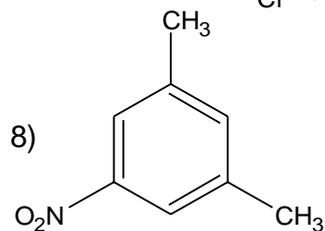
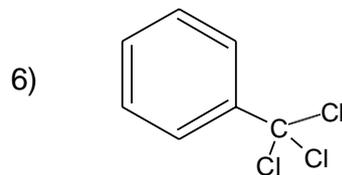
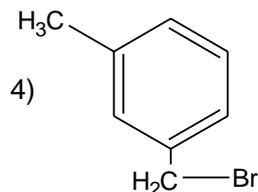
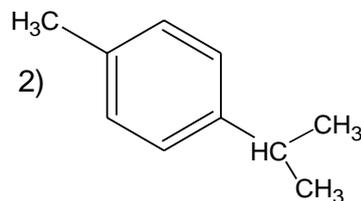
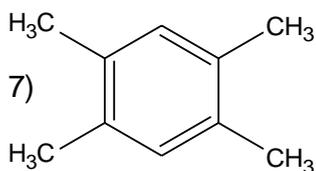
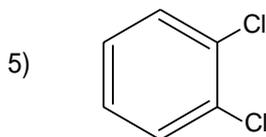
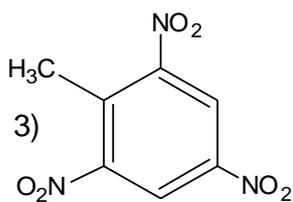
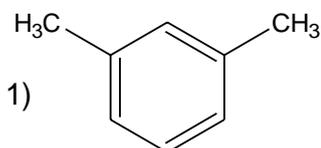
### Задачи для самостоятельного решения.

4.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- |                                 |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| а) <i>n</i> -ксилол;            | ж) <i>m</i> -бромтолуол;             |
| б) <i>o</i> -этилтолуол;        | з) $\alpha$ -нитронафталин;          |
| в) <i>n</i> -диизопропилбензол; | и) 1,2,4,5-тетраметилбензол (дурол); |
| г) кумол;                       | к) <i>m</i> -ксилол;                 |
| д) стирол;                      | л) 4-бром-2-нитротолуол              |
| е) трифенилметан                |                                      |

4.2. Напишите структурные формулы всех изомерных углеводородов бензольного ряда состава  $C_8H_{10}$ . Назовите их по номенклатуре ИУРАС.

4.3. Назовите следующие соединения по номенклатуре ИУРАС:



- 4.4. Напишите структурные формулы и назовите гомологи бензола, содержащие:
- 8 атомов углерода в молекуле;
  - 9 атомов углерода в молекуле.
- 4.5. При высокой температуре над катализаторами ацетилен образует бензол. Напишите схему реакции. Назовите соединение, которое образуется в этих условиях из пропина.
- 4.6. Приведите способы получения этилбензола (не менее трёх).
- 4.7. При каталитическом гидрировании бензола (над никелем) получается циклогексан. Назовите углеводороды, которые получаются при гидрировании:
- стирола (винилбензола);
  - аллилбензола.
- 4.8. Напишите уравнения реакций и назовите углеводороды, образующиеся при действии натрия на ниже приведённые смеси веществ:
- иодбензол + 2-метил-1-хлорпропан;
  - хлористый бензил + хлористый изопропил;
  - бромбензол + бромистый бензил;
  - 5-бром-1,2,4-триметилбензол + иодистый метил;
  - 2-иод-1-метил-4-изопропилбензол + бромистый пропил.
- 4.9. Напишите уравнения реакций для получения дифенила из циклогексана.
- 4.10. Напишите уравнения реакций для получения этилбензола, исходя из ацетилена и неорганических реагентов.
- 4.11. Назовите вещества, которые получаются при сульфировании следующих соединений (вводится только одна сульфогруппа):
- |                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| а) этилбензол;  | г) хлорбензол;          |
| б) нитробензол; | д) <i>n</i> -ксилол;    |
| в) фенол;       | е) бензолсульфокислота. |
- 4.12. Предложите реакции, помощью которых можно отличить бромбензол и бромциклогексан.
- 4.13. Напишите уравнения реакций для получения следующих веществ из бензола:
- o*-, *m*- и *n*-хлорнитробензолов;
  - 3,4-дихлорбензойной кислоты.

4.14. Назовите соединения, образующиеся при нагревании с хлоридом алюминия следующих смесей:

- а) бромистый пропилен + бензол;                      г) изопропилхлорид + бензол;  
 б) бензилхлорид + бензол;                              д) бензилхлорид + толуол.  
 в) хлористый бутил + бензол;

4.15. Напишите уравнения реакции получения стирола (винилбензола) из бензола и уравнение его полимеризации.

4.16. Напишите реакции следующих соединений с бромом в присутствии хлорида алюминия:

- а) бензол;    г) *m*-динитробензол;  
 б) *m*-ксилол;    д) *n*-нитротолуол.  
 в) этилбензол;

Расположите все соединения в ряд по степени лёгкости бромирования. Назовите полученные соединения.

4.17. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:

- а)  $\text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH} \rightarrow$  *m*-бромбензойная кислота  
 б)  $\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3 \rightarrow$  2,4,6-тринитротолуол  
 в)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3 \rightarrow$  2,4,6-трихлортолуол.

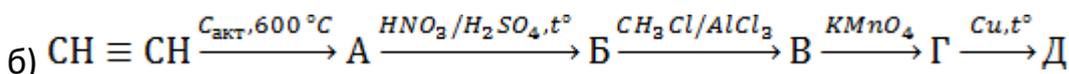
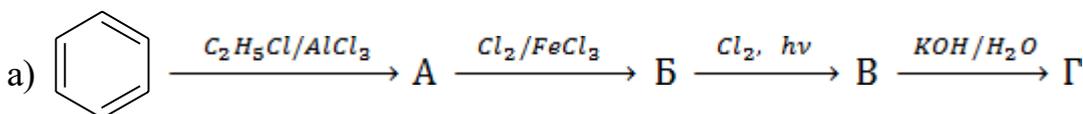
4.18. Проведите нитрование следующих соединений:

- а) хлорбензол;    г) бензойная кислота;  
 б) этилбензол;    д) фенол;  
 в) нитробензол    е) бензол.

Расположите все соединения в ряд по степени лёгкости нитрования. Назовите полученные соединения.

4.19. Напишите уравнения реакций для получения *o*-хлорбензойной кислоты из бензола.

4.20. Назовите промежуточные и конечные вещества в следующих цепочках превращений:



- 4.21. Напишите уравнения реакции Вюрца-Фиттига, с помощью которых можно получить следующие углеводороды:
- n*-этилтолуол;
  - 1,3-диэтилбензол;
  - изопропилбензол.
- 4.22. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:
- $$\text{метан} \rightarrow \text{X} \rightarrow \text{бензол}$$
- Укажите условия реакций и назовите промежуточный продукт.
- 4.23. Установите строение углеводорода  $\text{C}_8\text{H}_6$ , обесцвечивающего бромную воду, образующего белый осадок с аммиачным раствором оксида серебра, а при окислении превращающегося в бензойную кислоту.
- 4.24. Напишите уравнения взаимодействия избытка хлора с этилбензолом и назовите образующиеся вещества:
- в присутствии катализатора (хлорид алюминия) при комнатной температуре;
  - в отсутствие катализатора при повышенной температуре и на ярком свету.
- 4.25. При окислении толуола образуется бензойная кислота. Назовите кислоты, которые образуются при окислении:
- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| а) <i>n</i> -нитроэтилбензола; | г) стирола;                     |
| б) <i>o</i> -ксилола;          | д) <i>m</i> -метилбутилбензола; |
| в) пропиленбензола;            | е) <i>n</i> -дипропилбензола.   |
- 4.26. Напишите уравнения реакций нитрования этилбензола:
- концентрированной азотной кислотой при  $20^\circ\text{C}$ ;
  - разбавленной азотной кислотой при  $130^\circ\text{C}$ .
- 4.27. Установите структурную формулу вещества состава  $\text{C}_7\text{H}_7\text{Cl}$ , которое при хлорировании избытком хлора на свету и при нагревании превращается в соединение  $\text{C}_7\text{H}_4\text{Cl}_4$ . Последнее при гидролизе водным раствором щёлочи образует соль *o*-хлорбензойной кислоты.
- 4.28. Соединение  $\text{C}_7\text{H}_6\text{Cl}_2$  легко гидролизуеться с образованием нейтрального продукта  $\text{C}_7\text{H}_7\text{ClO}$ , а при окислении образует *m*-хлорбензойную кислоту. Напишите структурную формулу этого соединения.

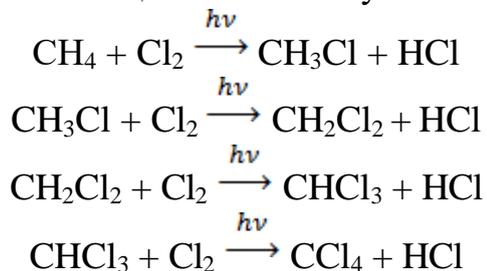
- 4.29. Укажите, в какой области лежат полосы поглощения ароматической системы бензола:  
а) в УФ-спектре;  
б) в ИК-спектре.
- 4.30. Нарисуйте теоретический спектр ПМР с учетом спин-спинового расщепления и сравнительной интенсивности в шкале  $\delta$  для:  
а) бензола; г) этилбензола;  
б) толуола; д) изопропилбензола;  
в) *n*-ксилола; е) 1,2,3,4-тетраметилбензола.
- 4.31. В трёх пробирках находятся следующие жидкие вещества: гексан, бензол и винилбензол (стирол). Напишите реакции, с помощью которых можно определить, где какое соединение находится.
- 4.32. Смесь бензола и стирола обесцвечивает 400 г 5%-го водного раствора брома. При сгорании такого же количества смеси образуется 14,4 г воды. Определите массовую долю стирола в смеси.
- 4.33. Определите массу бензола, образующегося при дегидрировании *n*-гексана, если при действии выделившегося при этом водорода на стирол получили 21,2 г этилбензола.
- 4.34. На 39 г бензола подействовали бромом в присутствии бромида алюминия. При этом образовалась смесь моно и дипроизводных. Для поглощения выделившегося бромоводорода потребовалось 471,7 мл 5,56%-го водного раствора гидроксида натрия ( $\rho=1,06$  г/мл). Определите массу полученного бромбензола.
- 4.35. Рассчитайте массу толуола, которая потребуется для получения 2,4,6-тринитротолуола (тротила) массой 113,5 г, если массовая доля выхода продукта реакции составляет 80% от теоретического.
- 4.36. При сгорании образца соединения массой 2,76 г получили диоксид углерода массой 9,24 г и воду массой 2,16 г. Плотность паров соединения по водороду равна 46. Определите молекулярную формулу ароматического углеводорода и назовите его.

## 5. Галогенопроизводные углеводородов

**Галогенпроизводные** – производные углеводородов, в которых один или несколько атомов водорода замещены на галоген.

### Получение

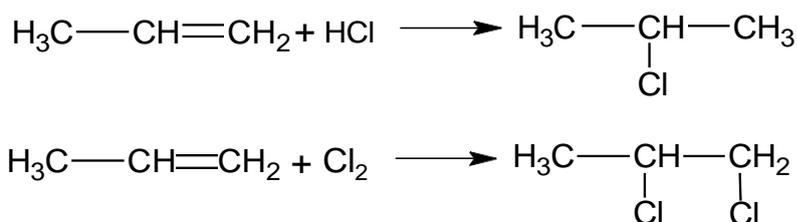
- из алканов радикальным замещением на свету:



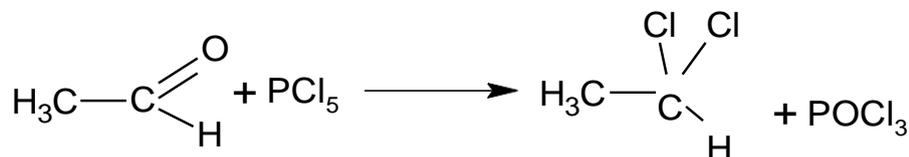
- из спиртов:



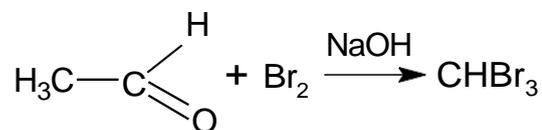
- из алкенов присоединением галогеноводорода и галогена:



- из оксосоединений:

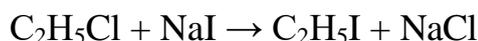


- при взаимодействии уксусного альдегида с галогеном в щелочном растворе получают галоформы – тригалогенпроизводные метана:

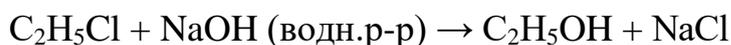


### Химические свойства.

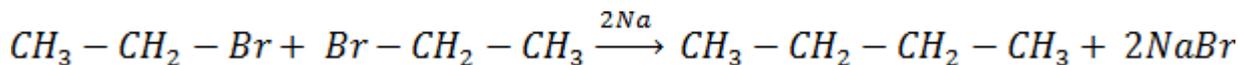
- обмен атома галогена на другие галогены и другие одновалентные группы атомов.



- гидролиз в присутствии щелочей



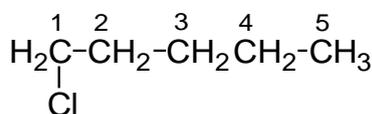
- реакция Вюрца



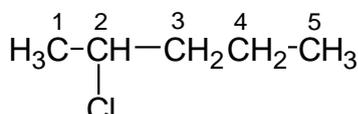
### Примеры решения задач

1. Напишите структурные формулы всех изомерных хлоралканов, соответствующих эмпирической формуле  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$ .

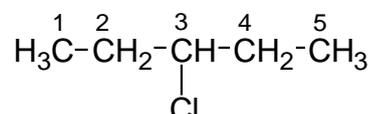
*Решение.* Изомерия галогенпроизводных связана как с положением галогена в молекуле, так и с разветвленностью углеродного скелета. Три изомерных хлоралкана, отвечающие формуле  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$ , могут иметь по пять атомов углерода в главной цепи:



1-хлорпентан

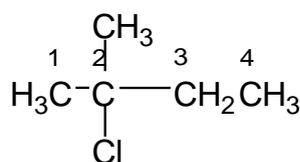


2-хлорпентан

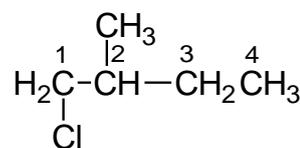


3-хлорпентан

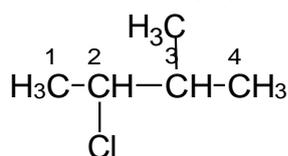
Существуют также четыре изомера с четырьмя углеродными атомами в главной цепи:



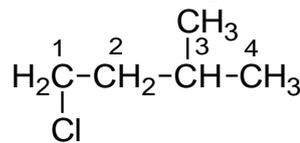
2-метил-2-хлорбутан



2-метил-1-хлорбутан

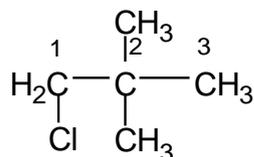


3-метил-2-хлорбутан



3-метил-1-хлорбутан

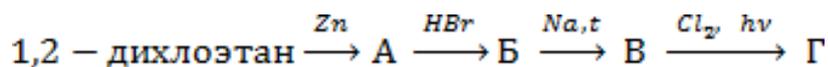
Существует один изомер с тремя атомами углерода в главной цепи:



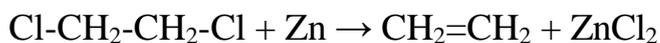
2,2-диметил-1-хлорпропан

Таким образом, формуле  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$  соответствуют восемь изомерных хлоралканов.

2. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



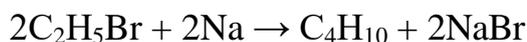
*Решение.* 1) При взаимодействии 1,2-дихлорэтана с цинком должен образоваться продукт, реагирующий с бромоводородом. Это – этилен (вещество А). Уравнение реакции:



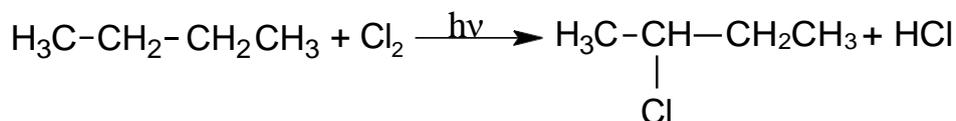
2) В результате присоединения бромоводорода к этилену образуется бромэтан (Б):



3) При нагревании бромэтана в присутствии натрия образуется бутан (В):

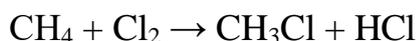


4) Хлорирование бутана протекает по радикальному механизму. Для инициирования реакции необходимо смесь бутана и хлора облучить УФ-излучением:

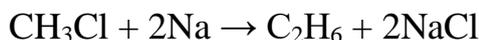


3. Предложите способ получения этана из метана. Напишите уравнения реакций, которые необходимо осуществить.

*Решение.* Хлорируя метан, получаем хлорметан:

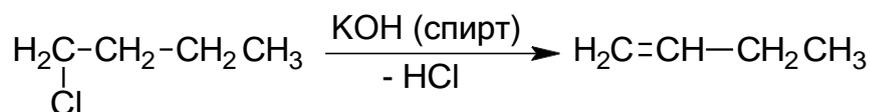


Нагревая хлорметан с натрием (синтез Вюрца), получаем этан:

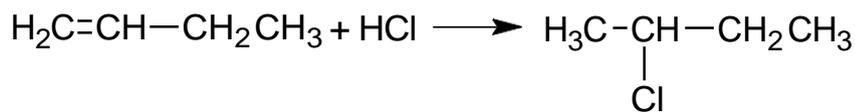


4. Предложите способ получения 2-хлорбутана из 1-хлорбутана.

*Решение.* 1) Под действием спиртового раствора KOH на 1-хлорбутан отщепляется HCl в результате образуется бутен-1:

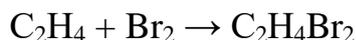


2) Присоединение молекулы HCl к бутену-1 происходит по правилу Марковникова, в результате образуется 2-хлорбутан:



5. Смесь метана и этилена объемом 400 мл (нормальные условия) обесцветила бромную воду с массовой долей брома 3,2 % массой 40 г. Определите массу бромпроизводного, которое образуется в результате указанного взаимодействия.

*Решение.* С бромной водой легко взаимодействует только этилен с образованием 1,2-дибромэтана:



Определяем массу и количество вещества молекулярного брома, содержащегося в бромной воде:

$$m(\text{Br}_2) = m\omega(\text{Br}_2)$$

$$m(\text{Br}_2) = 40 \cdot 0,032 \text{ г} = 1,28 \text{ г}$$

$$v(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)}$$

$$v(\text{Br}_2) = \frac{1,28}{160} \text{ моль} = 0,008 \text{ моль}$$

Из уравнения следует:

$$v(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = v(\text{Br}_2)$$

$$v(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = 0,008 \text{ моль}$$

Находим массу 1,2-дибромэтана:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) \cdot M$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2) = 0,008 \cdot 188 = 1,504 \text{ г}$$

### Задачи для самостоятельного решения.

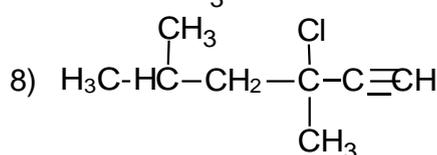
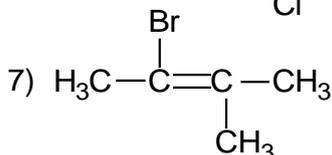
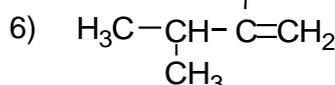
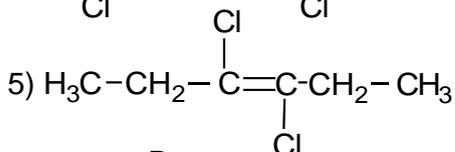
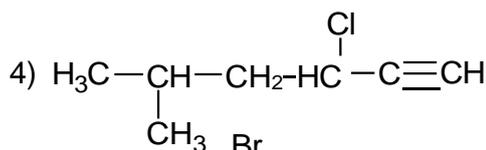
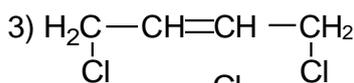
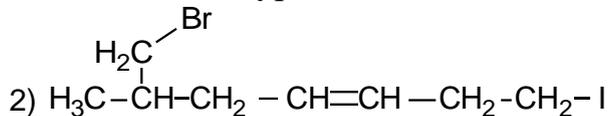
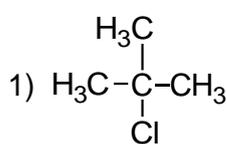
5.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- |                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| а) 1-иод-2-хлорпропан;       | е) 3-иодпропин-1;                  |
| б) 2,2-дихлорпропан;         | ж) 2,3,3-трибром-2-метилбутан;     |
| в) 1,2-дибромбутан;          | з) 3,3-диметил-4,4-дихлорпентен-1; |
| г) 2-метил-2-хлорбутан;      | и) 1-метил-2-хлорбутадиен-1,3;     |
| д) 3-бром-2,5-диметилгексан; | к) 4-метил-4-хлорпентен-2.         |

5.2. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- а) 1-бром-1-хлор-3-метилпентен-1;    г) тетрахлорэтилен;  
б) 3-бром-2,7-диметилоктин-1;        д) хлоропрен.  
в) иодоформ;

5.3. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



5.4. Определите, правильно ли названы по номенклатуре IUPAC следующие соединения. Обнаруженные неправильные названия исправьте:

- а) 1,2,3-трихлор-2-метилпентен-4;    г) 4-бром-3,5-диметилгексен-2;  
б) 2-хлор-2,3-диметилбутен-3;        д) 1-хлор-5-бром-3-метилпентан;  
в) 2-хлор-2-метилпентен-4;            е) 1-хлор-4-пропилгексен-2.

5.5. Напишите все возможные изомеры (ациклические) для соединений с формулой:

- а)  $\text{C}_4\text{H}_6\text{ClBr}$ ;  
б)  $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2$ ;  
в)  $\text{C}_4\text{H}_9\text{I}$ .

5.6. Напишите структурные формулы изомерных хлоропроизводных состава  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$ . Укажите первичные, вторичные и третичные хлоропроизводные и назовите их по номенклатуре IUPAC.

5.7. Напишите уравнения реакций постадийного замещения атомов водорода хлором в изобутане. Объясните, в какой последовательности идёт замещение, назовите хлоропроизводные, которые при этом образуются.

5.8. Назовите спирт, из которого можно получить 3-бромпропен-1 (аллилбромид). Укажите условия реакции.

5.9. Имеются следующие спирты:

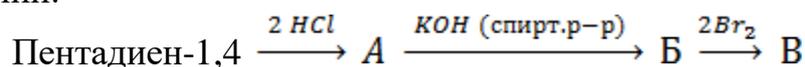
- а) 2-метилпропанол-1;                      в) 2-метилбутанол-2;  
б) пропен-2-ол-1                              г) пропанол-1.

Напишите уравнения реакций для получения следующих соединений из перечисленных спиртов:

- 1) *n*-бромистый пропил;                      4) бромистый аллил;  
2) бромистый изопропил;                    5) *трет*-иодистый бутил;  
3) 1,2,3-трихлорпропан;                    б) 3,3 диметил-5-хлоргексан.

5.10. Напишите структурную формулу вещества  $C_5H_{11}Br$ , которое при гидролизе водным раствором гидроксида натрия даёт третичный спирт, а при отщеплении бромоводорода образует 2-метилбутен-2.

5.11. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:



Назовите конечный продукт и промежуточные соединения.

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

- а) метан  $\rightarrow$  хлорметан  $\rightarrow$  этан  $\rightarrow$  этилен  $\rightarrow$  1,2-дихлорэтан  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  1,1-дихлорэтан;  
б) бензол  $\rightarrow$  хлористый бензил  $\rightarrow$  дихлорметилбензол  $\rightarrow$  трихлорметилбензол  $\rightarrow$  2,4,6-трибромтрихлорметилбензол;  
в) карбид кальция  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  1,1-дихлорэтан  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  толуол  $\rightarrow$  бензилхлорид.

5.13. Назовите соединение, которое образуется при действии водного раствора щёлочи при  $60^\circ\text{C}$  на *n*-хлорбензилхлорид ( $n\text{-Cl-C}_6\text{H}_4\text{-CH}_2\text{-Cl}$ ). Напишите уравнение реакции.

5.14. Напишите уравнения реакций между 2-метил-2,4-дихлорбутаном и: а) спиртовым раствором гидроксида натрия; б) водным раствором гидроксида натрия.

5.15. Пользуясь только неорганическими веществами и полученными органическими соединениями, предложите способ получения:

- а) инсектицид «гексахлоран» (1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексан) из метана;  
б) хлорбензол из этана;

- в) поливинилхлорид из метана;
- г) бромбензол из гексана.

5.16. Напишите уравнения реакции получения 1,4-дибром-2-метилбутена-2 из соответствующего диена и взаимодействия его со следующими веществами:

- а) + NaOH (водный раствор);
- б) + KCN;
- в) + CH<sub>3</sub>MgI.

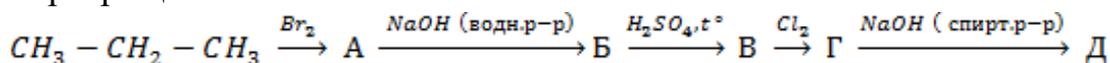
5.17. Предложите способ получения 2-бромбутана из 1-бромбутана. Напишите уравнения соответствующих реакций.

5.18. Назовите три углеводорода, которые образуются при действии металлического натрия на смесь этилбромида и йодбензола.

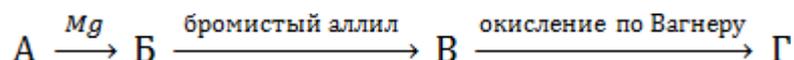
5.19. Напишите схемы получения следующих веществ из этилбромида:

- а) этан;
- б) бутан;
- в) этанол;
- г) этилен;
- д) этилацетат;
- е) метилфениловый эфир

5.20. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:



5.21. Напишите уравнения и укажите условия следующих реакций:

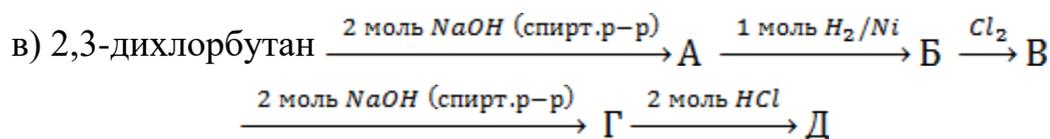
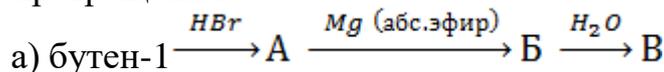


Где:

- а) А = 1-иодпропан;
- б) А = 2-бромбутан.

5.22. Предложите уравнения реакций, с помощью которых можно получить бутин-1 из 1-бромбутана.

5.23. Напишите уравнения реакций, для осуществления следующих превращений:



5.24. Напишите уравнения реакций получения следующих соединений из соответствующего алкилгалогенида:

- а) пропен; г) пропилцианид;  
б) пропанол-1; д) пропан  
в) пропиламин;

Назовите этот алкилгалогенид.

5.25. Напишите уравнения следующих реакций:

- а)  $A + NaOH$  (водный раствор); в)  $A + KMnO_4$  (щелочной раствор);  
б)  $A + KCN$ ; г)  $A + C_4H_9MgBr$

Где  $A =$

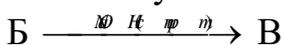
- 1) бромистый аллил;  
2) иодистый аллил;  
3) хлористый изоамил (3-метил-1-хлорбутан)

5.26. Напишите схему получения иодоформа из ацетона («галоформная реакция»).

5.27. Напишите уравнения следующих взаимодействий для хлористого изобутила и иодистого пропила:

- а)  $+ KCN$ ; г)  $+ KOH$  (спиртовой раствор);  
б)  $+ NH_3$ ; д)  $+ KOH$  (водный раствор);  
в) горение; е)  $+ AgNO_3$ .

5.28. Напишите уравнения последовательных реакций:



5.29. Расположите следующие соединения в ряд по степени лёгкости гидролиза и дайте объяснение:

- а) хлорэтан;  
б) хлорэтен;  
в) 3-хлорпропен-1.

5.30. Предложите способ получения 1,2,3-трихлорпропан из пропена. Напишите уравнения реакций.

5.31. Предложите уравнения реакций, с помощью которых можно отличить *o*-бромтолуол и 2-бром-1-метилциклогексан.

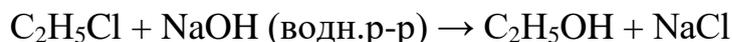
- 5.32. Установите структурную формулу вещества состава  $C_7H_7Br$ , которое при хлорировании избытком хлора при облучении ультрафиолетовым светом и нагревании образует соединение  $C_7H_4BrCl_3$ , которое в результате гидролиза водным раствором гидроксида натрия превращается в соль *n*-бромбензойной кислоты.
- 5.33. Нарисуйте теоретический спектр ПМР с учетом спин-спинового расщепления и сравнительной интенсивности в шкале  $\delta$  для:
- а) хлорэтана;
  - б) 2-метил-2-иодпропана.
- 5.34. При взаимодействии одноатомного спирта с 48%-ным раствором бромоводородной кислоты ( $\rho=1,5$  г/мл) образовалось 49,2 г (0,4 моль) нормального алкилбромиды. Установите строение исходного спирта и продукта реакции. Рассчитайте объём бромоводородной кислоты, необходимый для реакции, если выход продукта составляет 75% от теоретического.
- 5.35. К 19,8г 1,2-дихлорэтана добавили 185,2 мл 6%-ного водного раствора гидроксида натрия ( $\rho=1,08$  г/мл). Смесь нагрели в закрытом сосуде. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
- 5.36. При бромировании 5,6 л метана получили смесь бромметана и дибромметана и бромоводород, который растворили в 300 мл воды. При этом образовался раствор с концентрацией кислоты 9.75%. Определите массовую долю дибромметана в смеси.
- 5.37. Определите массу брома в растворе, полученном при пропускании 10 г смеси пропана и этилена (плотность паров по кислороду 1,095) через 1000 г 5%-го водного раствора брома.
- 5.38. Определите выход бромбензола (в %) при бромировании 3,9 г бензола, если из полученного бромбензола действием водного раствора гидроксида натрия получили 3,384 г фенола с выходом 90%.

## 6. Спирты и фенолы

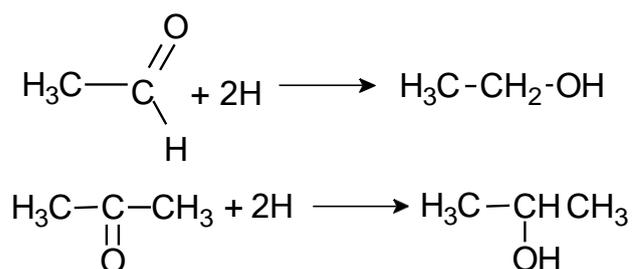
**Спирты** – это производные углеводородов, содержащие одну или несколько гидроксильных групп –ОН.

### Получение спиртов:

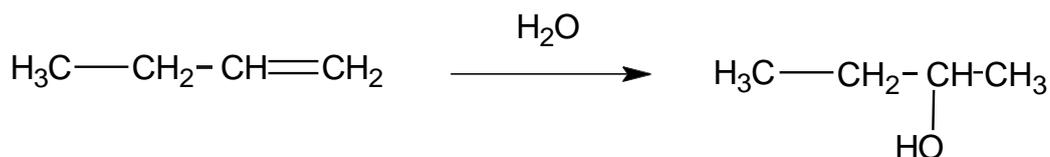
-гидролиз галогенопроизводных в присутствии щелочей:



-восстановление оксосоединений, при этом из альдегидов получают первичные спирты, а из кетонов – вторичные:



-гидратация алкенов

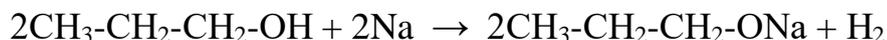


-брожение сахаров. Дрожжи сбраживают некоторые виды сахаров (глюкозу, фруктозу, мальтозу и т.д.)

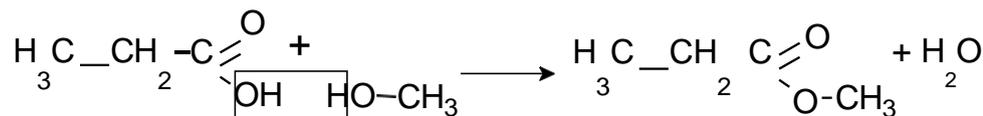


### Химические свойства

- Реакции с участием атома водорода в гидроксигруппе  
- со щелочными металлами, образуя алкоголяты:



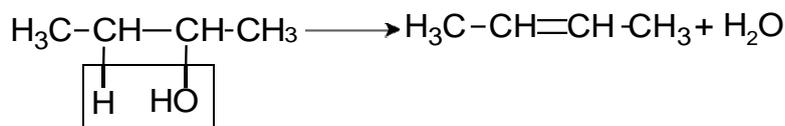
- образование сложных эфиров (реакция этерификации):



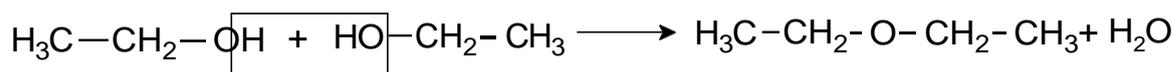
- Замещение и отщепление гидроксигруппы  
- с пентахлоридом фосфора



- Межмолекулярная ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $200^\circ\text{C}$ ) и внутримолекулярная ( $\text{ZnCl}_2$ ,  $350\text{--}500^\circ\text{C}$ ) дегидратация
  - внутримолекулярная (по правилу Зайцева)

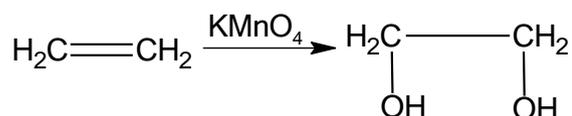


- межмолекулярная



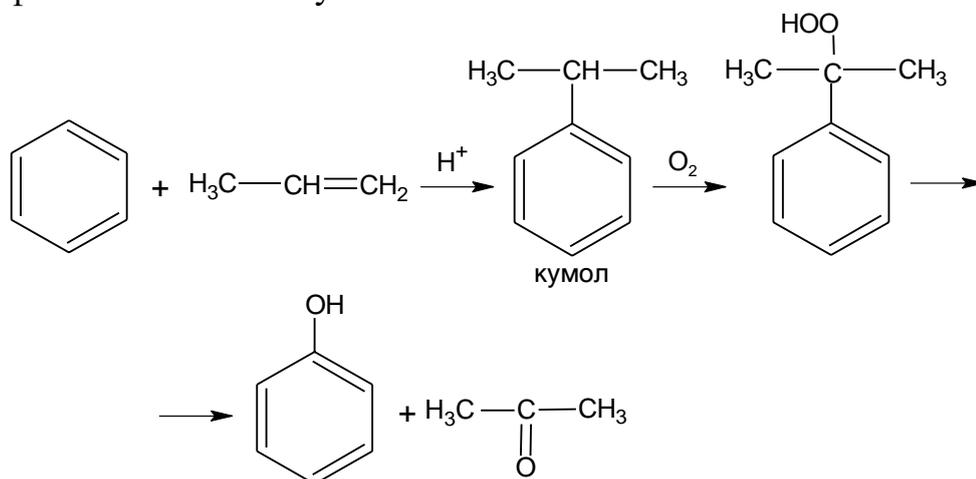
**Многоатомные спирты (гликоли)** – спирты, содержащие 2 и более гидроксильных групп. Получают теми же способами, что и одноатомные спирты. Например, гидролиз галогенопроизводных (из дигалогенопроизводных образуются диолы, из тригалогенопроизводных – триолы и т.д).

Окисление олефинов (реакция Вагнера):



По химическим свойствам гликоли практически не отличаются от одноатомных спиртов.

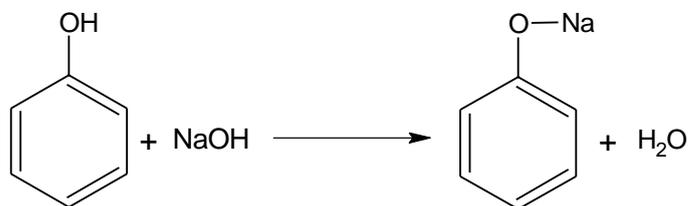
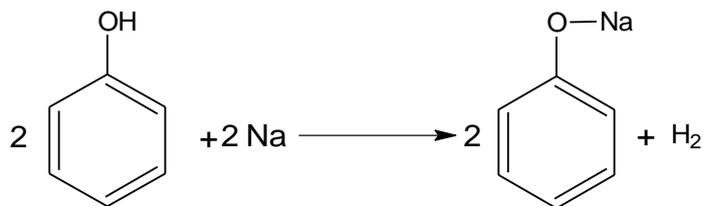
**Фенолы** – спирты, в которых гидроксильная группа связана непосредственно с ароматическим ядром. Наиболее перспективным способом получения фенола является «кумольный»:



Некоторое количество бензола получают гидролизом хлорбензола перегретым паром над катализатором – силикагелем.

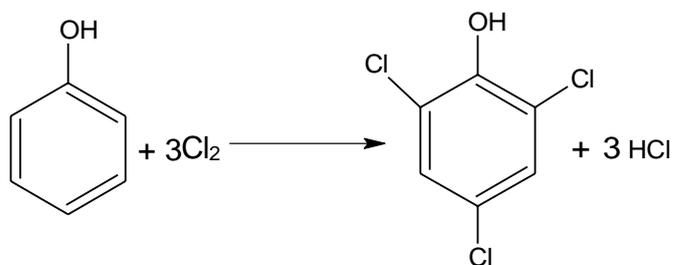
*Химические свойства.* Фенол – слабая кислота, но он на несколько порядков кислее воды и, соответственно, предельных спиртов.

- взаимодействие с металлами и щелочами (при этом образуются феноляты):

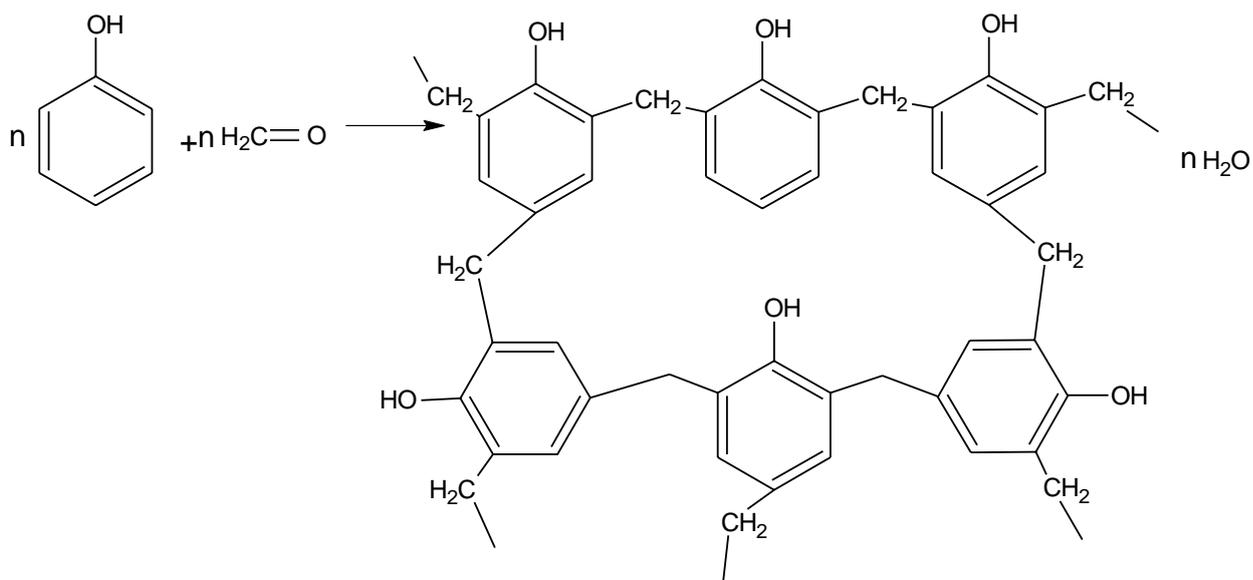


- замещение гидроксильной группы на хлор протекает гораздо труднее, чем с предельными спиртами.

- электрофильное замещение в ароматическом кольце. Так как OH-группа является заместителем 1-го рода, то она будет направлять новый заместитель в о- и п-положения.



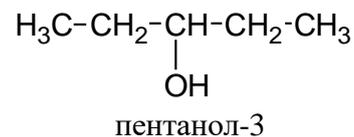
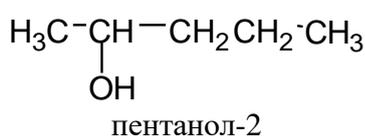
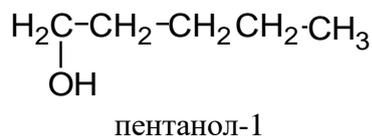
- при взаимодействии с формалином образуются фенолоформальдегидные смолы:



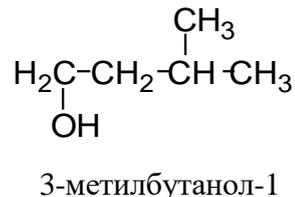
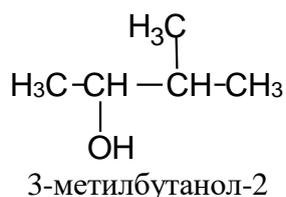
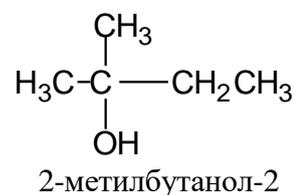
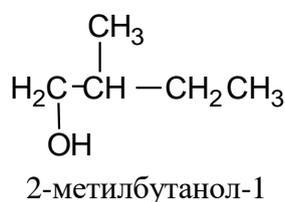
## Примеры решения задач

1. Напишите структурные формулы изомерных спиртов состава  $C_5H_{11}OH$  и назовите их по номенклатуре IUPAC.

*Решение.* Изомерия спиртов связана как с положением группы OH в молекуле, так и с изомерией углеродного скелета. При нормальной углеродной цепи возможно существование трех изомеров:



Четыре изомерных спирта могут иметь по 4 атома углерода в главной цепи:



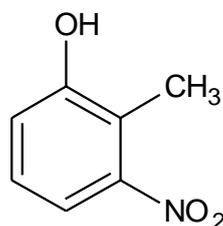
Кроме того, имеется один изомер, содержащий три атома углерода в главной цепи:



Таким образом, формула  $C_5H_{11}OH$  отражает состав восьми изомерных спиртов.

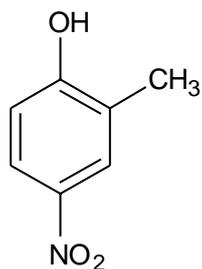
2. Напишите и назовите все изомеры 2-метил-3-нитрофенола.

*Решение.*

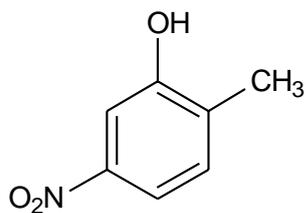


2-метил-3-нитрофенол

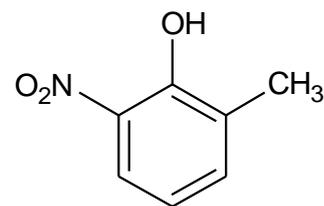
Сначала записываем все изомеры, содержащие метильную группу в положении 2:



2-метил-4-нитрофенол

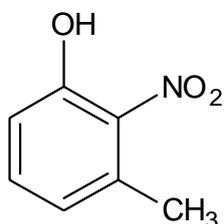


2-метил-5-нитрофенол

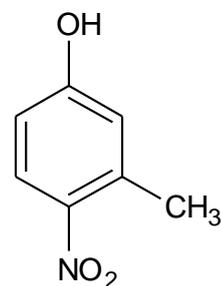


2-метил-6-нитрофенол

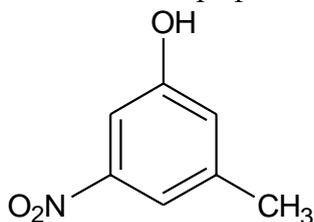
Возможно также четыре изомера, содержащих метильную группу в 3-м положении:



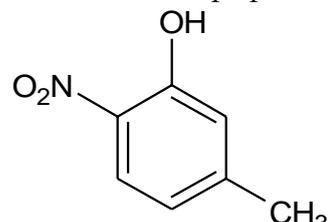
3-метил-2-нитрофенол



3-метил-4-нитрофенол

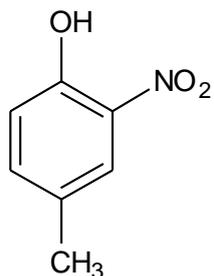


3-метил-5-нитрофенол

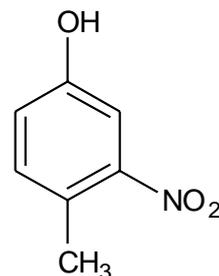


3-метил-6-нитрофенол

И еще два изомера с метильной группой в 4-м положении:

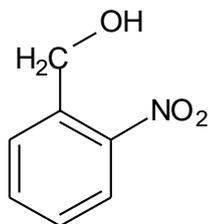


4-метил-2-нитрофенол

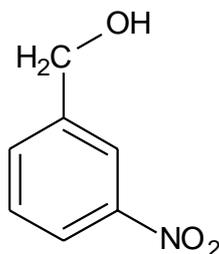


4-метил-3-нитрофенол

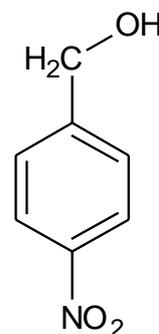
Существует также три изомера 2-метил-3-нитрофенола, не являющиеся фенолами:



2-нитробензиловый спирт

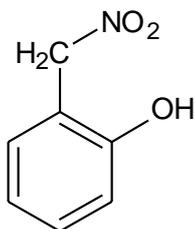


3-нитробензиловый спирт

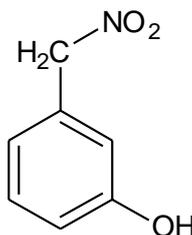


4-нитробензиловый спирт

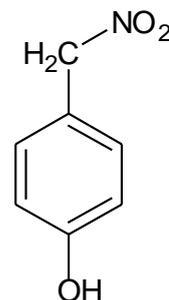
Кроме этого существует три изомера, содержащих нитрогруппу в боковой цепи:



2-гидрокси-α-нитротолуол



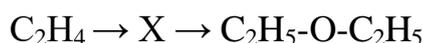
3-гидрокси-α-нитротолуол



4-гидрокси-α-нитротолуол

Таким образом, у 2-метил-3-нитрофенола существует 15 изомеров, 12 из которых относятся к фенолам.

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



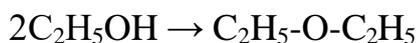
Укажите условия протекания реакций. Назовите вещество X.

*Решение.* Конечный продукт – диэтиловый эфир – получается из этилового спирта, следовательно, вещество X – этанол.

- 1) При взаимодействии этилена с водой образуется этанол:

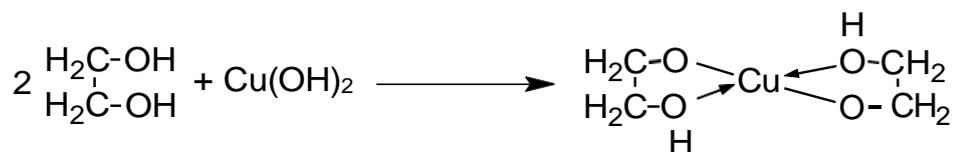


- 2) При нагревании этанола до 140°C в присутствии серной кислоты в качестве катализатора образуется диэтиловый эфир:

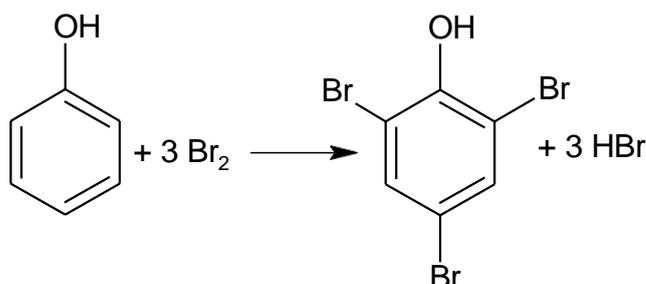


4. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно отличить бутанол-1, этиленгликоль и раствор фенола в бензоле.

*Решение.* К пробе каждого вещества добавим гидроксид меди (II), с которым этиленгликоль образует соединение, имеющее характерную ярко-синюю окраску:

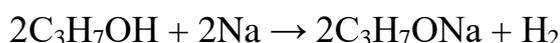


К пробам двух оставшихся веществ добавим бромной воды, которую будет обесцвечивать раствор фенола в бензоле:



5. Рассчитайте массу пропилата натрия, которая образуется в результате взаимодействия пропанола-1 массой 15 г с натрием массой 9,2 г.

*Решение.* Записываем уравнение реакции между пропанолом-1 и металлическим натрием:



Определяем количество вещества пропанола-1 и натрия:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})}{M(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})}$$

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = \frac{15}{60} = 0,25 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})}$$

$$\nu(\text{Na}) = \frac{9,2}{23} = 0,4 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует, что количества веществ спирта и натрия должны быть равны, следовательно, натрий взят в избытке.

На основании уравнения реакции записываем:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) = \nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})$$

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) = 0,25 \text{ моль}$$

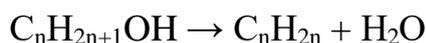
Определяем массу пропилата натрия, которую можно получить:

$$m(C_3H_7ONa) = \nu(C_3H_7ONa) \cdot M(C_3H_7ONa)$$

$$m(C_3H_7ONa) = 0,25 \cdot 82 = 20,5 \text{ г}$$

6. При нагревании предельного одноатомного спирта массой 12 г с концентрированной серной кислотой образовался алкен массой 6,3 г. Выход продукта составил 75 %. Определите формулу исходного спирта.

*Решение.* Представляем формулу спирта в виде  $C_nH_{2n+1}OH$ , тогда уравнение реакции его дегидратации будет выглядеть следующим образом:



где  $C_nH_{2n}$  – образующийся алкен.

Молярная масса спирта составляет:

$$M(C_nH_{2n+1}OH) = [12n + 1(2n + 1) + 16 + 1] = (14n + 18) \text{ г/моль}$$

Аналогично получаем:

$$M(C_nH_{2n}) = (12n + 2n) \text{ г/моль} = 14n \text{ г/моль}$$

Определяем массу алкена, которая была бы получена при количественном выходе этого вещества:

$$m(C_nH_{2n}) = \frac{m_p(C_nH_{2n}) \cdot 100}{\omega_{\text{Вых.}}}$$

$$m(C_nH_{2n}) = \frac{6,3 \cdot 100}{75} = 8,4 \text{ г}$$

Вычисляем количество вещества спирта и алкена:

$$\nu(C_nH_{2n+1}OH) = \frac{m(C_nH_{2n+1}OH)}{M(C_nH_{2n+1}OH)}$$

$$\nu(C_nH_{2n+1}OH) = \frac{12}{14n + 18} \text{ моль}$$

$$\nu(C_nH_{2n}) = \frac{m(C_nH_{2n})}{M(C_nH_{2n})}$$

$$\nu(C_nH_{2n}) = \frac{8,4}{14n} = \frac{0,6}{n} \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\nu(C_nH_{2n+1}OH) = \nu(C_nH_{2n}),$$

или

$$\frac{12}{14n + 18} = \frac{0,6}{n}$$

Решая полученное уравнение, находим, что  $n = 3$ , т.е. формула спирта  $C_3H_7OH$ . Это – пропанол.

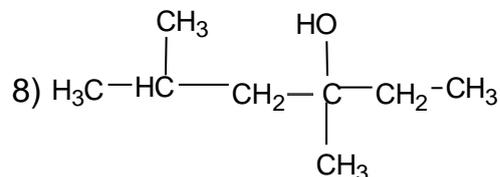
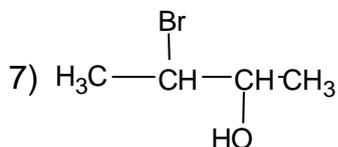
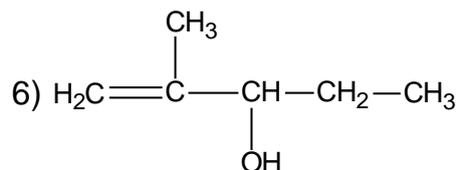
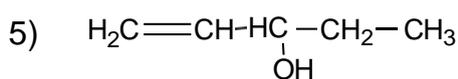
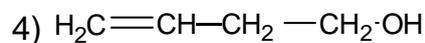
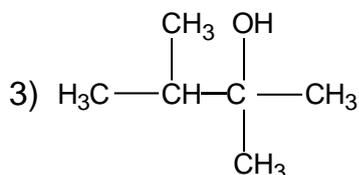
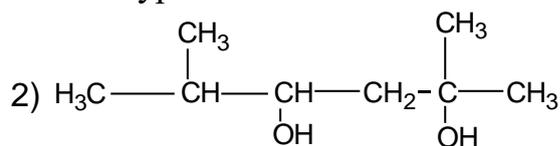
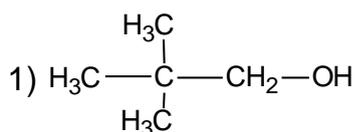
## Задачи для самостоятельного решения

### 6.1. Спирты

6.1.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| а) пропанол-2;           | е) 2,2,4-триметилпентанол-3; |
| б) 2-метилпентанол-3;    | ж) 4-хлорпентанол-2;         |
| в) 2-метилгептанол-5;    | з) пропен-2-ол-1;            |
| г) 3-этигексанол-3;      | и) 2,2-диметилпентен-4-ол-3; |
| д) 2,3-диметилбутанол-2; | к) 4-бромпентанол-2.         |

6.1.2. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



6.1.3. Напишите структурные формулы нециклических изомерных спиртов и простых эфиров:

- $C_3H_8O$ ;
- $C_4H_{10}O$ ;
- $C_5H_{12}O$ ;

6.1.4. Для предельных спиртов возможно следующее число изомеров:

$C_1 - 1; C_2 - 1; C_3 - 2; C_4 - 4; C_5 - 8; C_6 - 17$

Укажите число возможных изомеров:

- а) для простых эфиров, содержащих 5, 6 и 7 углеродных атомов;
- б) для предельных первичных спиртов с тем же числом углеродных атомов.

6.1.5. Напишите структурные формулы всех изомерных спиртов состава  $C_6H_{13}OH$ . Назовите их, отметьте вторичные и третичные спирты.

6.1.6. Напишите изомеры предельных двухатомных спиртов с открытой цепью углеродных атомов, содержащих:

- а) 4 атома углерода;
- б) 5 атомов углерода.

6.1.7. Напишите структурную формулу фитола  $C_{20}H_{40}O$  (одной из составных частей хлорофилла), называемого по номенклатуре IUPAC 2,6,10,14-тетраметилгексадецен-14-ол-16.

6.1.8. Для каждого из нижеследующих веществ напишите уравнение взаимодействия с водной щелочью и назовите полученные соединения:

- |                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| а) бромистый изобутил;           | д) 2-метил-3-хлорбутанол-2; |
| б) <i>втор.</i> бромистый бутил; | е) 1,4-дибромбутан;         |
| в) 1-иод-2,3-диметилпентан;      | ж) 2-иодпропан;             |
| г) 1-бромбутен-2;                | з) 2,3-дибромбутан          |

6.1.9. Назовите одноатомные спирты, которые образуются при восстановлении следующих соединений:

- |                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| а) диэтилкетон;      | в) изомасляный альдегид;     |
| б) диизопропилкетон; | г) изовалериановый альдегид. |

6.1.10. Напишите уравнения реакций получения бутанола-2 из бутанола-1.

6.1.11. Назовите алкены, при гидратации которых образуются следующие спирты:

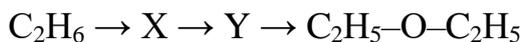
- а) *втор.*-бутиловый спирт;
- б) 2-метилбутанол-2;
- в) 4-метилпентанол-2.

Напишите уравнения соответствующих реакций.

6.1.12. Напишите уравнения реакций получения следующих соединений из ацетилена:

- |               |                |
|---------------|----------------|
| а) бутанол-1; | в) пропанол-1; |
| б) бутанол-2; | г) пропанол-2. |

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



Назовите промежуточные соединения.

6.1.14. Напишите уравнения реакций окисления по Вагнеру следующих соединений:

- а) алкены  $C_4H_8$ ;    в) хлористый аллил;  
б) алкены  $C_5H_{10}$ ;    г) 2-метилпентен-4-ол-2.

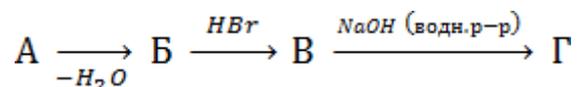
6.1.15. Напишите уравнение реакции и назовите образующиеся вещества при взаимодействии трёхбромистого фосфора со следующими соединениями:

- а) пентанол-3;    в) пропанол-2;  
б) бутанол-2;    г) 2-метилпентанол-3.

6.1.16. Напишите все возможные реакции между соединениями из левого и правого столбца:

- а) 2,2,4-триметилпентанол-3;                    1) металлический натрий;  
б) этиленгликоль;                                    2) метилмагнийбромид;  
в) втор-бутиловый спирт;                    3) бромистоводородная кислота

6.1.17. Напишите уравнения реакций для осуществления следующего превращения:



Где А:

- а) *n*-амиловый спирт (пентанол-1);  
б) изобутиловый спирт;  
в) бутанол-2.

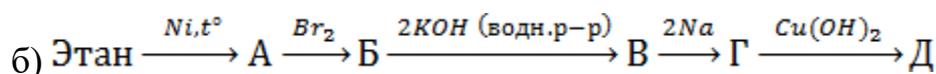
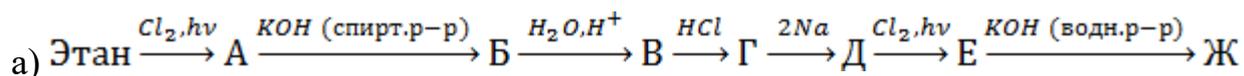
Назовите полученные продукты по номенклатуре IUPAC.

6.1.18. Напишите уравнения реакций и назовите соединения, которые образуются в результате следующих превращений:

- а) 1-иод-3-метилбутан  $\xrightarrow{KOH \text{ (водн. р-р)}}$  А  $\xrightarrow{HI}$  Б  $\xrightarrow{KOH \text{ (водн. р-р)}}$  В  $\xrightarrow{KMnO_4 \text{ (2\% -ный р-р)}}$  Г
- б)  $H_2C=CH-CH_3 \xrightarrow{HBr, \text{ перекись}}$  А  $\xrightarrow{H_2O, H^+}$  Б  $\xrightarrow{CH_3COOH}$  В

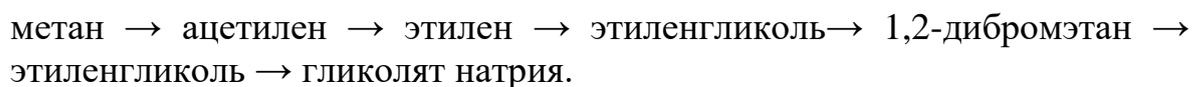
6.1.19. Установите структурную формулу вещества состава  $C_5H_8O$ , если известно, что оно обесцвечивает бромную воду, реагирует с металлическим натрием с выделением водорода, а при окислении образует бутен-3-аль.

6.1.20. Назовите конечные продукты в следующих цепочках превращений:



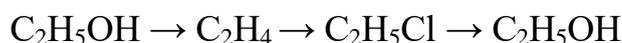
Напишите уравнения соответствующих реакций.

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

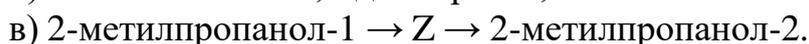
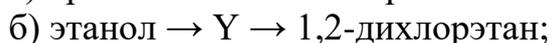
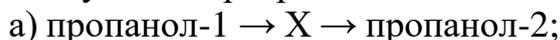


6.1.22. Предложите уравнения реакций, с помощью которых можно отличить пропанол-1 от глицерина.

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

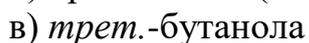


6.1.24. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



6.1.25. Укажите, в какой области ИК-спектра лежит полоса поглощения гидроксильной группы спиртов.

6.1.26. Нарисуйте теоретический спектр ПМР с учетом спин-спинового расщепления и сравнительной интенсивности в шкале  $\delta$  для:



6.1.27. При взаимодействии 3,6 г спирта с металлическим натрием выделилось столько водорода, что его оказалось достаточно для восстановления 1,94 г оксида меди (II). Определите формулу спирта, напишите и назовите его изомеры.

6.1.28. При действии на 10,1 г смеси этанола и метанола избытком металлического натрия выделилось 2,8 л (н.у.) газа. Найти массовую долю этанола в исходной смеси.

6.1.29. При гидратации 5,6 л (н.у.) смеси пропена и этена получили смесь спиртов, в которой массовая доля этанола составила 69,7%. Считая выход спиртов равным 100%, определите объёмную долю пропена в исходной смеси.

6.1.30. При обработке первичного предельного одноатомного спирта металлическим натрием образовалось 6,72 л газа (н.у.). При дегидратации такой же массы спирта образовался алкен массой 33,6 г. Определите молекулярную формулу спирта.

## 6.2. Фенолы

6.2.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

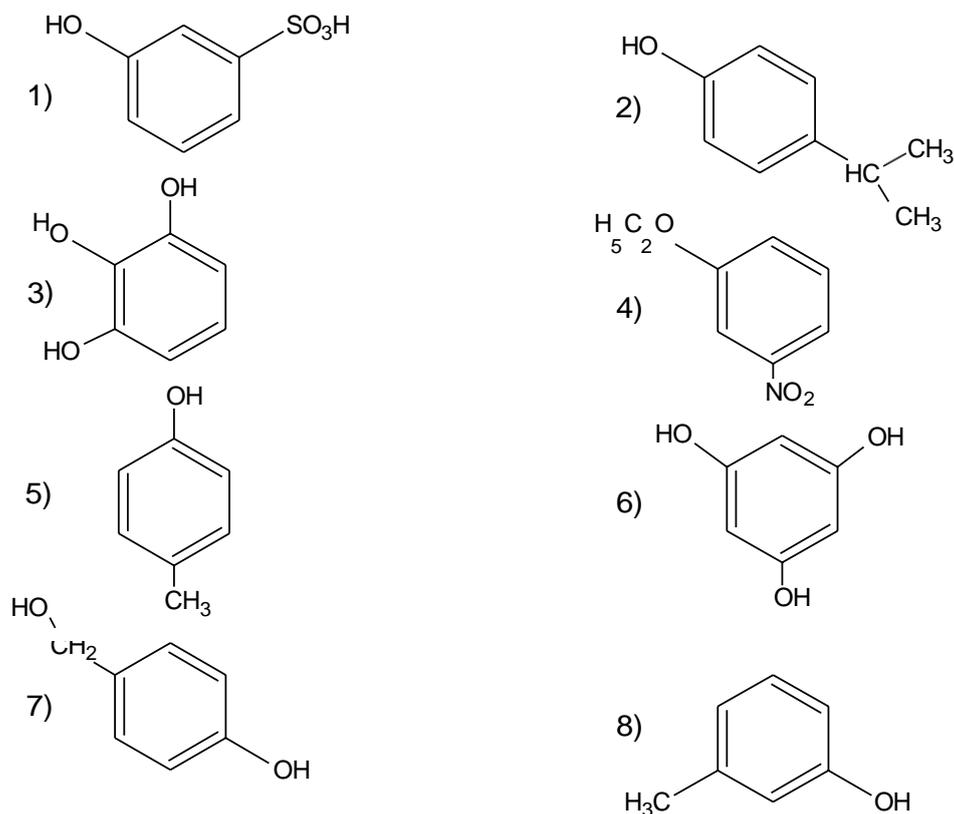
- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| а) м-крезол;                 | д) м-нитрофенол;                     |
| б) 2,4-динитрофенол;         | е) п-бромбензиловый спирт;           |
| в) 2,4-диметил-3-хлорбензол; | ж) 1-метил-3-окси-4-изопропилбензол; |
| г) п-этилфенол;              | з) п-нитрофенолят алюминия           |
| д) п-бромфенетол             |                                      |

6.2.2. Напишите и назовите все изомеры 2-метил-6-хлорфенола.

6.2.3. Напишите структурные формулы и назовите все изомеры:

- а) двух атомных фенолов формулы  $C_6H_4(OH)_2$ ;
- б) трёхатомных фенолов формулы  $C_6H_3(OH)_3$ .

6.2.4. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



6.2.5. Выберите из приведённых формул те, которые отвечают фенолам. Напишите их структурные формулы и все возможные изомеры.

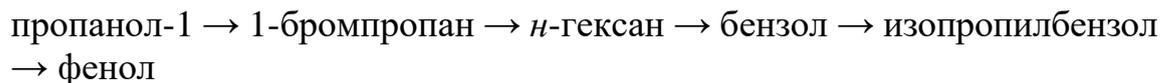
- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| а) $C_6H_6O_3$ ; | г) $C_6H_{12}O$ ; |
| б) $C_6H_6O$ ;   | д) $C_7H_{14}O$ ; |
| в) $C_7H_8O$ ;   | е) $C_6H_{14}O$ . |

6.2.6. Напишите структурные формулы всех изомерных соединений ароматического ряда состава:

- а)  $C_7H_8O$ ;  
б)  $C_8H_{10}O$ .

6.2.7. Предложите качественные реакции, с помощью которых можно установить наличие фенола в смеси его с бензиловым спиртом.

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



6.2.9. Напишите уравнения реакций получения *o*-этилфенола из этилбензола.

6.2.10. Напишите уравнения реакций и назовите образующиеся вещества:

- а) *n*-крезол + NaOH;  
б) фенолят натрия + 1- бромгексан;

в) фенол + Cl<sub>2</sub>;

6.2.11. Напишите уравнения реакций щелочного гидролиза следующих соединений:

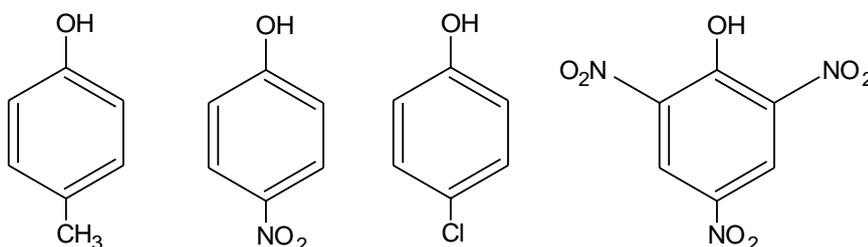
а) 3-хлорфенол;

б) *n*-бромфенол;

в) 2-окси-4-хлортолуол.

6.2.12. Получите 2,4,6-трибромфенол из метана, используя любые неорганические вещества и катализаторы.

6.2.13. Расположите следующие соединения в порядке убывания кислотных свойств:



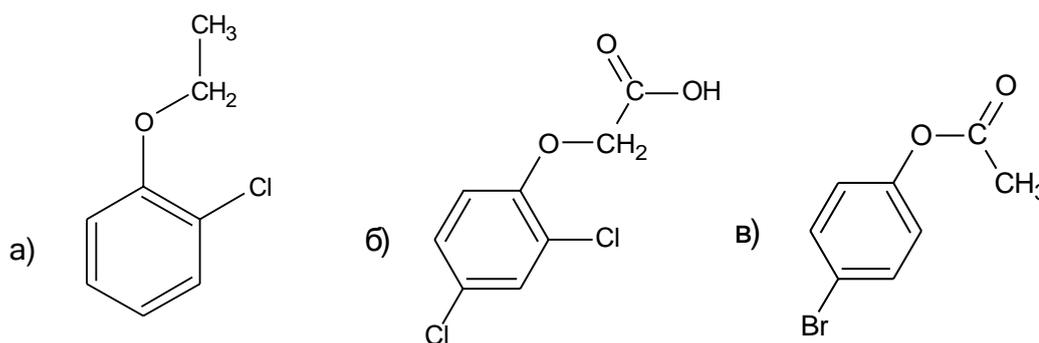
6.2.14. Предложите уравнения реакций для следующих превращений:

а) бензол → *n*-нитрофенол;

б) бензол → дифениловый эфир.

6.2.15. Напишите уравнения реакций для получения *n*-нитробензилового спирта из толуола.

6.2.16. Предложите схемы превращения фенола в следующие соединения:



6.2.17. Напишите схему получения пикриновой кислоты (2,4,6-тринитрофенола) из бензола.

6.2.18. Приведите уравнения реакций, при помощи которых можно отличить друг от друга глицерин, фенол и бутанол-1.

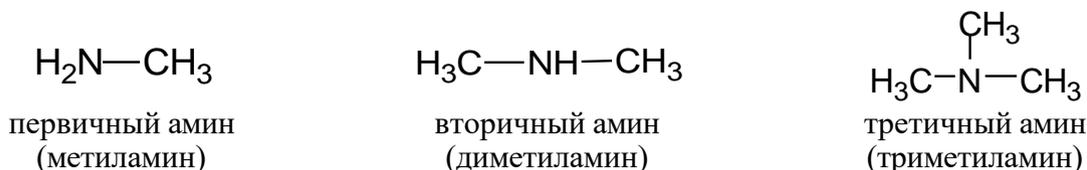
6.2.19. Укажите, в какой области ИК-спектра лежит полоса поглощения гидроксильной группы фенолов.

- 6.2.20. Нарисуйте теоретический спектр ПМР с учетом спин-спинового расщепления и сравнительной интенсивности в шкале  $\delta$  для:
- n*-крезола;
  - фенола
- 6.2.21. При действии металлического натрия на смесь этанола и фенола выделился водород объёмом 2,8 л (н.у.), а при взаимодействии этой смеси с бромом образовалось 33,1 г 2,4,6-трибромфенола. Найдите массовые доли компонентов в исходной смеси.
- 6.2.22. Смесь этанола, глицерина и фенола массой 55,9 г обработали металлическим натрием, при этом выделилось 14,56 л (н.у.) водорода. При действии на такую же смесь брома образовалось 66,2 г 2,4,6-трибромфенола. Рассчитайте, сколько литров этилена можно получить при полной дегидратации всего содержащегося в смеси этанола.
- 6.2.23. Фенол и ацетон получают в промышленности кумольным способом. Составьте уравнения реакций и вычислите массу фенола и ацетона, образующихся при взаимодействии бензола массой 15,6 кг с пропиленом объёмом 50 м<sup>3</sup>, если массовая доля выхода фенола и ацетона – 89% от теоретического.
- 6.2.24. В качестве сердечного лекарственного средства при стенокардии применяют 1%-ный спиртовой раствор тринитроглицерина. Рассчитайте массу тринитроглицерина, необходимую для приготовления такого раствора массой 10 кг.
- 6.2.25. Водный раствор фенола (карболовая кислота) широко применяют для дезинфекции, для уничтожения личинок капустной мухи. Карболовую кислоту обычно получают щелочным гидролизом хлорбензола с последующим подкислением фенолята натрия соляной кислотой. Рассчитайте массу раствора гидроксида натрия с массовой долей щёлочи 40 %, необходимую для получения карболовой кислоты массой 100 кг (массовая доля фенола 0,4 %). Массовая доля выхода фенола 95 % от теоретического.

## 7. Амины и аминоспирты

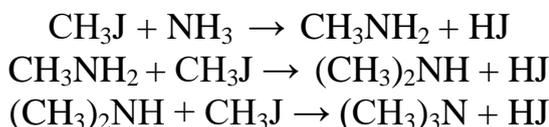
**Амины** – продукты замещения атомов водорода в аммиаке на углеводородные радикалы.

Амины делят на первичные (один атом водорода в аммиаке замещён на углеводородный радикал), вторичные (2 атома водорода замещены на углеводородные радикалы) и третичные (3 атома водорода замещены на углеводородные радикалы):

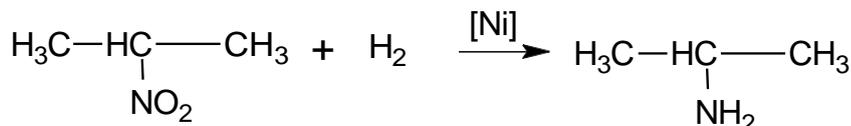


### Получение

- реакция Гофмана:



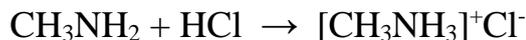
- восстановление нитросоединений:



### Химические свойства

Алкиламины – основания, по силе близкие к аммиаку. Основные свойства обусловлены наличием на атоме азота свободной пары электронов.

- взаимодействие с минеральными кислотами

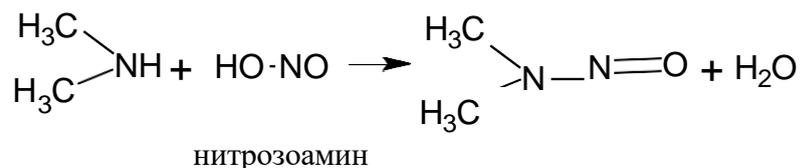


- взаимодействие с азотистой кислотой:

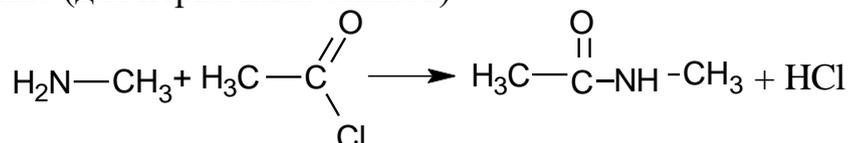
*первичные амины:*



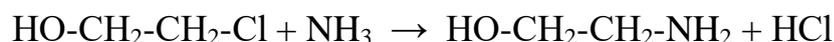
*вторичные амины:*



- ацилирование (для первичных аминов):



**Аминоспирты** – соединения, которые содержат амино- и оксигруппу. Получают действием аммиака на галогенозамещенные спирты:



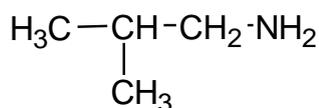
### Примеры решения задач

1. Напишите структурные формулы изомерных аминов состава  $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$  и назовите их по номенклатуре IUPAC.

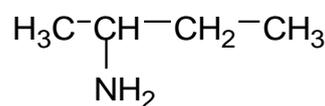
*Решение.* Для аминов характерно несколько видов изомерии: изомерия углеводородного скелета, изомерия положения аминогруппы и изомерия аминогруппы, связанная с изменением степени замещения атомов водорода при атоме азота (метамерия). Сначала записываем все первичные амины состава  $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ :



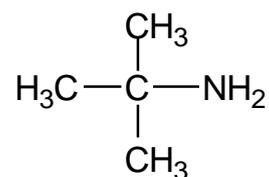
бутиламин



изо-бутиламин



втор.-бутиламин

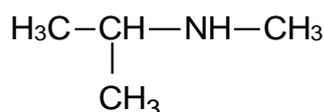


трет.-бутиламин

Четыре изомерных вторичных амина:



метилпропиламин

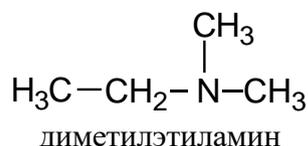


метилизопропиламин



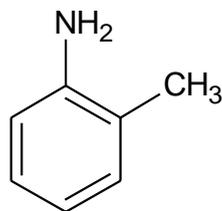
диэтиламин

И один третичный амин:

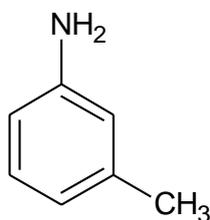


2. Напишите и назовите все изомеры 2-метиланилина.

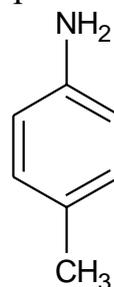
*Решение.* 2-Метиланилин или *o*-метиланилин имеет следующую структурную формулу:



Перемещая метильную группу, получаем два изомера:

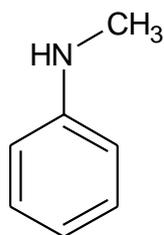


3-метиланилин

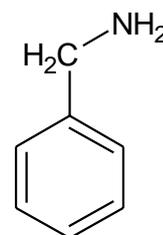


4-метиланилин

Также существует еще два изомера:



метилфениламин



бензиламин

Таким образом, для 2-метиланилина существует 4 изомера.

3. Определите формулу вторичного амина, массовые доли атомных углерода, водорода и азота в котором соответственно равны 61,0, 15,3 и 23,7 %.

*Решение.* Представляем формулу амина в виде  $C_xH_yN_z$ .

Выбираем для расчетов образец амина массой 100 г. Определяем массы и количества веществ атомных углерода, водорода и азота, которые содержатся в этом образце:

$$m(C) = m \cdot \omega(C) = 100 \cdot 0,610 = 61,0 \text{ г};$$

$$m(H) = m \cdot \omega(H) = 100 \cdot 0,153 = 15,3 \text{ г};$$

$$m(N) = m \cdot \omega(N) = 100 \cdot 0,237 = 23,7 \text{ г};$$

$$\nu(C) = \frac{m(C)}{M(C)}$$

$$\nu(C) = \frac{61,0}{12} = 5,1 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = \frac{m(H)}{M(H)}$$

$$\begin{aligned}
 \nu(H) &= \frac{15,3}{1} = 15,3 \text{ моль} \\
 \nu(N) &= \frac{m(N)}{M(N)} \\
 \nu(N) &= \frac{23,7}{14} = 1,7 \text{ моль}
 \end{aligned}$$

Находим отношение количеств веществ углерода, водорода и азота:

$$\nu(C) : \nu(H) : \nu(N) = 5,1 : 15,3 : 1,7$$

Это отношение можно представить и в таком виде:

$$\nu(C) : \nu(H) : \nu(N) = x : y : z$$

Получаем:

$$x : y : z = 5,1 : 15,3 : 1,7 = 3 : 9 : 1$$

Т.е. формула амина  $C_3H_9N$ .

Так как известно, что амин – вторичный, его формула может быть представлена в виде  $R^1-NH-R^2$ . Очевидно, один из углеводородных радикалов – метил  $CH_3$ , другой – этил  $C_2H_5$ . Структурная формула амина  $CH_3-NH-C_2H_5$ . Это – метилэтиламин.

4. Рассчитайте массу бензола, которая потребуется для получения анилина массой 279 кг, если его выход составляет 75 %.

*Решение.* Анилин получают из бензола в две стадии. Сначала бензол подвергают нитрованию:



Затем восстанавливают нитробензол до анилина, например, каталитическим гидрированием:



Определяем, какая масса анилина образовалась бы при количественном выходе, если реально получен продукт массой 279 кг:

$$m(C_6H_5NH_2) = \frac{m_p(C_6H_5NH_2) \cdot 100}{\omega_{\text{вых.}}}$$

$$m(C_6H_5NH_2) = \frac{29 \cdot 100}{75} = 372 \text{ кг}$$

Находим количество вещества анилина:

$$\nu(C_6H_5NH_2) = \frac{m(C_6H_5NH_2)}{M(C_6H_5NH_2)}$$

$$\nu(C_6H_5NH_2) = \frac{372}{93} = 4 \text{ кмоль}$$

Из уравнений реакций (а) и (б) следует:

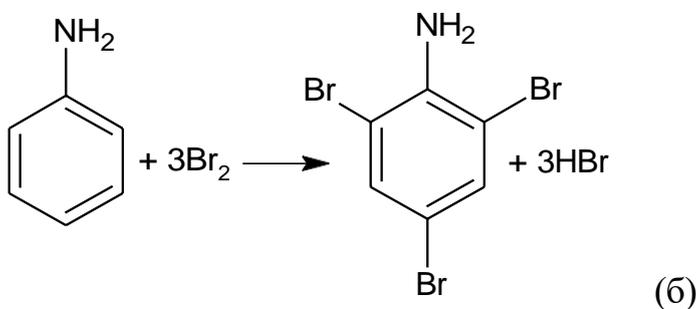
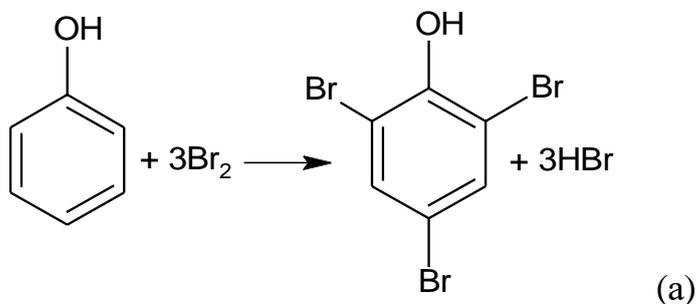
$$\begin{aligned} \nu(C_6H_6) &= \nu(C_6H_5NH_2) \\ \nu(C_6H_6) &= 4 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Вычисляем требуемую массу бензола:

$$\begin{aligned} m(C_6H_6) &= \nu(C_6H_6) \cdot M(C_6H_6) \\ m(C_6H_6) &= 4 \cdot 78 = 312 \text{ кг} \end{aligned}$$

5. Имеется раствор фенола и анилина в бензоле. Массовая доля фенола в растворе составляет 20 %, анилина – 30 %. Рассчитайте массу раствора с массовой долей брома 8 %, которую надо взять для бромирования образца исходного раствора массой 200 г.

*Решение.* С бромом в отсутствие катализаторов реагируют фенол и анилин:



Определяем массы и количества веществ фенола и анилина, которые находятся в растворе:

$$m(\text{фенола}) = m \cdot \omega(\text{фенола}) = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ г};$$

$$m(\text{анилина}) = m \cdot \omega(\text{анилина}) = 200 \cdot 0,3 = 60 \text{ г};$$

$$\begin{aligned} \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) &= \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})} \\ \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) &= \frac{40}{94} = 0,4255 \text{ моль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) &= \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)} \\ \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) &= \frac{60}{93} = 0,6452 \text{ моль} \end{aligned}$$

Определяем количество вещества молекулярного брома, который необходим для осуществления реакций (а) и (б). из уравнения реакции (а) следует:

$$\begin{aligned} \nu_a(\text{Br}_2) &= 3\nu(\text{фенола}) \\ \nu_a(\text{Br}_2) &= 3 \cdot 0,4255 = 1,277 \text{ моль} \end{aligned}$$

На основании уравнения (б) записываем:

$$\begin{aligned} \nu_b(\text{Br}_2) &= 3\nu(\text{анилина}) \\ \nu_b(\text{Br}_2) &= 3 \cdot 0,6452 = 1,936 \text{ моль} \end{aligned}$$

Вычисляем общее количество вещества молекулярного брома, который необходим для реакций (а) и (б):

$$\begin{aligned} \nu(\text{Br}_2) &= \nu_a(\text{Br}_2) + \nu_b(\text{Br}_2) \\ \nu(\text{Br}_2) &= 1,277 + 1,936 = 3,213 \text{ моль} \end{aligned}$$

Находим массу требуемого брома:

$$\begin{aligned} m(\text{Br}_2) &= \nu(\text{Br}_2) \cdot M(\text{Br}_2) \\ m(\text{Br}_2) &= 3,213 \cdot 160 = 514 \text{ г} \end{aligned}$$

Определяем массу раствора брома в тетрахлориде углерода, который необходим для реакции:

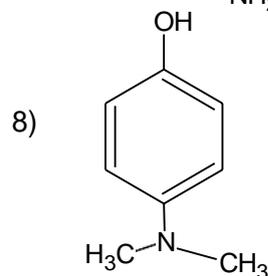
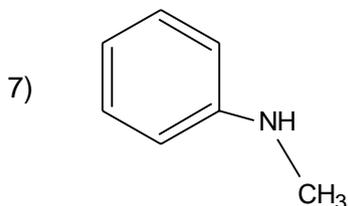
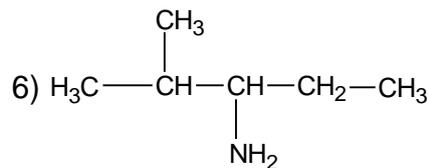
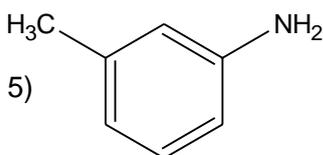
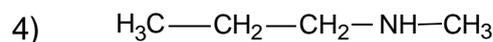
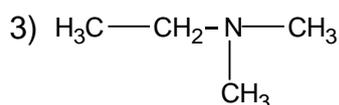
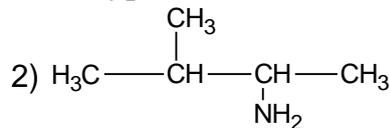
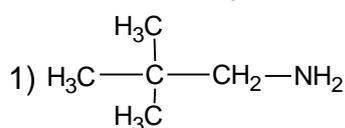
$$\begin{aligned} m_{\text{р-ра}} &= \frac{m(\text{Br}_2)}{\omega(\text{Br}_2)} \\ m_{\text{р-ра}} &= \frac{514}{0,08} = 6425 \text{ г} = 6,425 \text{ кг} \end{aligned}$$

## Задачи для самостоятельного решения

7.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| а) 2-аминопропан;           | е) пропилизопропиламин;          |
| б) 1-амино-2-метилбутан;    | ж) о-броманилин;                 |
| в) 3-аминопропен-1;         | з) 1,2-диаминопропан;            |
| г) дипропиламин;            | и) 2-амино-2-метил-1-хлорпропан; |
| д) <i>трет.</i> -бутиламин; | к) о-аминофенол.                 |

7.2. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



7.3. Напишите структурные формулы и назовите все изомеры аминов:

- а)  $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$ ;  
б)  $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ ;  
в)  $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$ .

Укажите первичные, вторичные и третичные амины.

7.4. Напишите уравнения реакций и назовите полученные соединения:

- а) иодистый изопропил + аммиак;  
б) метиламин + иодистый аллил;  
в) бутилпропиламин + иодистый этил;  
г) триметиламин + хлористый пропил;  
д) хлористый бутил + аммиак.

- 7.5. Назовите амины, которые образуются при восстановлении следующих нитросоединений (цинк + HCl):
- |                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| а) 2-нитрооктан;              | д) 2-нитробутанол-1; |
| б) 2-метил-2-нитропентан;     | е) о-нитротолуол;    |
| в) 2,3-диметил-2-нитробутан;  | ж) 2-нитробутан;     |
| г) 2,3-диметил-3-нитропентан; | з) нитроциклогексан. |
- Напишите уравнения реакций восстановления.
- 7.6. Назовите соединения, которые образуются при взаимодействии аммиака со следующими веществами:
- метилюдид;
  - 1,2-дихлорэтан;
  - этилбромид.
- 7.7. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно из этилена получить следующие соединения:
- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| а) этиламин;    | в) пропиламин;              |
| б) триэтиламин; | г) бромид тетраэтиламмония. |
- 7.8. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно получить диизопропиламин из пропилового спирта. Напишите для него уравнение реакции с азотистой кислотой.
- 7.9. Используя ацетилен в качестве исходного соединения получите:
- метиламин;
  - этиламин;
  - пропиламин.
- 7.10. Предложите способ получения пропиламина из этанола.
- 7.11. Приведите формулы исходных веществ и уравнения реакций, которые позволяют осуществить превращения:
- алкен  $\rightarrow$  трет.бутиламин;
  - углеводород  $\rightarrow$  метиламин.
- 7.12. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:
- метан  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  нитробензол  $\rightarrow$  анилин  $\rightarrow$  сульфат фениламмония  $\rightarrow$  анилин;
  - пропанол-1  $\rightarrow$  пропановая кислота  $\rightarrow$  пропионат аммония  $\rightarrow$  амид пропановой кислоты  $\rightarrow$  пропионат натрия  $\rightarrow$  этан  $\rightarrow$  нитроэтан  $\rightarrow$  этиламин  $\rightarrow$  хлорид этиламмония;
  - бензол  $\rightarrow$  толуол  $\rightarrow$  фенилнитрометан  $\rightarrow$  бензиламин  $\rightarrow$  бромид бензиламмония.

- 7.13. Предложите способ получения следующих веществ, используя в качестве исходных веществ и реагентов только неорганические соединения:
- а) этиламин;
  - б) метиламин.
- 7.14. Назовите исходные нитросоединения, восстановлением которых можно получить следующие амины:
- а) изопропиламин;
  - б) *n*-метиланилин;
  - в) этиламин;
  - г) *трет*-бутиламин.
- 7.15. Назовите соединения, которые вступили в реакцию, если в результате образовались следующие соединения (указаны все продукты реакции без коэффициентов):
- а)  $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
  - б)  $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
- 7.16. Напишите уравнения следующих реакций:
- а) *n*-аминофенол + HCl;
  - б) *n*-аминофенол + NaOH;
  - в) этиламин + HBr.
- 7.17. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:
- метан → ацетилен → бензол → нитробензол → анилин → 2,4,6-триброманилин.
- 7.18. Напишите уравнения реакций следующих аминов с  $\text{HNO}_2$ :
- а) метилпропиламин;
  - б) метиламин;
  - в) *N*-метиланилин;
  - г) диэтиланилин
- 7.19. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить превращения:
- а) хлорид этиламмония → этиламин → азот;
  - б) нитробензол → анилин → бромид фениламмония.
- 7.20. При действии азотистой кислоты на амин состава  $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$  образовался спирт и выделился азот. Напишите структурные формулы возможных изомеров исходного амина.
- 7.21. Расположите следующие соединения в порядке возрастания их основных свойств: метиламин, аммиак, диметиламин, анилин.
- 7.22. Назовите спирт, который образуется в результате действия азотистой кислоты на изобутиламин.

7.23. Напишите структурные формулы всех изомерных ароматических аминов состава  $C_7H_9N$  и назовите их.

7.24. Расположите следующие амины в ряд по увеличению основности:

- |                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| а) анилин;               | д) <i>o</i> -нитроанилин; |
| б) 2,4,6-тринитроанилин; | е) <i>o</i> -хлоранилин;  |
| в) бензиламин;           | ж) <i>o</i> -метиланилин. |
| г) <i>N</i> -этиланилин; |                           |

7.25. Предложите способ получения следующих веществ, используя в качестве исходного соединения бензол:

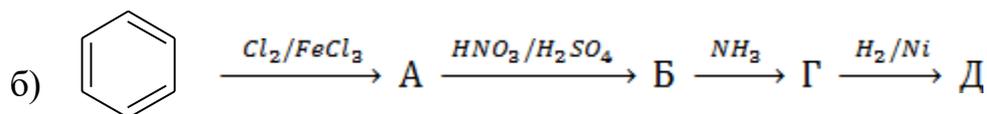
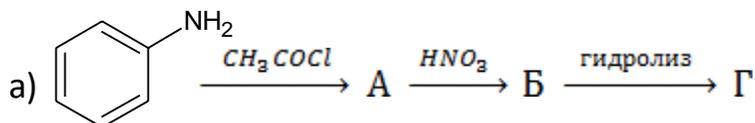
- n*-нитроанилин;
- 2,4,6-триброманилин;
- N*-метиланилин.

Напишите уравнения реакций.

7.26. Как можно доказать наличие водородной связи в аминах с помощью ИК-спектров?

7.27. Укажите, чем отличаются ИК-спектры ди- и триметиламина.

7.28. Напишите формулы промежуточных и конечных веществ в приведённых ниже схемах. Укажите случаи, когда образуется смесь изомеров.



7.29. Нарисуйте теоретический спектр ПМР с учетом спин-спинового расщепления и сравнительной интенсивности в шкале  $\delta$  для:

- диметиламина;
- триметиламина;
- N*-метиланилина.

7.30. Определите формулу вторичного амина, массовые доли атомных углерода, водорода и азота в котором соответственно равны 61,0, 15,3 и 23,7 %.

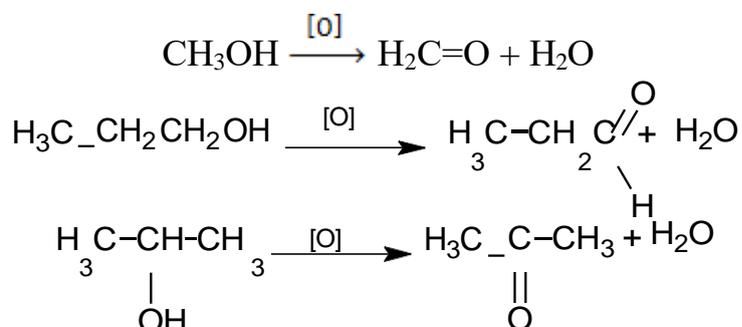
- 7.31. Рассчитайте, сколько нужно взять 2-нитропропана, чтобы каталитическим восстановлением получить 250 г 2-аминопропана, если выход амина составляет 92% от теоретического.
- 7.32. К 100 г раствора анилина добавили избыток брома. Выпавший осадок имел массу 3,3 г. Рассчитайте процентную концентрация раствора.
- 7.33. При взаимодействии смеси метиламина и анилина массой 12,4 г с соляной кислотой образовалась смесь солей массой 19,7 г. Определите массовую долю метиламина в смеси.
- 7.34. Рассчитайте массу этиламина, которая может вступить в реакцию с 3,36 л (н.у.) хлороводорода.
- 7.35. Через 10 г смеси бензола, анилина и фенола пропустили сухой хлороводород, при этом выпал осадок массой 1,3 г. На нейтрализацию такого же количества смеси потребовалось 3,35 мл 20%-го раствора гидроксида натрия ( $\rho=1,2$  г/мл). Рассчитайте количественный состав исходной смеси.
- 7.36. Определите структуру вторичного амина, если известно, что его хлороводородная соль содержит 43,55% хлора.

## 8. Альдегиды и кетоны.

Функциональной группой оксосоединений является карбонильная группа (C=O). Оксосоединения делятся на 2 группы: альдегиды и кетоны.

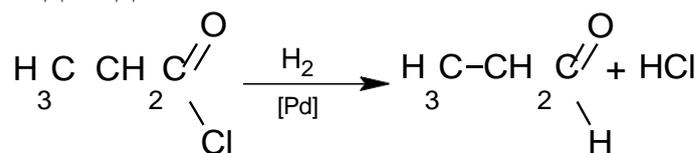
### Получение

- окисление спиртов (при окислении первичных спиртов образуются альдегиды, а при окислении вторичных – кетоны):

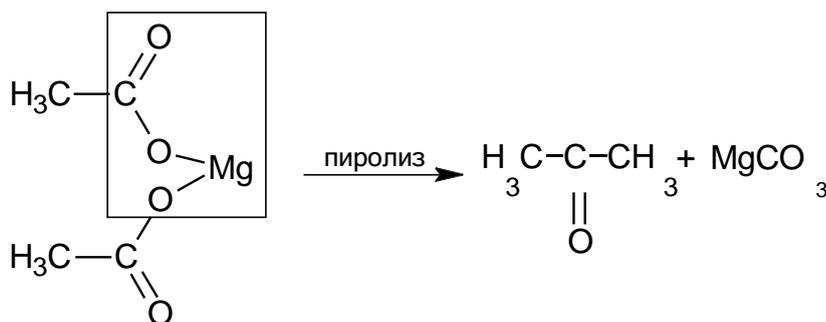


- из кислот и их производных:

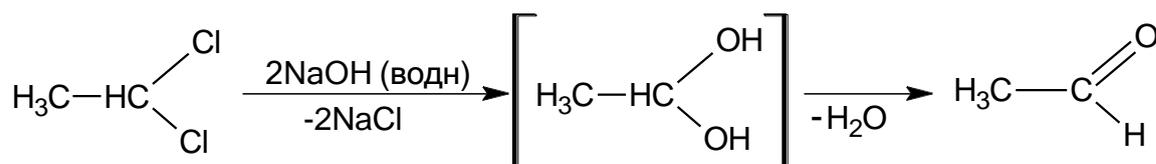
При пропускании хлорангидридов над «отравленным» палладием получают только альдегиды:



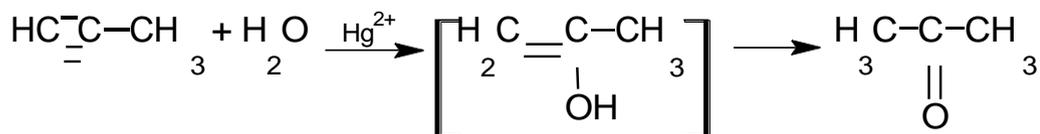
Прокаливая соли карбоновых кислот с двухвалентными металлами, получают кетоны различного состава:



- гидролиз геминальных дигалогеноалканов (содержащих два атома галогена при одном атоме углерода):

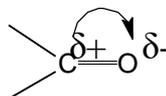


- гидратация ацетиленов (реакция Кучерова)

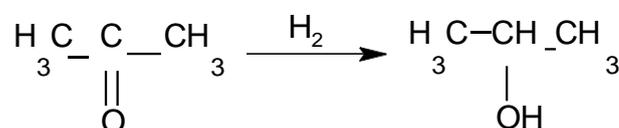
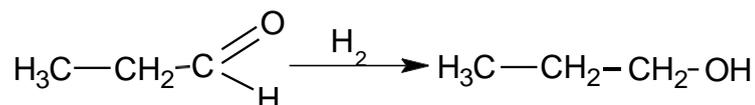


### Химические свойства

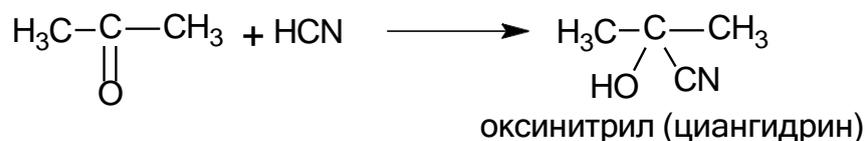
А) реакции присоединения. Электроны  $\delta$ - и  $\pi$ -связи в значительной степени смещены в сторону атома кислорода, что приводит к разделению зарядов:



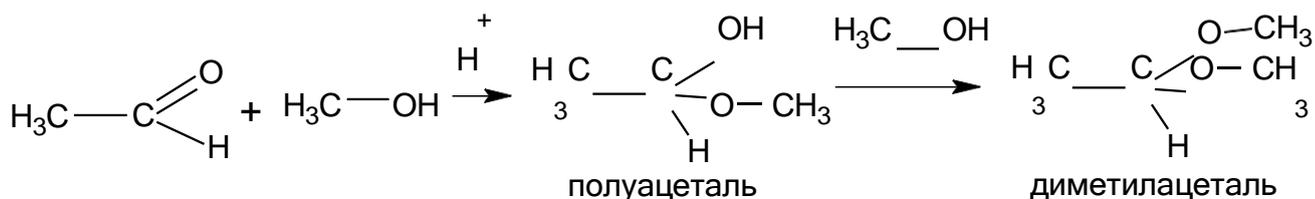
- восстановление (из альдегидов получают первичные, а из кетонов – вторичные спирты)



- присоединение синильной кислоты

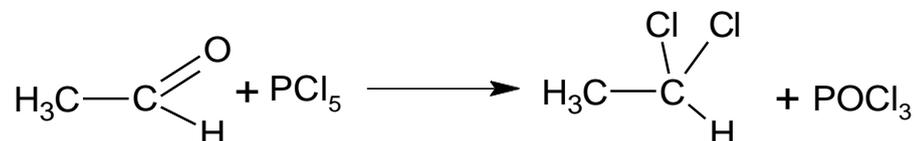


- присоединение спиртов

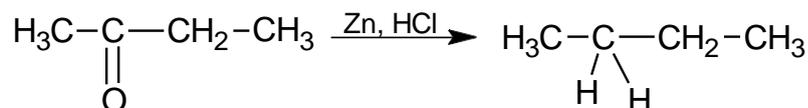


Б) замещение карбонильного кислорода

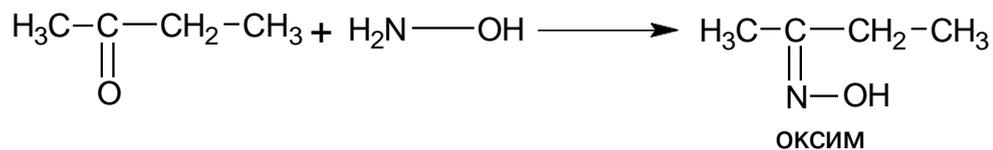
- взаимодействие с  $\text{PCl}_5$



- восстановление до соответствующих углеводородов

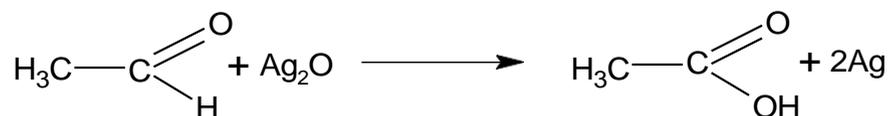


- взаимодействие с азотистыми основаниями (гидроксиламином, гидразином, фенилгидразином и др.):

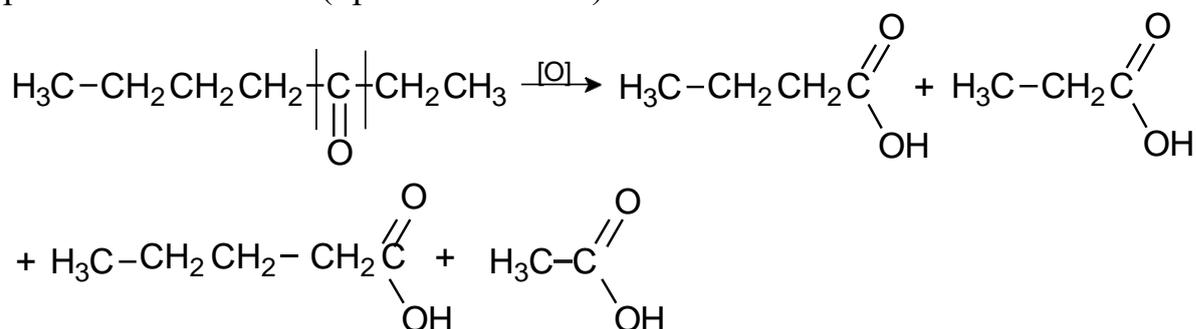


В) реакции окисления

- альдегиды легко окисляются (например, при действии  $\text{Ag}_2\text{O}$  – реакция «серебряного зеркала»):

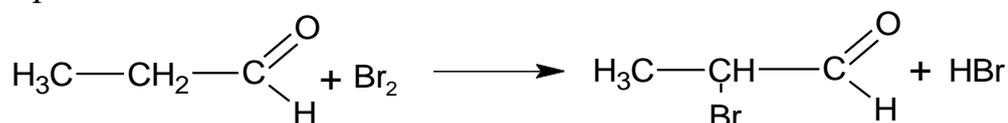


- кетоны окисляются лишь сильными окислителями при нагревании и с разрывом связей C - C (правило Попова):



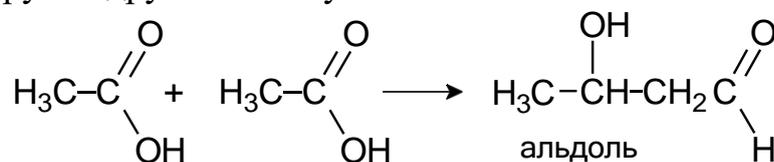
Г) реакция замещения в  $\alpha$ -положении

- галогенирование:



- альдольная конденсация:

протекает путём присоединения  $\alpha$ -звена одной молекулы оксосоединения к карбонильной группе другой молекулы.

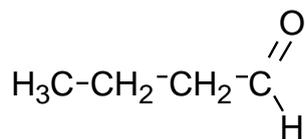


### Примеры решения задач

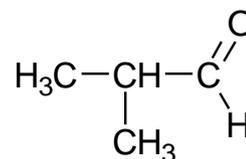
1. Напишите структурные формулы и назовите изомерные альдегиды и кетоны общей формулы  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ .

*Решение.* Исходя из брутто-формулы, это предельное оксосоединение.

Существует 2 изомерных альдегида, соответствующих формуле  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ :

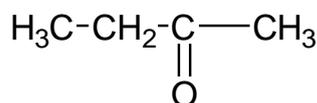


Бутаналь  
(масляный альдегид)



2-метилпропаналь  
(изо-масляный альдегид)

Существует также 1 кетон, соответствующий указанной формуле:



бутанон  
(метилэтилкетон)

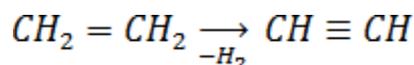
2. Напишите уравнения реакций, необходимых для осуществления следующих превращений:

этанол → этилен → ацетилен → уксусный альдегид → уксусная кислота.

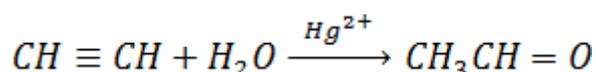
*Решение.* 1) Чтобы получить этилен из этанола необходимо провести реакцию дегидратации в присутствии серной кислоты при нагревании:



- 2) Дегидрируя этилен, получаем ацетилен:



- 3) Действием воды на ацетилен в присутствии солей ртути получаем уксусный альдегид (реакция Кучерова):



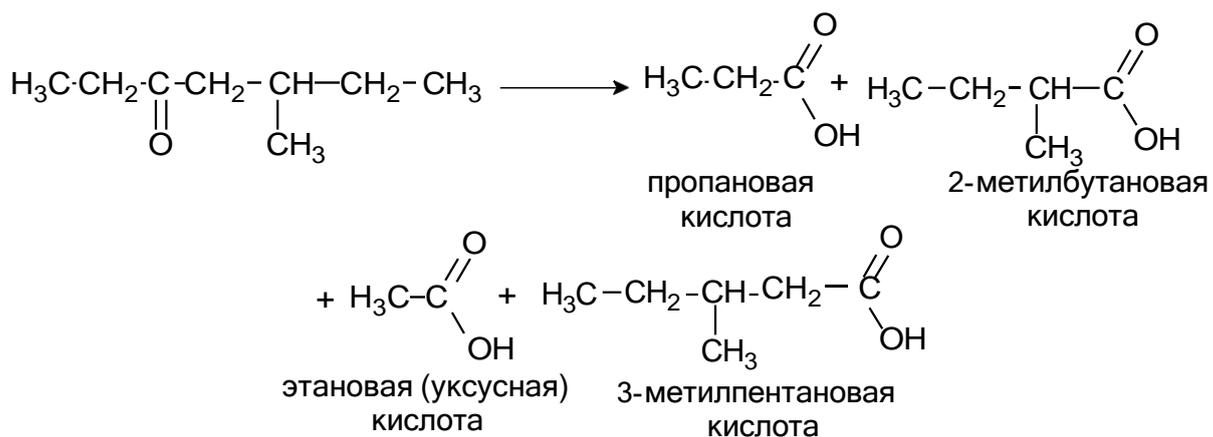
- 3) Получить уксусную кислоту можно окислением уксусного альдегида, например, аммиачным раствором оксида серебра (реакция серебряного зеркала):



3. Напишите уравнение реакции окисления 5-метилгептанона-3.

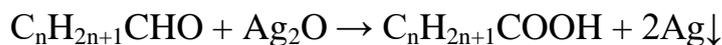
*Решение.* Кетоны к действию окислителей весьма устойчивы и окисляются лишь сильными окислителями при нагревании. В процессе окисления происходит разрыв связей С-С по обе стороны карбонильной

группы и в общем случае получается смесь четырех карбоновых кислот (окисление по Попову):



4. К водному раствору массой 4 г с массовой долей некоторого альдегида 22 % прилили избыток аммиачного раствора оксида серебра. При этом образовался осадок массой 4,32 г. Определите формулу исходного альдегида.

*Решение.* Уравнение реакции между альдегидом  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$  и аммиачным раствором оксида серебра выглядит следующим образом:



Определяем количество вещества серебра, полученного в результате реакции:

$$\begin{aligned}
 \nu(\text{Ag}) &= \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} \\
 \nu(\text{Ag}) &= \frac{4,32}{108} = 0,04 \text{ моль}
 \end{aligned}$$

Молярную массу альдегида можно выразить следующим образом:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}) = [(n+1)12 + (2n+2)1 + 1 \cdot 16] = (14n+30) \text{ г/моль}$$

Находим массу полученного альдегида:

$$\begin{aligned}
 m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}) &= m \cdot \omega(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}) \\
 m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}) &= 4 \cdot 0,22 = 0,88 \text{ г}
 \end{aligned}$$

Количество вещества альдегида составляет:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}) = \frac{m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO})}{M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO})}$$

$$v(C_nH_{2n+1}CHO) = \frac{0,88}{14n + 30} \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует:

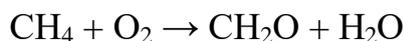
$$\frac{v(C_nH_{2n+1}CHO)}{v(Ag)} = \frac{1}{2}$$

Или

$$\frac{0,88}{(14n + 30)0,04} = \frac{1}{2}$$

Решая полученное уравнение, находим  $n = 1$ , т.е. формула альдегида  $CH_3CHO$ . Это уксусный альдегид.

5. Формалин – 40 %-ный раствор формальдегида. Рассчитайте массу формалина, который можно получить, используя альдегид, полученный каталитическим окислением метана объемом 336 л (нормальные условия) кислородом воздуха. Выход продуктов реакции окисления равен 60 %.  
*Решение.* Каталитическое окисление метана приводит к образованию формальдегида:



Определяем количество вещества метана:

$$v(CH_4) = \frac{V(CH_4)}{V_m}$$

$$v(CH_4) = \frac{336}{22,4} = 15 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\begin{aligned} v(CH_2O) &= v(CH_4) \\ v(CH_2O) &= 15 \text{ моль} \end{aligned}$$

Масса формальдегида, которая образуется при количественном выходе, составляет:

$$\begin{aligned} m(CH_2O) &= v(CH_2O) \cdot M(CH_2O) \\ m(CH_2O) &= 15 \cdot 30 = 450 \text{ г} \end{aligned}$$

Определяем массу реально полученного формальдегида, учитывая его выход:

$$m_p(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O}) \cdot \omega_{\text{вых.}}}{100}$$

$$m_p(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{450 \cdot 60}{100} = 270 \text{ г}$$

Находим массу полученного раствора формалина с массовой долей формальдегида 40 %:

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{m(\text{CH}_2\text{O})}{\omega(\text{CH}_2\text{O})}$$

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{270}{0,4} = 675 \text{ г}$$

### Задачи для самостоятельного решения

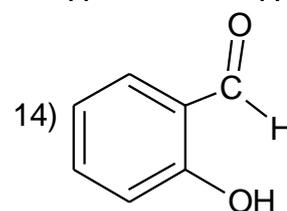
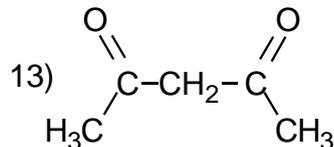
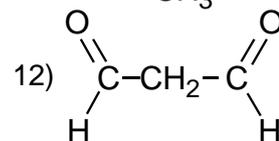
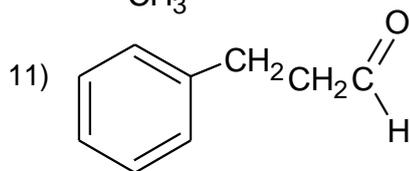
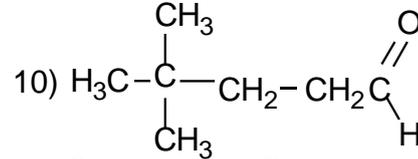
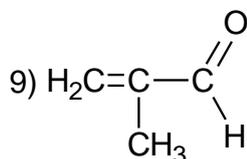
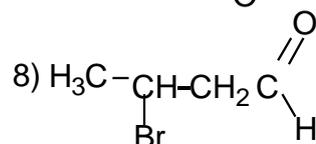
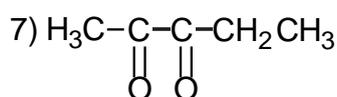
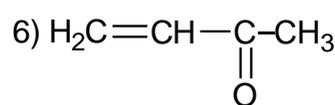
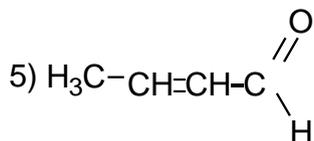
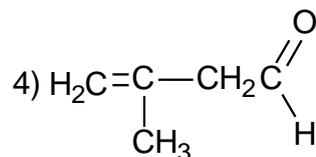
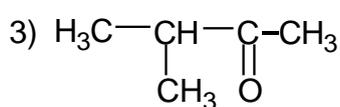
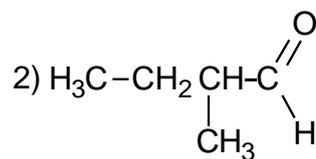
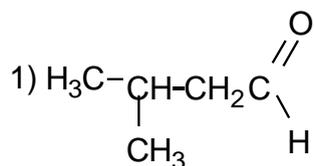
8.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| а) 2-метилпентаналь;        | е) 2-метилгептанон-3;        |
| б) 2,3-диметилбутаналь;     | ж) 2,2-диметилпентанон-3;    |
| в) 2,2,4-триметилпентаналь; | з) 2,2,4-триметилпентанон-3; |
| г) бутен-3-аль;             | и) 2,2,3-триметилпентанон-3; |
| д) 2-метилпентен-3-аль;     | к) пентандион-2,4.           |

8.2. Напишите структурные формулы и назовите изомерные альдегиды и кетоны общей формулы:

- а)  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$ ;
- б)  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$ ;
- в)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$ .

8.3. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



8.4. Напишите структурные формулы следующих альдегидов:

- |                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| а) изобутаналь;         | д) <i>m</i> -нитробензальдегид; |
| б) 3-метилпентаналь;    | е) <i>n</i> -хлорбензальдегид;  |
| в) 3,3-диметилбутаналь; | ж) 2-фенилэтаналь;              |
| г) 2,3-диоксипропаналь; | з) пропен-2-аль.                |

8.5. Напишите структурные формулы следующих кетонов:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| а) метилэтилкетон;                     | д) 4-метилпентен-3-он-2;         |
| б) гексанон-3;                         | е) ацетофенон (метилфенилкетон); |
| в) 2,3,3-триметилгептанон-4;           | ж) дифенилкетон (бензофенон).    |
| г) изопропил- <i>трет.</i> бутилкетон; |                                  |

8.6. В листьях фиалок и в огурцах содержится непредельный альдегид наонадиен-2,6-аль. Напишите его структурную формулу. Напишите уравнения реакций озонлиза и последующего разложения озонида и назовите продукты.

- 8.7. Составьте уравнения реакций окисления хромовой смесью следующих соединений (окисление вести до альдегидов или кетонов):
- |                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| а) пропанол-2;       | г) 2,4-диметилпентанол-1; |
| б) пентанол-3;       | д) пентанол-2;            |
| в) 3-метилбутанол-2; | е) 2,2-диметилбутанол-1   |

- 8.8. Назовите по номенклатуре IUPAC спирты, из которых были получены следующие кетоны:
- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| а) диизопропилкетон;    | в) этилизопропилкетон; |
| б) изопропилбутилкетон; | г) метилэтилкетон.     |

Напишите уравнения реакций окисления спиртов.

- 8.9. Напишите уравнения реакций присоединения воды (по Кучерову) к следующим соединениям и назовите продукты реакций:

- а) пропин
- б) бутин-2
- в) бутин-1

- 8.10. Напишите формулы кальциевых солей карбоновых кислот, которые необходимо подвергнуть пиролизу (сухой перегонке), чтобы получить следующие соединения:

- а) метилизопропилкетон;
- б) пентаналь.

- 8.11. Напишите уравнения реакции гидролиза следующих веществ и назовите полученные соединения:

- а) 2,2-дибромпропан;
- б) 1,1-дибромбутан;
- в) 1,1,4-трибромбутан.

- 8.12. Напишите уравнения реакций гидратации следующих соединений в присутствии солей двухвалентной ртути (реакция Кучерова) и назовите продукты:

- а) метилацетилен;
- б) 4-метилпентин-1;
- в) бутин-2.

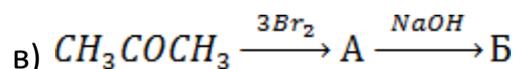
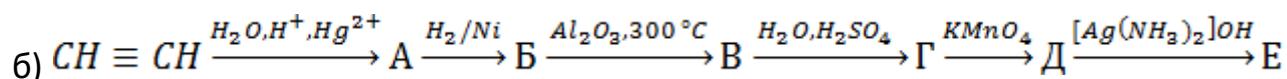
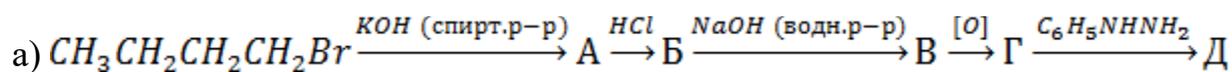
- 8.13. Напишите уравнения реакций получения пропанала и пентанона-3 всеми известными Вам способами.

- 8.14. Предложите схемы следующих синтезов и укажите условия проведения реакций:

- а) бутаналь  $\rightarrow$  метилэтилкетон;
- б) пропен  $\rightarrow$  пропаналь;
- в) бутанол-2  $\rightarrow$  бутандион-2,3.



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



Назовите конечные и промежуточные соединения.

8.24. Укажите, в какой области поглощает карбонильная группа альдегидов и кетонов:

- а) в ИК-спектре;
- б) в УФ-спектре.

8.25. Нарисуйте теоретический спектр ПМР в шкале  $\delta$  с учетом сравнительной интенсивности и спин-спинового расщепления для:

- а) ацетона;
- б) ацетальдегида;
- в) бензальдегида;
- г) 2-метилпропаналя;
- д) бутанона.

8.26. При гидролизе вещества состава  $\text{C}_4\text{H}_8\text{ClBr}$  получили соединение с тем же углеродным скелетом. Оно не даёт положительной пробы на галоген по Бельштейну, присоединяет гидросульфит натрия с образованием кристаллического вещества, но не восстанавливает аммиачный раствор оксида серебра. Напишите структурную формулу вещества.

8.27. Предложите, как с помощью одного реактива различить глицерин, метаналь и этанол. Составьте план опыта и напишите уравнения реакций.

8.28. Установите строение вещества состава  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ , если известно, что оно образует гидросульфитное (бисульфитное) производное, реагирует с гидроксиламином и окисляется в 2-метилпропановую кислоту.

8.29. Предложите способы получения из ацетилен:

- а) ацетона;
- б) бутанона-2.

8.30. Напишите уравнения реакций *n*-метилбензальдегида со следующими веществами:

- а) синильная (циановодородная) кислота;
- б) гидросульфит (бисульфит) натрия;

- в) гидроксилламин;
- г) бром в присутствии бромида алюминия;
- д) бром при облучении ультрафиолетовым светом.

- 8.31. Напишите уравнения реакций нитрования с помощью нитрующей смеси (ввести одну нитрогруппу) следующих соединений:  
а) бензальдегид;  
б) метилфенилкетон.
- 8.32. Предложите способ получения фенилацетилена из ацетофенона (метилфенилкетона).
- 8.33. Определите структурную формулу вещества состава  $C_8H_8O$ , если оно образует производные с фенилгидразином и бисульфитом натрия, вступает в реакцию с аммиачным раствором оксида серебра, при окислении дихроматом калия в кислой среде превращается в *n*-бензолдикарбоновую (терефталевую) кислоту.
- 8.34. Вещество содержит 62,07% (по массе) углерода, 27,59% кислорода и 10,34% водорода, имеет только одну функциональную группу и восстанавливает гидроксид меди (II). Определите структурную формулу этого соединения.
- 8.35. На 3,7 г смеси метанала и этанала подействовали избытком аммиачного раствора оксида серебра. При этом выделилось 21,6 г серебра. Определите массовые доли компонентов в исходной смеси.
- 8.36. Водный раствор формалина используют для протравливания семян. Вычислите массовую долю формальдегида в растворе, полученном при растворении 1 кг формалина с массовой долей формальдегида 40% в воде объёмом 100 л.
- 8.37. Какие объёмы ацетилена и воды необходимы для получения этанала массой 50 кг с массовой долей выхода 98% по реакции Кучерова?
- 8.38. Напишите уравнение реакции поликонденсации фенола с формальдегидом.
- 8.39. Напишите структурные формулы всех изомерных карбонильных соединений ароматического ряда общей формулы  $C_8H_8O$ . Назовите их.

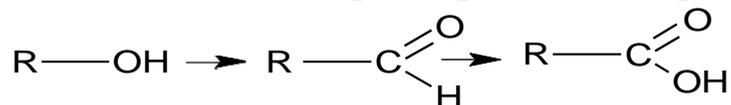
## 9. Карбоновые кислоты и их производные

**Карбоновые кислоты** – класс органических соединений, молекулы которых содержат одну или несколько функциональных карбоксильных групп -COOH. Кислые свойства объясняются тем, что данная группа может сравнительно легко отщеплять протон.

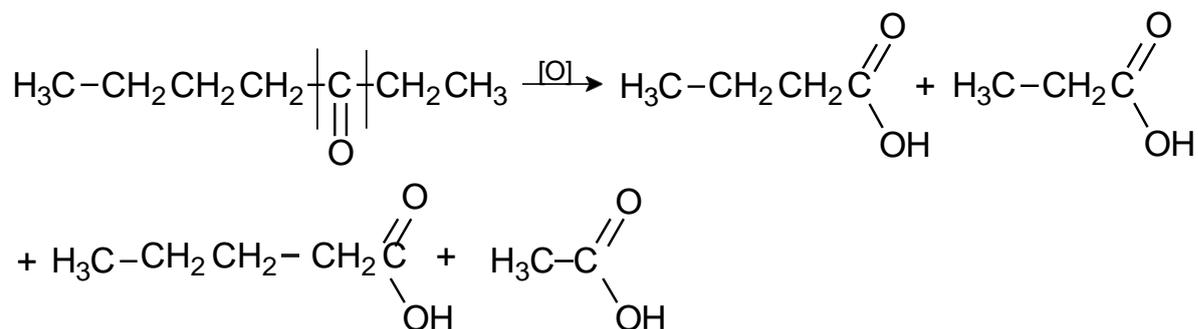
### Получение

- окисление

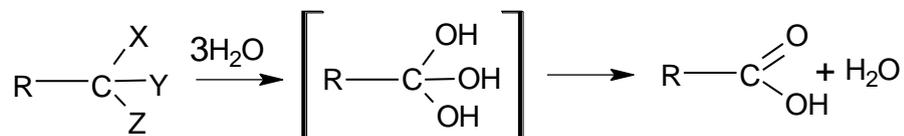
Альдегиды легко окисляются аммиачным раствором оксида серебра:



Кетоны окисляются по А.Н. Попову энергичными окислителями, образуя смесь карбоновых кислот:

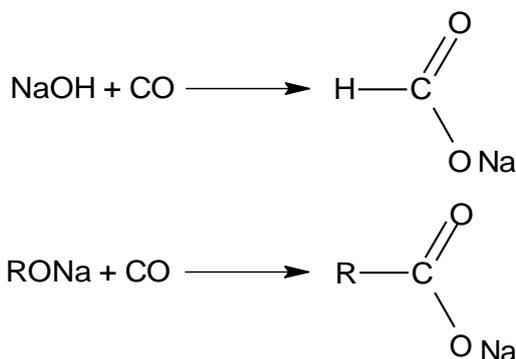


- гидролиз



где X, Y, Z любые гетероатомы (N, S, O, Hal)

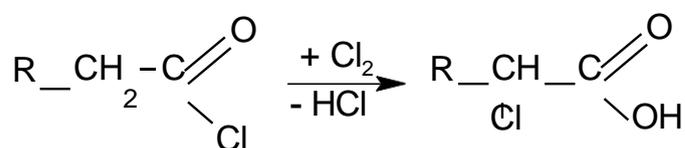
- удлинение цепи углеродных атомов:



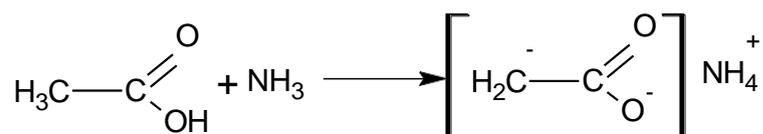
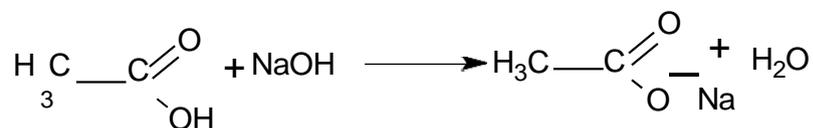
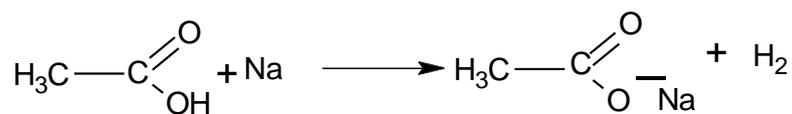
### Химические свойства

- галогенирование

Замещение происходит в  $\alpha$ -положение:

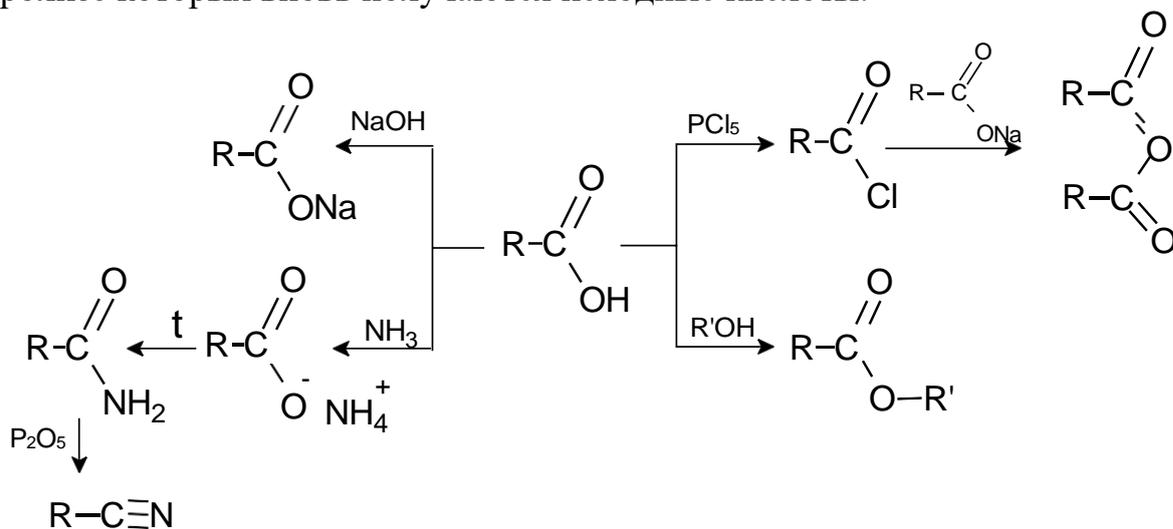


- взаимодействие с металлами, щелочами, аммиаком



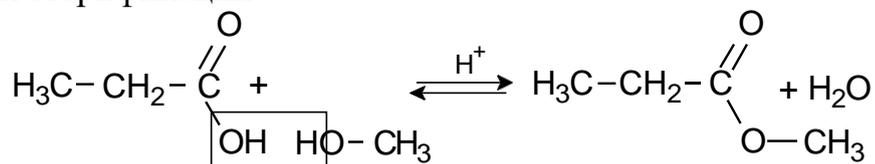
### Производные карбоновых кислот

Карбоновые кислоты могут образовывать функциональные производные, при гидролизе которых вновь получают исходные кислоты.

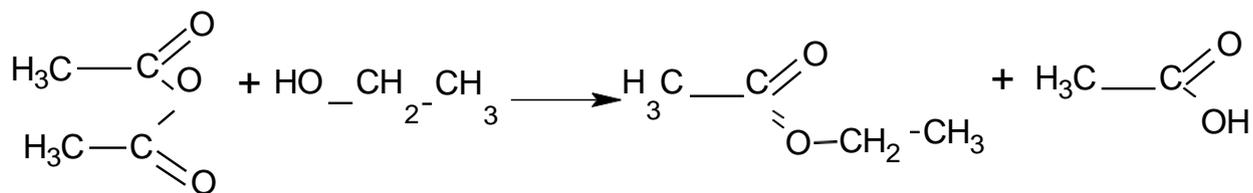


- сложные эфиры.

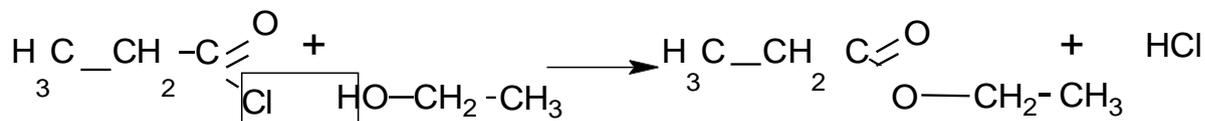
Реакция этерификации:



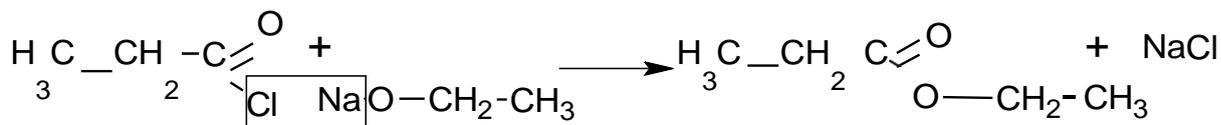
Взаимодействие ангидридов кислот со спиртами:



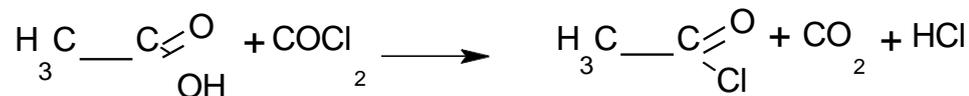
Взаимодействие галогеноангидридов кислот со спиртами:



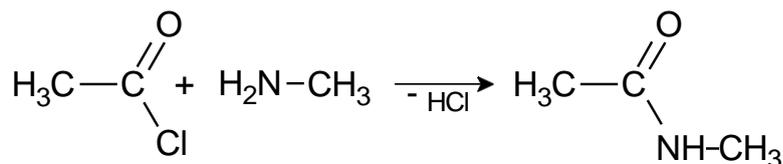
Взаимодействие галогеноангидридов кислот с алкоголями щелочных металлов:



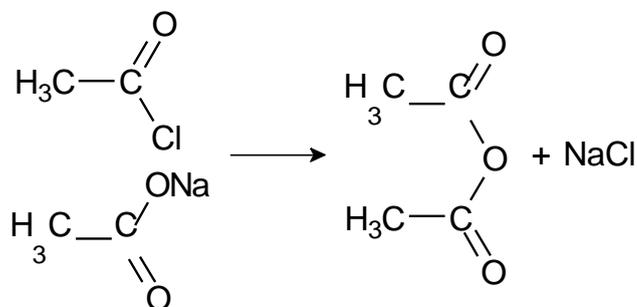
- галогеноангидриды



Хлорангидриды ацилируют реагирующую с ними молекулу, т.е. вводят в неё радикал ацил.

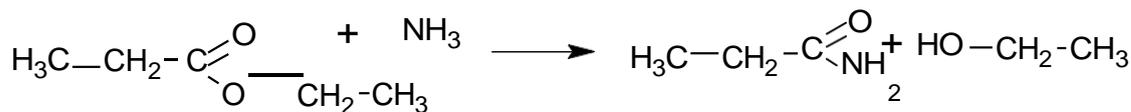
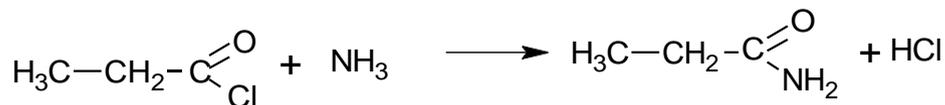


- ангидриды



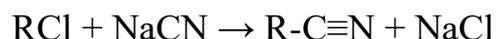
ангидриды, также как и хлорангидриды, являются сильными ацилирующими агентами.

- амиды

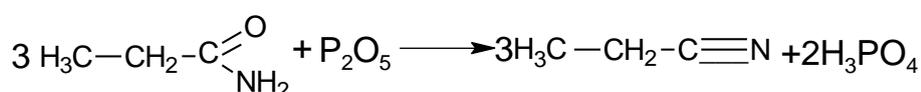


Амиды практически лишены основных свойств аммиака и в водной среде практически нейтральны.

- нитрилы



обезвоживанием амидов с помощью фосфорного ангидрида:

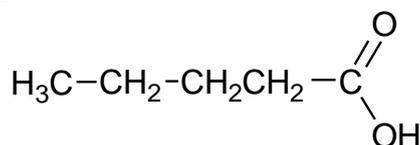


### Примеры решения задач

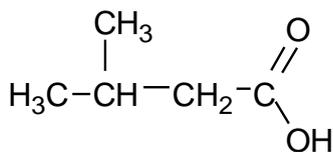
1. Напишите и назовите все изомеры, соответствующие формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ .

*Решение.* Указанной формуле соответствуют монокарбоновые кислоты и сложные эфиры – производные карбоновых кислот.

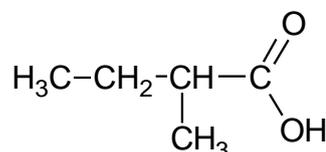
Существует 4 карбоновые кислоты, соответствующие брутто-формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ :



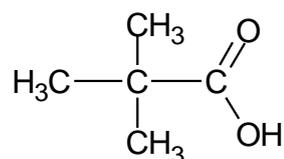
пентановая  
кислота



3-метилбутановая  
кислота

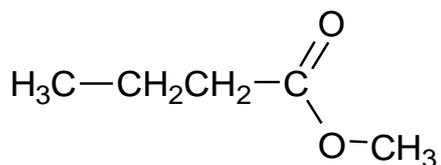


2-метилбутановая  
кислота

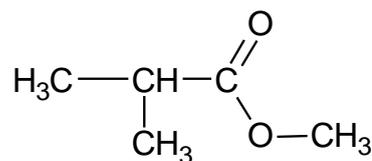


2,2-диметилпропановая  
кислота

Кроме того, существуют два метиловых эфира:

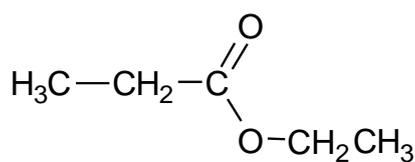


метиловый эфир бутановой кислоты  
(метилбутират)

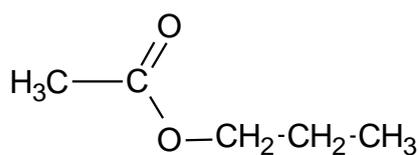


метиловый эфир 2-метилпропановой  
кислоты  
(метилизобутират)

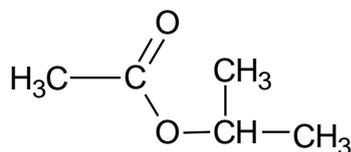
Также существует один этиловый эфир и два пропиловых эфира:



этиловый эфир пропановой кислоты  
(этилпропионат)

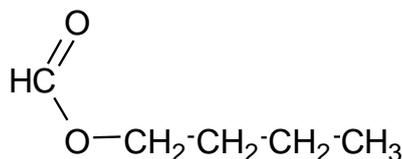


пропиловый эфир этановой кислоты  
(пропилацетат)

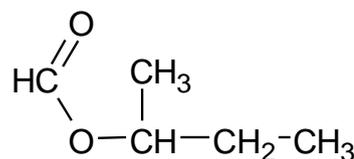


изопропиловый эфир  
этановой кислоты  
(изопропилацетат)

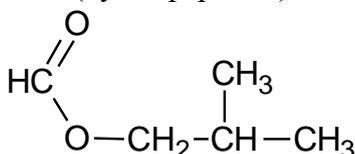
И еще четыре бутиловых эфира:



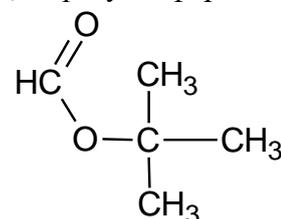
бутиловый эфир метановой кислоты  
(бутилформиат)



*втор.*бутиловый эфир метановой кислоты  
(*втор.*бутилформиат)



изобутиловый эфир метановой кислоты  
(изобутилформиат)



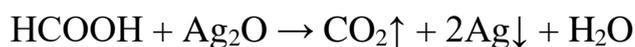
*трет.*бутиловый эфир метановой  
кислоты  
(*трет.*бутилформиат)

Таким образом, брутто-формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$  соответствует 13 изомеров.

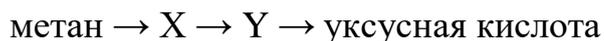
2. В трех пробирках находятся этанол, муравьиная кислота, уксусная кислота. Предложите уравнения реакций, с помощью которых можно различить эти вещества.

*Решение.* Этанол можно отличить от кислот с помощью индикатора. Например, кислоты дают красное окрашивание с индикатором метиловым оранжевым, спирт – нет.

Различить муравьиную и уксусную кислоты легко, так как муравьиная кислота проявляет некоторые свойства альдегидов. Например, она вступает в реакцию «серебряного зеркала», а уксусная – нет.



3. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



Назовите вещества X и Y.

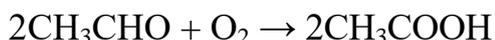
*Решение.* 1) При нагревании метана получают ацетилен – вещество X:



2) Гидратацией ацетилена в присутствии солей ртути (II) синтезируют уксусный альдегид – вещество Y:



3) окисляя уксусный альдегид кислородом воздуха в присутствии катализаторов, получают уксусную кислоту:



4. Через раствор уксусной кислоты массой 150 г пропустили аммиак объемом 4,48 л (нормальные условия). Определите массовую долю  $\text{CH}_3\text{COOH}$  в полученном растворе, если в исходном растворе массовая доля кислоты составляла 20 %.

*Решение.* Аммиак реагирует с уксусной кислотой:



Определяем количество вещества аммиака, вступившего в реакцию:

$$v(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m}$$

$$v(\text{NH}_3) = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{CH}_3\text{COOH}) = v(\text{NH}_3)$$

$$v(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 \text{ моль}$$

0,2 моль – количество вещества уксусной кислоты, вступившей в реакцию.

Определяем массу  $\text{CH}_3\text{COOH}$ :

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = v(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH})$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 \cdot 60 = 12 \text{ г}$$

Находим массу уксусной кислоты, которая содержалась в растворе:

$$\begin{aligned} m_1(\text{CH}_3\text{COOH}) &= m_1 \cdot \omega_1(\text{CH}_3\text{COOH}) \\ m_1(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 150 \cdot 0,2 = 30 \text{ г} \end{aligned}$$

Вычисляем массу уксусной кислоты, которая осталась в растворе после реакции:

$$\begin{aligned} m_2(\text{CH}_3\text{COOH}) &= m_1(\text{CH}_3\text{COOH}) - m(\text{CH}_3\text{COOH}) \\ m_2(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 30 - 12 = 18 \text{ г} \end{aligned}$$

Масса раствора увеличилась за счет того, что аммиак остался в растворе. Масса аммиака составляет:

$$\begin{aligned} m(\text{NH}_3) &= v(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) \\ m(\text{NH}_3) &= 0,2 \cdot 17 = 3,4 \text{ г} \end{aligned}$$

Определяем массу раствора после реакции:

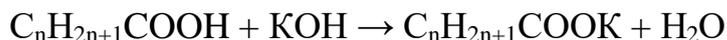
$$\begin{aligned} m_2 &= m_1 + m(\text{NH}_3) \\ m_2 &= 150 + 3,4 = 153,4 \text{ г} \end{aligned}$$

Находим массовую долю уксусной кислоты в растворе после реакции:

$$\begin{aligned} \omega_2(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{m_2(\text{CH}_3\text{COOH})}{m_{2\text{р-ра}}} \\ \omega_2(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{18}{153,4} = 0,117 \text{ или } 11,7\% \end{aligned}$$

5. На нейтрализацию предельной одноосновной кислоты массой 3,7 г затратили раствор объемом 5 мл с массовой долей гидроксида калия 40% и плотностью 1,4 г/мл. Определите формулу кислоты.

*Решение.* Формулу кислоты представляем в виде  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ . Уравнение реакции нейтрализации выглядит следующим образом:



Масса раствора гидроксида калия составляет:

$$\begin{aligned} m &= V\rho \\ m &= 5 \cdot 1,4 = 7 \text{ г} \end{aligned}$$

Определяем массу и количество вещества KOH:

$$m(\text{KOH}) = m \cdot \omega(\text{KOH})$$
$$m(\text{KOH}) = 7 \cdot 0,4 = 2,8 \text{ г}$$

$$v(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})}$$

$$v(\text{KOH}) = \frac{2,8}{56} = 0,05 \text{ моль}$$

Молярная масса кислоты составляет:

$$M(\text{кислоты}) = [(n + 1)12 + (2n + 2)1 + 2 \cdot 16] = (14n + 46) \text{ г/моль}$$

Находим количество вещества кислоты, взятой для реакции:

$$v(\text{кислоты}) = \frac{m(\text{кислоты})}{M(\text{кислоты})}$$

$$v(\text{кислоты}) = \frac{3,7}{14n + 16}$$

Из уравнения реакции следует:

$$v(\text{кислоты}) = v(\text{KOH})$$

Следовательно,

$$\frac{3,7}{14n + 16} = 0,05$$

Решая полученное уравнение, находим, что  $n = 2$ .

Таким образом, формула кислоты  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ . Это пропионовая кислота.

### Задачи для самостоятельного решения

9.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- 1) пропановая кислота
- 2) 2-метилгексановая кислота
- 3) 2,2-диметилпропановая кислота
- 4) 2,3,4-триметилгексановая кислота
- 5) этиловый эфир муравьиной кислоты
- 6) бромангидрид декановой кислоты
- 7) нитрил 2-метилпропановой кислоты.

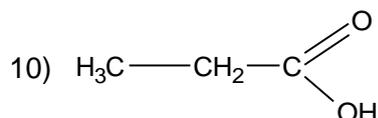
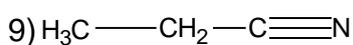
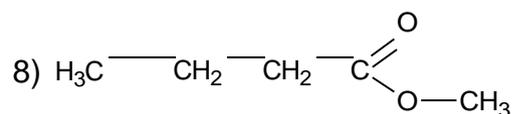
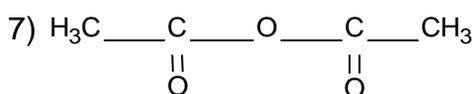
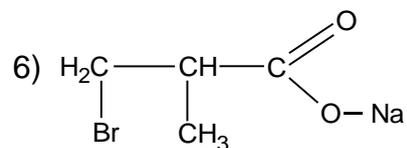
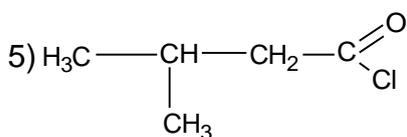
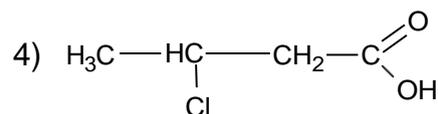
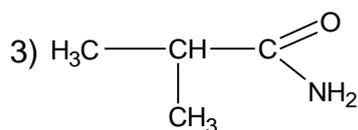
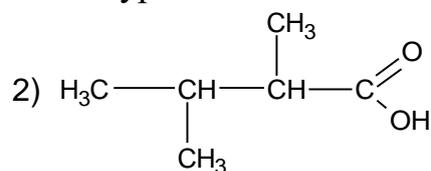
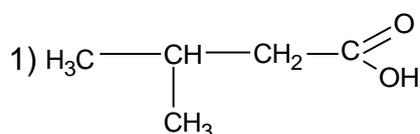
9.2. Напишите структурные формулы следующих кислот:

- |                      |   |
|----------------------|---|
| а) капроновая;       | д) $\alpha,\beta$ -диметилвалериановая; |
| б) триметилуксусная; | е) 2,3-диоксибутандиовая-1,4;           |
| в) бутен-2-овая;     | ж) $\alpha,\beta$ -дихлорпентановая;    |
| г) стеариновая;      | з) <i>n</i> -метилбензойная.            |

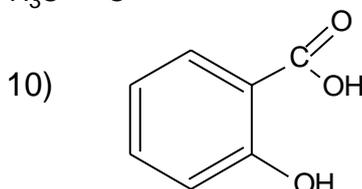
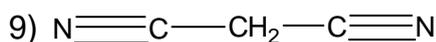
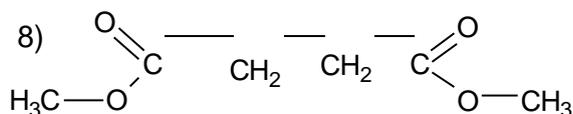
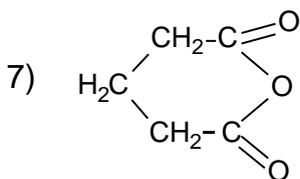
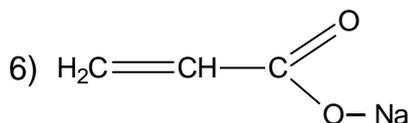
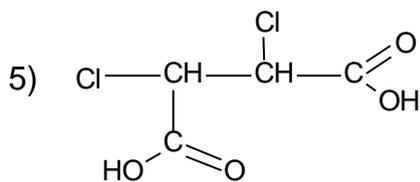
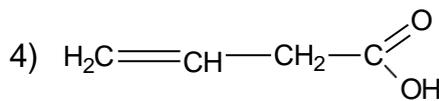
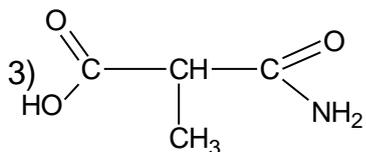
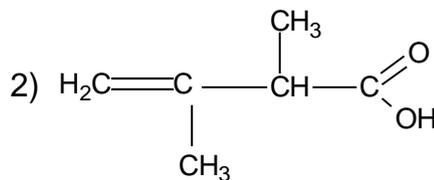
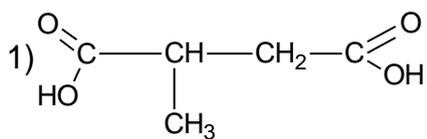
9.3. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| а) этилмалоновая кислота;      | е) моноэтиловый эфир щавелевой кислоты; |
| б) метилянтарная кислота;      | ж) аллилуксусная кислота;               |
| в) монохлорянтарная кислота;   | з) олеиновая кислота;                   |
| г) оксалат кальция;            | и) малеиновая кислота.                  |
| д) динитрил щавелевой кислоты; |   |

9.4. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



9.5. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:

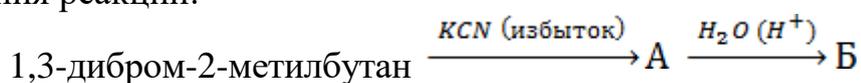


- 9.6. Напишите структурные формулы всех изомерных монобромбутановых кислот. Назовите их по номенклатуре IUPAC.
- 9.7. Напишите структурные формулы следующих производных карбоновых кислот:
- бутилацетат;
  - ангидрид пропановой кислоты;
  - изобутилбутират;
  - метиламид пентановой кислоты;
  - бромангидрид бутановой кислоты;
  - ацетат кальция;
  - пропионитрил;
  - диэтиловый эфир янтарной кислоты;
  - бензиловый эфир бензойной кислоты;
  - метилметакрилат (метиловый эфир 2-метилпропен-2-овой кислоты); л) бензойный ангидрид.
- 9.8. Напишите формулы изомерных предельных двухосновных кислот, содержащих:
- четыре атома углерода;
  - пять атомов углерода.
- 9.9. Напишите все изомеры для одноосновных кислот предельного ряда, содержащих  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$ ,  $\text{C}_5$ ,  $\text{C}_6$  атомов углерода.

- 9.10. Туберкулостеариновая кислота, выделенная из туберкулёзных бацилл, имеет строение:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}(\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ . Назовите её по номенклатуре IUPAC.
- 9.11. Напишите структурные формулы непредельных дикарбоновых кислот общей формулы  $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_4$  (включая стереоизомеры).
- 9.12. Напишите структурные формулы всех изомерных ароматических кислот общей формулы  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$  и назовите их.
- 9.13. Напишите уравнения реакций получения бутановой кислоты из пропанола-1.
- 9.14. Напишите уравнения реакций получения пропионовой кислоты из этанола.
- 9.15. Назовите кислоты, которые образуются при окислении следующих веществ:
- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| а) 2-метилпропанол-1; | г) пентанон-2;   |
| б) 3-метилгексаналь;  | д) гексаналь;    |
| в) пропанол-1;        | е) пропен-2-аль. |

Напишите уравнения реакций.

- 9.16. Напишите уравнения реакций получения пропандионовой кислоты из уксусной кислоты.
- 9.17. Предложите способ получения янтарной кислоты (бутандиовой-1,4-кислоты) из этилена. Напишите уравнения реакций.
- 9.18. Назовите кислоту, которая образуется по следующей схеме, и напишите уравнения реакций:



- 9.19. Предложите схемы получения акрилонитрила и метилового эфира акриловой кислоты из ацетилена.
- 9.20. Напишите формулы цианидов, из которых можно получить следующие кислоты:
- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| а) щавелевую; | в) янтарную;       |
| б) малоновую; | г) метилмалоновую. |
- 9.21. Назовите вещества, образующиеся при гидролизе следующих соединений:

- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| а) пропилацианид;            | д) этилформиат;                      |
| б) изобутилацетат;           | е) диметилформаид;                   |
| в) амид бутановой кислоты;   | ж) нитрил 2-метилпропановой кислоты; |
| г) <i>трет.</i> бутилацетат; | з) хлорангидрид пропановой кислоты.  |

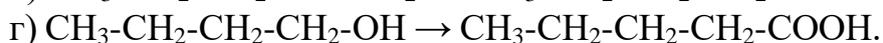
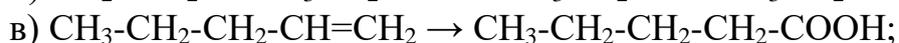
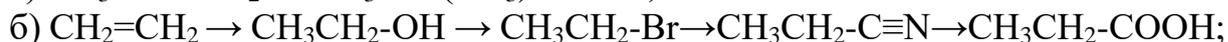
Напишите уравнения реакций.

- 9.22. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно получить *m*-аминобензойную кислоту из бензонитрила.
- 9.23. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно получить диметилфталат (диметиловый эфир *o*-бензолдикарбоновой кислоты) из *o*-ксилола.
- 9.24. Предложите 2 способа синтеза *n*-этилбензойной кислоты из бензола.
- 9.25. Предложите способ получения 3-бром-4-метилбензойной кислоты из толуола. Укажите наиболее рациональную последовательность реакций.
- 9.26. Назовите соединения, которые образуются при сухой перегонке (пиролизе):
- смеси кальциевых солей метановой и бутановой кислот;
  - смешанной кальциевой соли метановой и бутановой кислот.
- 9.27. Напишите уравнения реакций окисления следующих спиртов и назовите кислоты, которые при этом образуются:
- 5-метилгексанол-3;
  - 2,6-диметилгептанол-4;
  - 3-метилбутанол-2.
- 9.28. Назовите двухосновные кислоты, которые образуются при окислении следующих соединений:
- пропандиол-1,3;
  - бутандиол-1,4;
  - 3-этилпентандиол-1,5.
- 9.29. Напишите уравнения реакций получения хлорангидрида  $\alpha$ -хлорпропионовой кислоты из пропионовой кислоты.
- 9.30. Назовите вещества, которые образуются при взаимодействии следующих реагентов:
- этиловый спирт + ангидрид пропионовой кислоты;
  - этиловый спирт +  $\alpha$ -хлорпропионовая кислота;
  - хлорангидрид уксусной кислоты + ацетат натрия;
  - бромангидрид пропионовой кислоты + изопропилат натрия.

Напишите уравнения реакций.

9.31. В результате нейтрализации пропионовой кислоты содой и выпаривания раствора получили вещество А, другую равную часть этой же кислоты нагрели с треххлористым фосфором, образовалось вещество Б. Назовите вещество, которое образуется при взаимодействия веществ А и Б. Напишите уравнения упомянутых реакций.

9.32. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений. Укажите реагенты и условия проведения реакций.



9.33. Напишите реакции нижеприведённых кислот с бромом в присутствии катализатора:

а) малоновая;

г) пентен-2-овая;

б) изопропилмалоновая;

д) бензойная.

в) адипиновая;

9.34. Напишите уравнения реакций и назовите продукты, образующиеся при взаимодействии следующих веществ:

а) этиловый спирт + глутаровая кислота;

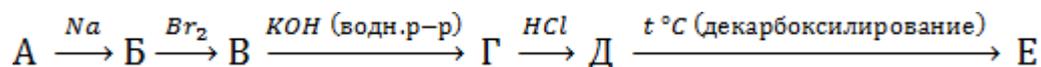
б) изопропиловый спирт + щавелевая кислота;

в) *трет.*бутиловый спирт + янтарная кислота;

г) изобутиловый спирт + метилмалоновая кислота;

д) иодистый изопропил + щавелевокислое серебро.

9.35. Напишите уравнения реакций для осуществления следующего превращения:



Где вещество А это:

а) диметиловый эфир малоновой кислоты;

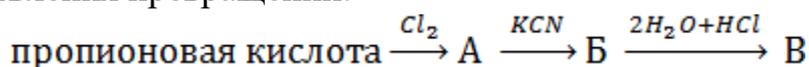
б) диэтиловый эфир этилмалоновой кислоты;

в) диизопропиловый эфир диметилмалоновой кислоты;

г) диметиловый эфир диметилмалоновой кислоты.

9.36. 3,4-Дибром-2-метилбутан нагрели с избытком цианистого калия, продукт реакции нагрели с концентрированной соляной кислотой. Напишите уравнения реакций и назовите образующиеся вещества.

9.37. Напишите уравнения реакций и условия их проведения для осуществления превращений:



9.38. Какое вещество образуется при гидролизе и последующем декарбоксилировании:

- а) диметилмалонового эфира;
- б) метилизопропилмалонового эфира;
- в) *трет.*бутилмалонового эфира.

9.39. Назовите вещества, образующиеся при нагревании:

- а) щавелевой кислоты;
- б) малоновой кислоты;
- в) метилмалоновой кислоты;
- г) янтарной кислоты;
- д) адипиновой кислоты.

9.40. Напишите схему синтеза следующих веществ (с использованием только неорганических соединений):

- а) этиловый спирт  $\rightarrow$  янтарная кислота;
- б) уксусная кислота  $\rightarrow$  этиловый эфир этилмалоновой кислоты.

9.41. Расположите следующие кислоты в ряд по увеличению кислотности:

- а) этановая кислота;
- б) пропановая кислота;
- в) 2-хлорэтановая кислота;
- г) метановая кислота;
- д) соляная кислота.

9.42. Укажите, в какой области поглощает карбоксильная группа:

- а) в ИК-спектре;
- б) в УФ-спектре.

9.43. Нарисуйте теоретический спектр ПМР в шкале  $\delta$  с учетом сравнительной интенсивности и спин-спинового расщепления для кислот:

- а) уксусной;
- б) 2-метилпропановой (изомасляной);
- в) фенилуксусной.

9.44. Напишите уравнения реакций, отличающих муравьиную (метановую) кислоту от других карбоновых кислот.

9.45. В четырех пробирках находятся следующие вещества: пропионовая кислота, раствор формальдегида, раствор фенола в бензоле, метанол. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно различить эти вещества.

- 9.46. Назовите соединение, которое получится, если на 2-метилпропановую кислоту подействовать трихлоридом фосфора, а затем аммиаком.
- 9.47. Используя только неорганические реагенты и образующиеся органические соединения, осуществите превращения:  
а) этанол → этиловый эфир 2-бромпропановой кислоты;  
б) пропанол-1 → изопропиловый эфир 2-метилпропановой кислоты.
- 9.48. Напишите уравнения взаимодействия следующих пар веществ и назовите продукты реакций:  
а) этандиовая кислота и этанол;  
б) бутандиовая-1,4-кислота и пропанол-2;  
в) бутандиовая-1,4-кислота и этандиол-1,2.
- 9.49. Напишите реакции присоединения бромоводорода по двойной связи углерод-углерод в следующих соединениях:  
а) метиловый эфир бутен-3-овой кислоты;  
б) 2-метилпропен-2-овая кислота (метакриловая кислота).
- 9.50. Укажите, чем отличаются по химическому строению твёрдые и жидкие жиры. Приведите примеры.
- 9.51. Напишите уравнение щелочного гидролиза триолеата глицерина.
- 9.52. Рассчитайте массу серебра, которое можно выделить при действии на аммиачный раствор оксида серебра смеси метановой кислоты и метанола массой 7,6 г, если при этом образуется 4,48 л (н.у.) газа.
- 9.53. Рассчитайте массу эфира, которую можно получить при взаимодействии 33,3 г 96%-ного метанола и 57,5 г 40%-ной метановой кислоты, если выход его составляет 70%.
- 9.54. Определите молекулярную формулу одноосновной карбоновой кислоты, содержащей 68,85% (по массе) углерода. Плотность паров кислоты по воздуху составляет 4,21.
- 9.55. Предельную одноосновную органическую кислоту массой 37 г нейтрализовали водным раствором гидрокарбоната натрия. Выделившийся газ пропустили через раствор гидроксида кальция и получили 50 г осадка. Установите формулу кислоты и определите объём выделившегося газа (н.у.).

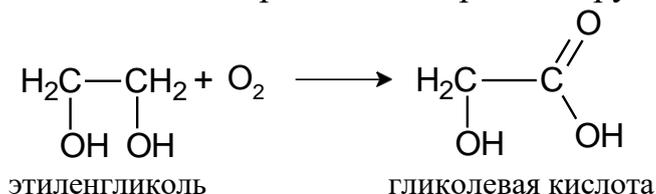
## 10. Окси- и оксокислоты

**Оксикислоты** (гидроксикислоты) – соединения, в молекуле которых содержатся и спиртовой гидроксил, и карбоксильная группа. Названия оксикислот образуются путём введения префикса гидрокси- (окси-) к названию соответствующей кислоты, с указанием номера углеродного атома, у которого находится гидроксильная группа, или греческой буквы ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и т.д.)

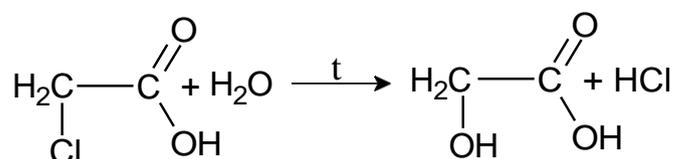
### Получение

#### А. Синтез $\alpha$ -оксикислот.

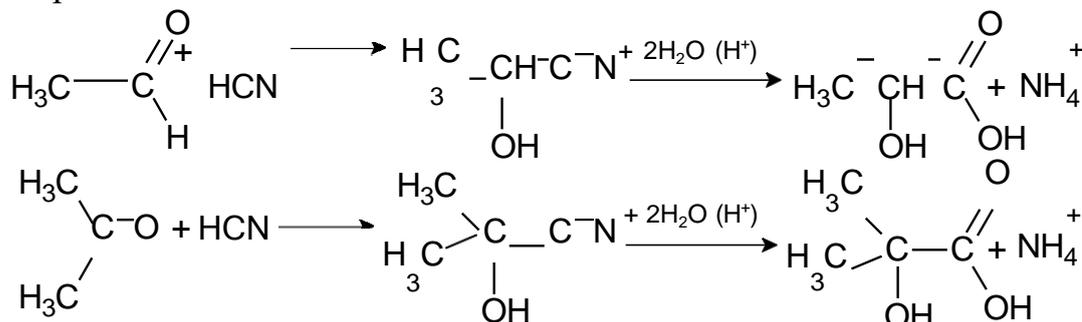
- окисление 1,2-гликолей с концевой первичной спиртовой группой:



- гидролиз  $\alpha$ -галогенозамещённых кислот

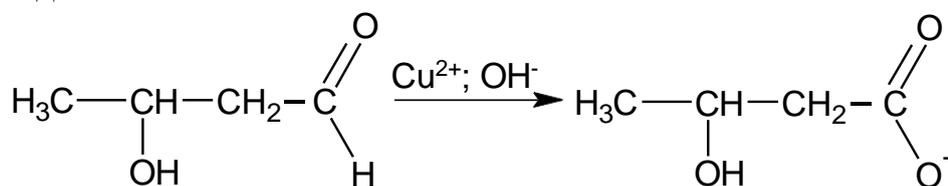


- циангидринный синтез

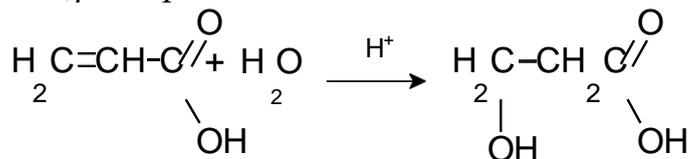


#### Б. Синтез $\beta$ -оксикислот.

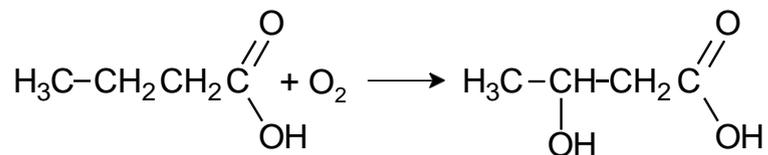
- окисление альдолей:



- присоединение воды к  $\alpha,\beta$ -непредельным кислотам:

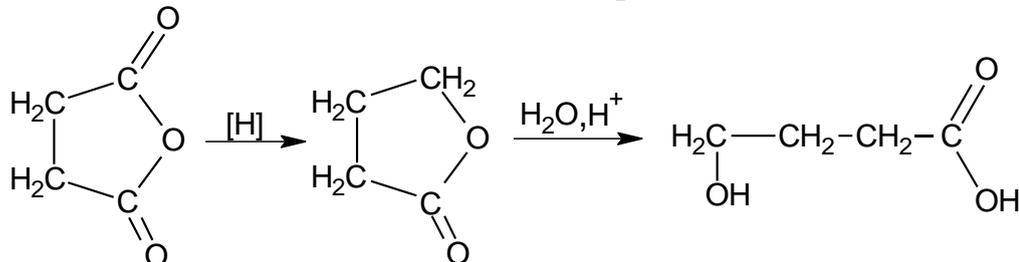


- ферментативное окисление



В. Синтез  $\gamma$ -оксикислот.

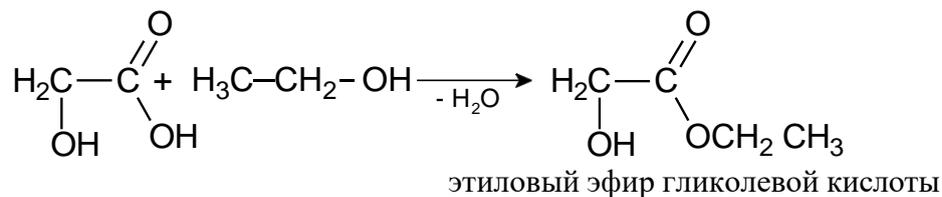
- гидролиз внутренних сложных эфиров – лактонов, которые в свою очередь получают восстановлением циклических ангидридов кислот:



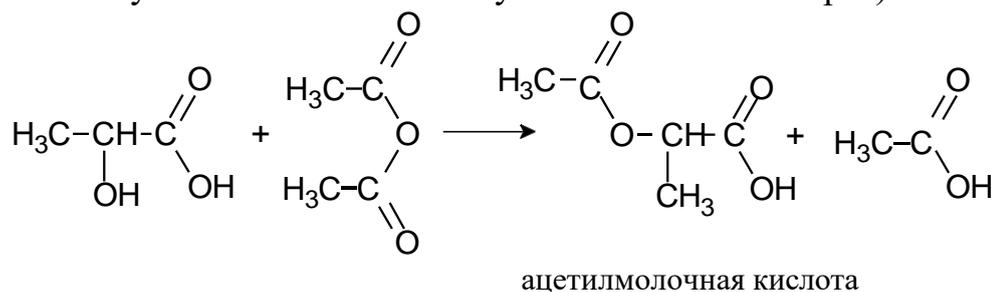
### Химические свойства

Оксикислоты – более сильные кислоты, чем соответствующие карбоновые кислоты, особенно это относится к  $\alpha$ -оксикислотам. Чем дальше отстоит гидроксильная группа от карбоксильной, тем меньше её влияние на кислотность.

- Образование эфиров. Как и обычные карбоновые кислоты, оксикислоты способны образовывать со спиртами сложные эфиры:

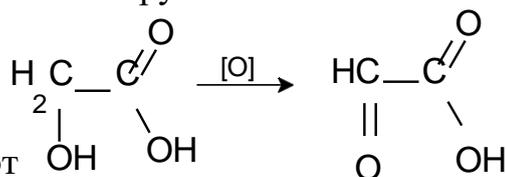


Гидроксильная группа в оксикислотах также способна давать сложные эфиры (в этом случае оксикислота выступает в качестве спирта):



Оксикислоты дают и другие функциональные производные, свойственные кислотам и спиртам.

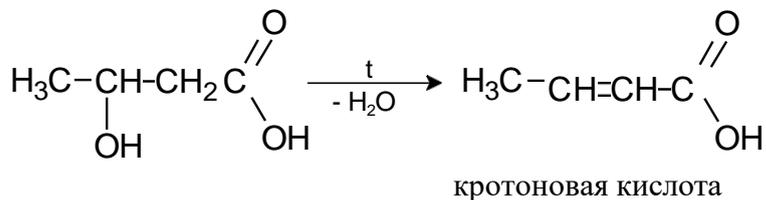
- Окисление по гидроксильной группе



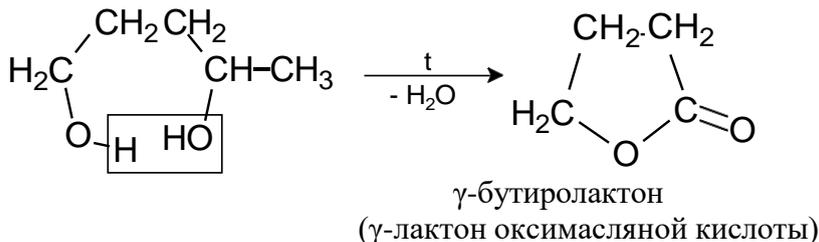
- Нагревание оксикислот  
 *$\alpha$ -оксикислоты*



*β-оксикислоты*



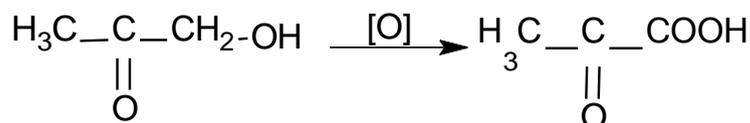
*γ- и δ-оксикислоты*



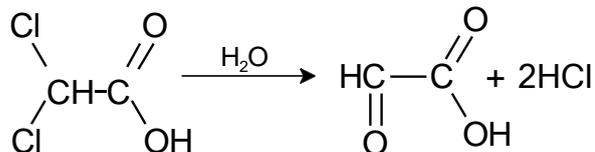
**Оксокислоты** – соединения, в молекуле которых содержатся карбоксильная и карбонильная (оксо-) группы. Альдегидо- и кетокислоты различаются между собой так же, как альдегиды и кетоны. По положению оксо-группы различают α-, β-, γ-оксикислоты, которые по химическим свойствам существенно различаются.

### Получение

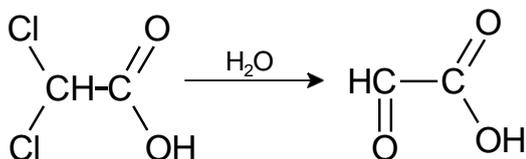
- окисление кетонспиртов, гликолей



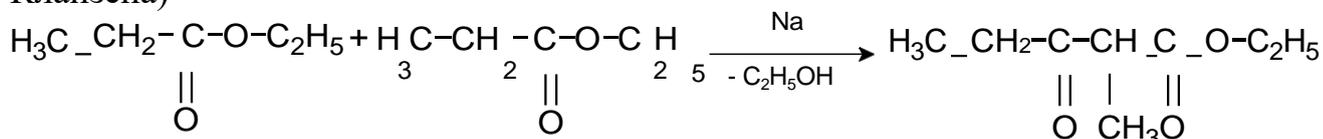
- из соответствующих α-оксикислот



- гидролиз геминальных дигалогенозамещённых кислот

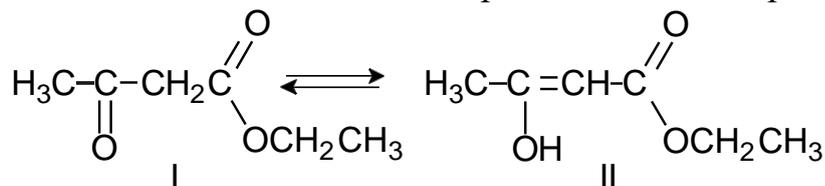


- получение β-оксикислот сложноэфирной конденсацией (конденсация Клайзена)



**Химические свойства**

Таутомерия. Все эфиры β-оксокислот, имеющих в α-положении группировку С-Н или СН<sub>2</sub>-, способны к таутомерным превращениям. Например, ацетоуксусный эфир (этиловый эфир ацетоуксусной кислоты) существует в виде смеси двух находящихся в подвижном равновесии изомеров (таутомеров):

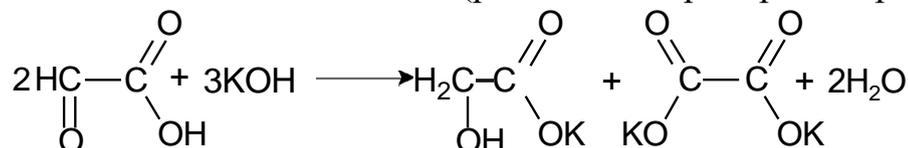


Эти таутомеры представляют собой кетонную (I) и енольную (II) формы.

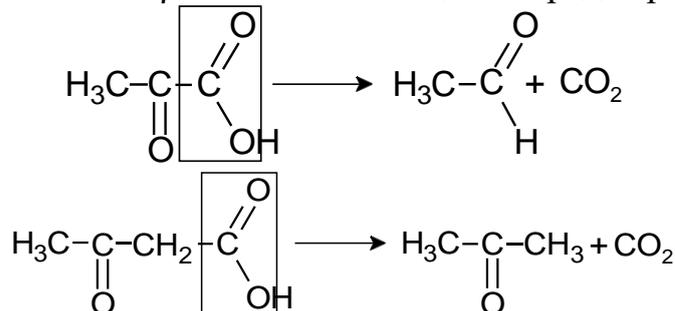
Оксокислоты являются более сильными кислотами, чем карбоновые кислоты, а α-оксокислоты проявляют более сильные кислые свойства, чем β- и γ-оксокислоты. Для данных соединений характерны реакции, которые свойственны как для оксосоединений, так и для кислот. Ряд реакций были рассмотрены выше.

Специфические реакции:

- Реакция глиоксильной кислоты с КОН (реакция диспропорционирования):



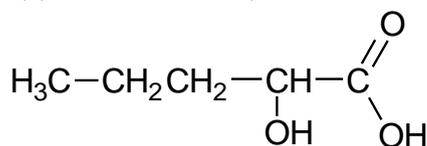
- Декарбоксилирование α- и β-оксокислот в водной среде при нагревании



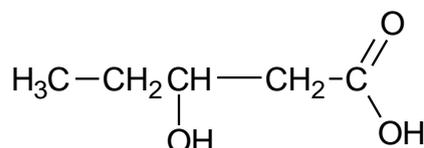
### Примеры решения задач

1. Напишите структурные формулы изомерных оксикислот C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub> и назовите их по номенклатуре IUPAC.

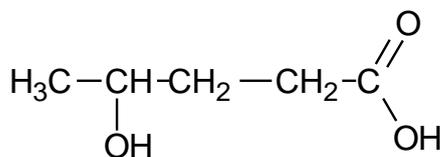
*Решение.* Существует 4 изомерные оксикислоты, содержащие 5 атомов углерода в главной цепи:



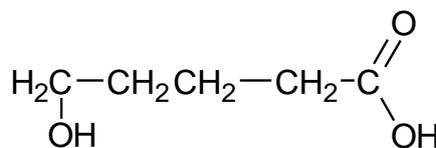
2-оксипентановая кислота



3-оксипентановая кислоты



4-оксипентановая кислота

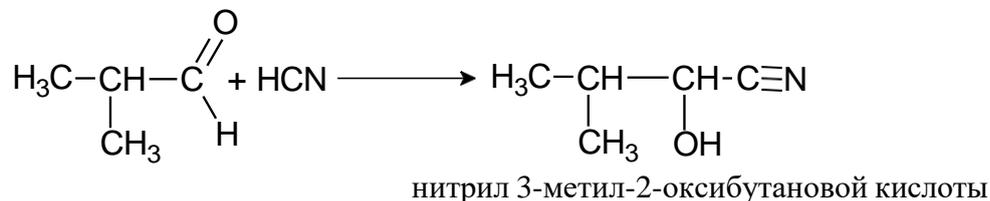


5-оксипентановая кислота

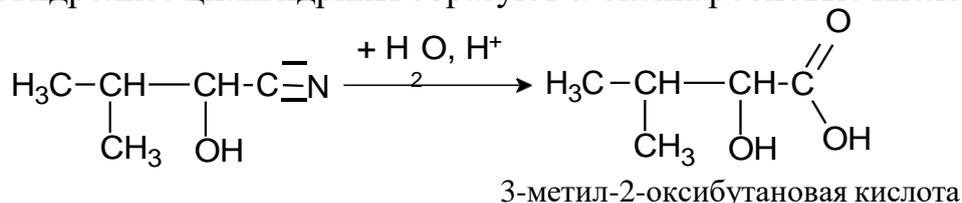


3. Проведите циангидринный синтез, исходя из изомаляного альдегида (2-метилпропаналя), продукт реакции подвергните гидролизу.

*Решение.* Циангидринный синтез – присоединение синильной кислоты в присутствии основных катализаторов к альдегидам и некоторым кетонам, приводящее к образованию циангидринов ( $\alpha$ -оксинитрилов).

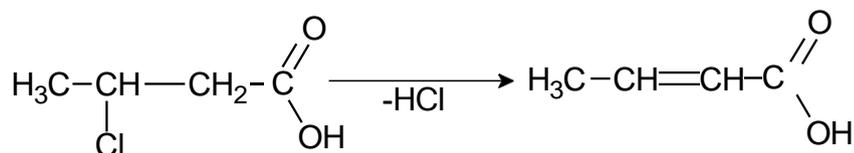


При кислотном гидролизе циангидрины образуют  $\alpha$ -оксикарбоновые кислоты.

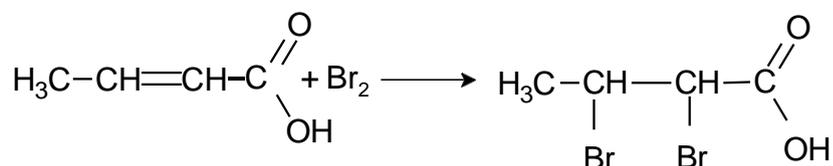


4. От этилового эфира 3-хлормасляной кислоты отщепили 1 молекулу хлористого водорода. На полученное соединение подействовали одним молем брома, после чего нагрели с водной щёлочью. Напишите уравнения указанных реакций и назовите все полученные соединения

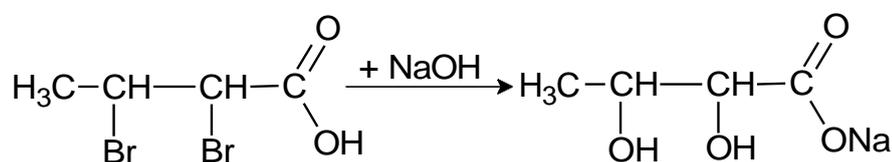
*Решение.* При отщеплении хлористого водорода от молекулы 3-хлормасляной кислоты, образуется кротоновая кислота (бутен-2-овая кислота):



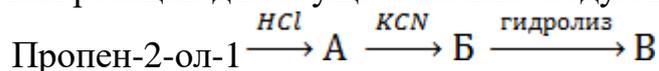
Под действием брома кротоновая кислота превращается в 2,3-дибромбутановую кислоту:



Эта кислота под действием водной щелочи превращается в натриевую соль 2,3-диоксибутановой кислоты:

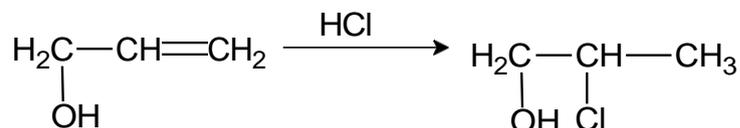


5. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:

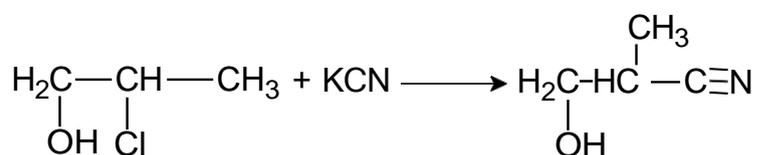


Назовите вещества А, Б и В.

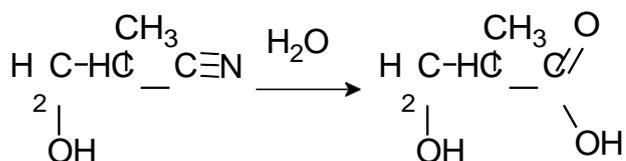
*Решение.* 1) Присоединяя хлористый водород к двойной связи пропен-2-ола-1, получаем 2-хлорпропанол-1:



2) При действии цианистого калия на полученное соединение получаем нитрил 2-метил-3-оксипропановой кислоты:



3) Гидролизую нитрил оксикислоты, получаем оксикислоту – 2-метил-3-оксипропановую:

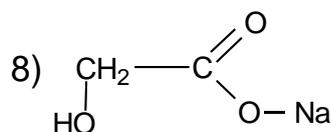
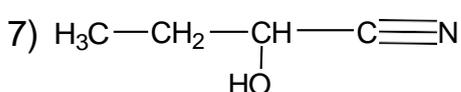
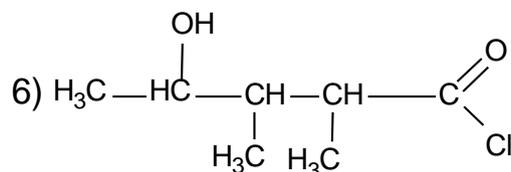
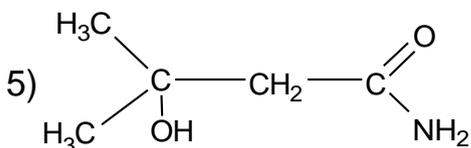
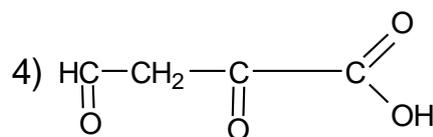
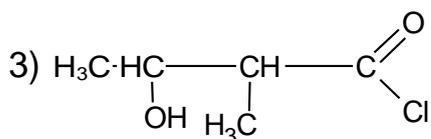
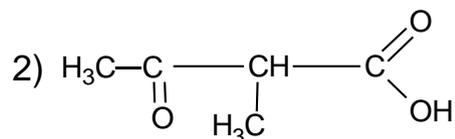
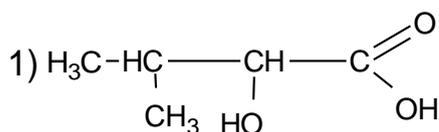


### Задачи для самостоятельного решения

10.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- 2-оксипропановая кислота;
- 2-оксибутановая кислота;
- 2-метил-3-оксипропановая кислота;
- 2,3-диоксипропановая кислота;
- 3-оксобутановая кислота;
- 2-метил-3-оксопентановая кислота;
- 3-метил-2-оксопентановая кислота.

10.2. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



10.3. Напишите структурные формулы изомерных оксокислот  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$  и назовите их по номенклатуре IUPAC.

10.4. Напишите структурные формулы и назовите изомерные одноосновные предельные монооксикислоты, содержащие:

- а) пять атомов углерода;
- б) шесть атомов углерода.

10.5. Напишите уравнения реакций и назовите продукты, которые образуются при нагревании следующих кислот с водным раствором гидроксидом калия:

- а)  $\alpha$ -хлормасляная кислота;
- б)  $\beta$ -иодпропановая кислота;
- в) хлорантарная кислота;
- г)  $\gamma$ -хлорвалериановая кислота;
- д)  $\alpha$ -бромпропионовая кислота.

10.6. Напишите структурные формулы следующих соединений и назовите их по номенклатуре IUPAC:

- а)  $\alpha$ -оксималяная кислота;
- б)  $\beta$ -оксопропионовая кислота;
- в)  $\gamma$ -оксивалериановая кислота;
- г)  $\beta$ -хлормолочная кислота
- д) хлорангидрид гликолевой кислоты.

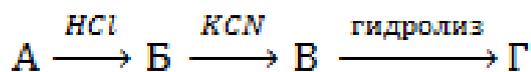
10.7. Напишите уравнения реакции окисления водным раствором марганцевокислого калия для следующих веществ и назовите полученную кислоту:

- а) этиленгликоль;
- б) пропиленгликоль.

- 10.8. Напишите уравнения реакций, укажите условия их проведения и назовите вещества, образующиеся при взаимодействии следующих пар веществ:
- 2-оксиэтановая кислота и пропанол-2;
  - 2-оксипропановая (молочная) кислота и ангидрид пропановой кислоты;
  - 2-оксипентановая кислота и бромоводородная кислота.
- 10.9. Напишите уравнения реакций, для осуществления превращения:
- $$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH} \xrightarrow{\text{Cl}_2 \text{ (1 моль)}} \text{A} \xrightarrow{\text{KOH (спирт.р-р)}} \text{B} \xrightarrow{\text{Br}_2} \text{B} \xrightarrow{\text{KOH (водн.р-р)}} \text{Г}$$
- 10.10. Предложите схему синтеза 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты («2,4-Д», гербицид) из фенола.
- 10.11. Проведите циангидринный синтез, исходя из следующих соединений:
- этаналь;
  - пропаналь;
  - ацетон;
  - бутанон-2.
- Назовите образующиеся соединения.
- 10.12. Напишите схемы получения молочной кислоты (не менее трёх).
- 10.13. Напишите уравнения реакций получения  $\gamma$ -оксипропионовой кислоты из  $\alpha$ -оксипропионовой кислоты.
- 10.14. При окислении гликолевой кислоты перекисью водорода в присутствии солей железа образуется оксокислота. Назовите оксокислоты, которые образуются в этих условиях из:
- молочной кислоты;
  - $\beta$ -оксимасляной кислоты;
  - продукта альдольной конденсации уксусного альдегида.
- Напишите уравнения реакций.
- 10.15. Напишите уравнения реакций и назовите вещества, образующиеся при взаимодействии указанных соединений:
- гликолевая кислота + пропионовый ангидрид;
  - молочная кислота + углекислый кальций;
  - $\alpha$ -оксимасляная кислота +  $\text{PCl}_5$ ;
  - винная кислота + изопропиловый спирт.
- 10.16. Назовите альдегидокислоты, при окислении которых образуются:
- малоновая кислота;
  - янтарная кислота.
- 10.17. Назовите вещества, которые образуются при нагревании следующих соединений с разбавленной серной кислотой:
- $\alpha$ -оксимасляная кислота;
  - молочная кислота;

в) 2-метил-3-оксигексановая кислота.

10.18. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:



Если вещество А:

- а) бутен-3-ол-1;
- б) 3-метилбутен-2-ол-1;
- в) бутен-2-ол-1;

10.19. От динитрила хлорантарной кислоты отщепили 1 молекулу хлористого водорода. На полученное соединение подействовали одним молем брома, после чего нагрели с водной щёлочью. Напишите уравнения указанных реакций и назовите все полученные соединения.

10.20. Напишите уравнения реакций получения  $\beta$ -валеролактона из пентен-5-овой кислоты.

10.21. При нагревании этилового эфира уксусной кислоты в присутствии этилата натрия получается ацетоуксусный эфир. Назовите вещества, которые образуются в этих же условиях исходя из следующих соединений:

- а) этиловый эфир пропионовой кислоты;
- б) метиловый эфир изовалериановой кислоты;
- в) изопропиловый эфира масляной кислоты.

10.22. Напишите уравнения следующих реакций и назовите продукты реакций:  
Ацетоуксусный эфир + Na  $\rightarrow$  А;  
А + J<sub>2</sub>  $\rightarrow$  Х.

10.23. Рассчитайте массу серебра, которое выделится при взаимодействии смеси гликолевой и глиоксиловой кислоты массой 7,6 г с аммиачный раствором оксида серебра, если массовая доля гликолевой кислоты составляет 35 %.

10.24. Рассчитайте массу эфира, которую можно получить при взаимодействии 9,58 г 96%-ного этанола и 95,5 г 50%-ной молочной кислоты, если выход его составляет 85%.

10.25. Определите молекулярную формулу одноосновной гидроксикислоты, содержащей 40% (по массе) углерода, если известно, что при нагревании этой кислоты образуется  $\alpha,\beta$ -непредельная кислота.

## 11. Оптическая изомерия

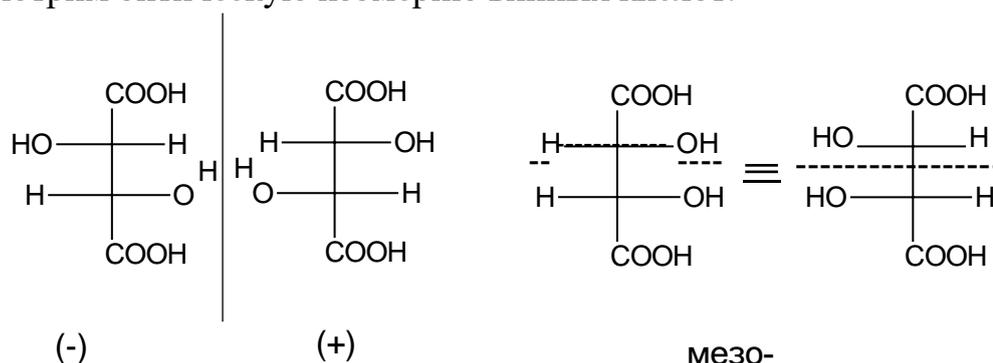
Оптическая изомерия – разновидность пространственной изомерии, являющаяся прямым следствием хиральности молекул. Хиральность – это свойство объекта не совмещаться со своим зеркальным изображением. Оптическая изомерия свойственна молекулам органических веществ, не имеющих элементов симметрии. Чаще всего речь идет о молекулах с асимметрическим атомом углерода, то есть атоме, связанном с четырьмя разными заместителями.

Оптические антиподы или зеркальные изомеры **одинаковы по своим физическим свойствам и химическим свойствам по отношению к обычным реагентам**, однако различаются в двух отношениях:

1. Оба изомера по-разному относятся к плоскополяризованному свету, вращая его плоскость колебаний в разные стороны, но на один и тот же угол.
2. Они по-разному реагируют с хиральными реагентами.

Если вещество вращает плоскость колебаний по часовой стрелке, его называют правовращающим (+), если происходит поворот против часовой стрелки, то вещество считают левовращающим (-).

Рассмотрим оптическую изомерию винных кислот:



Изомеры, относящиеся друг к другу как предмет и его зеркальное изображение, и отличающиеся только знаком угла вращения, называются **ЭНАНТИОМЕРАМИ** или оптическими антиподами, или зеркальными изомерами (для винных кислот кислоты (+) и (-) являются энантиомерами). Остальные называются диастереомерами (в приведенном примере мезовинная кислота – диастереомер (+) и (-) винных кислот).

**Диастереомеры отличаются физическими и химическими свойствами.** Так как мезовинная кислота имеет элемент симметрии, она оптически неактивна. Оптическая активность вещества – это его способность вращать плоскость поляризации плоскополяризованного света. Смесь равного количества молекул одного и другого энантиомеров способна образовывать кристаллы, в которых, строго чередуясь, упакованы молекулы левой и правой конфигураций. Такие кристаллы по свойствам отличаются от кристаллов одной левой или одной правой конфигураций. Эти кристаллы называются рацематом или рацемическим соединением и не обладают оптической активностью.

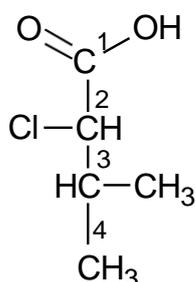
Для того, чтобы посчитать количество оптически активных изомеров, исходя из количества асимметрических атомов углерода, Фишером была

предложена формула  $N = 2^n$ , где  $n$  – количество асимметрических атомов углерода,  $N$  – количество оптических изомеров. Но если в молекуле имеется какой-либо элемент симметрии, то количество изомеров может быть меньше, чем предсказывает формула Фишера, как, например, в винной кислоте.

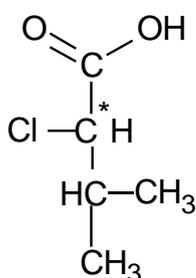
### Примеры решения задач

1. Определите, есть ли асимметрические атомы углерода в молекуле 3-метил-2-хлорбутановой кислоты и обозначьте их.

*Решение.* Асимметрический атом – атом углерода с четырьмя разными заместителями. Для того, чтобы определить такие атомы, надо написать структурную формулу 3-метил-2-хлорбутановой кислоты:



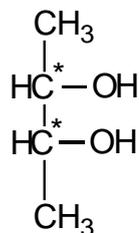
Как видно, в данной молекуле есть только один асимметрический атом углерода, т.е. атом углерода, который содержит 4 разных заместителя – атом углерода под номером 2. Обозначаем его звёздочкой:



2. Напишите формулы оптических изомеров для 2,3-диоксибутана. Укажите оптически недеятельные формы. Назовите причину этого.

*Решение.* Оптическая изомерия свойственна молекулам органических веществ, не имеющих элементов симметрии, которые относятся друг к другу как предмет к своему зеркальному отражению. Атом углерода с четырьмя разными заместителями называется асимметрическим атомом. Чем больше асимметрических атомов углерода в молекуле, тем больше у вещества может быть оптических изомеров.

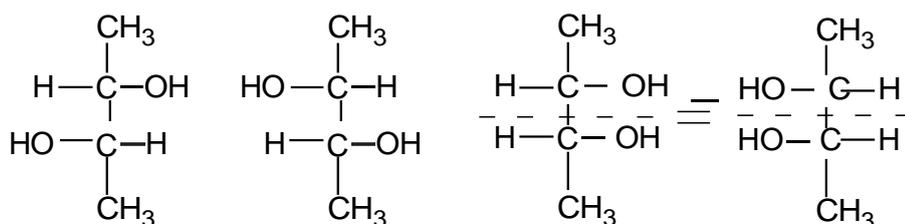
Сначала изображаем структурную формулу 2,3-диоксибутана и определяем асимметрические атомы:



В молекуле 2,3-диоксибутана есть 2 асимметрических атома углерода, используя формулу Фишера, определяем количество оптических изомеров:

$$\begin{aligned}
 N &= 2^n \\
 N &= 2^2 = 4
 \end{aligned}$$

Для 2,3-диоксибутана существует 4 оптически изомера. Однако, две гидроксильные группы у двух соседних атомов углерода могут быть расположены так, что молекула окажется симметричной и зеркальных изомеров у нее не будет. Это приводит к образованию, оптически неактивного, изомера, который называется мезо-формой.

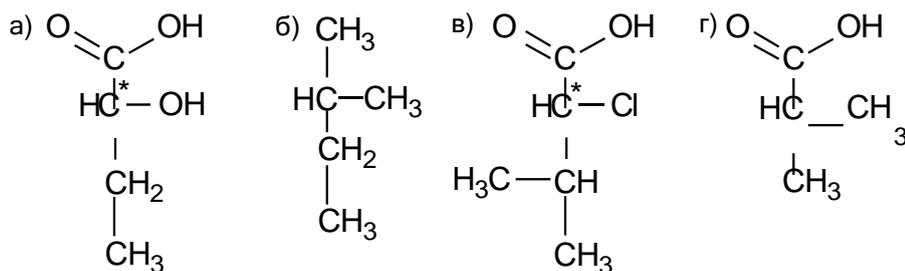


Таким образом, 2,3-диоксибутан может находиться в виде трех изомеров: правовращающего, левовращающего и оптически неактивного.

3. Укажите, какие из перечисленных ниже соединений могут проявлять оптическую изомерию:

- а) 2-оксибутановая кислота;      в) 3-метил-2-хлорбутановая кислота;  
 б) 2-метилбутан;                      г) 2-метилпропановая кислота.

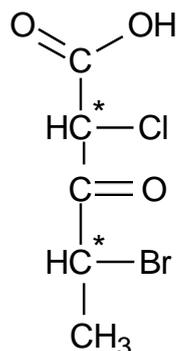
*Решение.* Чтоб выяснить, какие из веществ могут проявлять оптическую изомерию, определим, есть ли асимметрические атомы углерода в каждом из приведенных соединений. Для этого изобразим их структурные формулы:



Асимметрические атомы углерода есть только у соединений: а) и в). Таким образом, из перечисленных соединений оптические изомеры будут у 2-оксибутановой кислоты и 3-метил-2-хлорбутановой кислоты.

4. Укажите, сколько стереоизомеров имеет 4-бром-3-оксо-2-хлорпентановая кислота, напишите формулы этих стереоизомеров и проиллюстрируйте с их помощью понятия «энантиомеры», «диастереомеры».

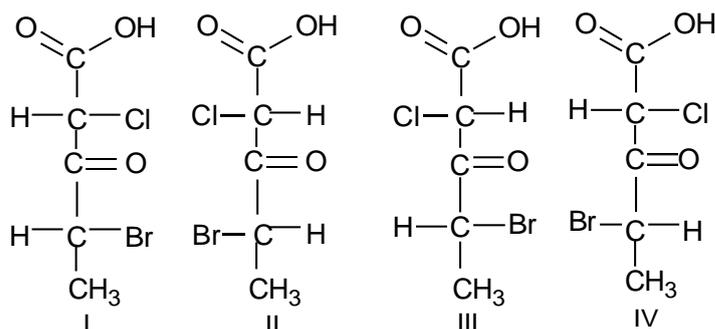
*Решение.* Сначала изобразим структурную формулу 4-бром-3-оксо-2-хлорпентановой кислоты и определим количество асимметрических атомов:



В молекуле 4-бром-3-оксо-2-хлорпентановой кислоты есть 2 асимметрических атома углерода, используя формулу Фишера, определяем количество оптических изомеров:

$$\begin{aligned}
 N &= 2^n \\
 N &= 2^2 = 4
 \end{aligned}$$

Таким образом, существует 4 оптических изомера:

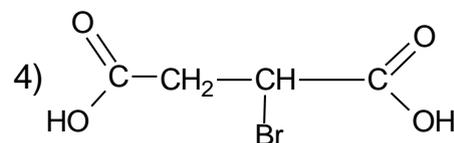
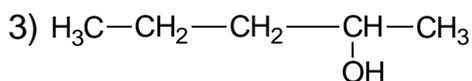
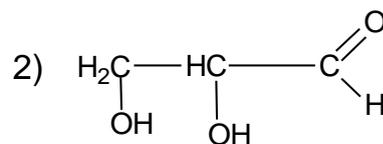
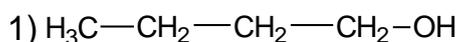


Энантиомерами (оптическими изомерами, зеркальными изомерами) являются пары оптических антиподов, которые относятся друг к другу как предмет и зеркальное отражение, в данном примере энантиомерами являются вещества I и II, III и IV.

Диастереомерами являются любые комбинации пространственных изомеров, не составляющие пару оптических антиподов, в данном примере это вещества I и III, I и IV, II и III, II и IV.

## Задачи для самостоятельного решения

11.1. Выберите соединения из перечисленных ниже, которые могут иметь оптические изомеры:



11.2. Определите, есть ли асимметрические атомы углерода в молекулах следующих соединений и обозначьте их:

а) транс-циклопропан-1,2-дикарбоновая кислота;

б) транс-1,3-дихлорциклобутан.

11.3. Напишите формулы оптических изомеров для бутандиола-2,3 и пентандиола-2,3. Укажите оптически недеятельные формы. Назовите причину этого.

11.4. Назовите хиральные соединения из перечисленных ниже:

а) бутадиен-1,2;

б) пентадиен-2,3;

в) пентадиен-2,3-овая кислота.

11.5. Напишите структурные формулы D- и L-глицериновой кислоты.

11.6. Напишите уравнения циангидринного синтеза, исходя из следующих соединений:

а) формальдегида;

г) ацетона;

б) уксусного альдегида;

д) гликолевого альдегида.

в) пропаналя;

Назовите образующиеся соединения и укажите те из них, которые содержат асимметрический атом углерода.

11.7. Укажите, какие из перечисленных ниже соединений могут иметь оптические изомеры:

а) 2-бромпропановая кислота;

в) 2-метилбутановая кислота;

б) 2-метилпропановая кислота;

г) 3-метилбутановая кислота.

11.8. Напишите формулы всех соединений  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ , которые могут существовать в виде стереоизомеров.

11.9. Нарисуйте проекционные формулы всех оптически активных соединений состава:

- а)  $C_3H_6BrCl$ ;
- б)  $C_4H_9Cl$
- в)  $C_3H_6Br_2$ .

11.10. Изобразите структуры соединений, имеющих энантиомеры с брутто-формулой:

- а)  $C_3H_3Br_2Cl$ ;
- б)  $C_3H_4BrCl$

Пометьте звездочкой асимметрические атомы углерода.

11.11. Напишите структурные формулы соединений  $C_4H_7Br$  и используйте их для иллюстрации следующих терминов:

- а) структурные изомеры;
- б) геометрические изомеры;
- в) хиральные соединения;
- г) энантиомеры;
- д) диастереомеры.

11.12. Изобразите в виде проекций Фишера все стереоизомеры приведенных ниже соединений и укажите энантиомерные и диастереомерные пары:

- а)  $C_2H_5CH(OH)-CH(OH)CH_3$ ;
- б)  $C_2H_5CH(OH)-CH(CH_3)COOH$ ;
- в)  $C_2H_5CH(OH)-CH(CH_3)NH_2$ .

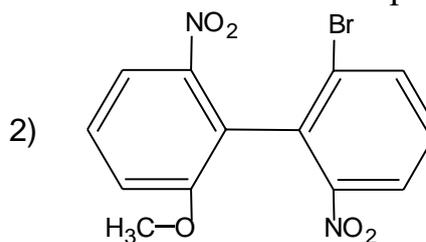
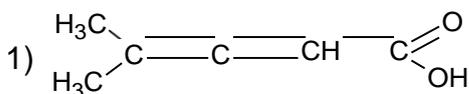
11.13. Укажите, сколько стереоизомеров имеет следующее соединение, напишите формулы этих стереоизомеров и проиллюстрируйте с их помощью понятия «энантиомеры», «диастереомеры»:  $CH_3CH(Br)CH(CH_3)C(CH_3)_3$ .

11.14. Изобразите структурные формулы и отметьте звездочками асимметрические атомы углерода для следующих соединений:

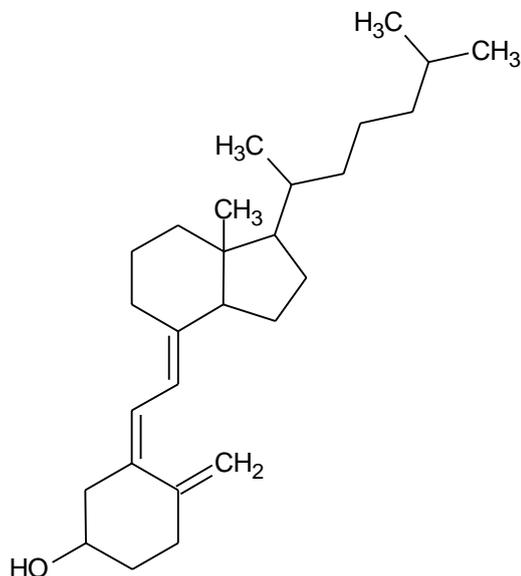
- а) 5-(5,6-диметилцикло-гексен-2-ил-1)гексан-3-ола;
- б) 6-(1,4-диметилциклопен-тен-2-ил-1)-3-этилгексан-2-ола.

Укажите, сколько энантиомеров существует у каждого соединения.

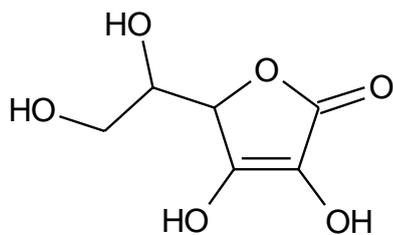
11.15. Будут ли приведённые ниже соединения иметь оптические изомеры:



11.16. Холекальциферол – биологически активное вещество, входящее в состав витамина D. Витамины группы D являются незаменимой частью пищевого рациона человека, относятся к жирорастворимым витаминам. Отметьте звездочками асимметрические атомы углерода в молекуле холекальциферола:



11.17. Аскорбиновая кислота — органическое соединение, является одним из основных веществ в человеческом рационе, которое необходимо для нормального функционирования соединительной и костной ткани. Отметьте звездочками асимметрические атомы углерода в молекуле аскорбиновой кислоты:



## 12. Сахара (углеводы)

Сахара – органические вещества, содержащие неразветвленную цепь из нескольких атомов углерода, карбонильную группу, а также несколько гидроксильных групп, т.е. являются многоатомными альдегидо- или кето-спиртами.

### Моносахариды

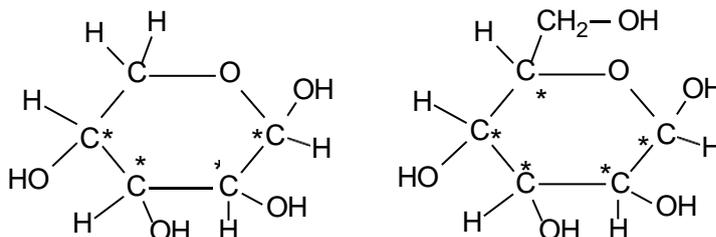
Моносахариды делятся на альдозы и кетозы. По числу атомов углерода и альдозы, и кетозы делятся на триозы, тетрозы, пентозы и гексозы.

*Кольчато-цепная (цикло-цепная) таутомерия.*

В кристаллическом состоянии монозы имеют циклическое строение, а в растворах представлены циклическими и открытыми формами, находящимися в динамическом равновесии – цикло-цепная таутомерия.

*Стереохимия моносахаридов.*

Число стереоизомеров равно  $2^n$ , таким образом, для глицеринового альдегида число стереоизомеров равно двум (антиподы D и L), для альдотетрозы – 4, альдопентозы – 8, для альдегексозы – 16. Однако на самом деле известно 16 стереоизомеров для альдопентоз и 32 для альдогексоз. В циклических формах есть 4 асимметрических атома углерода в альдопентозах и пять - в альдогексозах:



При растворении сахара в воде происходит образование таутомерных форм, вращение плоскости поляризации постепенно меняется и, наконец, достигает постоянной величины. Это означает, что установилось равновесие между всеми таутомерными формами моносахарида. Это явление называется *мутаротацией*.

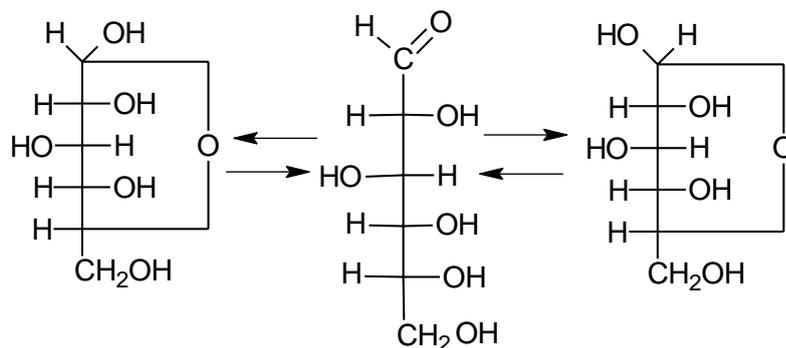
Циклические диастереомеры сахаров, различающиеся конфигурацией только первого асимметрического атома углерода, обозначаются как  $\alpha$ - и  $\beta$ -формы данного сахара.

Кетозы являются изомерами альдоз, но они содержат на один асимметрический атом углерода меньше, поэтому имеют меньшее число оптических изомеров. Принадлежность монозы к D- или L-генетическому ряду определяется по расположению гидроксильной группы у последнего асимметрического атома углерода, считая от карбонильной группы. Если это расположение соответствует D-глицериновому альдегиду, то моноза относится к D-ряду, а если L-глицериновому альдегиду – то к L-ряду.

*Циклические формы моносахаридов.* Моносахариды, имеющие пятичленное кольцо, называются фуранозами, шестичленное кольцо –

пиранозами. Перед названием типа цикла пишут начальный слог наименования сахара, например  $\alpha$ -D(+)-глюкопираноза,  $\beta$ -D(-)-рибофураноза и т.д.

Таутомерия глюкозы

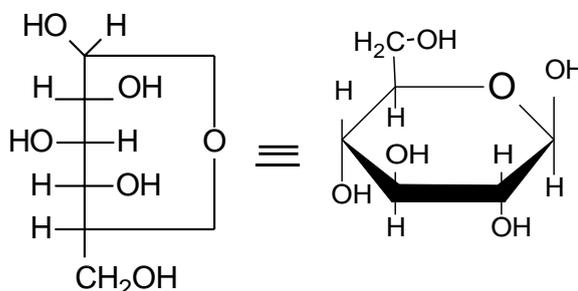


$\beta$ -D-глюкопираноза

D-глюкоза

$\alpha$ -D-глюкопираноза

Циклические формы моноз удобнее изображать в виде формул Хеуорса:

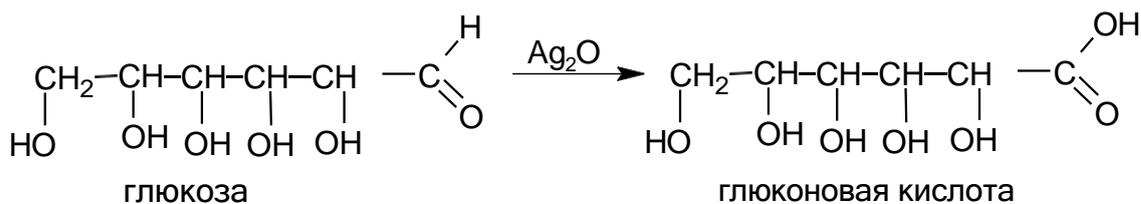


$\beta$ -D-глюкопираноза

*Свойства моносахаридов*

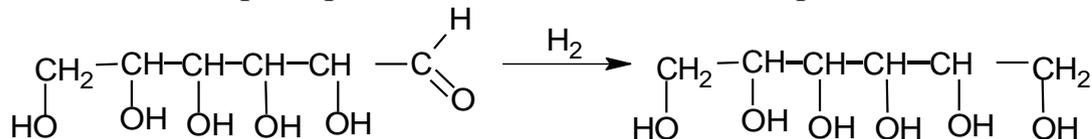
- окисление.

Окисление альдоз приводит к соответствующим кислотам (в данном случае, к альдоновым кислотам)



- восстановление.

Восстановление сахаров приводит к многоатомным спиртам



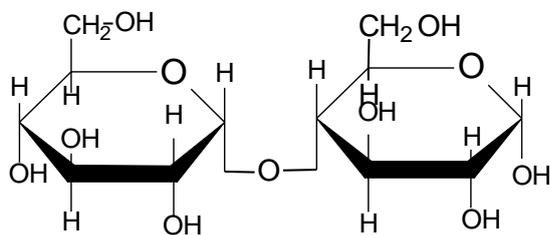
- сахара легко вступают в реакции ацилирования и алкилирования

- спиртовое брожение

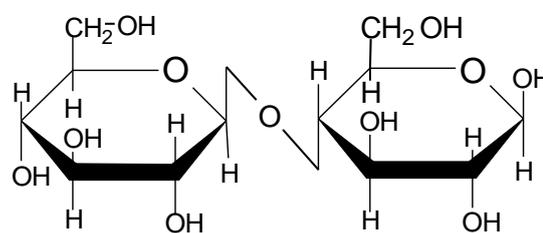


**Дисахариды**

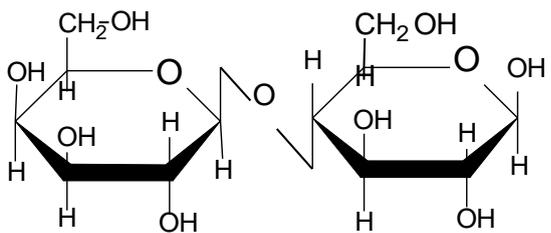
Дисахариды являются ангидридными формами двух молекул моноз. Наиболее распространённые природные дисахариды: свекловичный или тростниковый сахар – сахароза, солодовый сахар – мальтоза, молочный сахар – лактоза и целлобиоза. Все они имеют брутто-формулу  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .



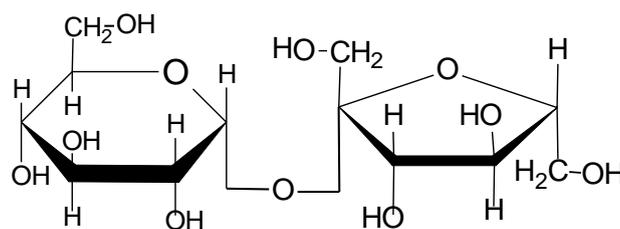
мальтоза



целлобиоза

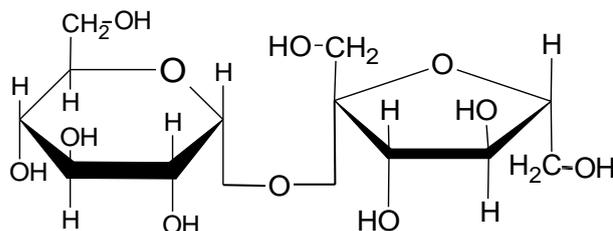


лактоза

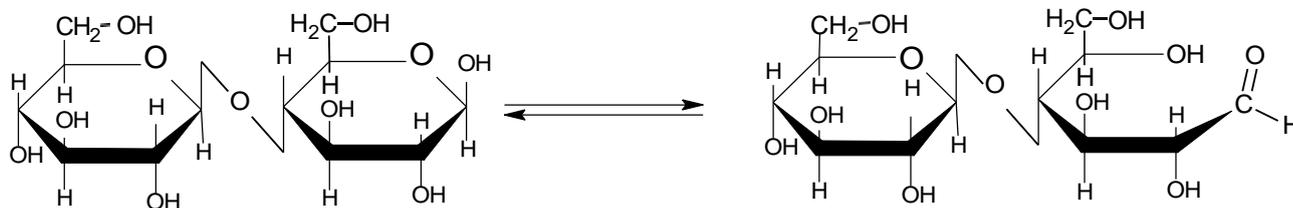


сахароза

Невосстанавливающий дисахарид (оба гликозидных гидроксила участвуют в образовании связи – гликозид-гликозидная связь)

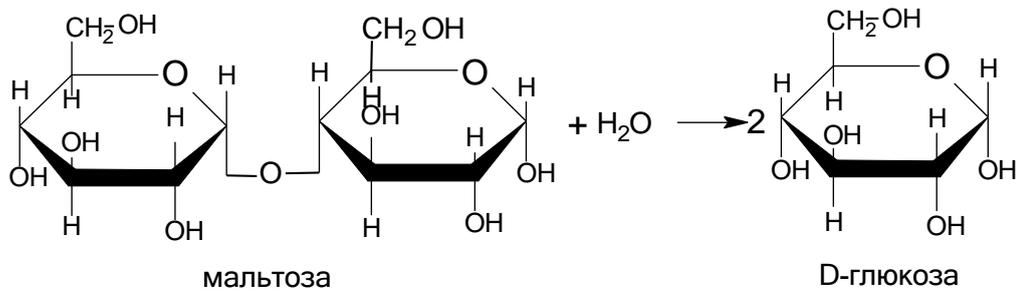


Восстанавливающий дисахарид (у одного остатка монозы вступает в реакцию гликозидный гидроксил, у другого – гликозный – гликозид-гликозная связь):



### Свойства

- гидролиз:

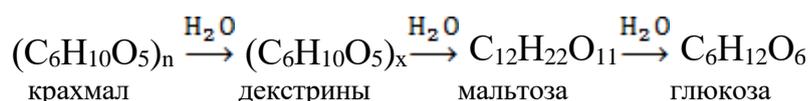


- только для восстанавливающих сахаров будет характерно явление мутаротации.

**Полисахариды** - продукты поликонденсации большого числа молекул моносахаридов. При полном гидролизе в кислой среде они образуют монозы.

*Крахмал* – запасный углевод растений. Образуется в растениях из глюкозы. Состоит из двух полисахаридов – амилозы ~20 % (1000-6000 остатков α-глюкозы) и амилопектина ~80 % (более 6000 остатков α-глюкозы). Не растворяется в холодной воде, в горячей воде легко набухает, образуя вязкий коллоидный раствор – клейстер.

Гидролиз крахмала:



*Целлюлоза (клетчатка)* – вещество стенок клеток растений, состоит из 2000-3000 остатков β-глюкоз.

Целлюлозу используют для получения ацетатного волокна (реакция ацилирования), бездымного пороха (нитрование смесью дымящей азотной кислоты с концентрированной серной).

### Примеры решения задач

1. Рассчитайте объем оксида углерода (IV) при нормальных условиях, который выделится при спиртовом брожении глюкозы массой 270 г.

*Решение.* Записываем уравнение реакции спиртового брожения глюкозы:



Определяем количество вещества глюкозы:

$$\begin{aligned}
 \nu(C_6H_{12}O_6) &= \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} \\
 \nu(C_6H_{12}O_6) &= \frac{270}{180} = 1,5 \text{ моль}
 \end{aligned}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\nu(CO_2) = 2\nu(C_6H_{12}O_6)$$

$$\nu(\text{CO}_2) = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ моль}$$

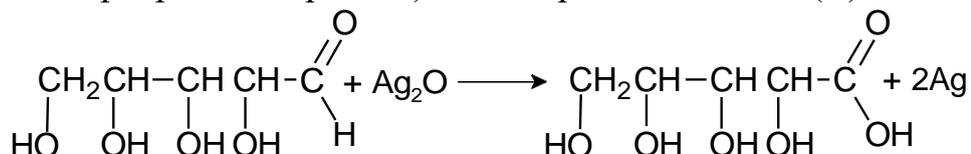
Определяем объем выделившегося газа:

$$V(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot V_m$$

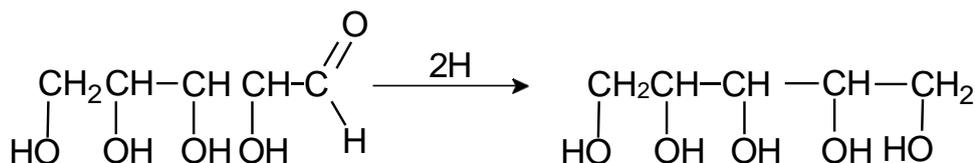
$$V(\text{CO}_2) = 3 \cdot 22,4 = 67,2 \text{ л}$$

2. Напишите уравнения реакций окисления и восстановления рибозы.

*Решение.* Рибоза - моносахарид из группы альдопентоз. Альдегидная группа легко окисляется до карбоксильной, например, оксидом серебра (реакция «серебряного зеркала») или гидроксидом меди (II):

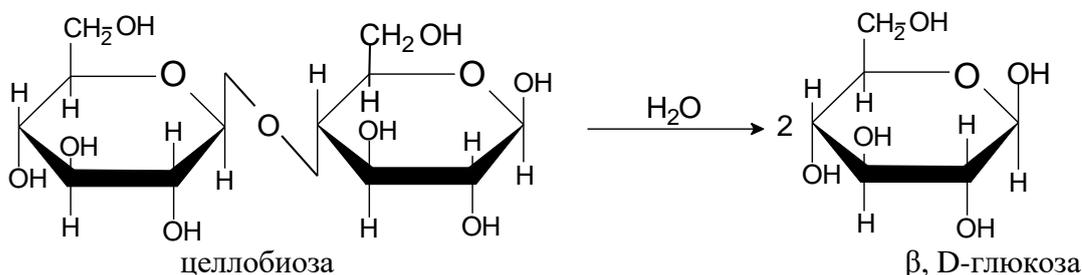


Вещества, содержащие альдегидную группу, способны к восстановлению, основной продукт восстановления – первичные спирты, в данном случае многоатомный (пятиатомный спирт):



3. Напишите уравнения реакций гидролиза целлобиозы.

*Решение.* Целлобиоза – дисахарид, состоящий из двух остатков глюкозы, соединённых β-гликозид-глюкозной связью. Гидролиз дисахаридов происходит при действии кислот или ферментов. В результате гидролиза образуются моносахариды, в данном случае две молекулы β-глюкозы:



4. Массовая доля крахмала в картофеле составляет 20 %. Рассчитайте массу глюкозы, которую можно получить из картофеля массой 1620 кг, если выход продукта равен 75 %.

*Решение.* Записываем уравнение реакции гидролиза крахмала, в результате которой образуется глюкоза:



Находим массу крахмала в картофеле:

$$m(\text{крахмала}) = \omega(\text{крахмала}) \cdot m(\text{картофеля})$$

$$m(\text{крахмала}) = 1620 \cdot 0,2 = 324 \text{ кг}$$

Определяем количество вещества крахмала:

$$v(\text{крахмала}) = \frac{m(\text{крахмала})}{M(\text{крахмала})}$$

$$v(\text{крахмала}) = \frac{324}{162n} = \frac{2}{n} \text{ кмоль}$$

Из уравнения реакции гидролиза крахмала следует:

$$\frac{v(\text{крахмала})}{v(\text{глюкозы})} = \frac{1}{n}$$

Отсюда получаем:

$$v(\text{глюкозы}) = nv(\text{крахмала})$$

$$v(\text{глюкозы}) = n \cdot \frac{2}{n} = 2 \text{ кмоль}$$

Определяем массу глюкозы, которую можно получить при количественном выходе:

$$m(\text{глюкозы}) = v(\text{глюкозы}) \cdot M(\text{глюкозы})$$

$$m(\text{глюкозы}) = 2 \cdot 180 = 360 \text{ кг}$$

Учитывая выход продукта, находим:

$$m_p(\text{глюкозы}) = \frac{m(\text{глюкозы}) \cdot \omega_{\text{вых.}}}{100}$$

$$m_p(\text{глюкозы}) = \frac{360 \cdot 75}{100} = 270 \text{ кг}$$

### Задачи для самостоятельного решения

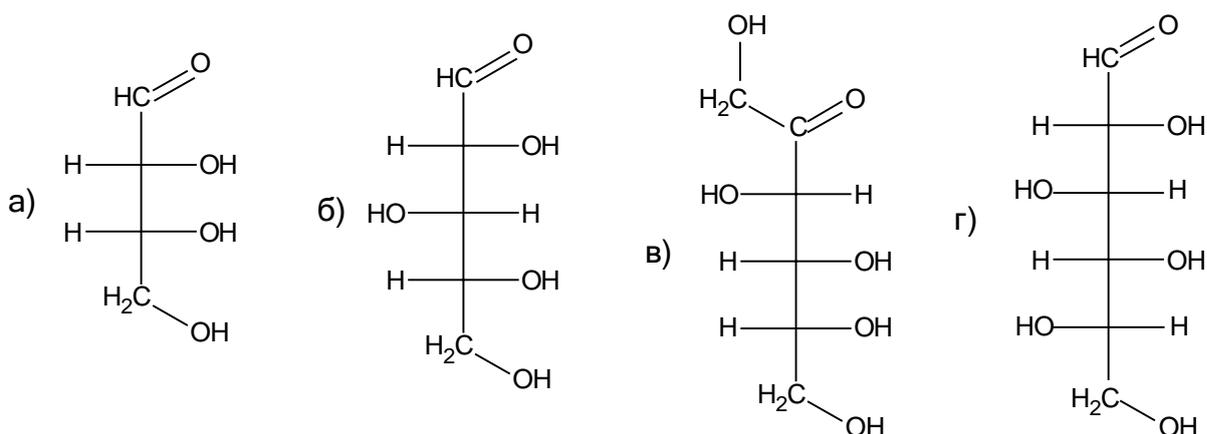
12.1. Напишите формулы открытой и циклической форм следующих сахаров:

- глюкозы;
- фруктозы;
- арабинозы.

- 12.2. Напишите проекционные формулы:
- а)  $\alpha$ - и  $\beta$ -галактозы;
  - б)  $\alpha$ - и  $\beta$ -фруктозы.
- 12.3. Напишите структурные формулы следующих соединений, отметьте в этих соединениях асимметрические атомы углерода:
- а) альдотетроза;
  - б) альдопентоза;
  - в) кетотетроза;
  - г) альдогексоза;
  - д) кетогексоза;
  - е) альдогептоза.
- 12.4. Напишите структурные формулы следующих сахаров в виде проекционных формул Фишера:
- а) D-рибоза;
  - б) D-дезоксирибоза;
  - в) D-глюкоза;
  - г) D-фруктоза.
- 12.5. При осторожном окислении глицерина образуется смесь триоз. Напишите их формулы.
- 12.6. Напишите уравнения реакций гидролиза мальтозы. Назовите продукты.
- 12.7. Напишите уравнения реакций окисления и восстановления моноз:
- а) L-глюкоза;
  - б) D-манноза;
  - в) D-галактоза.
- 12.8. Напишите схему спиртового брожения виноградного сахара.
- 12.9. Напишите уравнения реакций фруктозы со следующими соединениями:
- а) синильной кислотой;
  - б) гидроксиламином.
- 12.10. Предложите уравнения реакций, с помощью которых можно превратить крахмал в глюкозу.
- 12.11. Напишите уравнения реакции «серебряного зеркала» для следующих сахаров:
- а) D-глюкоза;
  - б) L-арабиноза.
- 12.12. Назовите вещество, которое образуется при взаимодействии:
- а) фруктозы и гидроксида кальция;
  - б) арабинозы и гидрата окиси бария;
  - в) глюкозы и гашеной извести.
- 12.13. Назовите вещество, которое образуется при действии на фруктозу избытка уксусного ангидрида.

- 12.14. Напишите уравнения реакций, которые позволяют доказать наличие в молекуле глюкозы:
- альдегидной группы;
  - пяти гидроксильных групп.
- 12.15. Установите структурную формулу гексозы, если известно, что оксинитрил, полученный из неё при действии синильной кислоты, после гидролиза и восстановления иодистоводородной кислотой образует 2-метилгексановую кислоту.
- 12.16. Запишите уравнения реакций, которые применяют для удлинения углеродной цепи в моносахариде. Напишите схему превращений альдопентозы в альдогексозу.
- 12.17. Запишите уравнения реакций, которые применяют для укорачивания углеродной цепи в моносахариде. Напишите схему превращения альдопентозы в альдотетрозу.
- 12.18. Предложите уравнения реакций, с помощью которых можно получить кетогексозу из альдопентозы.
- 12.19. Напишите уравнение реакции серебряного зеркала для альдопентозы. Объясните, почему пищевой сахар не даёт этой реакции, а инвертированный даёт.
- 12.20. Напишите уравнение реакции, которая позволяет отличить альдопентозы от альдогексоз.
- 12.21. Предложите реагент, с помощью которого можно доказать, что в молекуле глюкозы имеются две разные функциональные группы. Напишите уравнения реакций.
- 12.22. Обозначьте звездочками асимметрические атомы углерода, укажите количество оптических изомеров для следующих форм сахаров:
- альдегидная форма альдогексозы;
  - циклическая форма альдогексозы.
- 12.23. Напишите формулы открытой и циклической ( $\gamma$ - и  $\delta$ -окисных) форм:
- D-глюкозы;
  - D-фруктозы.
- 12.24. Напишите формулы D- и L-глюкозы в виде проекционных формул Фишера. Укажите атом углерода, который определяет отнесение глюкозы к D- или L-ряду.

12.25. Укажите, к какому стереохимическому ряду (D- или L-) относится каждый из приведённых ниже моносахаридов:



12.26. Объясните, почему обычная фруктоза, которая вращает плоскость поляризации плоскополяризованного света влево, называется D-фруктоза.

12.27. Напишите формулы следующих веществ в виде проекционных формул Фишера и Хеуорса:

- $\alpha$ -D-глюкопиранозы;
- $\beta$ -D-фруктофуранозы
- $\beta$ -D-рибофуранозы.

12.28. Объясните понятие «кольчато-цепная таутомерия» на примере D-глюкозы, D-фруктозы.

12.29. Напишите все возможные таутомерные формы D-глюкозы, находящиеся в равновесии в водном растворе.

12.30. Назовите вещество, изомеры которого изображены ниже. Укажите, чем отличаются эти изомеры:



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

глюкоза  $\rightarrow$  глюконовая кислота  $\rightarrow$  метиловый эфир глюконовой кислоты  $\rightarrow$  глюконат натрия.

- 12.32. Напишите таутомерные формы  $\beta$ -D-рибофуранозы и  $\beta$ -D-2-дезоксирибофуранозы (в виде проекционных формул Фишера).
- 12.33. Напишите уравнение реакции, с помощью которой можно доказать наличие полуацетального (гликозидного) гидроксила в  $\alpha$ -D-глюкопиранозе.
- 12.34. Напишите уравнение реакции гидролиза сахарозы. Для каждого полученного соединения напишите уравнение реакции с гидросиламином.
- 12.35. Напишите формулы мальтозы, целлобиозы и лактозы в виде проекционных формул Фишера и Хеуорса.
- 12.36. Напишите уравнение реакции, которую применяют, чтобы отличить лактозу от сахарозы.
- 12.37. Предложите, как можно отличить полисахариды от моносахаридов.
- 12.38. В двух пробирках находятся глюкоза и крахмал. Предложите, как опытным путем доказать наличие глюкозы в одной пробирке и наличие крахмала в другой.
- 12.39. Укажите отличия в строении клетчатки и крахмала.
- 12.40. Напишите уравнения реакций гидролиза крахмала и клетчатки.
- 12.41. Напишите уравнения реакций брожения глюкозы:  
а) спиртового;  
б) молочнокислого;  
в) уксуснокислого.
- 12.42. Напишите уравнения реакций получения 2-хлорэтановой кислоты из целлюлозы, используя только неорганические реагенты и полученные органические продукты.
- 12.43. Назовите реагент, при помощи которого можно распознать глюкозу, глицерин, этаналь, уксусную кислоту. Приведите уравнения реакций.
- 12.44. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  
а) крахмал  $\rightarrow$  глюкоза  $\rightarrow$  этанол  $\rightarrow$  этен  $\rightarrow$  этин  $\rightarrow$  этаналь  $\rightarrow$  этанол;  
б) целлюлоза  $\rightarrow$  глюкоза  $\rightarrow$  этанол  $\rightarrow$  бутадиен-1,3  $\rightarrow$  бутадиеновый каучук.

- 12.45. Рассчитайте массу глюкозы, которую подвергли спиртовому брожению, протекающему с выходом 80% от теоретического, если для нейтрализации образовавшегося при этом диоксида углерода потребовалось 65,67 мл 20%-го водного раствора гидроксида натрия ( $\rho=1,22$  г/мл).
- 12.46. При сжигании 34,2 г сахара образовалось 26,88 л (н.у.) углекислого газа и 19,8 г воды. Определите формулу углевода.
- 12.47. При брожении глюкозы массой 72 г получили этанол массой 35 г. Определите массовую долю выхода этанола по отношению к теоретическому.
- 12.48. Рассчитайте массу серебра, которую можно выделить из аммиачного раствора оксида серебра, если добавить к нему 180 мл 10%-го раствора глюкозы ( $\rho=1,1$  г/мл).
- 12.49. В промышленности получают лимонную кислоту в результате ферментативного брожения раствора сахарозы:



Рассчитайте массу лимонной кислоты, которую можно получить из раствора массой 200 кг с массовой долей сахарозы 15%, если выход кислоты равен 55% от теоретического?

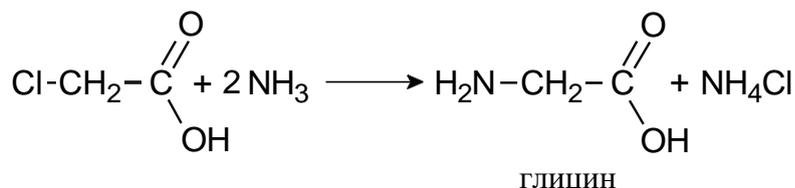
### 13. Аминокислоты и белки

**Аминокислоты** – соединения, в молекуле которых содержатся одновременно амино- и карбоксильная группы. В зависимости от положения аминогруппы по отношению к карбоксильной группе различают  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -аминокислоты.

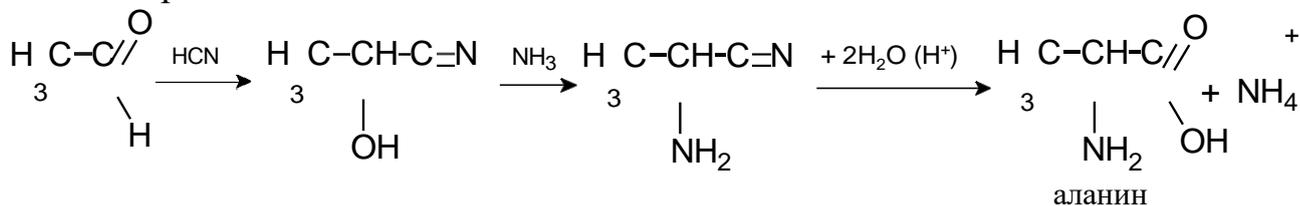
#### Получение

##### А) $\alpha$ -аминокислоты

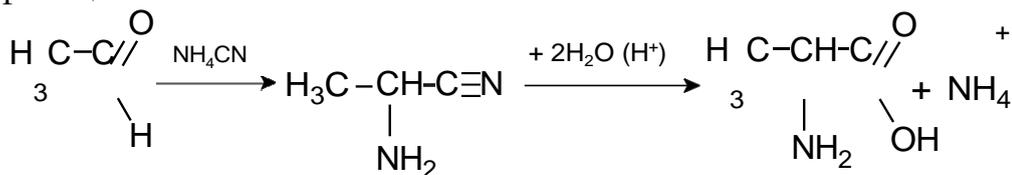
- действие избытка аммиака на  $\alpha$ -галогенокислоты:



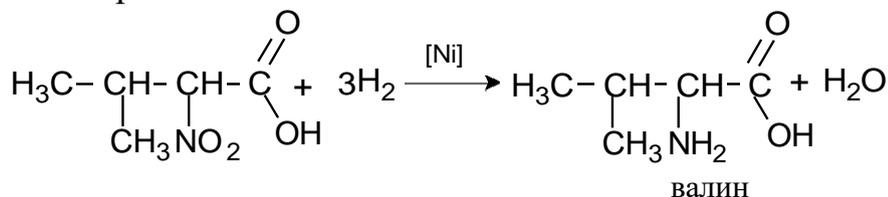
- циангидринный метод:



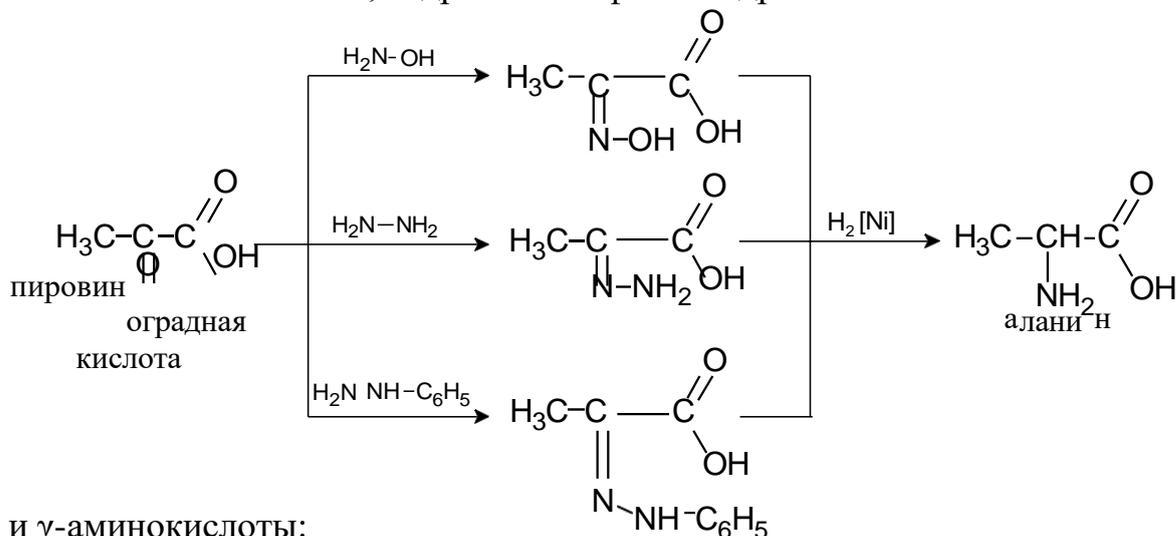
модификация Зелинского:



- восстановление нитрокислот:

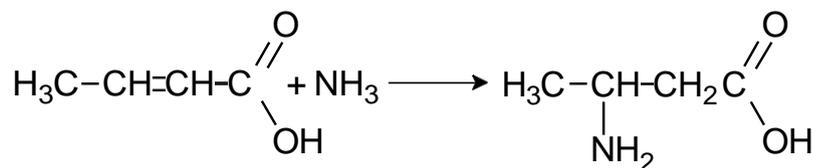


- восстановление оксимов, гидразонов и фенилгидразонов  $\alpha$ - оксокислот:



##### Б) $\beta$ - и $\gamma$ -аминокислоты:

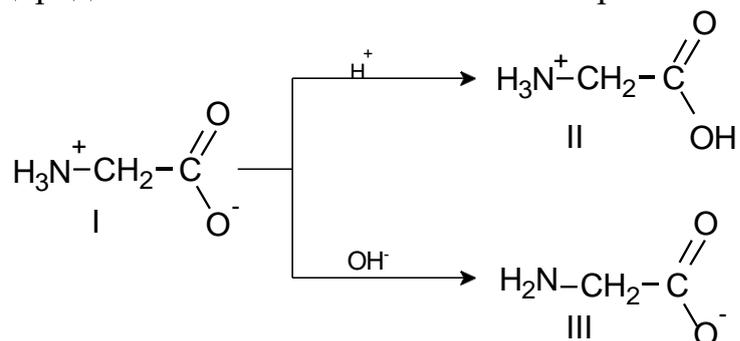
- присоединение аммиака к  $\alpha$ -,  $\beta$ -ненасыщенным кислотам



- действие аммиака на соответствующие галогенокислоты.

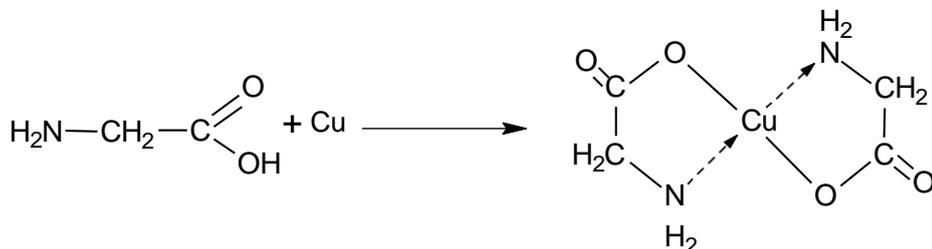
### Химические свойства

- реакции с кислотами и щелочами. В первом случае образуется катион II соли аминокислоты как основания, во втором – анион III соли аминокислоты как кислоты, и лишь при строго определённом для каждой АК концентрации водородных ионов среды существует только внутренняя соль I. Такая концентрация водородных ионов называется изоэлектрической точкой

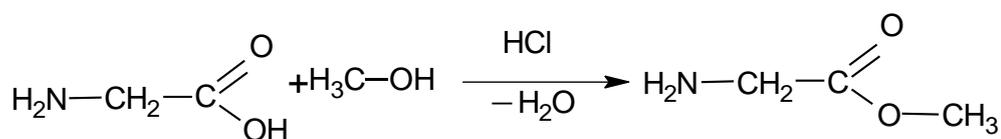


*Реакции карбоксильной группы:*

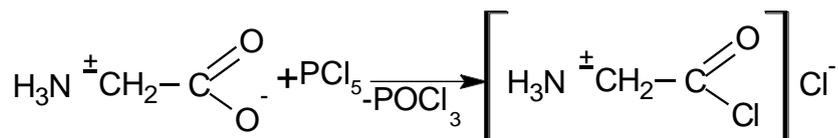
- образование солей. Аминокислоты могут образовывать внутрикомплексные соли с катионами тяжёлых металлов



- образование сложных эфиров

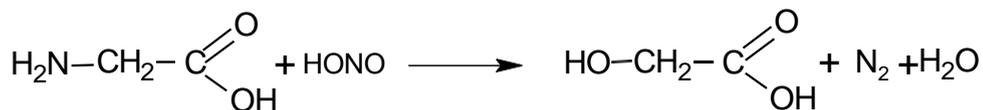


- образование хлорангидридов

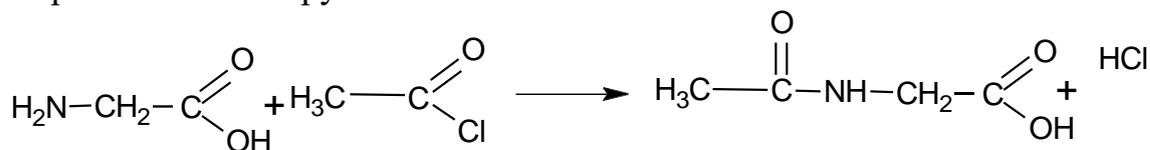


*Реакции аминогруппы:*

- с минеральными кислотами аминокислоты дают соли, подобно аминам.
- с азотистой кислотой:

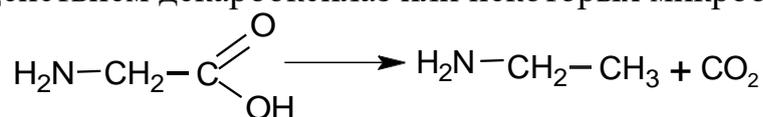


- ацилирование аминогруппы.

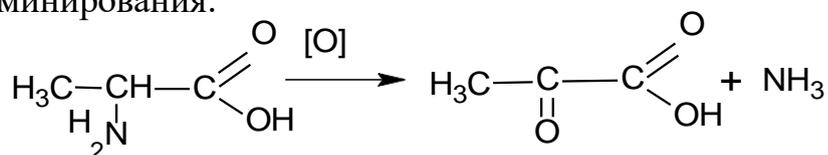


### Специфические реакции

- реакция декарбоксилирования, характерна только для α-аминокислот. Реакция протекает под действием декарбоксилаз или некоторых микроорганизмов.

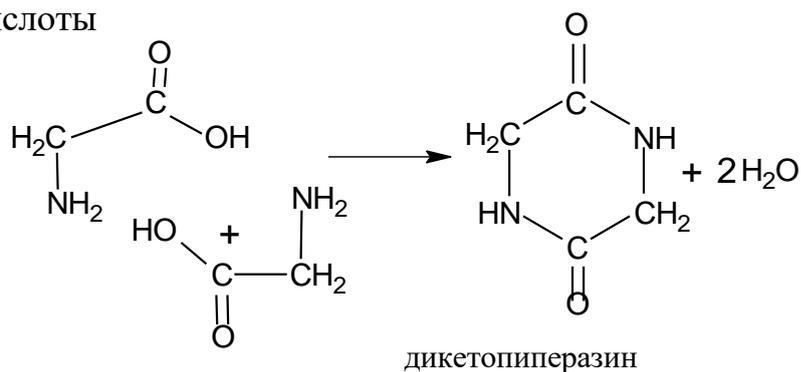


- реакция дезаминирования:

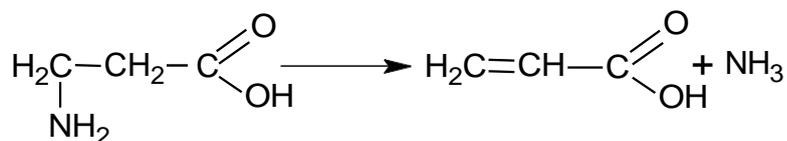


- нагревание аминокислот:

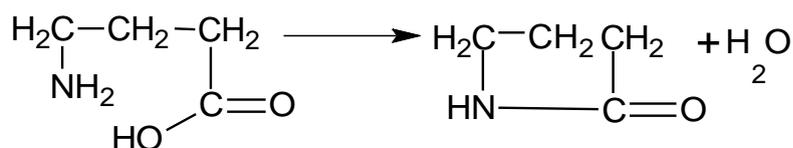
α-аминокислоты

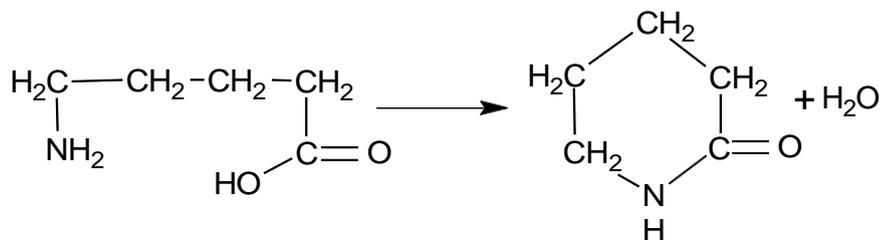


β-аминокислоты:



γ- и δ-аминокислоты:





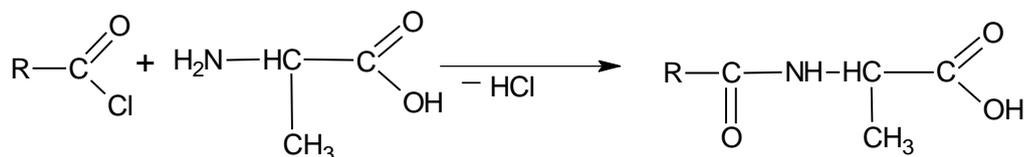
**Белки** представляют собой биополимеры α-аминокислот.

В белках аминокислоты связаны пептидными связями – это разновидность амидной связи, образованной карбоксильной группой одной молекулы аминокислоты и аминогруппой другой (поликонденсация типа «голова-хвост»).

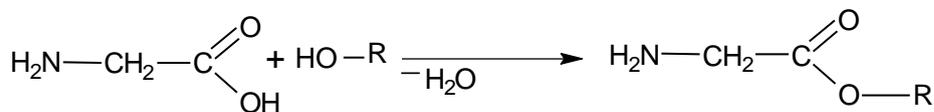
Чтобы соединить две молекулы аминокислоты пептидной связью, необходимо:

- защитить карбоксильную группу одной аминокислоты
- защитить аминогруппу другой аминокислоты
- образовать пептидную связь
- снять защитные группы

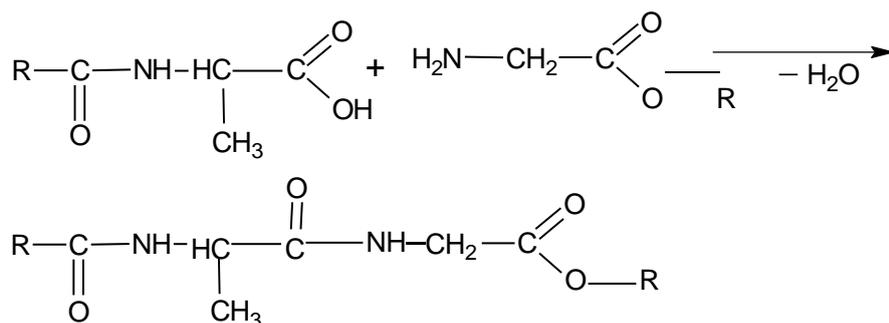
#### 1. Защита аминогруппы



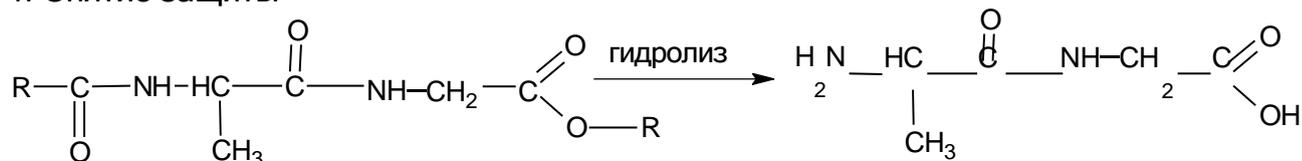
#### 2. Защита карбоксильной группы



#### 3. Образование пептидной связи



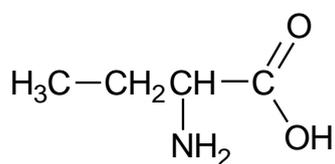
#### 4. Снятие защиты



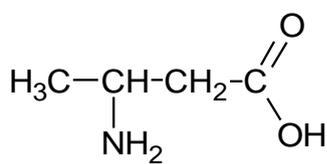
## Примеры решения задач

1. Напишите структурные формулы изомерных аминокислот состава  $C_4H_9NO_2$

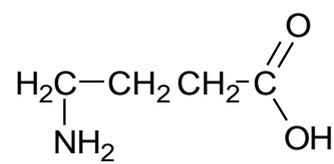
*Решение.* Изомерия аминокислот связана как с положением аминогруппы в молекуле, так и с разветвленностью углеродного скелета. При нормальной углеродной цепи возможно существование трех изомеров:



2-аминобутановая  
кислоты

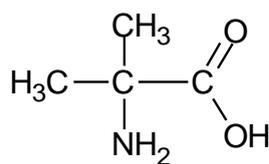


3-аминобутановая  
кислота

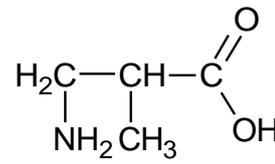


4-аминобутановая кислота

Возможно также существование двух изомеров с разветвленной углеродной цепью:

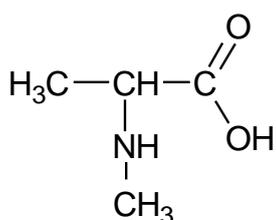


2-амино-2-метилпропановая  
кислота

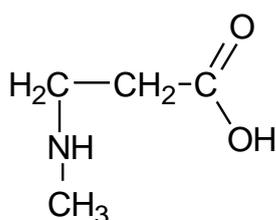


3-амино-2-метилпропановая  
кислота

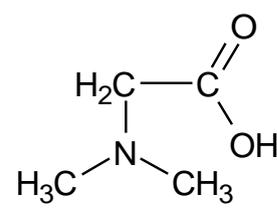
Также возможно существование двух аминокислот с вторичным азотом и одного изомера с третичным азотом:



2-(метиламино)-  
пропановая кислота



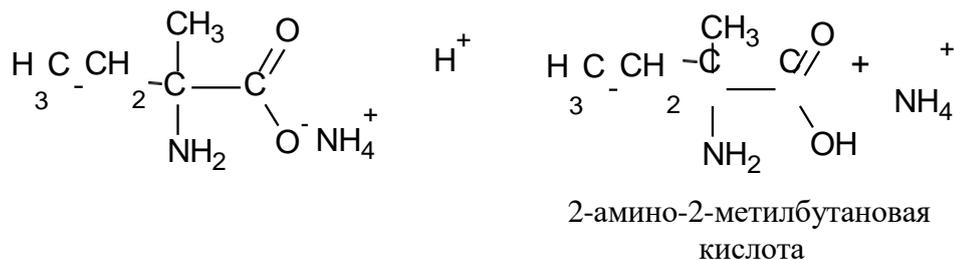
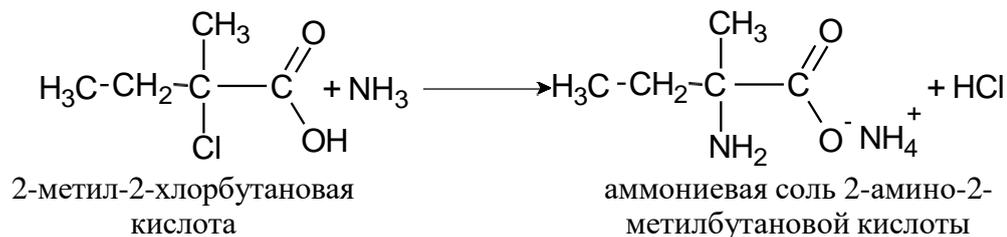
3-(метиламино)-  
пропановая кислота



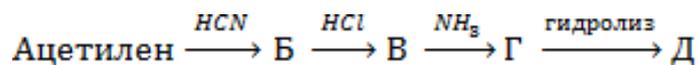
2-(диметиламино)-  
этановая кислоты

2. Напишите уравнения реакции получения 2-амино-2-метилбутановой кислоты из соответствующей галогенозамещенной кислоты и назовите исходную кислоту.

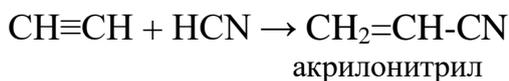
*Решение.* Действуя избытком аммиака с последующим кислым гидролизом, получают аминокислоты. При этом атом галогена замещается на аминогруппу. Таким образом, для получения 2-амино-2-метилбутановой кислоты можно использовать 2-метил-2-хлорбутановую кислоту:



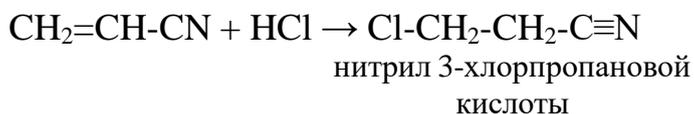
3. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:



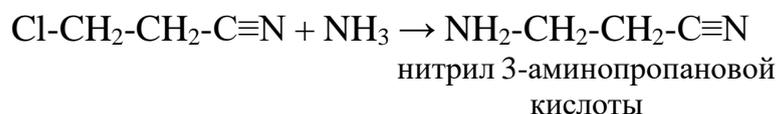
*Решение.* 1) При воздействии на ацетилен синильной кислоты образуется акрилонитрил (нитрил акриловой кислоты):



2) За счет наличия двойной связи акрилонитрил вступает в реакции электрофильного присоединения, при этом водород присоединяется в положение  $\alpha$ -, а хлор присоединяется в  $\beta$ -положение (против правила Марковникова):

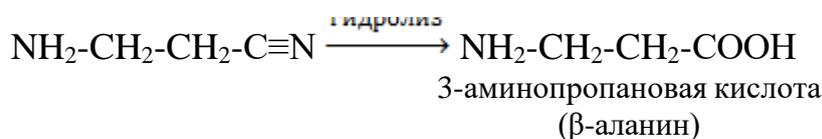


3) Действуя на галогенозамещенные соединения аммиаком, замещаем галоген на аминогруппу, в результате получаем нитрил 3-аминопропановой кислоты (нитрил  $\beta$ -аланина):



(нитрил β-аланина)

4) Подвергая гидролизу нитрил, получаем соответствующую кислоту, в данном случае, 3-аминопропановую (β-аланин):



4. Напишите уравнение реакции, которая протекает при нагревании следующих аминокислот:

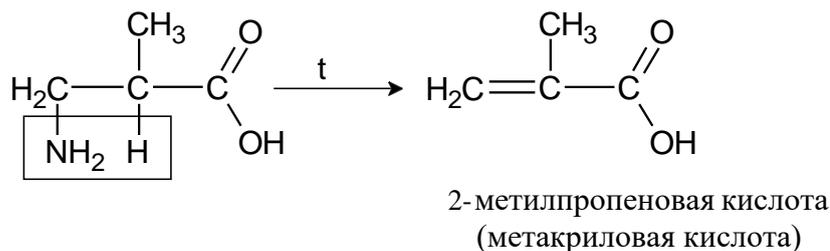
а) 3-амино-2-метилпропановой;

б) 2-аминобутановой;

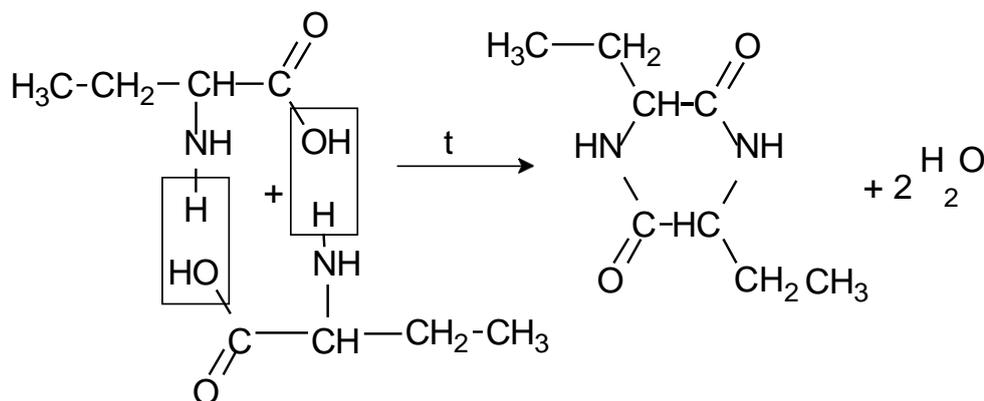
в) 4-амино-3-метилпентановой

*Решение.* Характер продукта, образующегося при нагревании аминокислот, зависит от структуры кислоты.

а) 3-Амино-2-метилпропановая кислота относится к β-аминокислотам. β-Аминокислоты при нагревании отщепляют воду (реакция элиминирования), образуя ненасыщенные кислоты:

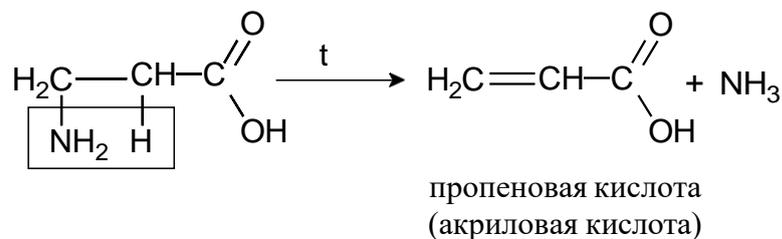


б) 2-Аминобутановая кислота относится к α-аминокислотам, которые при нагревании дают дикетопиперазины:



в) 4-Амино-3-метилпентановая кислота относится к γ-аминокислотам, которые при нагревании отщепляют воду с образованием лактамов – циклических амидов:





6. При взаимодействии  $\alpha$ -аминоасляной кислоты массой 25 г с соляной кислотой образовалось 25 г соли. Вычислите массовую долю выхода соли по отношению к теоретическому.

*Решение.* Записываем уравнение реакции между  $\alpha$ -аминоасляной и соляной кислотами:



Определяем количество вещества  $\alpha$ -аминоасляной кислоты (АК):

$$\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH})}$$

$$\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}) = \frac{25}{103} = 0,24 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\begin{array}{l}
 \nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH}) = \nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}) \\
 \nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH}) = 0,24 \text{ моль}
 \end{array}$$

Определяем теоретическую массу образовавшейся соли:

$$\begin{array}{l}
 m_{\text{теор}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH}) = \nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH}) \cdot M \\
 m_{\text{теор}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH}) = 0,24 \cdot 139,5 = 33,48 \text{ г}
 \end{array}$$

Находим массовую долю выхода соли по отношению к теоретическому:

$$\omega_{\text{вых.}} = \frac{m_{\text{р}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH}) \cdot 100}{m_{\text{теор}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_3\text{Cl})\text{COOH})}$$

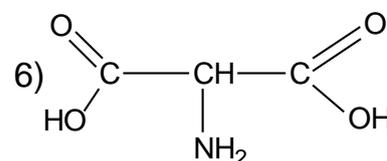
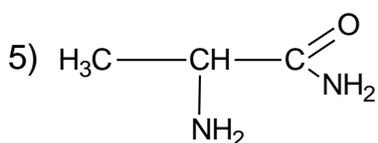
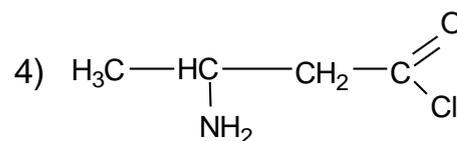
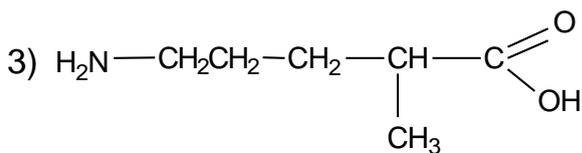
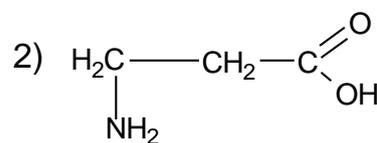
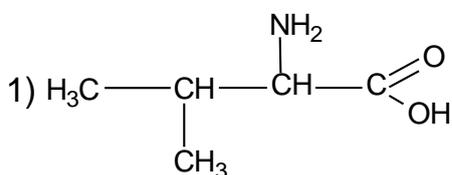
$$\omega_{\text{вых.}} = \frac{25 \cdot 100}{33,48} = 74,67 \%$$

## Задачи для самостоятельного решения

13.1. Напишите структурные формулы следующих соединений:

- 2-аминоэтановая кислота (глицин);
- 2-аминопропановая кислота ( $\alpha$ -аланин);
- 3-аминобутановая кислота;
- 4-амино-2-метилпентановая кислота;
- 2-амино-4-гидроксибутановая кислота;
- 2-амино-3-гидроксипропановая кислота (серин);
- 2-аминобутандиовая кислота (аспарагиновая кислота);
- 2-амино-4-метилпентановая кислота (лейцин);
- 2-аминопентандиовая кислота (глутаровая кислота).

13.2. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



13.3. Напишите структурные формулы изомерных аминокислот состава  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2$ .

13.4. Напишите уравнения реакций и назовите полученные соединения:

- $\alpha$ -хлорпропионовая кислота + аммиак;
- $\beta$ -бромвалериановая кислота + метиламин;
- $\alpha$ -бромизомасляная кислота + диметиламин;
- монобромянтарная кислота + аммиак.

13.5. Назовите галогенозамещённые кислоты, из которых, действуя аммиаком, можно получить следующие аминокислоты:

- глицин;
- $\alpha$ -аланин;
- лейцин;
- 2,3-диаминобутановую кислоту;
- $\beta$ -аминопропановую кислоту.

Напишите уравнения реакций.



- а) солянокислый аланин + хлористый ацетил;
- б) α-аминопропионовая кислота + хлористый ацетил;
- в) аланин + уксусный ангидрид;
- г) глицин + иодэтан;
- д) глицин + аллиловый спирт.

13.13. Напишите уравнения реакций получения α-аминопропионовой кислоты тремя способами.

При последовательном действии на аланин хлорангидрида монохлоруксусной кислоты, а затем аммиака образуется дипептид, называемый глицилаланин. Напишите уравнения перечисленных реакций. Назовите соединение, которое образуется из глицина и бромангидрида α-бромпропионовой кислоты.

13.14. Напишите уравнения реакций, протекающих при нагревании следующих кислот:

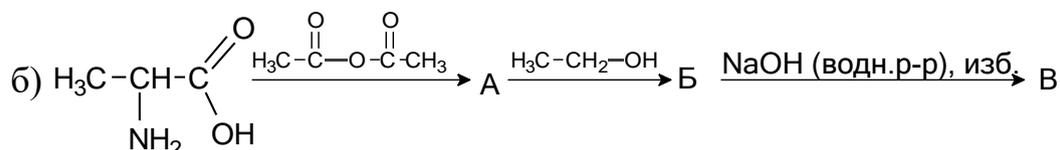
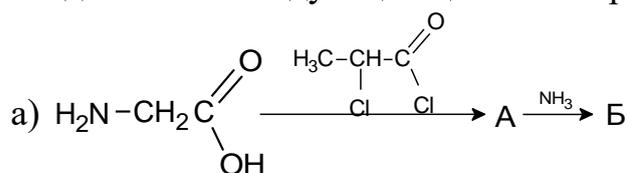
- а) α-аминомасляная кислота;
- б) γ-аминомасляная кислота;
- в) β-аминопропионовая кислота;
- г) 2-амино-2-метилпропановая к-та
- д) 4-амино-2-метилбутановая к-та
- е) β-аминобутановая к-та

13.15. Заполните таблицу:

	NaOH	HCl	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	HNO <sub>2</sub>	Нагревание
α-оксимасляная кислота					
β-оксимасляная кислота					
γ-оксимасляная кислота					
α-аминомасляная кислота					
β-аминомасляная кислота					
γ-аминомасляная кислота					

В пустые клетки впишите продукты реакции. Напишите уравнения всех возможных реакций.

13.16. Напишите уравнения реакций, назовите промежуточные и конечные соединений в следующих цепочках превращений:



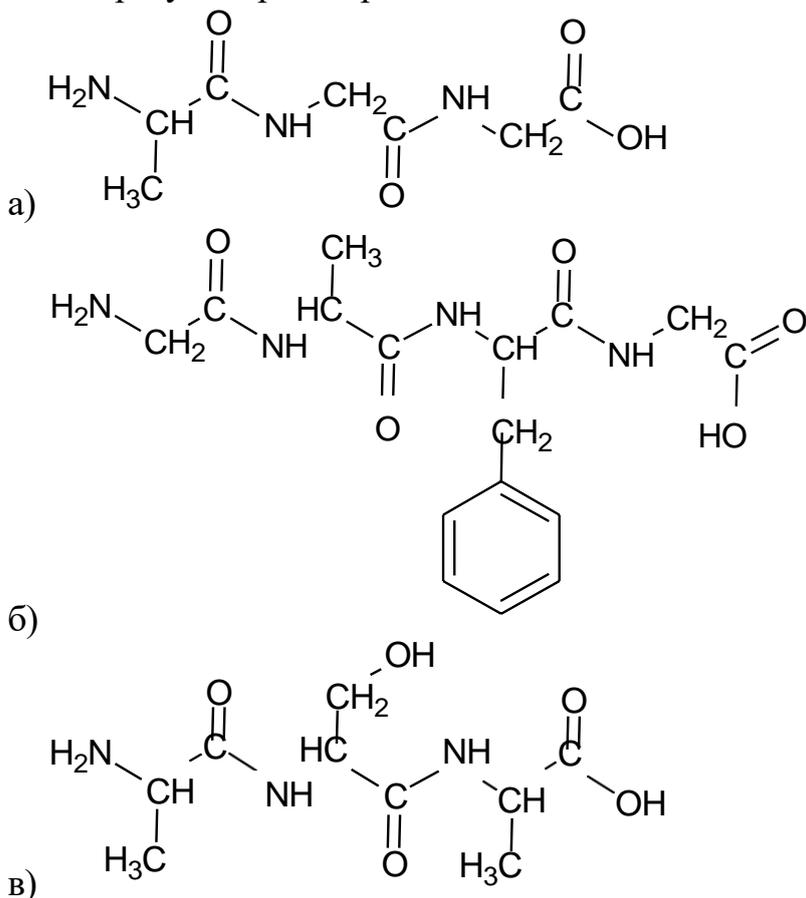
13.17. Назовите соединения, которые образуются при действии азотистой кислоты на следующие аминокислоты:

- а)  $\alpha$ -аланин;
- б) валин (2-амино-3-метилбутановая кислота);
- в) 3-аминобутановая кислота.

Напишите уравнения реакций.

13.18. Установите строение вещества  $C_3H_7O_2N$ , обладающего амфотерными свойствами, при реакции с азотистой кислотой выделяющего азот, с этанолом образующего соединение  $C_5H_{11}NO_2$ , а при нагревании переходящего в вещество  $C_6H_{10}O_2N_2$ . Напишите уравнения всех перечисленных реакций.

13.19. Назовите приведённые ниже пептиды и укажите, какие аминокислоты они образуют при гидролизе:



13.20. Приведите подробные схемы синтеза следующих дипептидов:

- а) глицилаланин;
- б) аланилглицин;
- в) глицилтриптофан.

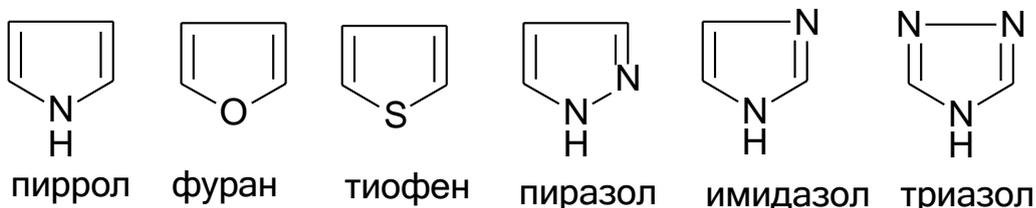
Укажите, какие реакции используются для защиты концевых амино- и карбоксильной групп.

- 13.21. Для количественного определения аминокислот используют реакцию с азотистой кислотой. При действии азотистой кислоты на 0,4 г смеси, содержащей  $\alpha$ -аланин, образовалось 44,8 мл азота (н.у.). Рассчитайте процентное содержание  $\alpha$ -аланина в исследуемой смеси.
- 13.22. Определите формулу  $\beta$ -аминокислоты, содержащей 15,73% азота по массе.
- 13.23. К 50 г водного раствора уксусной и аминоуксусной кислот добавили до полной нейтрализации 142,75 мл 6,94%-го раствора карбоната натрия ( $\rho=1,07$  г/мл). Такая же смесь реагирует с 30 мл 11,52%-го раствора соляной кислоты ( $\rho=1,055$  г/мл). Определите массовые доли кислот в исходной смеси.
- 13.24. Определите массу раствора соляной кислоты с массовой долей кислоты 20%, которая прореагировала с  $\gamma$ -аминобутановой кислотой массой 30 г.
- 13.25. Найдите массу этилового эфира  $\alpha$ -аланина, образующегося при реакции этанола массой 20 г с  $\alpha$ -аланином.
- 13.26. При взаимодействии 3-аминобутановой кислоты массой 40 г с серной кислотой образовалось 40 г соли. Вычислите массовую долю выхода соли по отношению к теоретическому.
- 13.27. Рассчитайте массу глицина, которая образуется при взаимодействии 10 л аммиака с хлоруксусной кислотой массой 30 г.
- 13.28. Предложите, как опытным путём доказать наличие белка в молоке.
- 13.29. В двух пробирках находятся растворы белка и крахмала. Предложите реакции, с помощью которых можно различить эти два вещества.
- 13.30. Дайте определение терминам «заменимые» и «незаменимые» аминокислоты. Приведите по 2 примера каждого из этих типов аминокислот.

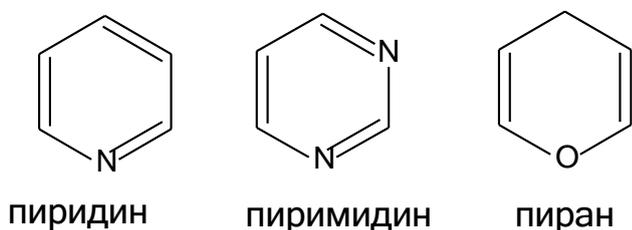
## 14. Гетероциклические соединения.

**Гетероциклические соединения** - циклические структуры, содержащие в цикле кроме атомов углерода другой (гетеро-) атом. Наиболее важные – пяти- и шестичленные гетероциклы, а также циклы, состоящие из двух колец.

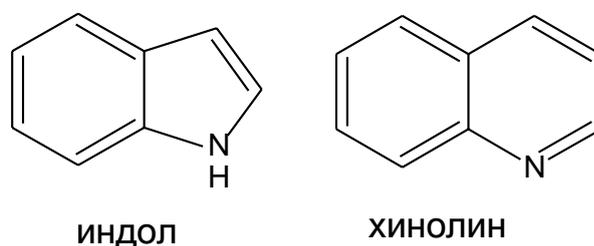
### Пятичленные гетероциклы



### Шестичленные гетероциклы



### конденсированные гетероциклы

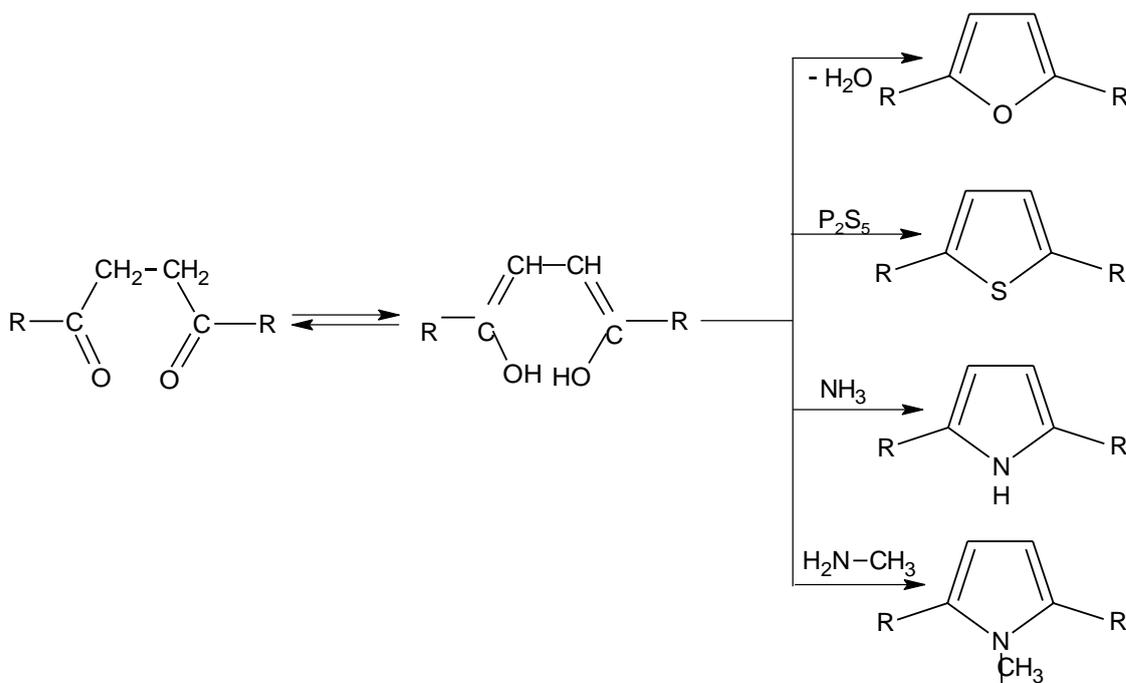


### Пятичленные гетероциклы

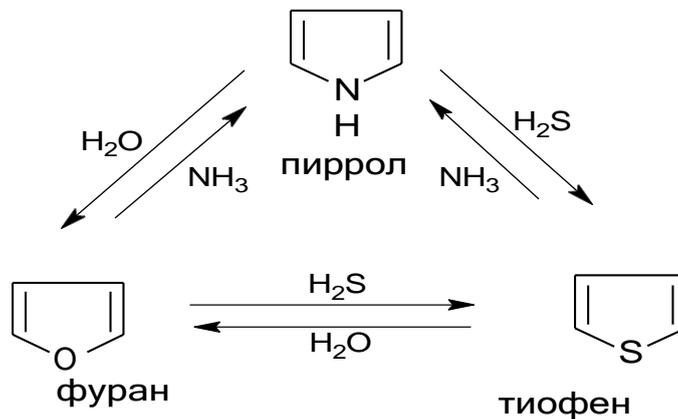
Основными представителями пятичленных ароматических гетероциклов являются пиррол, тиофен и фуран.

### Получение.

- из 1,4-диоксо соединений

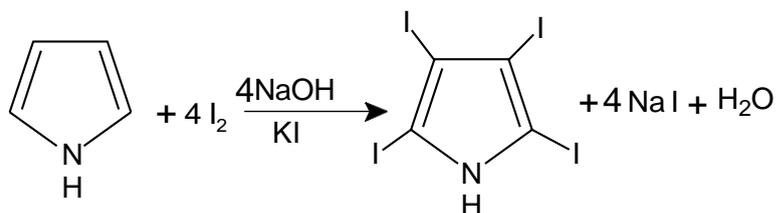


- реакция Юрьева, реакция протекает при температуре 300° С и каталитическом действии оксида алюминия



### Свойства.

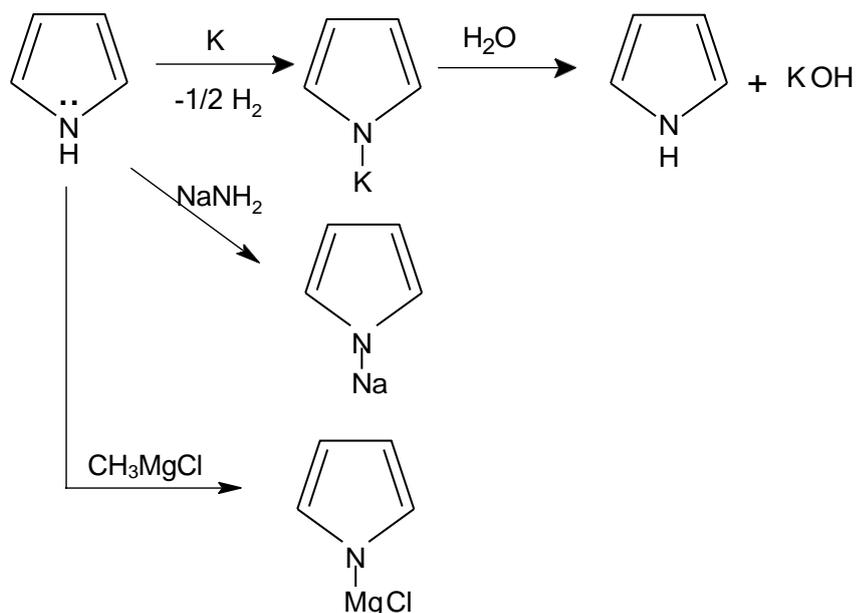
- реакции электрофильного замещения (суперароматичность)



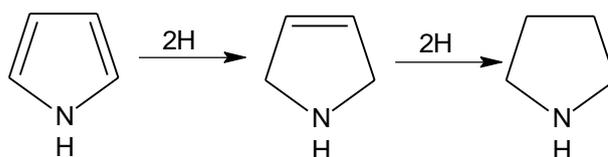
Для всех пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом наиболее реакционноспособным является  $\alpha$ -положение.

Большинство электрофильных агентов являются кислотами или потенциальными кислотами и поэтому не могут быть непосредственно применены для реакций с ацидофобными производными пиррола, фурана и тиофена. Обычно применяют комплексы этих агентов с пиридином или диоксаном (Терентьев А.П.)

- пиррол не обладает основными свойствами, но проявляет слабые кислотные свойства, при взаимодействии с натрием, калием или амидом натрия NH-группа пиррола образует легко гидролизующиеся пирролнатрий или пирролкалиий:



- гидрирование водородом в момент выделения:

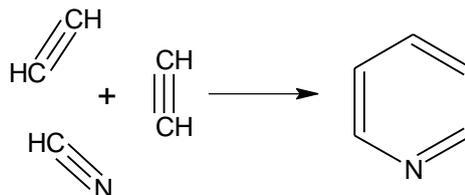


### Шестичленные гетероциклы.

Простейший азотсодержащий шестичленный гетероцикл – пиридин.

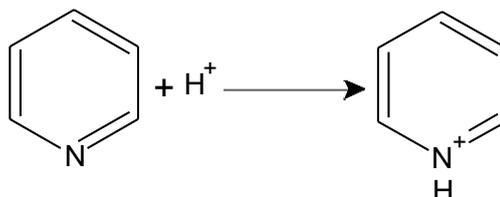
#### Получение.

Пропусканием смеси ацетилена с синильной кислотой через раскаленную трубку:

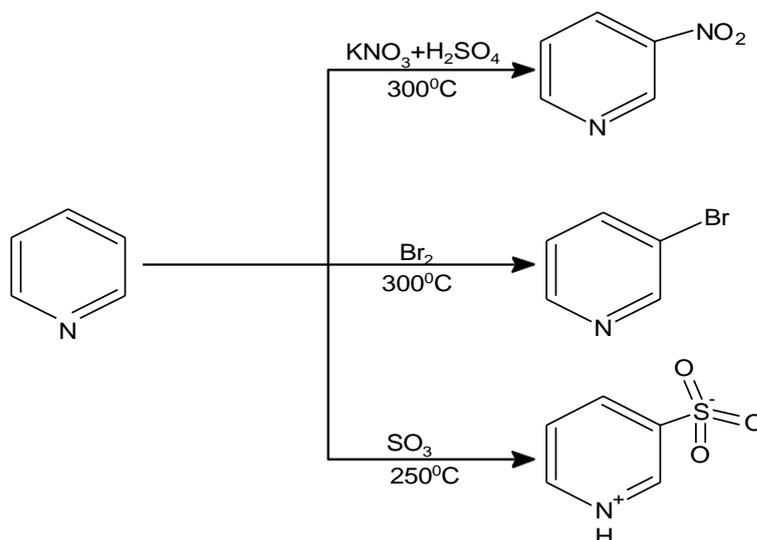


#### Свойства.

- взаимодействие с кислотами:



- электрофильное замещение (преимущественно в 3-е положение)



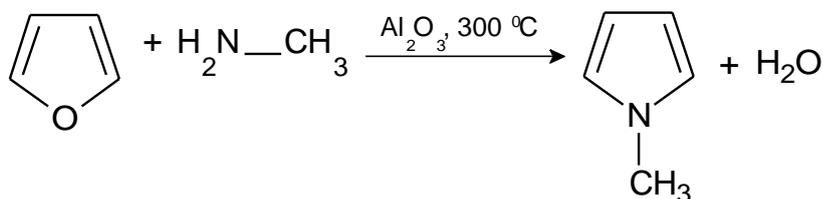
### Примеры решения задач

1. Назовите соединения, которые получатся в результате реакции Юрьева (нагревание гетероциклов с соответствующим реагентом над оксидом алюминия при 450° С) из следующих смесей:

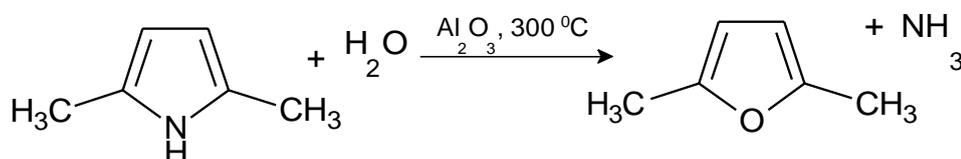
- фуран + пропиламин;
- 2,5-диметилпиррол + вода;

*Решение.* Реакция Юрьева – это реакция взаимного перехода пятичленных гетероциклов; реакция протекает при температуре 300° С и каталитическом действии оксида алюминия.

а) Таким образом, действуя на фуран метиламином, получаем N-метил пиррол:

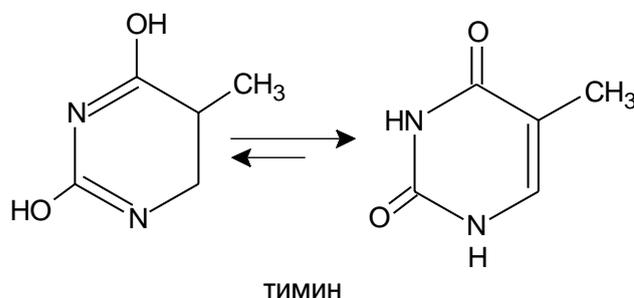


б) Действуя на 2,5-диметилпиррол водой в условиях реакции Юрьева получаем 2,5-диметилфуран:



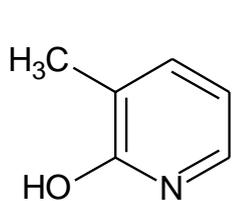
2. Напишите таутомерные формы для тимина.

*Решение.* Тимин (5-метил-2,4-диоксипиримидин) – производное пиримидина, одно из пяти азотистых оснований, входящих в состав нуклеиновых кислот. Для тимина характерны две таутомерные формы (более устойчива диоксо-форма):

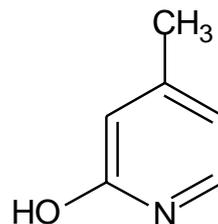


3. Напишите структурные формулы ароматических соединений с брутто-формулой  $\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$ .

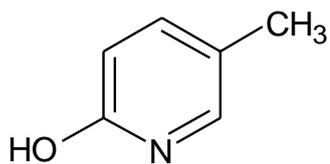
4. *Решение.* Брутто-формуле  $\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$  соответствуют изомеры гидроксиметилпиридина. Существуют 4 изомера, содержащих гидроксильную группу во втором положении:



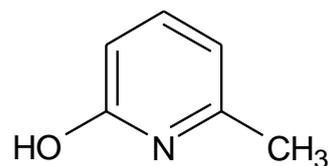
2-гидрокси-3-метилпиридин



2-гидрокси-4-метилпиридин

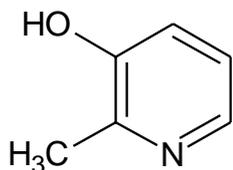


2-гидрокси-5-метилпиридин

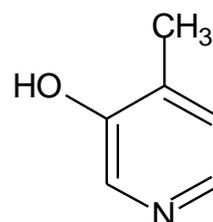


2-гидрокси-6-метилпиридин

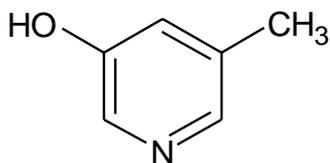
Существуют также 4 изомера, содержащих гидроксильную группу в 3-м положении:



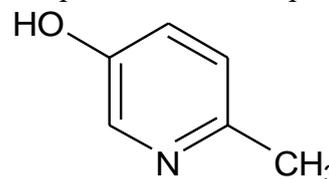
3-гидрокси-2-метилпиридин



3-гидрокси-4-метилпиридин

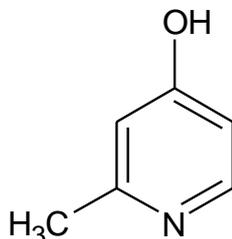


3-гидрокси-5-метилпиридин

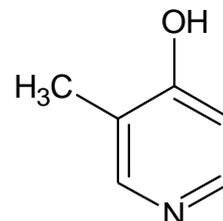


3-гидрокси-6-метилпиридин

Кроме того, есть два изомера, содержащих гидроксильную группу в четвертом положении:

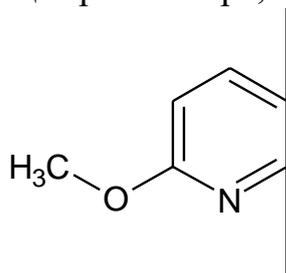


4-гидрокси-2-метилпиридин

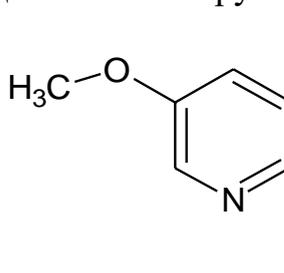


4-гидрокси-3-метилпиридин

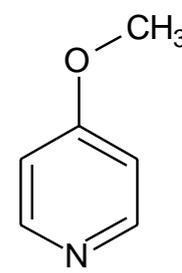
И еще три изомера, содержащих метокси-группу:



2-метоксипиридин



3-метоксипиридин



4-метоксипиридин

5. Рассчитайте массу соли, которая образуется при взаимодействии 25 г 3-метилпиридина с 80 г раствора соляной кислоты (массовая доля кислоты 30 %).

*Решение.* Записываем уравнение реакции между 3-метилпиридином и соляной кислотой:



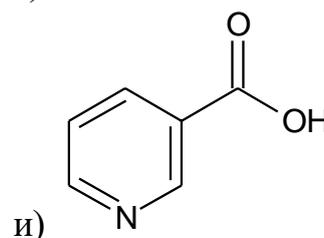
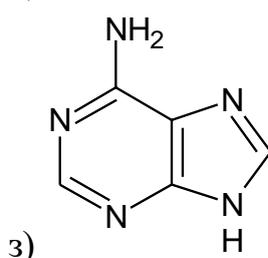
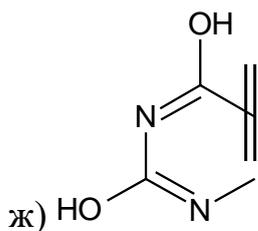
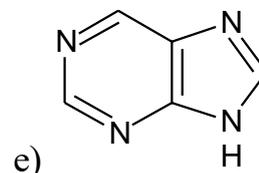
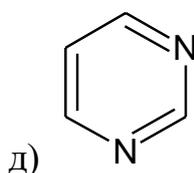
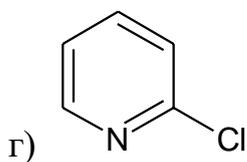
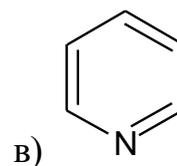
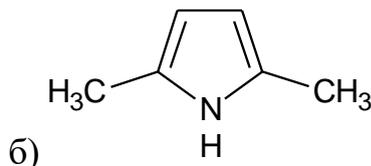
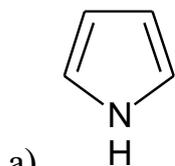
б) 2-бромтиофен;  
в)  $\alpha, \alpha'$ -диметилпиррол;

д)  $\beta$ -пиридинсульфо кислота;  
е) 4-индолкарбоновая кислота.

14.2. Напишите структурные формулы следующих соединений:

а) цитозин; д) пурин;  
б) 2-аминопиридин; е) тимин;  
в) 1-метилпиррол; ж) 6-аминопурин;  
г) урацил; з) гуанин.

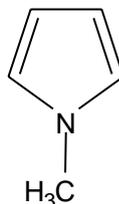
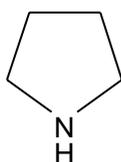
14.3. Назовите следующие соединения по номенклатуре IUPAC:



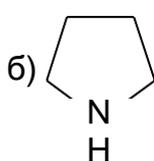
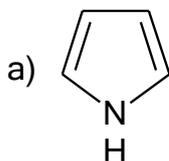
14.4. Напишите структурные формулы всех изомерных диметилпирролов. Назовите их.

14.5. Напишите структурные формулы всех изомерных диметилпиридинов. Назовите их.

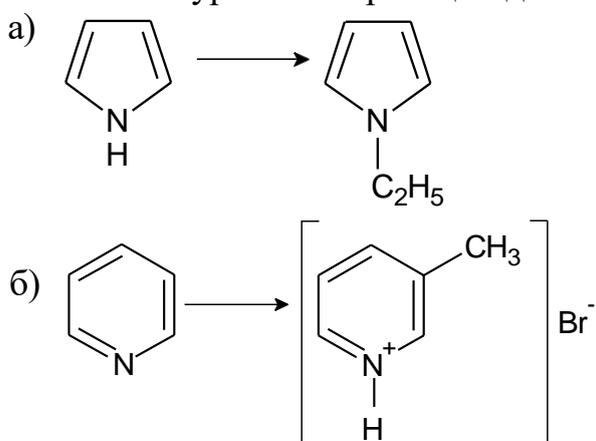
14.6. Напишите уравнения реакций получения следующих соединений из фурана:



14.7. Сравните основные свойства пиррола и пирролидина. Объясните различия в свойствах.



- 14.8. Объясните различие в основных свойствах пиридина и пиррола.
- 14.9. Назовите соединения, которые получатся в результате реакции Юрьева (нагревание гетероциклов с соответствующим реагентом над оксидом алюминия при 450° C) из следующих смесей:  
а) тиофен + пропиламин;                      в) 2,5-диметилфуран + бутиламин;  
б) фуран + анилин;                                г) 2-метилпиррол + вода.
- 14.10. При действии металлического калия на пиррол образуется пирролкалий. При взаимодействии пирролкалия с иодметаном получается гомолог пиррола. Напишите уравнения реакций и назовите полученное вещество.
- 14.11. Напишите уравнения реакций для осуществления следующих превращений:



- 14.12. Напишите структурные формулы трёх ароматических соединений различного типа с молекулярной формулой C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub>.
- 14.13. Напишите таутомерные формы для гетероциклов:  
а) урацил;  
б) цитозин;  
в) гуанин.
- 14.14. Назовите реагенты, которые используют в реакции Юрьева для взаимного превращения гетероциклов пиррола, фурана, тиофена. Приведите уравнения реакций.
- 14.15. Рассчитайте массу соли, которая образуется при взаимодействии 40 г пиридина с 200 г раствора серной кислоты (массовая доля серной кислоты в растворе 35 %), если массовая доля выхода соли составляет 95 %.
- 14.16. При сгорании смеси пиридина и пиримидина массой 15,9 г образовался диоксид углерода объёмом 19,6 л. Определите массовые доли пиридина и пиримидина в смеси.

14.17. Смесь пиррола и пиридина разделили на две равные части, к первой части смеси добавили избыток соляной кислоты, в результате образовалась соль массой 20,8 г (массовая доля выхода 90 %). Ко второй части смеси добавили гидрид калия, в результате образовалась соль массой 31,5 г. Определите массовые доли пиррола и пиридина исходной смеси.

## Приложения

### Номенклатура органических соединений

Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК, англ. International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) рекомендовал для использования номенклатуру, получившую название *номенклатура IUPAC*. Правила IUPAC опубликованы в дополнительном (шестом) томе «Справочника химика» (М., Химия, 1968) и в книге «Номенклатурные правила ИЮПАК по химии» (Органическая химия. М., ВИНТИ, 1979. Т.2).

Правила, предложенные комиссией IUPAC, допускают некоторые разночтения, так как они сформулированы исходя из звучания на английском языке. Поэтому каждой стране было предоставлено право менять и приспосабливать правила к особенностям своего языка. Отчасти это сделано и в России. Поэтому при чтении научной литературы могут встретиться несколько различающиеся по форме названия одного и того же вещества, например при пользовании алфавитным признаком, который существенно отличает русский текст от английского, или при расстановке цифр.

#### **Ациклические углеводороды.**

Предельные углеводороды (алканы). Первые четыре представителя ряда насыщенных углеводородов (алканов) имеют тривиальные названия: метан, этан, пропан, бутан. Названия последующих углеводородов производят от греческих числительных с суффиксом *-ан*. Углеводороды, в которых атомы углерода расположены в одну цепь, называют нормальными.

Таблица 1. Названия предельных углеводородов

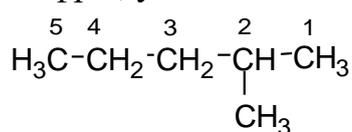
Формула углеводорода	Название	Формула углеводорода	Название
$C_5H_{12}$	Пентан	$C_{11}H_{24}$	Ундекан
$C_6H_{14}$	Гексан	$C_{12}H_{26}$	Додекан
$C_7H_{16}$	Гептан	$C_{13}H_{28}$	Тридекан
$C_8H_{18}$	Октан	$C_{14}H_{30}$	Тетрадекан
$C_9H_{20}$	Нонан	.....	.....
$C_{10}H_{22}$	Декан	$C_{20}H_{42}$	Эйкозан

Радикалы называют, заменяя суффикс *-ан* в названии углеводорода на *-ил*:

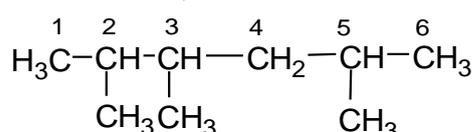
метил	$CH_3-$
этил	$CH_3-CH_2-$
пропил	$CH_3-CH_2-CH_2-$
бутил	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-$
пентил	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-$ и т.д.

Разветвлённые насыщенные углеводороды называют исходя из названия самой длинной нормальной цепи и добавляя в качестве приставки названия боковых радикалов, приведенных в табл. 2.

Для этого цепь нумеруют. Направление нумерации выбирают так, чтобы цифры, указывающие положение заместителей, были наименьшими:

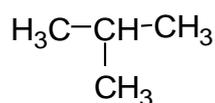


2-метилпентан

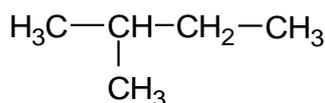


2,3,5-триметилгексан  
(но не 2,4,5-триметилгексан)

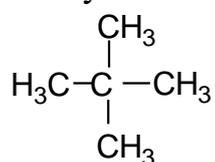
Для простейших углеводородов изостроения сохраняются их несистематические названия:



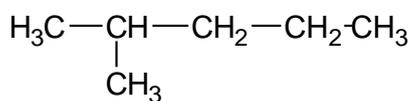
изобутан



изопентан

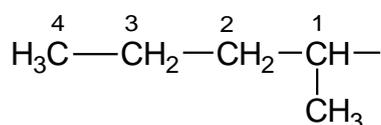


неопентан

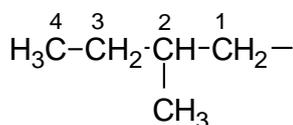


изогексан

При построении названия сложных радикалов нумерацию их атомов начинают от углеродного атома со свободной валентностью:



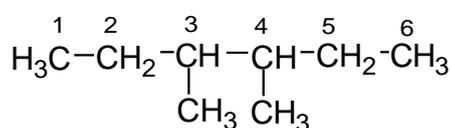
1-метилбутил



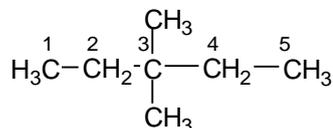
2-метилбутил

Если в алкане несколько разных боковых цепей, то их названия перечисляют в алфавитном порядке.

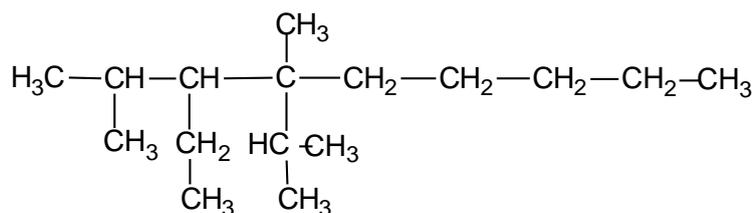
Наличие нескольких одинаковых радикалов обозначается приставками *ди-*, *три-*, *тетра-*, *пента-* и т.д. Эти приставки не влияют на алфавитное положение заместителей



3,4-диметилгексан

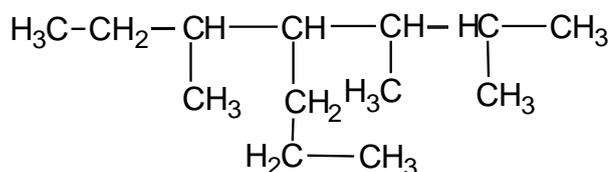


3,3-диметилпентан



5-изопропил-2,5-диметил-4-этилнонан

Если в разветвлённом углеводороде имеются цепи равной длины, то в качестве главной цепи выбирают наиболее разветвлённую:



2,3,5-триметил-4-пропилгептан

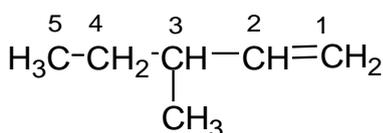
Таблица 2. Названия важнейших радикалов.

Радикал	Название	Радикал	Название
$\text{H}_3\text{C}-$	Метил-		Фенил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-$	Этил-		Толил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	<i>n</i> -Пропил-		Бензил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3$ 	Изопропил (пропил-2)		Бензилиден
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3$ 	<i>n</i> -Бутил <i>втор.</i> -Бутил		Стирил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-$ 	Изобутил (2-метилпропил-1)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CH}-$	Бензгидрил
$\text{H}_3\text{C}-\text{C}-$ 	<i>трет.</i> -Бутил	$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{C}-$	Тритил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ 	<i>n</i> -Пентил Изопентил		Бифенил
$\text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-$ 	Неопентил		1-Нафтил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-$ 	<i>трет.</i> -Пентил		2-Нафтил
$\text{H}_2\text{C}==$	Метилен		2-Фурил
$\text{HC}==$	Метин		
$\text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{CH}-$	Этилиден		
$-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}_2-$	Этилен		
$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_2-$	Триметилен		
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-$	Винил		
$\text{HC}=\text{C}-$	Этинил		
$\text{H}_2\text{C}=\text{C}==$	Винилиден		

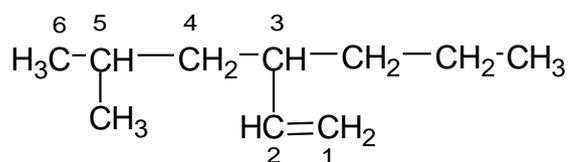
Радикал	Название	Радикал	Название
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-$	Пропенил		3-Фурил
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	Аллил		Фурфурил
$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-$	Изопропенил		Фенацил
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$	1-Бутенил	$\text{H}_3\text{CSO}_2-$	Мезил
$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	2-Бутенил		Фенэтил
$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}_2-$	Метилаллил (металлил)		Фенилацетил
	Тенил		Фурил
	Тиенил		Никотиноил
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$	Ацетил	$\text{H}_3\text{CO}-$	Метокси-
$\text{H}_5\text{C}_6-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$	Бензоил	$-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$	Метилендиокси-
$\text{H}_5\text{C}_6-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-$	Ацетиламино-		Тозил (только для <i>n</i> -изомера)
	Анилино-		Амидино-
	Толуидино-		
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-$	Ацетонил		
$\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-$	Уреидо-		

Этиленовые углеводороды (алкены). Названия ненасыщенных углеводородов с одной двойной связью (алкены) образуют, заменяя суффикс *-ан* в соответствующем алкане на *-ен*. В качестве главной выбирают самую длинную углеродную цепь, содержащую двойную связь, и нумеруют ее так, чтобы двойная связь получила наименьший порядковый номер<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Правила IUPAC нестрого регламентируют место цифры, обозначающей положение двойной связи. Ее ставят вслед за суффиксом *-ен*, обозначающим двойную связь, или выносят вперед, ставя перед корнем слова, но после префиксов, обозначающих заместители.



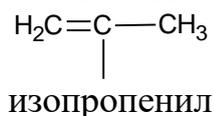
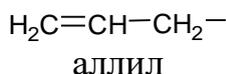
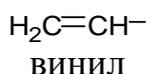
3-метилпентен-1  
(или 3-метил-1-пентен)



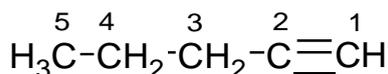
5-метил-3-пропилгексен-1  
(или 5-метил-3-пропил-1-гексен)

Для углеводорода  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  сохраняется несистематическое название – этилен.

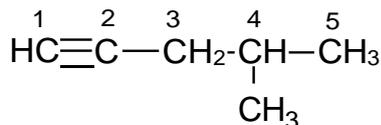
Одновалентные радикалы, образованные от алкенов, имеют суффикс –енил. Для некоторых простейших радикалов сохраняются несистематические названия:



Ацетиленовые углеводороды (алкины). Названия ненасыщенных углеводородов с одной тройной связью (алкины) образуют от названия соответствующих алканов, заменяя суффикс –ан на –ин. Выбирают самую длинную цепь, содержащую тройную связь, и нумеруют её так, чтобы положению тройной связи соответствовал наименьший номер:



пентин-1  
(или 1-пентин)

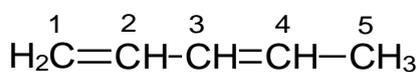


4-метилпентин-1  
(или 4-метил-1-пентин)

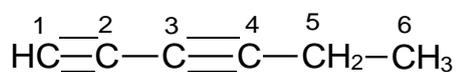
Для  $\text{HC}\equiv\text{CH}$  сохраняется несистематическое название – ацетилен.

Одновалентные радикалы, образованные из алкинов, имеют суффикс –инил, например этинил  $\text{HC}\equiv\text{C}-$ .

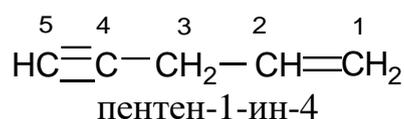
Полиненасыщенные углеводороды (полиены). Ненасыщенные ациклические углеводороды с двумя, тремя и более двойными связями получают суффиксы соответственно –диен, –триен и т.д. Углеводороды с двумя, тремя и более тройными связями получают суффиксы соответственно –диин, –триин и т.д. Углеводороды, имеющие как двойные, так и тройные связи, получают суффиксы –енин, –диенин и т.д. Нумерация производится так, чтобы сумма цифр, обозначающих положение кратных связей, была наименьшей. При прочих равных условиях наименьший номер дают атому двойной, а не тройной связи:



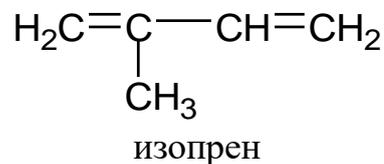
пентадиен-1,3



гексадиин-1,3

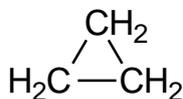


Сохраняются следующие несистематические названия:

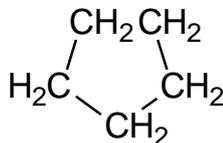


### Карбоциклические углеводороды

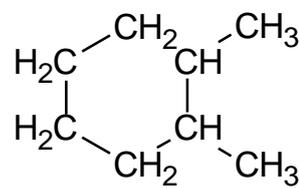
Циклоалканы. Насыщенные углеводороды с карбоциклическими кольцами (циклоалканы) называют, добавляя приставку *цикло-* к названию соответствующего нормального алкана:



циклопропан

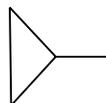


циклопентан

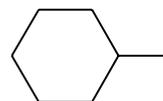


1,2-диметилциклогексан

Одновалентные радикалы, образованные от циклоалканов, называют, заменяя окончание *-ан* на *-ил*:

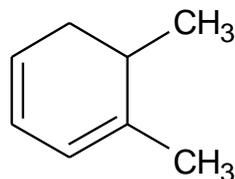


циклопропил



циклогексил

Ненасыщенные циклические углеводороды называют, заменяя окончание *-ан* в соответствующих циклоалканах на *-ен*, *-диен* и т. д. Положение двойных и тройных связей обозначают по возможности наименьшими цифрами:



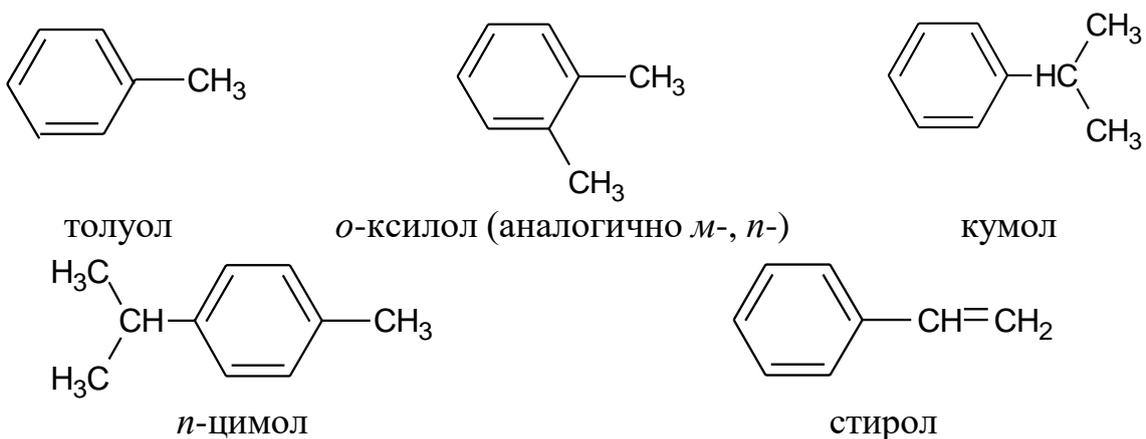
4,5-диметилциклогексадиен-1,3

Ароматические углеводороды (арены). Моноциклические и полициклические ароматические углеводороды называют *арены*. Систематическое название углеводорода  $\text{C}_6\text{H}_6$  — бензол<sup>2</sup>.

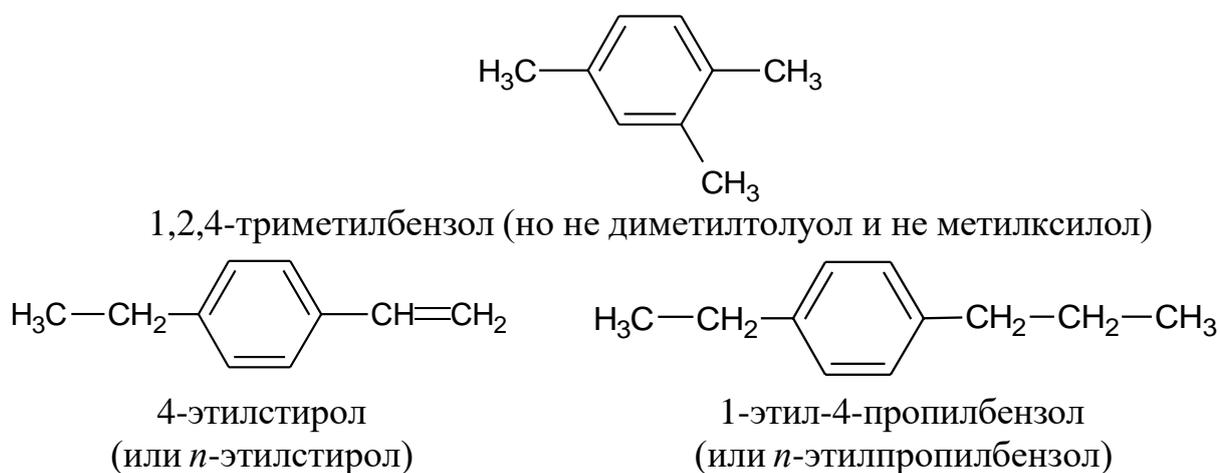
Сохраняются названия:

<sup>2</sup> По правилам IUPAC рекомендуется ввести вместо традиционных названий с суффиксом *-ол* более соответствующие общей системе названия бензен, толуен, кумен, цимен, стирен. Однако эти названия пока еще

очень трудно приживаются.

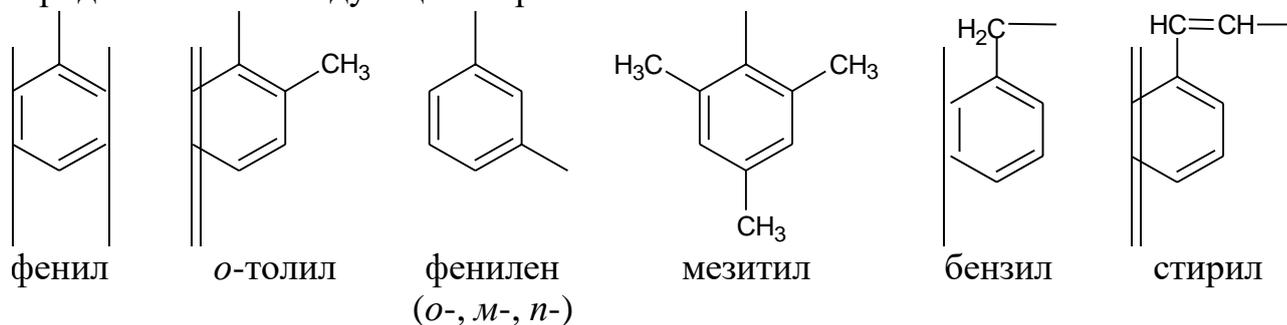


Другие ароматические углеводороды рассматривают как производные бензола либо как производные вышеназванных углеводородов, если вводимый заместитель не идентичен уже имеющемуся в данном соединении. Положение заместителей обозначают наименьшими номерами или терминами *орто*-, *мета*-, *пара*- (*o*-, *m*-, *p*-):

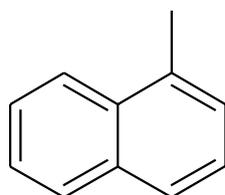


Названия радикалов ароматических углеводородов:

В конденсированных полициклических углеводородах углеродные атомы следующим образом нумеруют

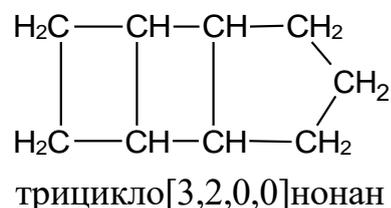
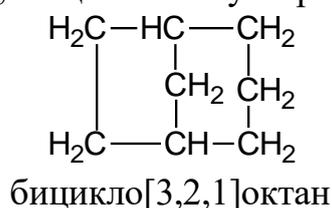


Одновалентные радикалы, образованные от конденсированных полициклических углеводородов, сохраняют их нумерацию. Место свободной валентности обозначают соответствующей цифрой: например



нафтил-1 (или 1-нафтил)

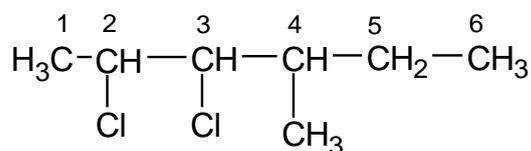
**Полициклические структуры.** Эти структуры называют по системе Байера. Согласно этой системе выбирается самый большой цикл в структуре. Его атомы нумеруют, начиная с узловых атомов, первые номера получают атомы самого длинного мостика. Последними нумеруются атомы внутренних мостиков. В названии указывается число циклов, число атомов во всех мостиках, соединяющих узловые атомы (в порядке уменьшения числа атомов в них), и, наконец, общее число углеродных атомов в системе:



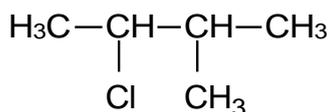
Заместители и их положение обозначаются обычным образом. Для наименования терпенов и стероидов применяют специальные правила.

### Галогенопроизводные

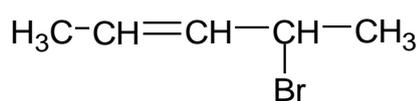
Галогенопроизводные углеводородов называют, прибавляя в качестве приставки название галогена к названию родоначального углеводорода. Нумеруют цепь или атомы цикла так, чтобы галоген получил наименьший номер. Если цепь ненасыщена, то предпочтение в нумерации отдаётся центрам ненасыщенности. Сумма номеров, указывающих положение заместителей, перечисляемых в приставках, должна быть наименьшей; перечисление заместителей идет в алфавитном порядке:



4-метил-2,3-дихлоргексан



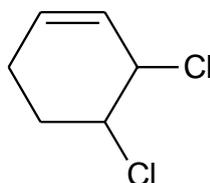
3-метил-2-хлорбутан



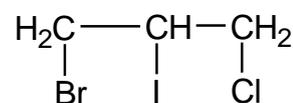
4-бромпентен-2



1,4-дибромбензол



3,4-дихлорциклогексен

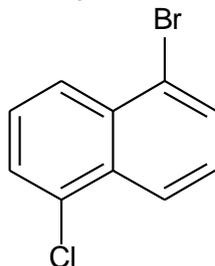


1-бром-2-иод-3-

(или *n*-дибромбензол)

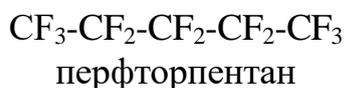
хлорпропан

В галогенопроизводных конденсированных полициклических углеводородах сохраняется нумерация углеводородов:

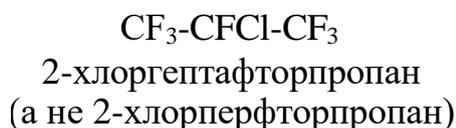


1-бром-5-хлорнафталин

Если в углеводороде все водородные атомы замещены на атомы одного галогена, то такие углеводороды называют пергалогеноуглеводородами:



но



Для простейших галогенопроизводных допускаются названия по их радикалам: метилхлорид  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , *трет.*-бутилхлорид  $(\text{CH}_3)_3\text{CCl}$ , бензилхлорид  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$ . Для галогенопроизводных метана разрешено использовать такие названия, как метиленхлорид  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , хлороформ  $\text{CHCl}_3$ , бромформ  $\text{CHBr}_3$ , йодоформ  $\text{CHI}_3$ .

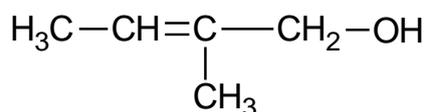
### Спирты, фенолы и их производные

Спирты называют по самой длинной углеродной цепи, содержащей гидроксил, добавляя к названию углеводорода окончание *-ол*. Нумеруют цепь так, чтобы гидроксильная группа получила возможно меньший номер. Наличие в соединении двух и более гидроксильных групп обозначают соответственно окончаниями *-диол*, *-триол* и т. д.

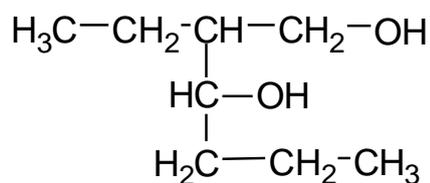
Простейшие спирты можно называть по радикалу родоначального соединения: метиловый спирт  $\text{CH}_3\text{OH}$ , изопропиловый спирт  $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$  (но не изопропанол), *трет.*-бутиловый спирт  $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ .

За некоторыми спиртами сохраняются тривиальные названия:



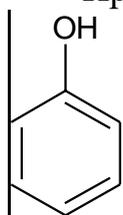


2-метил-2-бутен-1-ол  
(или 2-метилбутен-2-ол-1)

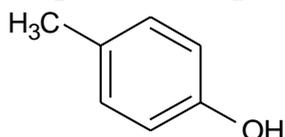


2-этилгександиол-1,3

Простые фенолы сохраняют тривиальные названия:

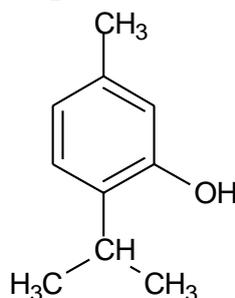


фенол

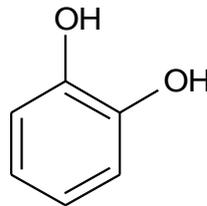


*p*-крезол

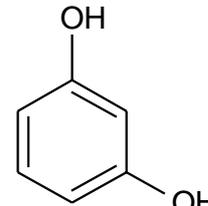
(аналогично *o*-, *m*-)



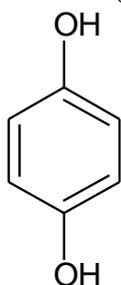
тимол



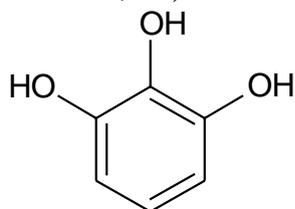
пирокатехин  
(пирокатехол)



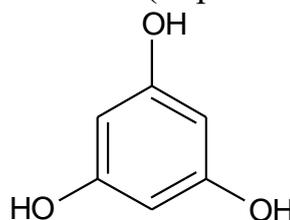
резорцин  
(резорцинол)



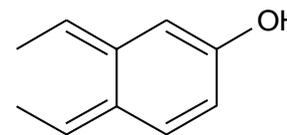
гидрохинон



пирогаллол



флороглюцин  
(флороглюцинол)



нафтол-2  
(или 2-нафтол)

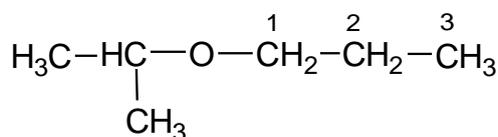
Названию OH-группы спиртов и фенолов в сложных системах соответствует приставка *окси-*(гидрокси-) к названию основы соответствующего соединения.

Простые эфиры называют, прибавляя к названию углеводорода приставку *алкокси-*(RO) или *арилокси-*(ArO).

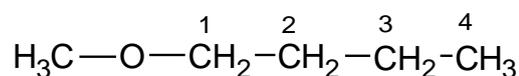
За основу соединения принимают старший компонент:  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$  – метоксиэтан, а не этоксиметан.

Некоторые алкокси- и арилоксигруппы имеют сокращенные названия: метокси-  $\text{CH}_3\text{O-}$ , этокси-  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O-}$ , пропокси-  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-}$ , изопропокси-  $(\text{CH}_3)_2\text{CH-O-}$ , бутокси-  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-}$ , изобутокси-  $(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_2\text{-O-}$ , фенокси-  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O-}$ .

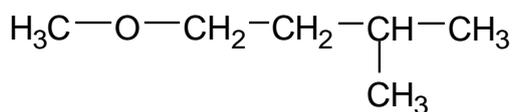
Примеры названий простых эфиров:



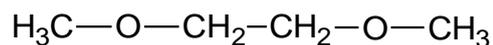
1-изопропоксипропан



1-метоксибутан



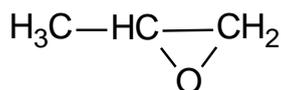
1-метокси-3-метилбутан



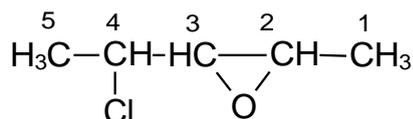
1,2-диметоксиэтан

В ароматическом ряду сохраняются многие тривиальные названия: анизол  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OCH}_3$ , фенол  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  и т.д.

Циклические простые эфиры – органические окиси – называют, прибавляя к названию углеводорода приставку *эпокси-*, с указанием двух номеров соответствующих углеродных атомов цикла:



1,2-эпоксипропан

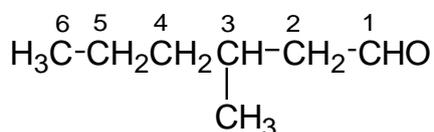


4-хлор-2,3-эпоксипентан

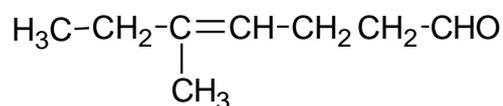
Если через кислород соединены не соседние атомы углерода, то соединения относятся к классу гетероциклов.

### Альдегиды и кетоны

Алифатические альдегиды называют по самой длинной углеродной цепи, прибавляя к названию алифатического углеводорода окончание *-аль*. Наличие в соединении двух альдегидных групп обозначается окончанием *-диаль*. Нумерацию цепи начинают от углеродного атома, принадлежащего альдегидной группе. В названии номер при альдегидной группе, как правило, не ставят:

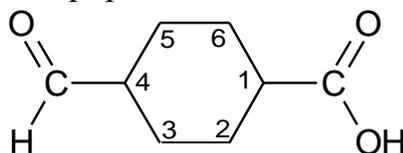


3-метилгексаналь



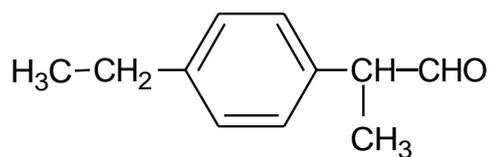
5-метилгептен-4-аль  
(или 5-метил-4-гептеналь)

Если в соединении имеется другая группа, имеющая преимущество в перечислении как главная группа, то альдегидную группу в алициклических соединениях называют приставкой *формил-*:



4-формилциклогексановая кислота

Циклические соединения с альдегидной группой в боковой цепи рассматривают как замещенные алифатические альдегиды. Название производят от названия алифатического альдегида и радикала в качестве приставки (допускается тривиальное название альдегида):



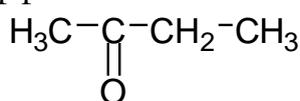
2(4-этилфенил)пропаналь

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

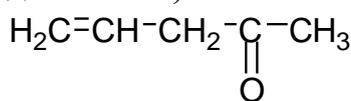
Формальдегид	$\text{CH}_2\text{O}$
Ацетальдегид	$\text{CH}_3\text{-CHO}$
Пропиональдегид	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$
Бутиральдегид	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHO}$
Изобутиральдегид	$(\text{CH}_3)\text{CH-CHO}$
Валеральдегид	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2)_3\text{-CHO}$
Изовалеральдегид	$(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_2\text{-CHO}$
Акролеин (акриальдегид)	$\text{CH}_2=\text{CH-CHO}$
Кротоноальдегид	$\text{CH}_3\text{-CH=CH-CHO}$
Бензальдегид	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CHO}$

Имеются исключения, например, глиоксаль:  $\text{O=CH-CH=O}$ .

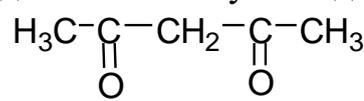
Названия алифатических и алициклических кетонов образуют, прибавляя суффикс *-он* или *-дион* (для дикетонов) к названию родоначального углеводорода:



бутанон-2  
(или 2-бутанон)

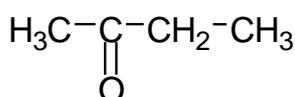


пентен-4-он-2

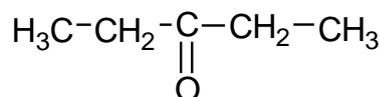


2,4-пентандион  
(или пентандион-2,4)

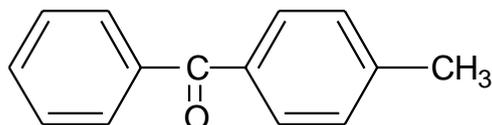
Допускаются названия кетонов по радикальному принципу; при этом называют радикалы при кетогруппе в порядке возрастания сложности и в конце названия ставят слово *-кетон*:



метилэтилкетон



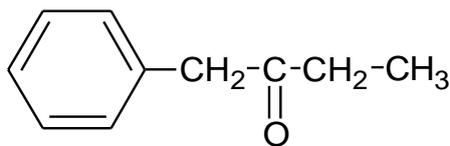
диэтилкетон



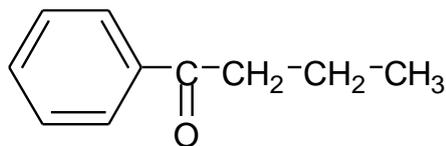
фенил *n*-толилкетон

Карбоциклические кетоны с кетонной группой в боковой цепи называют по радикалам. Кроме того, допускаются названия по алифатическому кетону или по циклической структуре. В последнем случае боковая цепь называется, как остаток

кислоты. Название имеет окончания *-офенон*, *-онафтон* (допустимо только для бензола и нафталина):

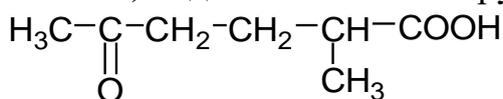


1-фенилбутанон-2

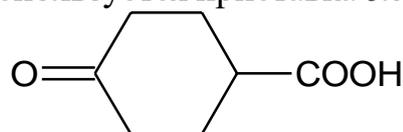


бутирофенон  
(или 1-фенилбутанон-1)

Кетоны  $C_6H_5-CO-C_6H_5$  и  $C_6H_5-CO-CH_3$  называют бензофенон и ацетофенон. Если в соединении имеется другая группа, имеющая преимущество в перечислении как главная, то для обозначения группы  $C=O$  используется приставка *оксо-*



2-метил-5-оксогексановая кислота



4-оксоциклогексанкарбоновая  
кислота

Для некоторых кетонов допускаются тривиальные названия:

Ацетон



Окись мезитила



Диацетил

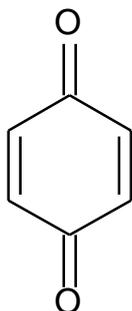


Бензил (или дибензоил)

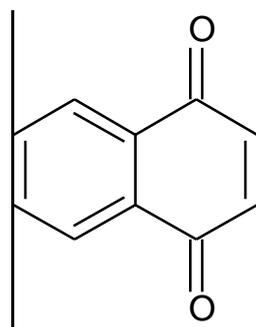


Сохраняются тривиальные названия радикалов: ацетонил  $CH_3-CO-CH_2-$ , фенацил  $C_6H_5-CO-CH_2-$ .

Дикетоны ароматического ряда с кетонными группами в ядре называют сокращенным названием ароматического углеводорода, добавляя суффикс *-хинон*. Положения кетонных групп указывают номерами или соответствующими терминами (*o-*, *m-*, *p-*):



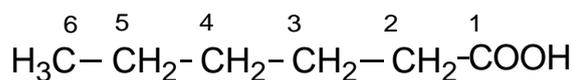
*p*-бензохинон



1,4-нафтохинон

### Карбоновые кислоты и их производные

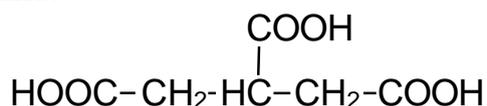
Алифатические кислоты называют, прибавляя к названию родоначального углеводорода суффикс *-овая* (для дикарбоновых *-диовая*) *кислота*. Нумерацию алифатических кислот всегда производят так, что наименьший номер дается карбоксильной группе:



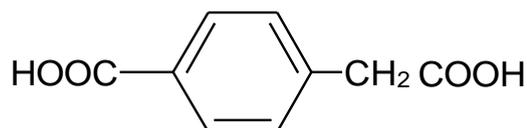
гексановая кислота

Для простых структур рекомендуется применять тривиальные названия.

Карбоксильная группа может быть обозначена приставкой *карбоксо*-, если она присоединена к группе, названной как заместитель, или если присутствует в соединении другая группа, имеющая преимущество в перечислении как главная группа:



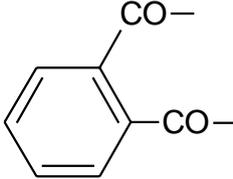
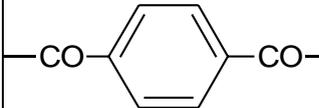
3-карбоксихлутаровая кислота



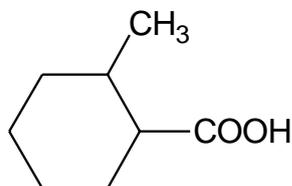
*n*-карбоксифенилуксусная кислота

Таблица 3. Названия некоторых кислот и их радикалов

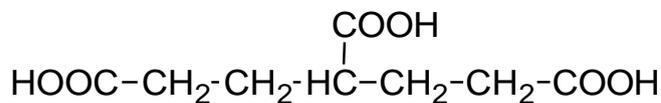
Название кислоты		Название радикала	Формула радикала
тривиальное	систематическое		
Предельные алифатические монокарбоновые кислоты			
Метановая	Муравьиная	Формил	НСО-
Этановая	Уксусная	Ацетил	СН <sub>3</sub> СО-
Пропановая	Пропионовая	Пропионил	СН <sub>3</sub> СН <sub>2</sub> СО-
Бутановая	Масляная	Бутирил	СН <sub>3</sub> (СН <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> СО-
2-Метилпропановая	Изомасляная	Изобутирил	(СН <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> СНСО-
Пентановая	Валериановая	Валерил	СН <sub>3</sub> (СН <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> СО-
3-Метилбутановая	Изовалериановая	Изовалерил	(СН <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> СНСН <sub>2</sub> СО-
Гептановая	Энантовая	Энантоил	СН <sub>3</sub> (СН <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> СО-
Гексадекановая	Пальмитиновая	Пальмитоил	СН <sub>3</sub> (СН <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> СО-
Октадекановая	Стеариновая	Стеароил	СН <sub>3</sub> (СН <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> СО-
Предельные алифатические дикарбоновые кислоты			
Этандиовая	Щавелевая	Оксалил	-ОС-СО-
Пропандиовая	Малоновая	Малонил	-ОС-СН <sub>2</sub> -СО-
Бутандиовая	Янтарная	Сукцинил	-ОС-(СН <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -СО-
Пентандиовая	Глутаровая	Глутарил	-ОС-(СН <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -СО-
Гександиовая	Адипиновая	Адипоил	-ОС-(СН <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -СО-
Непредельные алифатические кислоты			
Пропеновая	Акриловая	Акрилоил	СН <sub>2</sub> =СН-СО-
Пропиновая	Пропиоловая	Пропиолоил	СН≡С-СО-
2-Метилпропеновая	Метакриловая	Метакрилоил	СН <sub>2</sub> =С(СН <sub>3</sub> )-СО-
<i>транс</i> -Бутен-2-овая	Кротоновая	Кротоноил	СН <sub>3</sub> СН=СНСО-
<i>цис</i> -Бутен-2-овая	Изокротоновая	Изокротоноил	«
<i>цис</i> -Октадецен-9-овая	Олеиновая	Олеоил	$\begin{array}{l} \text{HC}-(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3 \\ \parallel \\ \text{HC}-(\text{CH}_2)_7\text{CO}- \end{array}$

Название кислоты		Название радикала	Формула радикала
тривиальное	систематическое		
<i>цис</i> -Бутен-2-диовая	Малеиновая	Малеолил	-OC-CH=CH-CO-
<i>транс</i> -Бутен-2-диовая	Фумаровая	Фумароил	«
Карбоциклические кислоты			
Бензолкарбоновая	Бензойная	Бензоил	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CO-
Метилбензолкарбон овая	Толуиловая ( <i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>n</i> -)	Толуил ( <i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>n</i> -)	CH <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -CO-
1,2- Бензолдикарбоновая	Фталевая	Фталоил	
1,4- Бензолдикарбоновая	Терефталевая	Терефталоил	
<i>транс</i> -3- Фенилпропеновая	Коричная	Циннамоил	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH=CH-CO-

Группа -COOH может рассматриваться как заместитель при основной цепи. Тогда она имеет название *карбоновая кислота*:

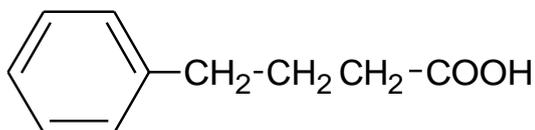


2-метилциклогексанкарбоновая  
кислота



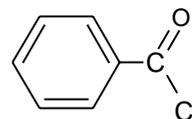
1,3,5-пентантрикарбоновая кислота

Циклические кислоты с карбоксильной группой в боковой цепи называют как замещенные алифатические кислоты:

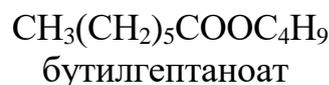


4-фенилбутановая кислота  
(или 4-фенилмасляная кислота)

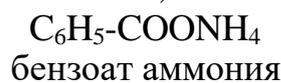
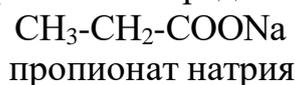
Галогеноангидриды кислот называют, прибавляя в качестве приставки к названию радикала кислоты название галогена: ацетилхлорид CH<sub>3</sub>COCl, бутирилфторид CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COF, бензоилхлорид



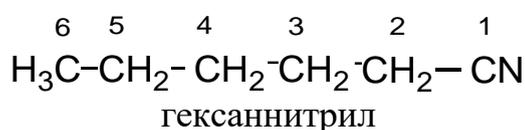
Сложные эфиры называют, прибавляя в качестве приставки название спиртового радикала к названию кислоты, в котором окончание *-овая* заменяется на *-ат* или *-оат*. Для простейших кислот используют тривиальные названия (см. табл. 3):



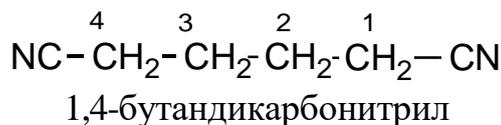
Соли кислот называют, прибавляя к видоизмененному названию радикала кислоты (в названии радикала суффикс *-ил* заменяют на *-ат*) название катиона:



Нитрилы кислот имеют суффикс *-нитрил* или *-карбонитрил*:



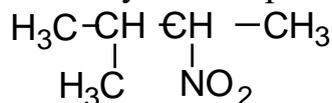
но



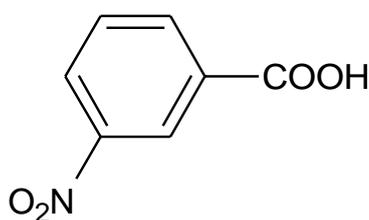
Если группа CN- называется в виде префикса, она обозначается приставкой *циано-*.

### Азотсодержащие соединения

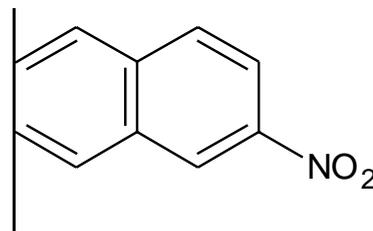
Названия нитросоединений образуют с помощью приставки *нитро-* перед названием углеводорода:



2-нитро-3-метилбутан



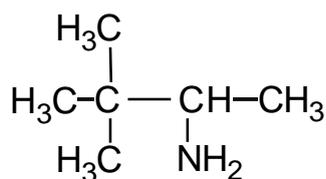
m-нитробензойная кислота



2-нитронафталин

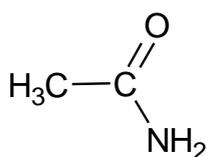
Для первичных, вторичных и третичных аминов несложного строения сохранено построение названия по старой рациональной номенклатуре: добавляют окончание *-амин* к названию радикала (а не углеводорода); в случае симметричных вторичных или третичных аминов к названию радикала прибавляют еще приставку *ди-* или *три-*: этиламин  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ , диметиламин  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ .

В случае более сложных структур название образуют с помощью приставки *амино-* перед названием углеводорода:

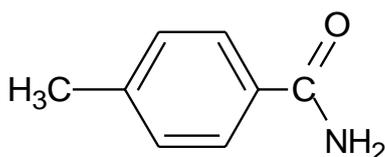


2-амино-3,3-диметилбутан

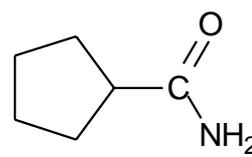
Названия амидов кислот производят от названий соответствующих кислот, меняя окончание *-овая кислота* на *-амид*, или окончание *-карбоновая кислота* на *-карбоксамид*:



ацетамид



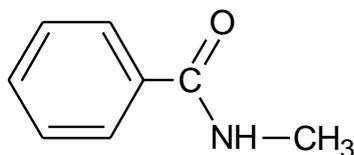
*n*-толуамид



циклопентанкарбоксамид

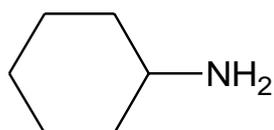
Если амид замещенный, то радикалы, связанные с азотом, указывают буквой N и называют приставками перед названием незамещенного амида;

Карбоциклические амиды называют следующим образом:

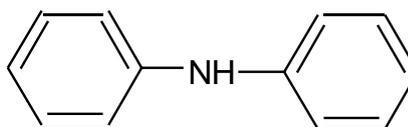


N-метилбензамид

Карбоциклические амины называют следующим образом:

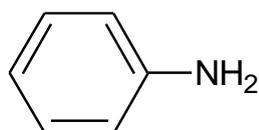


циклогексиламин

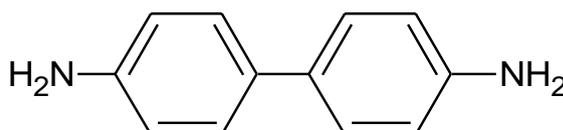


дифениламин

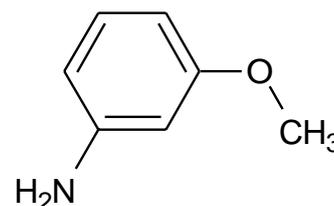
Некоторые амины сохраняют тривиальные названия:



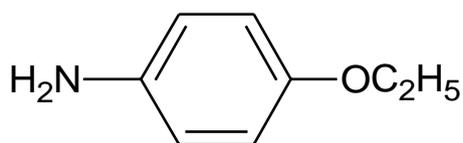
анилин



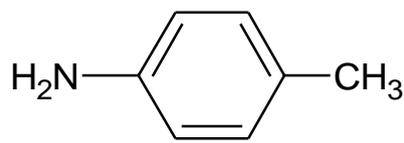
бензидин



*m*-анизидин  
(аналогично *o*-, *n*-)



*n*-фенетидин



*n*-толуидин

Радикалы от аминов называют, например, так:

$C_6H_5NH-$   
анилино-

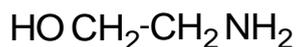
$CH_3C_6H_4NH-$   
толуидино-

$CH_3CH_2NH-$   
этиламино-

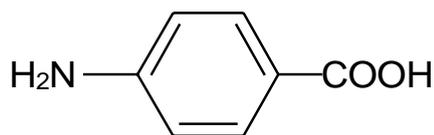
Несимметричные вторичные и третичные амины называют как N-замещенные первичные амины. В качестве родоначального первичного амина выбирают наиболее сложный радикал:

$CH_3-CH_2-CH_2N(CH_3)_2$   
N,N-диметилпропиламин

Для сложных соединений, имеющих более старшую группу (а также для азотистых гетероциклов), используют приставку *амино*<sup>3</sup>:



2-аминоэтанол

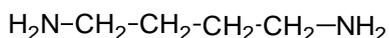


*n*-аминобензойная кислота

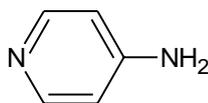
Соединения, содержащие четырехвалентный азот  $R_4N^+X^-$  (радикалы могут быть различными), называют как замещенную соль или гидроксид аммония; названия замещающих радикалов ставят перед словом «аммоний»; йодистый тетраметиламмоний (или тетраметиламмониййодид)  $[N(CH_3)_4]^+I^-$ , гидроокись триметилбензиламмония  $[C_6H_5CH_2N(CH_3)_3]^+OH^-$ .

Нитрилы обычно называют по тем кислотам, которые из них образуются при гидролизе, прибавляя суффикс *-нитрил* к названию радикала кислоты. Другой способ – добавление суффикса *-цианид* к названию радикала, с которым связана CN-группа. Если соединение содержит другую группу, имеющую приоритет в перечислении перед CN-группой, то группу CN называют приставкой *-циан* или *-циано*: ацетоитрил  $CH_3CN$ , бензоитрил  $C_6H_5CN$ , бензилцианид (или фенилацетонатрил)  $C_6H_5CH_2CN$ , циануксусная кислота  $NCCH_2COOH$ .

<sup>3</sup> Разрешено также использовать суффикс *-амин*, который присоединяется к названию не радикала, а углеводорода или гетероцикла:

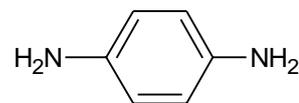


бутандиамин-1,4  
(или тетраметилендиамин)



4-пиридинамин  
(или 4-аминопиридин, 4-пиридиламин)

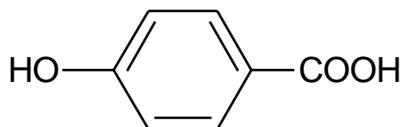
но



*p*-фенилендиамин

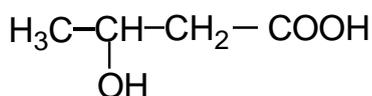
## Полифункциональные соединения

Оксикислоты называют, прибавляя приставку *окси-* или *гидрокси-* к систематическому названию кислоты.



4-оксибензойная кислота  
(*n*-оксибензойная кислота)

При нумерации в алифатических оксикислотах номер 1 дают карбоксильной группе:



3-оксибутановая кислота  
(3-оксимасляная кислота)

Названия некоторых оксикислот (систематическое - тривиальное):

оксиэтановая	гликолевая
2-оксипропановая	молочная
2,3-диоксипропановая	глицериновая
оксибутановая	яблочная
2,3-диоксибутандиовая (2,3-диоксиянтарная)	винная
<i>o</i> -оксибензойная	салициловая

Альдегидо- и кетокислоты называют, прибавляя приставку *оксо-* к систематическому названию кислоты (приставка *кето-* не рекомендована).

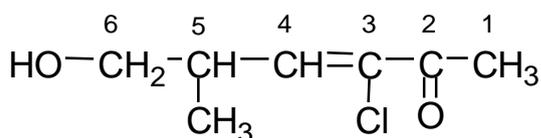
Сохраняются тривиальные названия:

ОНС-СООН	СН <sub>3</sub> -СО-СООН	СН <sub>3</sub> СОСН <sub>2</sub> СООН
глиоксильная кислота	пировиноградная кислота	ацетоуксусная кислота

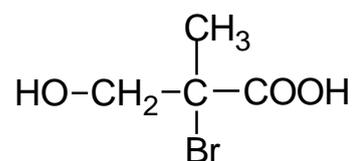
Аминокислоты называют, прибавляя к систематическому названию кислот приставку *амино-*. Для большинства природных аминокислот разрешено пользоваться тривиальными названиями: например, не аминоксусная кислота, а глицин.

*Многофункциональные соединения называют по главной функции.* В таб. 4 функциональные группы перечислены по убыванию старшинства.

Главная (старшая) группа определяет и начало нумерации. Главную группу в названии многофункционального соединения обозначают суффиксом, подчиненные (младшие) группы – приставками, в алфавитном порядке (кроме кратных связей, всегда обозначаемых суффиксами):

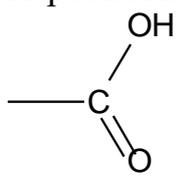
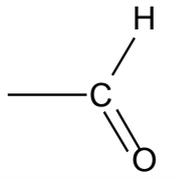
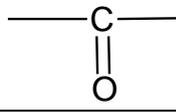


5-метил-6-окси-3-хлоргексен-3-он-2  
или 6-гидрокси-5-метил-3-хлор-3-гексен-2-он



2-бром-2-метил-3-окси-пропионовая кислота

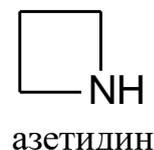
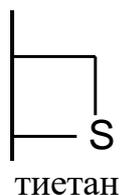
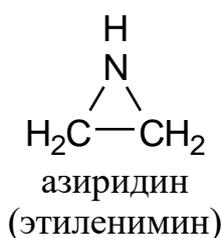
Таблица 4. Таблица старшинства основных функциональных групп (по убывающему старшинству)

№	Класс	Префикс	Суффикс
1.	Карбоновые кислоты 	карбоксо-	-овая кислота
2.	Нитрилы $-\text{C}\equiv\text{N}$	циано-	-нитрил
3.	Альдегиды 	формил-	-аль
4.	Кетоны 	оксо-	-он
5.	Спирты -ОН	окси- или гидроксо-	-ол
6.	Тиолы (меркаптаны) -SH	меркапто-	-тиол
7.	Амины -NH <sub>2</sub>	амино-	-амин
8.	Двойная связь	-	-ен
9.	Тройная связь	-	-ин
10.	Все заместители обозначаемые только префиксами в алфавитном порядке	-Br-, -Cl, -F, -I, -NO <sub>2</sub> , -OR, -SR	

### Гетероциклы

Моноциклические соединения, содержащие один или несколько гетероатомов, называют, комбинируя название приставки, соответствующей названию гетероатома (табл. 5), с названием корня, обозначающим число атомов

в кольце (табл.6). Повторение одного и того же гетероатома обозначают приставкой *ди-*, *три-* и т. д. Например,:



Если в гетероциклическом соединении два или более гетероатомов, то их перечисляют в порядке, соответствующем табл. 5; нумерацию в гетероциклах проводят в соответствии с той же таблицей:

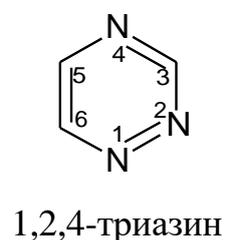
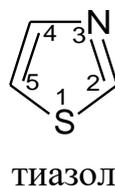
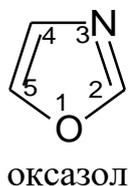
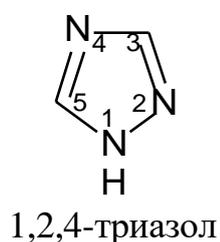


Таблица 5. Приставки, соответствующие различным гетероатомам

Элемент <sup>4</sup>	Валентность	Приставка	Элемент	Валентность	Приставка
Кислород	II	Окса- <sup>5</sup>	Мышьяк	III	Арса-
Сера	II	Тиа-	Сурьма	III	Стиба-
Селен	II	Селена-	Висмут	III	Висма-
Теллур	II	Теллура-	Кремний	IV	Сила-
Азот	III	Аза-	Ртуть	II	Меркура-
Фосфор	III	Фосфа-			

Таблица 6. Суффиксы, соответствующие различным гетероциклам

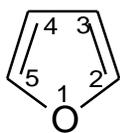
Число атомов в кольце	Кольца, содержащие азот		Кольца, не содержащие азот	
	ненасыщенные	насыщенные	ненасыщенные	насыщенные
3	-ирин	-иридин	-ирен	-иран
4	-ет	-етидин	-ет	-етан
5	-ол	-олидин	-ол	-олан
6	-ин	<sup>6</sup>	-ин	-ан

<sup>4</sup> Элементы в табл. 5 приведены в порядке убывающего старшинства.

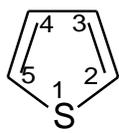
<sup>5</sup> Для удобства произношения «а» часто опускается.

<sup>6</sup> Полная насыщенность выражается добавлением приставки *пергидро-* к названию соответствующего насыщенного соединения.

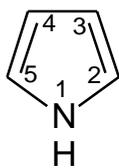
Сохраняются тривиальные названия для следующих ненасыщенных гетероциклов:



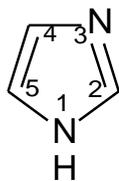
фуран



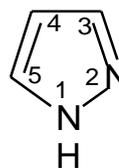
тиофен



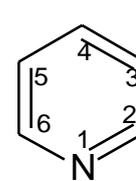
пиррол



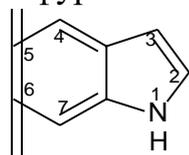
имидазол



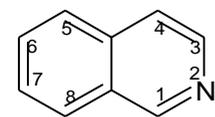
пиразол



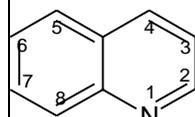
пиридин



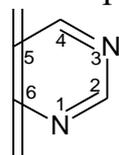
индол



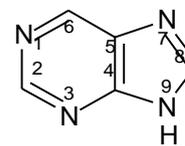
изохинолин



хинолин

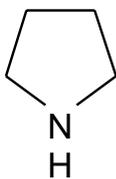


пиримидин

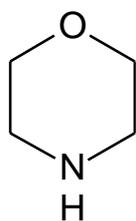


пури́н

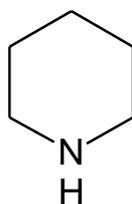
и насыщенных гетероциклов:



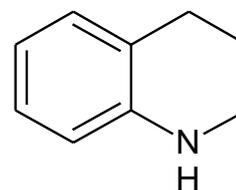
пирролидин



морфолин



пиперидин



1,2,3,4-тетрагидрохинолин

## Таблицы химических сдвигов протонов разных типов

Таблица 1.

Химические сдвиги метильных протонов (CH<sub>3</sub>).

Структурный фрагмент	δ, м.д.	Структурный фрагмент	δ, м.д.
$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv$	0,90	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}_2}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$	1,60
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\text{C}}\equiv$	0,97	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{R}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$	2,20
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\text{C}}\equiv$	1,12	$\text{H}_3\text{C}-\text{Ar}$	2,30
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}$	1,20	$\text{H}_3\text{C}-\text{N}\diagdown$	2,30
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{N}\diagdown$	1,30	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{Ar}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$	2,60
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{Cl}$	1,40	$\text{H}_3\text{C}-\text{N}\diagdown_{\text{Ar}}$	3,00
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}=\text{C}\diagdown$	1,60	$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{R}$	3,30
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{Br}$	1,66	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{O}}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{R}$	3,70
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{O}}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{R}$	2,00	$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{Ar}$	3,80

Таблица 2.

Химические сдвиги метиленовых протонов (CH<sub>2</sub>).

Структурный фрагмент	δ, м.д.	Структурный фрагмент	δ, м.д.
$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{C}\equiv$	1,40	$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}_2}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$	2,10
$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\text{C}}\equiv$	1,67	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{CN}$	2,30
$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}$	1,90	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{N}\diagdown$	2,50
$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{OR}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$	2,20	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{I}$	3,20
$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{C}}=\text{C}\diagdown$	2,30	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{Br}$	3,50
$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{R}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$	2,40	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{Cl}$	3,60
$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{Ar}$	2,70	$\text{>C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\text{O}}-\overset{\text{O}}{\text{C}}-\text{R}$	4,10
$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{R}$	3,40	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{Ar}$	4,30
$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{H}$	3,60	$\text{>C}-\text{CH}_2-\text{NO}_2$	4,40

Таблица 3.

## Химические сдвиги метиновых протонов (CH).

Структурный фрагмент	$\delta$ , м.д.	Структурный фрагмент	$\delta$ , м.д.
$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CHC} \equiv$	1,50	$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CHN} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array}$	2,80
$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \overset{ }{\text{C}} \text{OR}$	2,00	$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-C} \begin{array}{l} \text{Ar} \\ \text{=O} \end{array}$	3,30
$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-C} \begin{array}{l} \text{R} \\ \text{=O} \end{array}$	2,70	$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-Br}$	4,30
$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-Ar}$	3,00	$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-H}$	4,30
$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CHOR}$	3,70	$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-NO}_2$	4,70
$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CHON}$	3,90	$\begin{array}{c} \text{>C} \\ \text{>C} \end{array} \text{CH} \text{-O} \text{-C} \begin{array}{l} \text{R} \\ \text{=O} \end{array}$	4,80

Таблица 4.

## Химические сдвиги протонов в ненасыщенных системах.

Структурный фрагмент	$\delta$ , м.д.	Структурный фрагмент	$\delta$ , м.д.
$\text{-C} \equiv \text{C} \text{-H}$	1,8-3,2	$\text{H} \text{-C} \begin{array}{l}   \\ \text{=C} \end{array} \text{-O} \text{-}$	4,0-5,0
$\text{>C} = \text{C} \text{-H}$	4,5-6,0	$\text{H} \text{-C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \text{=O} \\ \text{O} \end{array} \text{-}$	8,0-8,2
$\text{>C} = \text{CH} \text{-C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \text{=O} \end{array}$	5,8-6,7	$\text{R} \text{-C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$	9,4-10,0
$\text{H} \text{-C} \begin{array}{l}   \\ \text{=C} \end{array} \text{-C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \text{=O} \end{array}$	6,5-8,0	ароматические протоны	6,0-9,0

## Ответы и указания к решению задач

### 1. Химическая связь. Теория химического строения органических соединений

**1.5.** Обратите внимание на электронную конфигурацию азота и углерода. **1.8.** 3 вещества. **1.10.** 1 вещество. **1.13.** 2 радикала. **1.15.** всего 4 изомерных спирта. **1.17.** 10 изомеров. **1.23.** 2 вещества.

### 2. Предельные углеводороды (алканы)

**2.3.** 3 изомера. **2.6.** а) 2 изомера; б) 1 изомер; в) 1 изомер. **2.9.** 6 изомеров. **2.14.** а) 2,5-диметилгексан; б) этан, пропан, бутан; в) бутан, 2-метилбутан; г) 2,3-диметилбутан. **2.16.** X – хлорэтан. **2.17.** бутан и гексан. **2.22.** 6,83 л. **2.28.** 2 стадии. **2.32.** а) 2-метилбутан; б) метан; в) одинаково. **2.37.** а) Cu, 450-500 °C; б) Ag, 200 °C; в) горение; г) 200 °C. **2.49.** 7,2 г. **2.50.** 4,67 л. **2.51.** C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>. **2.52.** C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. **2.53.** C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>. **2.54.** C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. **2.55.** C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl, C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>. **2.57.** C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>. **2.58.** 20 %. **2.59.** 15 г. **2.60.** C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. **2.61.** C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>. **2.62.** 14 г. **2.63.** 7,06 г 2-метилбутана.

### 3. Непредельные углеводороды

#### 3.1. Алкены

**3.1.5.** а) 5 изомеров; б) 10 изомеров. **3.1.9.** а) 3 изомера; б) 13 изомеров. **3.1.10.** б), в). **3.1.11.** а) 3-метилбутен-1; б) бутен-2; в) 2-метилпропен. **3.1.13.** а) 2,5-диметилгексен-2; б) 2,7-диметилоктен-2; в) 2,6-диметилгептен-2. **3.1.22.** а) гександиол-1,2; б) 2-метилпропандиол-1,2; в) бутандиол-1,2. **3.1.24.** а) 4-метилпентен-2 + Cl<sub>2</sub>; б) 3-метилбутанол-2 + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; в) 2-хлорбутан + KOH (спирт.р-р); г) пропен + KMnO<sub>4</sub>. **3.1.26.** 2-метилбутен-2. **3.1.27.** ω(C) = 85,7 %, ω(H) = 14,3 %. **3.1.28.** а) 0,25 л; б) 4,44 мл; в) 0,2 л. **3.1.31.** пентен. **3.1.32.** 500 г. **3.1.33.** 75 %. **3.1.34.** 84 %. **3.1.35.** бутен. **3.1.37.** 33,6 %. **3.1.38.** гексен-1. **3.1.39.** бутен-2. **3.1.40.** этилен и бутен.

#### 3.2. Диены

**3.2.4.** 6 изомеров. **3.2.7.** а) бутадиен-1,2; б) пентадиен-1,4. **3.2.8.** 3-метилгексадиен-1,5 + гексадиен-1,5 + 3,4-диметилгексадиен-1,5; класс диены. **3.2.19.** 75 %. **3.2.20.** 101,25 кг. **3.2.22.** аллен. **3.2.23.** 2,5 диметилгексадиен-2,4.

#### 3.3. Алкины

**3.3.2.** а) 2 изомера; б) 3 изомера; в) 6 изомеров. **3.3.4.** 5 изомеров. **3.3.6.** а) бутанон; б) 3-метилпентанон-2; в) 3,3-диметилбутанон-2. **3.3.9.** 3-метилбутин-1. **3.3.10.** а) бутин-2; б) пентин-2; в) пентин-2; г) 3-метилбутин-1. **3.3.13.** с помощью аммиачного раствора Ag<sub>2</sub>O или Cu<sub>2</sub>O. **3.3.20.** X – ацетилен, Y – этилен. **3.3.24.** 14,3

%. **3.3.26.** X – метан, Y – ацетилен. **3.3.27.** а) 4-метилпентин-2; б) 4,4-диметилпентин-2; в) 2,5-диметилгексин-3; г) 2,2,5-триметилгексин-3. **3.3.31.** бутин-1. **3.3.32.**  $\omega$  (CaC<sub>2</sub>) = 64 %,  $\omega$  (CaCO<sub>3</sub>) = 36 %. **3.3.33.**  $\varphi$  (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) = 95,5 %,  $\varphi$  (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) = 4,5 %.

#### 4. Ароматические углеводороды

**4.2.** 4 изомера. **4.8.** а) изобутилбензол + бифенил + 2,4-диметилгексан; б) изобутилбензол + 1,2-дифенилэтан + 2,3-диметилбутан; в) дифенилметан + 1,2-дифенилэтан + бифенил; г) 1,2,4,5-тетраметилбензол + этан + 2,4,5-триметил-1(2,4,5-триметил)фенилбензол; д) 1-метил-2-пропил-4-изопропилбензол + гексан + 2-метил-5-изопропил-1(2-метил-5-изопропил)фенилбензол. **4.11.** а) 2-этилбензолсульфокислота + 4-этилбензолсульфокислота; б) 3-нитросульфокислота; в) 2-сульфофенол + 4-сульфофенол; г) 2-хлорбензолсульфокислота + 4-хлорбензолсульфокислота; д) 2,5-диметилбензолсульфокислота; е) *m*-дисульфобензол. **4.14.** а) пропилбензол; б) дифенилметан; в) бутилбензол; г) изопропилбензол; д) 2-бензилтолуол + 4-бензилтолуол. **4.16.** а) бромбензол; б) 2-бром-1,3-диметилбензол + 2-бром-1,5-диметилбензол; в) 2-бромэтилбензол + 4-бромэтилбензол; г) 1-бром-3,5-динитробензол; д) 2-бром-4-нитротолуол. **4.22.** X – ацетилен. **4.23.** фенилацетилен. **4.25.** а) *n*-нитробензойная кислота; б) фталевая кислота; в) бензойная кислота; г) бензойная кислота; д) изо-фталевая кислота; е) терефталевая кислота. **4.27.** *o*-хлортолуол. **4.32.** 62,5 %. **4.33.** 50,4 г. **4.34.** 47,9 г. **4.35.** 57,5 г. **4.36.** толуол.

#### 5. Галогенпроизводные углеводородов

**5.5.** а) 28 изомеров; б) 9 изомеров; в) 4 изомера. **5.6.** 4 первичных, 3 вторичных, 1 третичный. **5.9.** пропен-2-ол-1 (аллиловый спирт). **5.10.** 2-бром-2-метилбутан. **5.13.** *n*-хлорбензиловый спирт. **5.18.** этилбензол + дифенил + бутан. **5.28.** Б – 1-бром-3-метилбутан, В – 3-метилбутен-1, Г – 2-бром-3-метилбутан, Д – 2,3,4,5-тетраметилгексан. **5.32.** *n*-бромтолуол. **5.34.** пропанол-1 или пропанол-2, 1-бромпропан или 2-бромпропан, 60 мл 48 %-ного раствора. **5.35.**  $\omega$ (NaOH) = 1,82 %,  $\omega$ (этиленгликоля) = 5,64 %. **5.36.** 38,38 %. **5.37.** 18 г. **5.38.** 80 %.

#### 6. Спирты и фенолы

##### 6.1. Спирты

**6.1.3.** а) 2 изомерных спиртов и 1 изомер простого эфира; б) 4 изомерных спиртов и 3 изомерных простых эфира; в) 8 изомерных спиртов и 6 изомерных простых эфира. **6.1.5.** 17 изомеров. **6.1.6.** а) 6 изомеров; б) 13 изомеров. **6.1.8.** а) 2-метилпропанол-1; б) бутанол-2; в) 2,3-диметилпентанол-1; г) бутен-2-ол-1; д) 2-метилбутандиол-2,3; е) бутанол-1,4; ж) пропанол-2; з) бутандиол-2,3. **6.1.9.** а) пентанол-3; б) 2,4-диметилпентанол-3; в) 2-метилпропанол-1; г) 3-метилбутанол-1. **6.1.11.** а) бутен-1; б) 2-метилбутен-1 или 2-метилбутен-2; в) 4-метилбутен-1.

**6.1.13.** X – этилен; Y – этанол. **6.1.15.** а) 3-бромпентан; б) 2-бромбутан; в) 2-бромпропан; г) 3-бром-2-метилпентан. **6.1.19.** бутен-3-ол-1. **6.1.22.** взаимодействие с  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . **6.1.24.** а) X – пропен; б) Y – этилен; в) Z – 2-метилпропен. **6.1.27.**  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ; **6.1.28.** 68,4 %. **6.1.29.** 24,4 %. **6.1.30.**  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ .

## 6.2. Фенолы

**6.2.3.** а) 3 изомера; б) 3 изомера. **6.2.5.** а), б), в). **6.2.6.** а) 4 изомера; б) 13 изомеров. **6.2.7.** взаимодействие с хлоридом железа. **6.2.10.** а) *n*-крезолят натрия; б) гексилфениловый эфир; в) *o*-хлорфенол + *n*-хлорфенол. **6.2.21.**  $\omega$  (фенола) = 93,2 %;  $\omega$  (этанола) = 6,8 %. **6.2.22.** 4,92 л. **6.2.23.** 16,73 кг фенола и 10,32 кг ацетона. **6.2.24.** 100 г.

## 7. Амины и аминоспирты

**7.3.** а) 4 изомера; б) 8 изомеров; в) 17 изомеров. **7.4.** а) изопропиламин; б) аллилметиламин; в) бутилпропилэтиламин; г) хлорид триметилпропиламмния; д) бутиламин. **7.5.** а) 2-аминооктан; б) 2-амино-2-метилпентан; в) 2-амино-2,3-диметилбутан; г) 3-амино-2,3-диметилпентан; д) 2-аминобутанол-1; е) *o*-метиланилин. **7.6.** а) метиламин; б) 1,2-диаминоэтан; в) этиламин. **7.14.** а) 2-нитропропан; б) *n*-нитротолуол; в) нитроэтан; г) 2-метил-2-нитропропан. **7.20.** бутиламин, *втор*-бутиламин, *изо*-бутиламин, *трет*-бутиламин. **7.22.** 2-метилпропанол-1. **7.30.** метилэтиламин. **7.31.** 410 г. **7.32.** 1,3 %. **7.33.** 25,1 %. **7.34.** 6,75 г. **7.35.**  $\omega$  (бензола) = 71,9 %,  $\omega$  (анилина) = 9,3 %,  $\omega$  (фенола) = 18,8 %. **7.36.** диметиламин.

## 8. Альдегиды и кетоны

**8.2.** а) 7 изомеров; б) 10 изомеров; в) 13 изомеров. **8.12.** а) ацетон; б) 4-метилпентанон-2; в) бутанон. **8.15.** а) 1,1-дихлорпропан и 2,2-дихлорпропан; б) нитрил 2-гидроксипропановой кислоты и нитрил-2-гидрокси-2-метилпропановой кислоты; в) метилацеталь пропаналя и метилацеталь ацетона; г) гидразон пропаналя и гидразон ацетона. **8.18.** а) 2-хлорпентанон-3; б) 3,3-дихлорпентан; в) оксим пентанона-3; г) фенилгидразон пентанона-3. **3.26.** бутанон. **8.27.**  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . **8.28.** 2-метилпропаналь. **8.33.** *n*-метилбензальдегид. **8.34.** пропаналь. **8.35.**  $\omega$  (метаналя) 40,6 %. **8.36.** 36,36 % **8.37.** 30,15 кг ацетилен и 20,88 л воды.

## 9. Карбоновые кислоты и их производные

**9.8.** а) 2 изомера; б) 3 изомера. **9.11.** 3 изомера. **9.12.** 4 изомера. **9.15.** а) 2-метилпропановая кислота; б) 3-метилгексановая кислота; в) пропановая кислота; г) метановая (муравьиная) кислота + бутановая (масляная) кислота + этановая (уксусная) кислота + пропановая (пропионовая) кислота; д) гексановая кислота; е) пропен-2-овая (акриловая) кислота. **9.18.** 2,3-диметилбутандиовая кислота. **9.21.** а) бутановая кислота; б) этановая (уксусная) кислота; в) бутановая кислота; г)

этановая (уксусная) кислота; д) метановая (муравьиная) кислота; е) метановая (муравьиная) кислота; ж) 2-метилпропановая кислота; з) пропановая кислота. **9.26.** а) метаналь и гептанон-4; б) бутаналь. **9.28.** а) пропандиовая (малоновая) кислота; б) бутандиовая (янтарная) кислота; в) 3-этилпентандиовая кислота. **9.30.** а) этилпропионат; б) этиловый эфир 2-хлорпропановой (пропионовой) кислоты; в) ангидрид уксусной кислоты; г) смешанный ангидрид пропановой (пропионовой) и изопропановой (изопропионовой) кислот. **9.31.** ангидрид пропановой (пропионовой) кислоты. **9.34.** а) этилглутарат; б) диизопропилоксалат; в) дитретбутилсукцинат; г) диизобутиловый эфир метилмалоновой кислоты; д) диизопропилоксалат. **9.38.** а) этановая (уксусная) кислота; б) этановая (уксусная) кислота; в) этановая (уксусная) кислота. **9.46.** амид 2-метилпропановой кислоты. **9.52.** 64,8 г. **9.53.** 21 г. **9.54.** бензойная кислота **9.55.**  $C_2H_5COOH$ , 11,2 л  $CO_2$ .

## 10. Окси- и оксокислоты

**10.3.** 4 изомера. **10.4.** а) 12 изомеров; б) 27 изомеров. **10.5.** а) 2-гидроксибутановая кислота; б) 3-гидроксипропановая кислота; в) гидроксибутандиовая (гидроксиянтарная) кислота; г) 4-гидроксипентановая кислота; д) 2-гидроксипропановая кислота. **10.11.** а) 2-гидроксипропановая (молочная) кислота; б) 2-гидроксибутановая кислота; в) 2-гидрокси-2-метилпропановая кислота; г) 2-гидрокси-2-метилбутановая кислота. **10.23.** 14,42 г **10.24.** 20,06 г. **10.25.** 2-гидроксипропановая (молочная) кислота.

## 11. Оптическая изомерия

**11.6.** а) гликолевая кислота – не содержит асимметрических атомов; б) молочная кислота – 1 асимметрический атом углерода (2-й); в) 2-гидроксибутановая кислота – 1 асимметрический атом углерода (2-й); г) 2-гидрокси-2-метилпропановая кислота – не содержит асимметрических атомов; д) 2,3-дигидроксипропановая кислота – 1 асимметрический атом углерода (2-й). **11.8.** 5 изомеров. **11.15.** 1) возможны оптические изомеры; 2) вещество оптически не активно.

## 12. Сахара (углеводы)

**12.6.** В результате гидролиза мальтозы образуются две молекулы  $\alpha$ -глюкозы. **12.9.** а) оксинитрил фруктозы; б) оксим фруктозы. **12.10.** Реакция гидролиза. **12.14.** а) взаимодействие с аммиачным раствором оксида серебра; б) взаимодействие с гидроксидом меди (II). **12.15.** фруктоза. **12.22.** а) 4 асимметрических атомов; б) 5 асимметрических атомов. **12.25.** а) D-ряд; б) D-ряд; в) D-ряд; г) L-ряд. **12.45.** 45 г. **12.46.** дисахарид общей формулой  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . **12.47.** 95 %. **12.48.** 39,6 г. **12.49.** 18,5 г.

### 13. Аминокислоты и белки

**13.3.** 12 аминокислот. **13.4.** а) аланин; б) 3-метиламинопентановая кислота; в) 2-диметиламино-2-метилпропановая кислота; г) аспаргиновая кислота. **13.6.** а) 2-аминобутановая кислота; б) 2-амино-2-метилпропановая кислота; в) валин; г) 2-амино-2-метилбутановая кислота. **13.7.** а) валин; б) 2-амино-2-метилпентановая кислота; в) 2-амино-2-метилгексановая. **13.8.** а) 3-аминопропановая кислота; б) 3-диметиламинобутановая кислота; в) 2-этиламинопропановая кислота; г) бутират метиламмония. **13.18.** аланин. **13.19.** а) аланилглицилглицин, при гидролизе дает 1 молекулу аланина и 2 молекулы глицина; б) глицилаланилфенилаланилглицин, при гидролизе дает 2 молекулы глицина, молекулу аланина, молекулу фенилаланина; в) аланилсерилаланин, при гидролизе дает две молекулы аланина и молекулу серина. **13.21.** 44,5 %. **13.22.** β-аланин (3-аминопропановая кислота). **13.23.** ω(уксусной кислоты) = 12 %, ω(глицина) = 15 %. **13.24.** 53,2 г. **13.25.** 50,9 г. **13.26.** 51 %. **13.27.** 23,8 г.

### 14. Гетероциклические соединения

**14.4.** 6 изомеров. **14.5.** 6 изомеров. **14.9.** а) 1-метилпиррол; б) 1-фенилпиррол; в) 1-бутил-2,5-диметилпиррол; г) 2-метилфуран. **14.10.** 1-метилпиррол. **14.16.** ω(пиридина) = 37,8 %, ω(пиримидина) = 62,2 %. **14.17.** ω(пиррола) = 56 %, ω(пиридина) = 44 %.

## ГЛОССАРИЙ (список основных названий и терминов)

**Алкадиены (диены)** – углеводороды, содержащие две двойные связи. Общая формула  $C_nH_{2n-2}$ .

**Алкадиены изолированные** – диены, у которых двойные связи разделены более чем одной простой связью.

**Алкадиены сопряженные (сопряженные диены)** – двойные связи разделены одинарной связью.

**Алканы (парафины)** – предельные углеводороды. Общая формула  $C_nH_{2n+2}$ .

**Алкены (олефины)** – это углеводороды, содержащие одну двойную связь. Общая формула  $C_nH_{2n}$ .

**Алкины** – это углеводороды, содержащие одну тройную связь. Общая формула  $C_nH_{2n-2}$ .

**Алленовые диены (кумулены)** – алкадиены с соседним положением двойных связей.

**Альдегиды** – это органические вещества, в которых карбонильная группа расположена на краю углеродной цепи и связана только с одним углеводородным радикалом.

**Арены** – это углеводороды, содержащие в составе ароматическую систему сопряженных  $\pi$ -связей. Общая формула  $C_nH_{2n-6}$ .

**Атом** – нейтральная частица, состоящая из одного положительно заряженного ядра, которое состоит из протонов и нейтронов, и электронной оболочки, отрицательный электрический заряд которой по абсолютной величине равен заряду ядра.

**Ацетилен** – этин, простейший алкин.

**Ацетон** – кетон, пропанон:  $CH_3C(O)CH_3$ .

**Бензальдегид** – простейший ароматический альдегид  $C_6H_5C(O)H$ .

**Бензойная кислота** – ароматическая одноосновная карбоновая кислота состава  $C_6H_5COOH$ .

**Бензол** – ароматический углеводород:  $C_6H_6$ .

**Винильные атомы водорода** – атомы, непосредственно связанные с ненасыщенными атомами углерода, образующими двойную связь.

**Вицинальные дигалогенпроизводные** – углеводороды, содержащие атомы галогена у соседних атомов углерода.

**Вторичный спирт** – спирт, в котором функциональная группа –ОН соединена со вторичным атомом углерода.

**Гидросульфит натрия** – кислая соль сернистой кислоты,  $\text{NaHSO}_3$ .

**Гидрохинон** – двухатомный фенол, 1,4-дигидроксибензол.

**Глицерин** – это органическое соединение, представляющее собой трехатомный спирт: 1,2,3-пропантриол.

**Гомологическим рядом** называют бесконечный ряд веществ, отличающихся друг от друга на любое число групп  $\text{CH}_2$  (гомологическая разность), имеющих сходное строение и, следовательно, сходные химические свойства.

**Гомологический ряд** – ряд сходных по строению соединений, обладающих близкими химическими свойствами, в котором отдельные члены ряда отличаются друг от друга числом групп  $-\text{CH}_2-$  (гомологическая разность).

**Дегидратация** – это процесс отщепление молекулы воды.

**Декарбоксилирование** – это процесс в основе которого лежит реакция элиминирования молекулы диоксида углерода из карбоксильной группы ( $-\text{COOH}$ ) или карбоксилатной ( $-\text{COOMe}$ ) группы органических соединений.

**Двухатомный спирт** – это спирт, содержащий две группы -ОН.

**Изоамиловый спирт**: 3-метилбутанол-1.

**Изомеры** – вещества, имеющие одинаковый количественный состав (одинаковую молекулярную формулу), но отличающиеся физическими или химическими свойствами.

**Индуктивный эффект** (индукционный эффект) – это процесс смещение электронной пары вдоль  $\sigma$  связи.

**Иодоформ** – галогенпроизводное метана, **триодметан**:  $\text{CHI}_3$ .

**Карбонильная группа** – это функциональная группа  $\text{C=O}$  в органических соединениях.

**Карбонильные соединения** – это органические вещества, содержащие в своем составе карбонильную группу. К карбонильным соединениям относятся альдегиды и кетоны.

**Каучук** – это высокомолекулярное эластичное соединение, получаемое из каучуконосных растений.

**Кетоны** – это органические вещества, в которых карбонильная группа связана с двумя углеводородными радикалами.

**Крекинг** – термический метод деструктивной переработки.

**Ксилол** – диметилбензол.

**Мезомерный эффект** – эффект сопряжения («выравнивание» связи при чередовании двойной и одинарной связей).

**Метан** (природный газ) – простейший алкан:  $\text{CH}_4$ .

**Муравьиная кислота** – первый представитель гомологического ряда карбоновых кислот.

**Метановая кислота** – это кислородсодержащее органическое соединение с молекулярной химической формулой:  $\text{HCOOH}$ .

**Молекула** – нейтральная реально существующая при данных условиях химическая частица, которая является мельчайшей частицей данного вещества, обладающей его химическими свойствами.

**Нуклеофильные реакции** – это реакции, протекающие при взаимодействии с нуклеофильным реагентом.

**Нуклеофилы (нуклеофильные реагенты)** – это частицы или молекулы, в которых имеются центры с высокой электронной плотностью.

**Озонолиз** – это процесс действие озона на алкены, приводящее к образованию сильно взрывчатым озонидам, которые при гидролизе образуют альдегиды или кетоны.

**Одноатомный спирт** – это спирт, содержащий только одну группу -ОН.

**Органическая химия** изучает соединения углерода – углеводороды и их производные, в состав которых могут входить почти все элементы периодической системы.

**Первичный спирт** – это спирт (алканол), в котором функциональная группа -ОН соединена с первичным атомом углерода.

**Пирогаллол** – трехатомный фенол: 1,2,3-тригидроксибензол.

**Пирокатехин** – двухатомный фенол: 1,2-дигидроксибензол.

**Правило Зайцева:** если в  $\alpha$ -положении к атому углерода, связанному с галогеном, находятся третичный, вторичный и первичный атомы водорода, то преимущественно отщепляется третичный атом, в меньшей степени – вторичный и в еще меньшей – первичный.

**Правило Марковникова:** в случае несимметричных молекул алкенов присоединение водорода из галогеноводородов будет происходить к наиболее гидрогенизированному атому углерода (механизм электрофильного присоединения).

**Предельными насыщенными углеводородами** называют такие соединения углерода с водородом, в молекулах которых каждый атом углерода затрачивает на соединение с любым соседним углеродным атомом не более одной валентности, причём все свободные (не затраченные на соединение с углеродными атомами) его валентности насыщены водородом.

**Радикал** – нейтральная реально существующая частица, состоящая из одного или нескольких атомных остовов и общей для них электронной оболочки и обладающая одним или несколькими неспаренными электронами (аналог молекулы, но с неспаренным электроном).

**Реактив Лукаса** – это концентрированный раствор хлорида цинка в концентрированной соляной кислоте.

**Реакция Вагнера** – окисление перманганатом калия алкенов в нейтральной или слабощелочной среде.

**Реакция диенового синтеза (реакция Дильса-Альдера)** – реакция присоединения 1,3-диеновых углеводородов в положение 1,4 производных алкенов с активированной двойной связью и образованием шестичленных циклов с одной двойной связью.

**Реакция Канницаро** – реакция диспропорционирования альдегидов на спирт и кислоту, не содержащих атомов водорода в альфаположении.

**Реакция Коновалова** – реакция нитрования алканов. При нагревании разбавленная азотная кислота действует как нитрующий агент (один из атомов водорода алкана замещается на нитрогруппу).

**Реакция Кучерова** – присоединение воды к ацетиленовым углеводородам под действием солей ртути. Из ацетилена образуется уксусный альдегид, из гомологов ацетилена – кетоны.

**Реакция «серебряного зеркала»** – качественная реакция на альдегидную группу, окисление альдегидов аммиачным раствором оксида серебра  $[Ag(NH_3)_2]OH$  при нагревании. Сопровождается выделением металлического серебра на стенках пробирки.

**Резорцин** – двухатомный фенол: 1,3-дигидроксибензол.

**Спирты** – это органические соединения, имеющие в составе одну или несколько гидроксильных групп, непосредственно связанных с предельным атомом углерода.

**Структурная изомерия** – тип изомерии, при котором изомеры отличаются порядком связей между отдельными атомами в молекуле.

**Толуол** – метилбензол.

**Третичный спирт** – это в котором функциональная группа – OH соединена с третичным атомом углерода.

**Углеводородами** называют самые простые органические соединения, состоящие из углерода и водорода.

**Уксусный альдегид** – этаналь:  $CH_3COH$ .

**Уксусная кислота** (этановая кислота) – это одноосновная карбоновая кислота, содержащая два атома углерода,  $CH_3COOH$ .

**Фенол** – органическое вещество, простейший представитель одноатомных фенолов.

**Фенолы** – это органические соединения, в которых гидроксильная группа -OH связана непосредственно с бензольным кольцом.

**Фуксинсернистая кислота** (реактив Шиффа) – реактив для качественного определения альдегидной группы.

**Функциональной группой** называют атом или группу атомов, связанных определённым образом, наличие которых в молекуле органического вещества придаёт ему характерные свойства и определяет его принадлежность к тому или иному классу соединений.

**Хиноны** – это соединения, представляющие собой полностью сопряженные циклогексадиеноны. Существуют два класса хинонов: пара-хиноны с парарасположением карбонильных групп (1,4-хиноны) и орто-хиноны с орторасположением карбонильных групп (1,2-хиноны).

**Химическое строение** – это порядок соединения атомов в молекуле.

**Химические свойства** – свойства, проявляемые данным веществом в ходе химических явлений.

**Хлороформ** – трихлорметан,  $\text{CHCl}_3$ .

**Щавелевая кислота** – первый представитель дикарбоновых кислот, этандиовая кислота.

**Электрофильные реакции** – это реакции, протекающие с **электрофильным реагентом**.

**Электрофилы (электрофильные реагенты)** – это частицы или молекулы, в которых имеются центры с дефицитом электронной плотности.

**Этен** – этилен. Простейший алкен.

**Этиленгликоль** – двухатомный спирт: **1,2-этандиол**.

**Эффект Хараша** – в присутствии пероксидов присоединение галогеноводородов происходит не по **правилу Марковникова** (радикальный механизм реакции).

## Литература

1. Грандберг И.И., Нам Н.Л. Органическая химия: Учебник для студентов вузов. – 11-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022 – 608 с.
2. Грандберг И.И., Нам Н.Л. Органическая химия. Практические работы и семинарские занятия: учебное пособие. - 7-е изд. стер. – М.: Юрайт, 2022 – 349 с.
3. Галочкин А.И., Ананьина И.В. Органическая химия. Книга 1. Теоретические основы. Ациклические углеводороды: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 436 с.
4. Пржевальский Н.М., Белопухов С.Л., Соболев С.В., Федотова Е.А., Филиппова Л.Р. Задачи и упражнения. – часть 2. – Органическая химия. – М.: Издательство «Спутник+», 2018 – 103 с.
5. Травень В.Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: в 3 т., Т.1 – 5-е изд. испр. – М.: Лаборатория знаний, 2017 – 368 с.
6. Ливанцов М.В., Зайцева Г.С., Ливанцова Л.И., Гулюкина Н.С., Болесов И.Г. Органическая химия. Задачи по общему курсу с решениями: учебное пособие: в 2 ч. Ч. I. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2022 – 255 с.
7. Кост А.Н., Сагитулин Р.С., Терентьев А.П. Упражнения и задачи по органической химии. Учеб. пособие для университетов. М.: «Высшая школа», 2014 – 223 с.
8. Дмитриев Л.Б., Магедов И.В., Токмаков Г.П. Под ред. проф. Грандберга И.И. Методические указания по идентификации неизвестного органического соединения. Курсовая работа по органической химии. Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2015 - 60 с.
9. Акентьева Т. А., Горохов В. Ю., Юнникова Л. П. Лабораторный практикум по химии (Органическая химия): учебное пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2018. 88 с.
10. Рашевская И. В. Органическая химия. Лабораторный практикум. В 2-х частях. Часть 1: учебное пособие: Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. 77 с. 2.

*Учебное издание*

**Белопухов Сергей Леонидович**

**Дмитревская Инна Ивановна**

**Браташ Георгий Сергеевич**

**Жарких Ольга Андреевна**

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

*Учебное пособие*

Компьютерная верстка *С.Л. Белопухов*