

**Основные классы  
органических соединений:  
циклические соединения**

**Лекция №4**

# все органические соединения

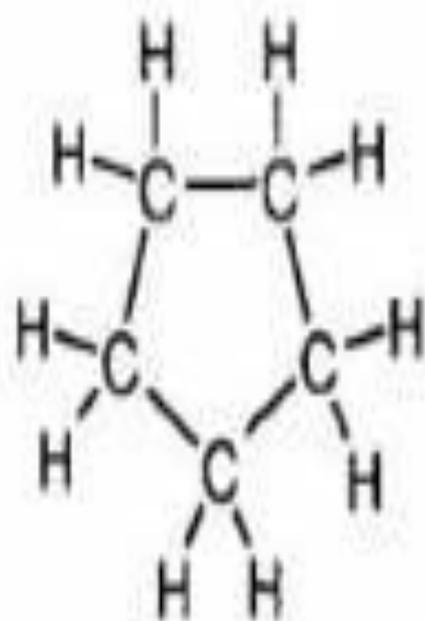
- подразделяются на :
  - соединения с открытой цепью атомов (алифатические) и
  - циклические соединения.
- Циклические соединения характерны наличием в их молекулах циклов.
- Цикл – это замкнутая цепь, т. е. такая цепь, которая, начавшись в некоторой вершине, завершается в ней же



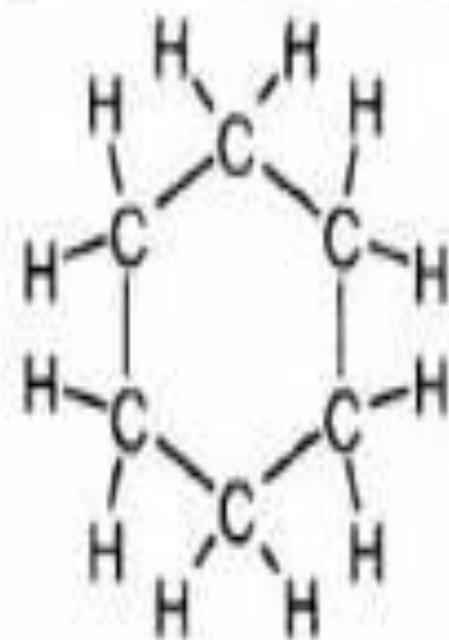
# Циклические соединения

подразделяются на:

- Карбоциклические соединения
  - алициклические соединения
  - ароматические соединения.
- Гетероциклические соединения.

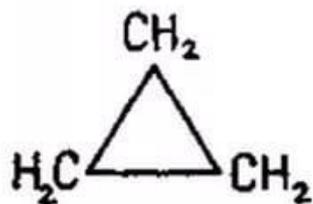


Циклопентан  
( $C_5H_{10}$ )

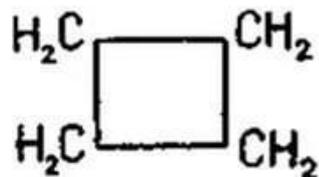


Циклогексан  
( $C_6H_{12}$ )

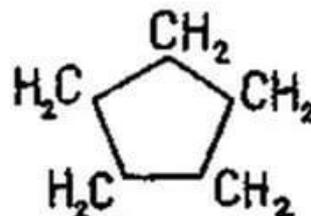
## НАФТЕНЫ:



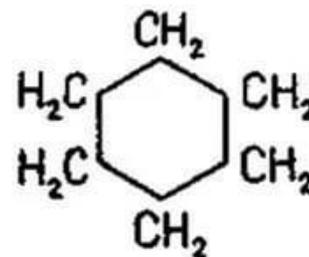
Циклопропан



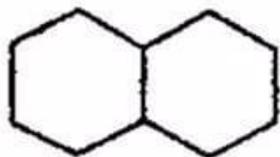
Циклобутан



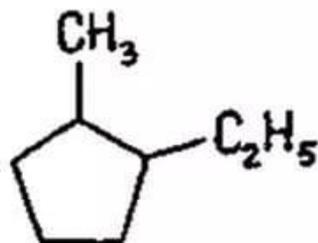
Циклопентан



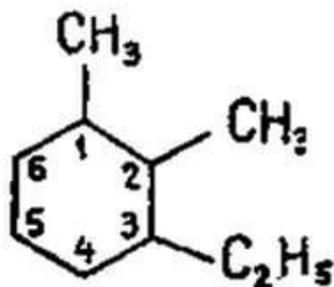
Циклогексан



Бициклодекан (декалин)



1-метил-2-этил-  
циклопентан



1,2-диметил-3-этил-  
циклогексан

- моноциклические;
- бициклические;
- три- и полициклические.

- Карбоциклические соединения – это соединения, в молекулах которых присутствуют циклы, состоящие только из атомов углерода.
- Помимо связи друг с другом, атомы углерода также связаны и с другими атомами (водородом, кислородом и т.д), но сам цикл составлен именно из атомов углерода.

- Гетероциклические соединения - это циклические соединения, в циклах которых помимо атомов углерода, присутствуют атомы других элементов (кислорода, азота, серы и др.). И это тоже отражено в их названии (от греч.  $\epsilon\tau\epsilon\rho\omicron\varsigma$  — «иной», «различный»).

# Карбоциклические соединения

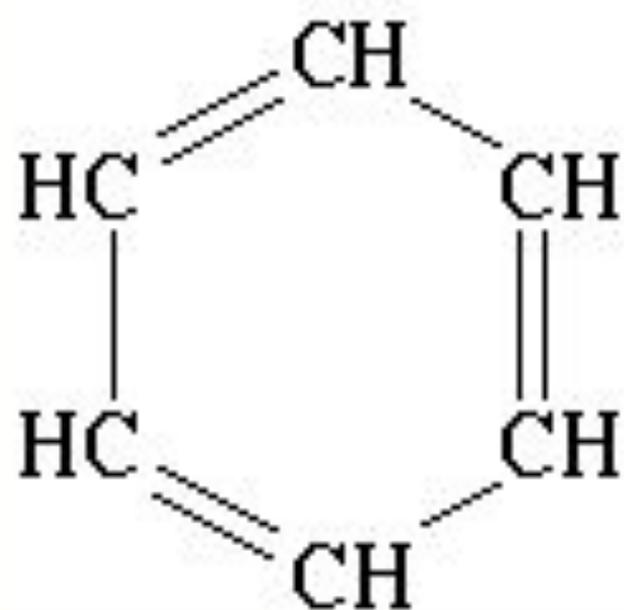
- разделяют на
  - алициклические
  - ароматические.
- Алициклические соединения называют так потому, что по химическим свойствам они наиболее близки к алифатическим соединениям, хотя по структуре они и являются кольцеобразными.

- Они различаются по числу атомов углерода в цикле и, в зависимости от характера связи между этими атомами, могут быть предельными и непредельными.
- В молекулах предельных циклических углеводородов атомы углерода соединены простыми связями, как и в молекулах предельных углеводородов с открытой цепью, что делает их сходными по свойствам с последними.

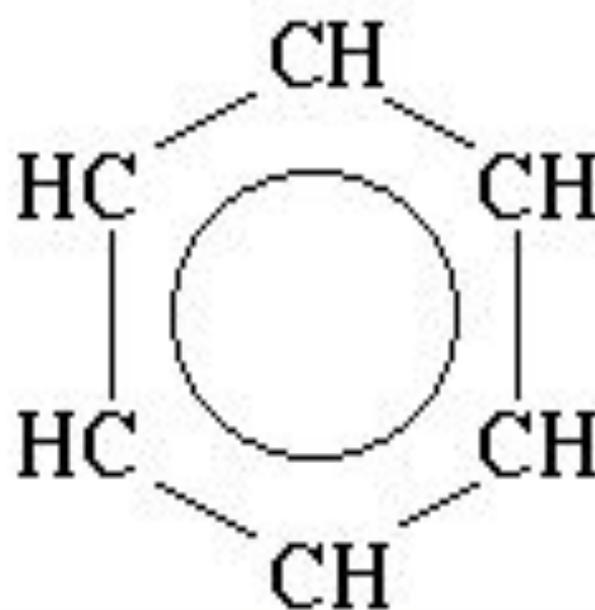
- Названия циклических соединений строятся подобно наименованиям соединений жирного (алифатического) ряда с добавлением приставки «цикло».

- Ароматическими соединениями обычно называют карбоциклические соединения, в молекулах которых имеется особая циклическая группировка из шести углеродных атомов – бензольное ядро. Простейшим веществом, содержащим такую группировку, является углеводород бензол; все остальные ароматические соединения этого типа рассматривают как производные бензола.

Бензол  $C_6H_6$



ИЛИ



- Благодаря наличию в ароматических соединениях бензольного ядра они по некоторым свойствам значительно отличаются от предельных и непредельных алициклических соединений, а также и от соединений с открытой цепью. Отличительные свойства ароматических веществ, обусловленные наличием в них бензольного ядра, обычно называют ароматическими свойствами, а бензольное ядро – соответственно ароматическим ядром.

# Ароматические углеводороды ряда бензола

- Первый представитель ароматических углеводородов – бензол – имеет состав  $C_6H_6$  .
- *Это вещество было открыто М.Фарадеем в 1825 г. в жидкости, образующейся при сжатии или охлаждении т.н. светильного газа, который получается при сухой перегонке каменного угля. Впоследствии бензол обнаружили (А.Гофман, 1845г.) в другом продукте сухой перегонки каменного угля – в каменноугольной смоле. Он оказался весьма ценным веществом и нашел широкое применение. Затем было установлено, что очень многие органические соединения являются производными бензола.*

# Строение бензола

- Долгое время оставался неясным вопрос о химической природе и о строении бензола. Казалось бы, что он представляет собой сильно непредельное соединение. Ведь его состав  $C_6H_6$  по соотношению атомов углерода и водорода отвечает формуле  $C_nH_{2n-6}$ , тогда как соответствующий по числу углеродных атомов предельный углеводород гексан имеет состав  $C_6H_{14}$  и отвечает формуле  $C_nH_{2n+2}$ .
- Однако бензол не дает характерных для непредельных соединений реакций; он, например, не обеспечивает бромной воды и раствора  $KMnO_4$ , т.е. в обычных условиях не склонен к реакциям присоединения, не окисляется. Напротив, бензол в присутствии катализаторов вступает в характерные для предельных углеводородов реакции замещения, например, с галогенами:

- Выяснилось все же, что в определенных условиях бензол может вступать и в реакции присоединения. Там, в присутствии катализаторов он гидрируется, присоединяя 6 атомов водорода

- было установлено, что однозамещенные производные бензола  $C_6H_{5X}$  не имеют изомеров. Это показало, что все водородные и все углеродные атомы в его молекуле по своему положению равноценны, что также долго не находило объяснения

- *Впервые формулу строения бензола предложил в 1865г. немецкий химик Август Кекуле. Он высказал предложение, что*
- 6 углеродных атомов в бензоле образуют цикл, соединяясь друг с другом чередуясь простыми и двойными связями, и, кроме того, каждый из них соединен с одним атомом водорода

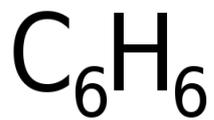
# Формула Кекуле

- *получила широкое распространение. Она согласуется с представлениями о четырехвалентности углерода, объясняет равноценность водородных атомов в бензоле.*
- Наличие в последнем шестичленного цикла доказано; в частности, оно подтверждено тем, что при гидрировании бензол образует циклогексан, в свою очередь циклогексан путем дегидрирования превращается в бензол.

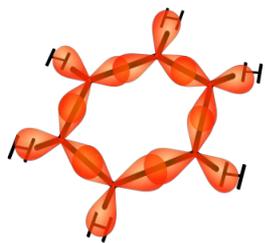
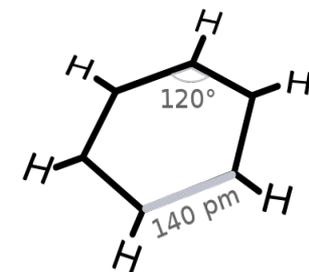
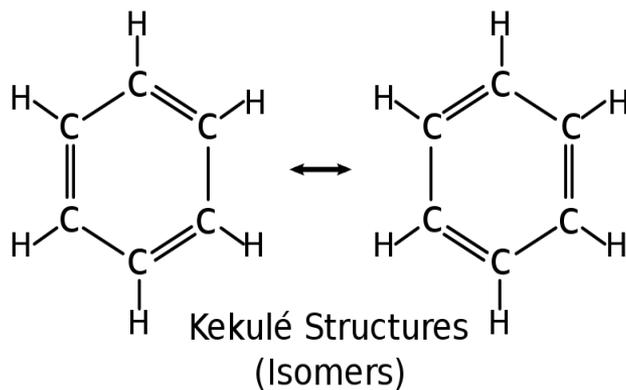
- *Однако формула Кекуле имеет существенные недостатки. Допуская, что в бензоле имеются три двойных связи, она не может объяснить, почему бензол в таком случае с трудом вступает в реакции присоединения, устойчив к действию окислителей, т.е. не проявляет свойств непредельных соединений.*
- Исследование бензола с применением новейших методов указывает на то, что в его молекуле между углеродными атомами нет ни обычных простых, ни обычных двойных связей.
- 6 атомов углерода в бензоле, образующие цикл, лежат в одной плоскости в вершинах правильного шестиугольника и центры их находятся на равных расстояниях друг от друга

# Особенности бензольной СВЯЗИ

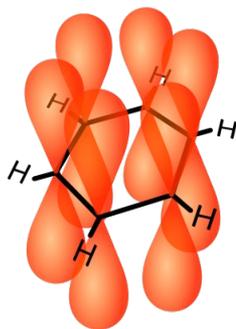
- *Одна из электронных пар двойной связи находится в таком же состоянии, как пара электронов, осуществляющая простую связь ( $\sigma$ -связь). Вторая же электронная пара осуществляет связь особого характера ( $\pi$ -связь).*
- В соответствии с формулой Кекуле в бензоле должны быть три  $\pi$ -связи. На самом же деле в бензоле нет обычных пар  $\pi$ -электронов фиксированных между двумя определенными С-атомами
- В шестичленном цикле бензола все простые связи С-С и С-Н ( $\sigma$ -связи) лежат в одной плоскости. Облака  $\pi$ -электронов всех С-атомов, имеющие форму объемных восьмерок, направлены перпендикулярно плоскости бензольного кольца. Каждое из таких облаков перекрывается облаками двух соседних углеродных атомов.



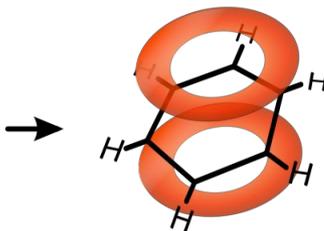
Benzene  
Molecular formula



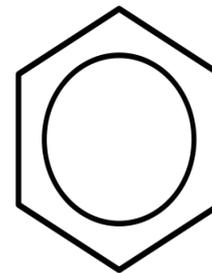
Sigma Bonds  
 $sp^2$  Hybridized orbitals



6  $p_z$  orbitals



delocalized pi  
system

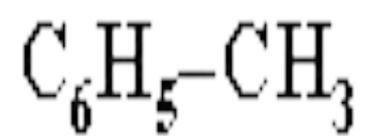


Benzene ring  
Simplified depiction

- Плотность облаков  $\pi$ -электронов в бензоле равномерно распределена между всеми С-С-связями. Следовательно,  $\pi$ -электроны обобщены всеми углеродными атомами кольца, образуя единое кольцевое облако шести электронов (ароматический электронный секстет). Таким образом объясняется равноценность (выравненность) ароматических связей, придающих бензольному ядру характерные (ароматические) свойства.

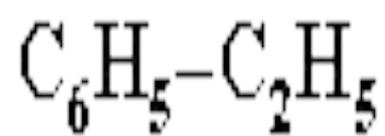
# Гомологи бензола.

- Гомологический ряд бензола имеет общую формулу  $C_n H_{2n-6}$ .
- Гомологи можно рассматривать как производные бензола, в котором один или несколько атомов водорода замещены различными углеводородными радикалами. Например,  $C_6H_5-CH_3$  - метилбензол или толуол,  $C_6H_4(CH_3)_2$  - диметилбензол или ксилол,  $C_6H_5-C_2H_5$  - этилбензол.

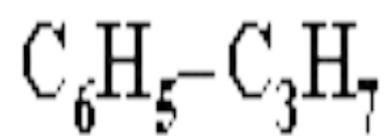


*метилбензол*

*(толуол)*



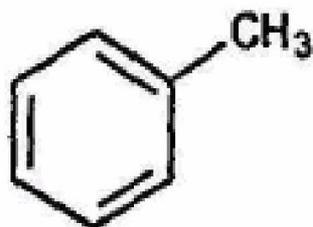
*этилбензол*



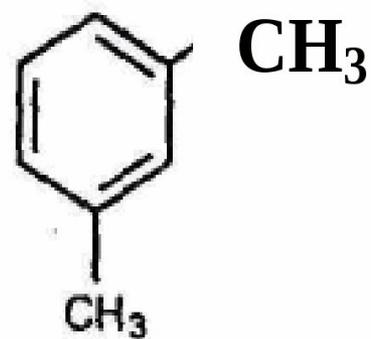
*пропилбензол*



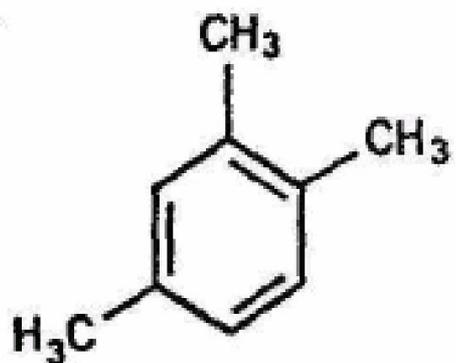
бензол



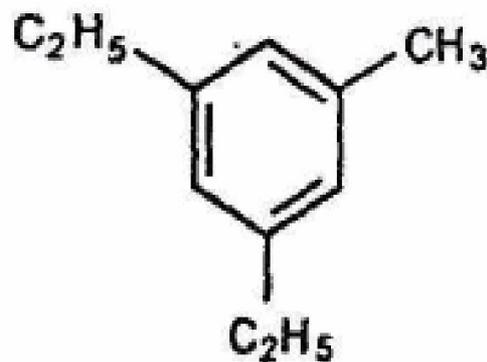
толуол



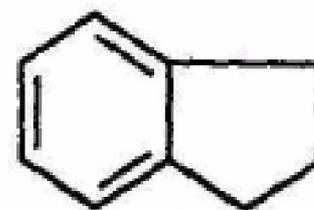
мета-ксилол



псевдокумол



диэтилтолуол



индан

# Гетероциклическими

- называют соединения с замкнутой цепью, включающие не только атомы углерода, но и атомы других элементов.

# Одно и многоатомные спирты. Простые эфиры.

## Лекция 5

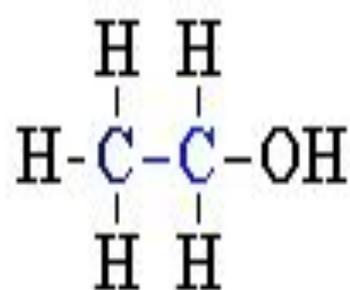
# Одноатомные спирты.

- 
- Спиртами называются производные углеводородов, представляющие собой продукты замещения атома (атомов) водорода в углеводородной молекуле гидроксильной группой –ОН.
- В зависимости от того, какое количество атомов водорода замещено, спирты бывают одноатомными и многоатомными. Т.е. число групп –ОН в молекуле спирта характеризует атомность последнего.
- Наибольшее значение имеют предельные одноатомные спирты. Состав членов ряда предельных одноатомных спиртов может быть выражен общей формулой —  $C_nH_{2n+1}OH$  или R-OH.

| Формула   | Название по МНК   | Название по рациональной номенклатуре   |
|---|---|---|
| $\text{CH}_3 - \text{OH}$ $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$ $\overset{3}{\text{CH}_3} - \overset{2}{\text{CH}_2} - \overset{1}{\text{CH}_2} - \text{OH}$ $\overset{4}{\text{CH}_3} - \overset{3}{\text{CH}_2} - \overset{2}{\text{CH}_2} - \overset{1}{\text{CH}_2} - \text{OH}$ $\overset{4}{\text{CH}_3} - \overset{3}{\text{CH}_2} - \overset{2}{\underset{\text{OH}}{\text{CH}}} - \overset{1}{\text{CH}_3}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \overset{3}{\text{CH}_3} - \overset{2}{\text{C}} - \overset{1}{\text{CH}_3} \\   \\ \text{OH} \end{array}$ | <p>Метанол<br/> Этанол<br/> Пропанол-1<br/> Бутанол-1<br/> Бутанол-2<br/> <br/> <b>2-метил-пропанол-2</b></p> | <p>Метилловый спирт<br/> Этиловый спирт<br/> <br/> Первичный пропиловый спирт<br/> Первичный бутиловый спирт<br/> Вторичный бутиловый спирт<br/> Третичный изобутиловый спирт</p> |

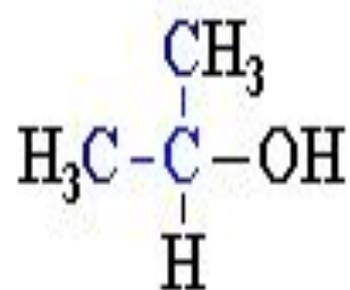
## Одноатомные спирты

Первичный



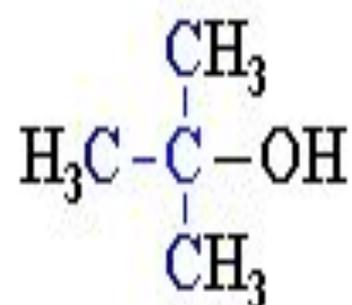
Этанол

Вторичный



Пропанол-2

Третичный



2-Метилпропанол-2

## Спирты

| Формулы   | Названия                |
|---|-------------------------|
| $C H_3 OH$  | Метанол,<br>метиловый   |
| $C_2 H_5 OH$                                      | Этанол, этиловый        |
| $C_3 H_7 OH$                                      | Пропанол,<br>пропиловый |
| $C_4 H_9 OH$                                      | Бутанол,<br>бутиловый   |
| $C_5 H_{11} OH$                                   | Пентанол,<br>амиловый   |
| $C_6 H_{13} OH$                                   | Гексанол,<br>гексиловый |
| $C_7 H_{15} OH$                                   | Гептанол,               |
| $C_8 H_{17} OH$                                   | Октанол,                |
| $C_9 H_{19} OH$                                   | Нонанол,                |
| $C_{10} H_{21} OH$                                | Деканол,                |
| <b>Общая формула <math>C_n H_{2n+1} OH</math></b> |                         |
| После второго названия ставить<br>слово «спирт»   |                         |

# Изомерия предельных одноатомных спиртов

- обусловлена изомерией углеродного скелета и изомерией положения ОН-группы. Метилловый и этиловый спирты не имеют изомеров. В зависимости от положения гидроксильной группы при первичном, вторичном или третичном углеродном атоме спирты могут быть первичными, вторичными, третичными

- В спиртах имеет место ассоциация молекул друг с другом за счет образования водородной связи.

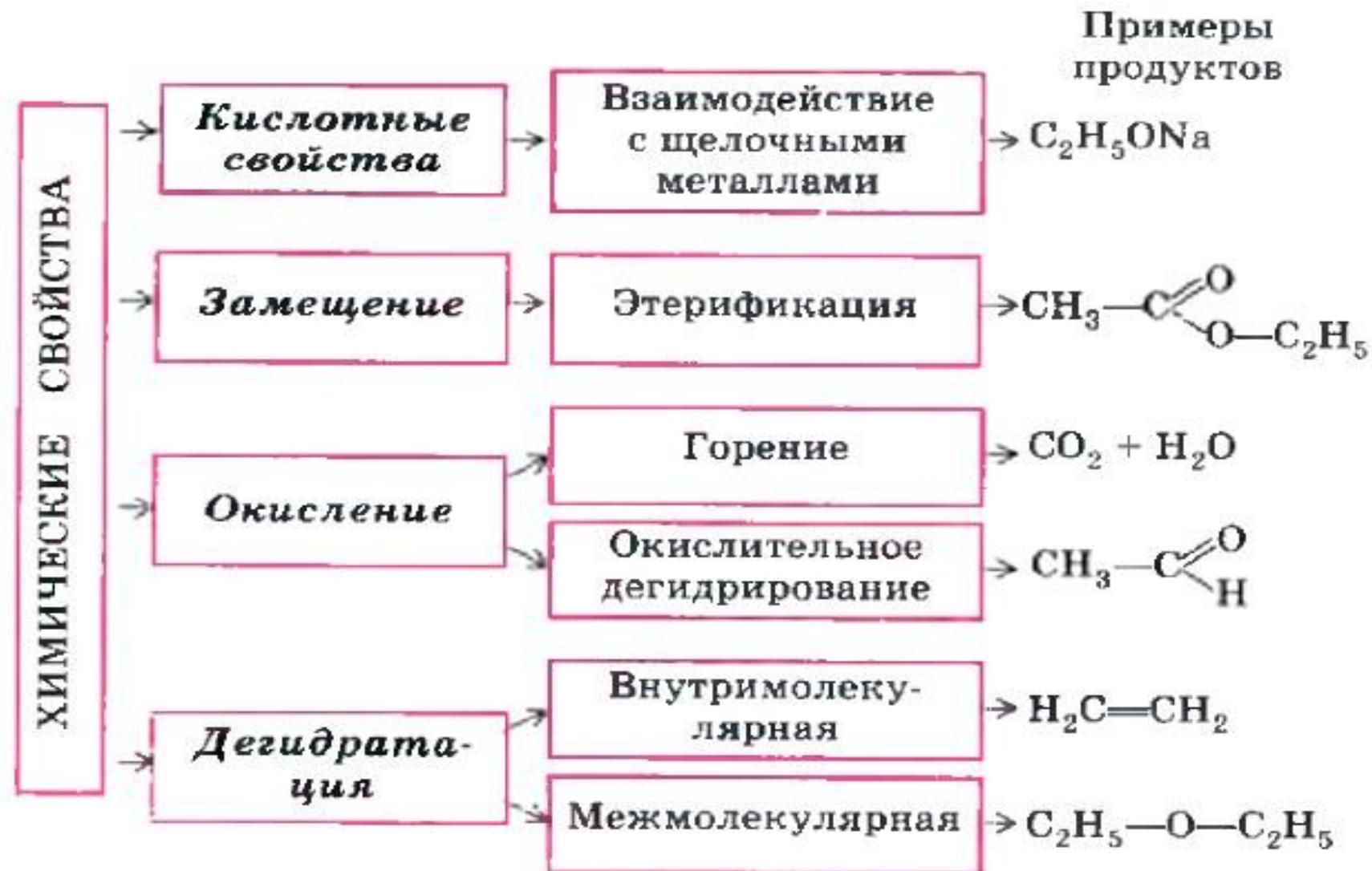
# Физические свойства

- Спирты легче воды: их плотности меньше 1. Метилловый, этиловый и пропиловый спирты смешиваются с водой во всех соотношениях. По мере усложнения углеводородных радикалов растворимость спиртов резко падает. Бутиловый спирт растворяется частично. Высшие спирты в воде не растворяются, т.е. выталкиваются из воды.

# Химические свойства

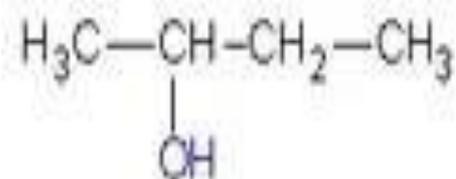
- Спирты реагируют со щелочными металлами (Na, K и т.д.) с образованием алкоголятов



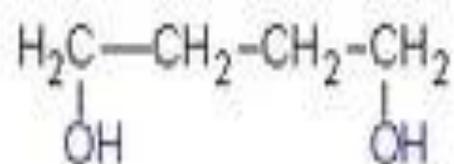


# Многоатомные спирты.

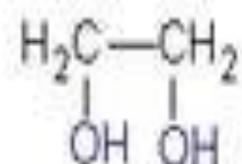
- Двухатомные спирты называются гликолями, трехатомные – глицеринами.
- По международной заместительной номенклатуре двухатомные спирты называются алкандиолами, трехатомные – алкантриолами.
- Спирты с двумя гидроксилами при одном углеродном атоме обычно в свободном виде не существуют; при попытках получить их они разлагаются, выделяя воду и превращаясь в соединение с карбонильной группой – альдегиды или кетоны



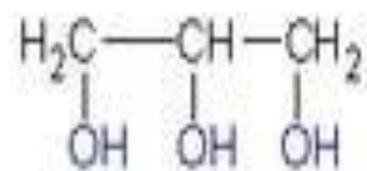
бутанол-2  
(одноатомный)



бутандиол-1,4  
(двухатомные



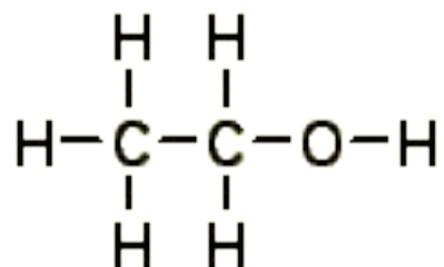
этандиол-1,2  
спирты)



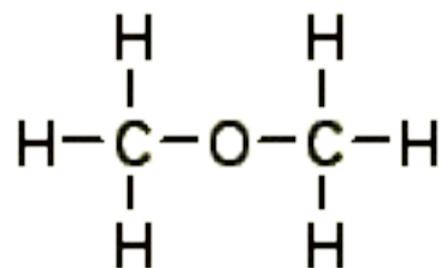
пропантриол-1,2,3  
(трехатомный)

# Простые эфиры

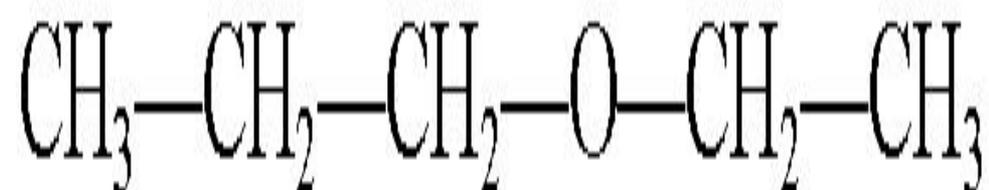
- Простыми эфирами называют производные спиртов, образованные в результате замещения водорода гидроксильной группы спирта на углеводородный остаток.



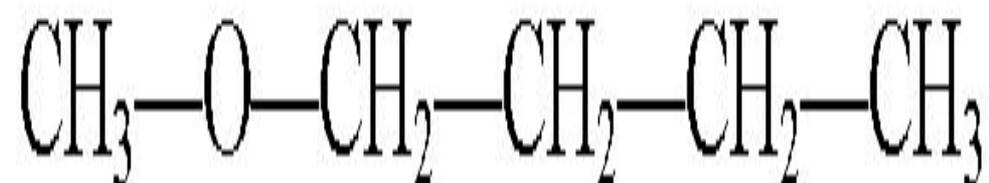
этиловый спирт



диметиловый эфир



этилпропиловый эфир



метилбутиловый эфир

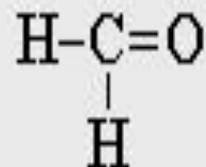
# АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ

- представляют собой производные углеводородов, в молекулах которых имеется **карбонильная группа**, называемая также карбонилем,  **$>C=O$** .

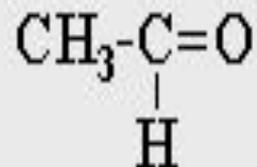
- Альдегидами называют соединения с карбонильной группой, в которых атом углерода этой группы связан, по крайней мере, с одним атомом водорода.
- Кетонами называют карбонилсоединения, в которых углерод карбонильной группы связан с двумя углеводородными остатками.

- **Характерное для альдегидов сочетание карбонильной группы с водородом, называют альдегидной группой**
- **карбонильную группу кетонов – кетогруппой.**
- По международной номенклатуре карбонильная группа называется также оксогруппой, а альдегиды и кетоны – соответственно оксосоединениями. Общая формула  $C_n H_{2n} O$ .

## Альдегиды

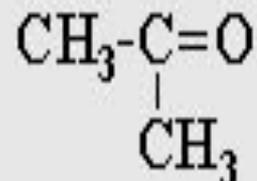


**формальдегид**  
(метаналь)

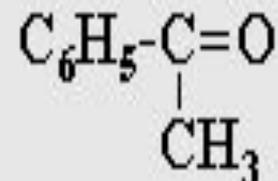


**ацетальдегид**  
(этаналь)

## Кетоны



**ацетон**  
(пропанон)



**ацетофенон**  
(метилфенилкетон)

# По международной заместительной номенклатуре

- названия альдегидов производят от заместительных названий соответствующих по углеродному скелету углеводородов, добавляя окончание – аль. Выбирая в формуле наиболее длинную (главную) углеродную цепь, в нее включают альдегидный углерод.

Нумерацию цепи начинают с

альдегидного углерода; при этом,

поскольку альдегидная группа всегда

находится при первичном углероде

- и, следовательно, в начале цепи, *цифру 1*, относящуюся к альдегидной группе, перед названием основы *можно и не ставить*.

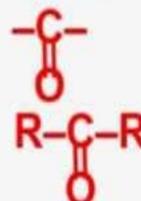
- В соответствии с этим по заместительной номенклатуре название муравьиного альдегида – метаналь, уксусного – этаналь, н-валерианового (I) – пентаналь, изовалерианового (II) – 3-метил-1-бутаналь, или просто 3-метилбутаналь, а его изомера (III) – 2-метилбутаналь.

# Номенклатура и изомерия кетонов

- По международной радикально-функциональной номенклатуре названия кетонов, производят из названий радикалов, соединенных с карбонильной группой, и от окончания – кетон.
- Диметилкетон, или, как его обычно называют (тривиальное название), ацетон, является простейшим кетоном.

# КЕТОНЫ или АЛКАНОНЫ

Кетоны имеют общую функциональную группу - карбонильную



К ней присоединены два радикала – одинаковые или разные.

## ГОМОЛОГИЧЕСКИЙ РЯД

| Структурные формулы кетонов  | Названия по радикалу  | ЮПАК – Женевская номенклатура |
|--|-----------------------|-------------------------------|
| $\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \\ \text{CH}_3\text{—C—CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$   | ацетон, диметил кетон | пропанон                      |
| $\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \\ \text{CH}_3\text{—C—CH}_2\text{—CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$                     | метил-этил кетон      | 2-бутанон                     |
| $\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \\ \text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—C—CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ | метил-пропил кетон    | 2-пентанон                    |
| $\begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \\ \text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—C—CH}_2\text{—CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ | диэтил кетон          | 3-пентанон                    |

# Карбоновые кислоты

- В этой сложной функциональной группе соединены друг с другом две простые кислородсодержащие группы: **карбонильная C=O** и **гидроксильная (или **окси** группа) –OH**; отсюда и происходит название – карбоксильная группа.

- Водород гидроксильной группы, входящей в карбоксильную группу, обуславливает **кислотные свойства** карбоновых кислот; поэтому число карбоксильных групп характеризует **основность** кислоты. В молекулах одноосновных (монокарбоновых) кислот – одна карбоксильная группа, двухосновных (дикарбоновых) кислот – две карбоксильные группы.

# Насыщенные одноосновные кислоты

- Насыщенные кислоты являются производными насыщенных углеводородов. Высшие гомологи этих кислот впервые были выделены из природных жиров, поэтому их, а затем и все другие кислоты с открытой цепью углеродных атомов называли **жирными кислотами.**

# Строение, изомерия, номенклатура

- В строении и изомерии предельных одноосновных кислот наблюдается определенная аналогия со строением и изомерией альдегидов. **Карбоксильная группа, как и альдегидная, может быть образована лишь первичным углеродным атомом.**

- Для простейших кислот широко используются **тривиальные названия**, происходящие от названий природных продуктов, из которых та или иная кислота была впервые получена.
- Простейший представитель гомологического ряда насыщенных одноосновных кислот – **муравьиная** кислота, она была впервые обнаружена в выделениях муравьев, откуда и происходит ее название.

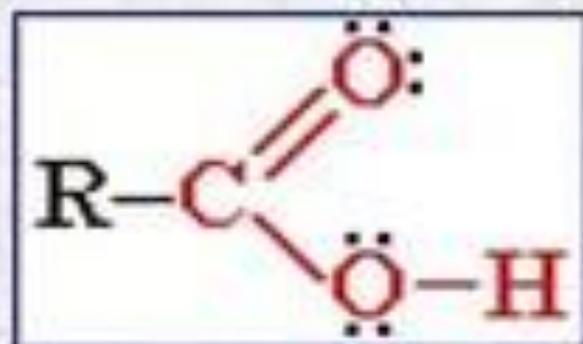
## Карбоновые кислоты

| Формулы                                     | Названия       |
|---|----------------|
| $\text{H} - \text{COOH}$                    | Метановая      |
| $\text{C H}_3 - \text{COOH}$                | Этановая       |
| $\text{C}_2 \text{H}_5 - \text{COOH}$       | Пропановая     |
| $\text{C}_3 \text{H}_7 - \text{COOH}$       | Бутановая      |
| $\text{C}_4 \text{H}_9 - \text{COOH}$       | Пентановая     |
| $\text{C}_5 \text{H}_{11} - \text{COOH}$    | Гексановая     |
| $\text{C}_6 \text{H}_{13} - \text{COOH}$    | Гептановая     |
| $\text{C}_7 \text{H}_{15} - \text{COOH}$    | Октановая      |
| $\text{C}_{15} \text{H}_{31} - \text{COOH}$ | Гексадекановая |
| $\text{C}_{16} \text{H}_{33} - \text{COOH}$ | Гептадекановая |
| $\text{C}_{17} \text{H}_{35} - \text{COOH}$ | Октадекановая  |
| Общая формула R - COOH                      |                |

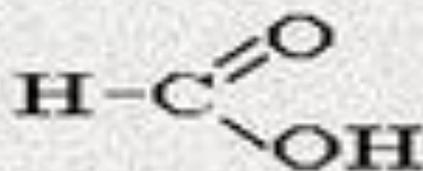
# КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ



Карбоксильная  
группа



Муравьиная  
кислота  
(метановая)



Уксусная кислота  
(этановая)

