

E-mail: [irkrav66@gmail.com](mailto:irkrav66@gmail.com)

# ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

## Кислородсодержащие органические соединения

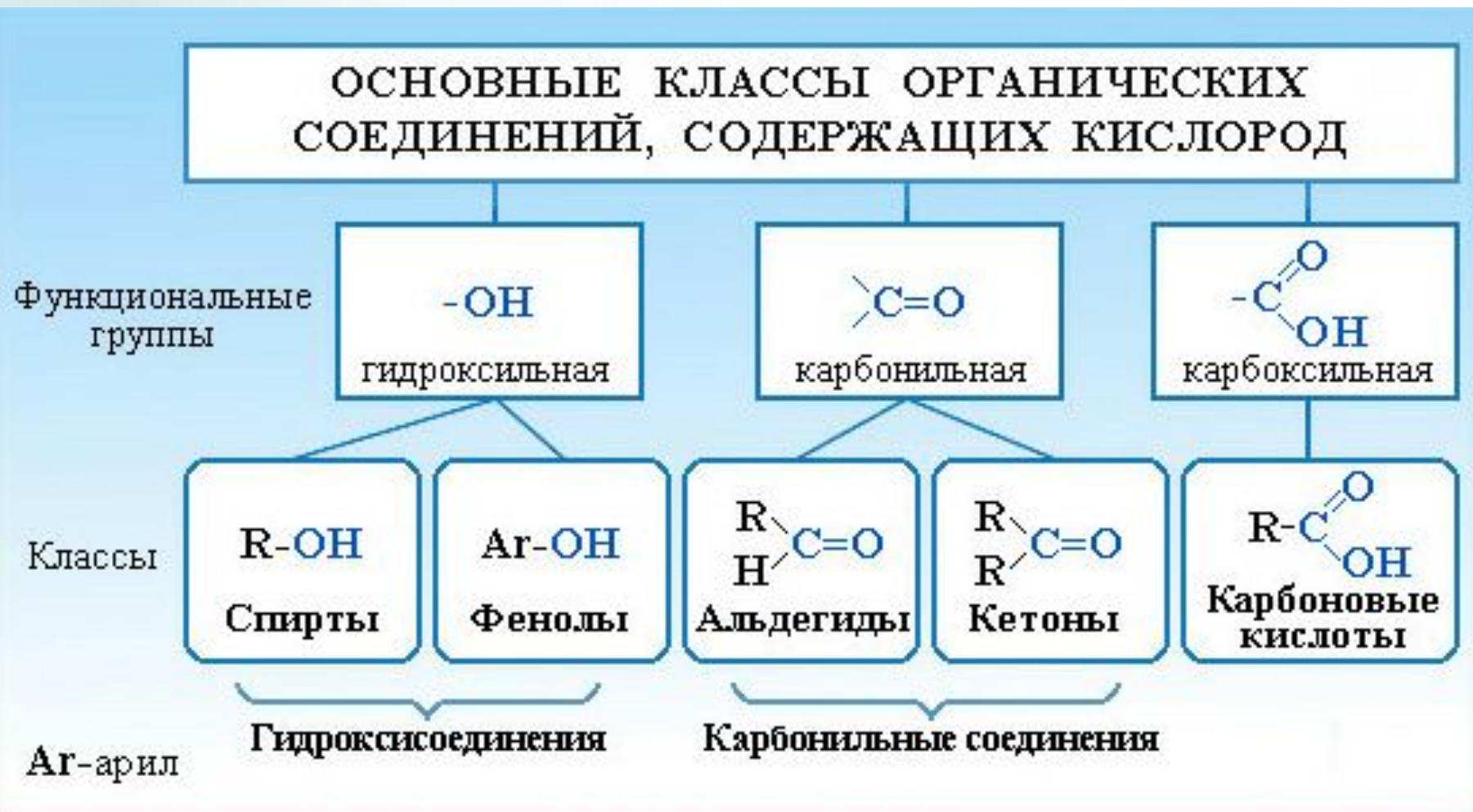
лектор:  
проф. Рохин Александр  
Валерьевич

# Кислородсодержащие органические соединения

---

- известно большое число органических соединений, в состав которых наряду с углеродом и водородом входит кислород.
- атом кислорода содержится в различных функциональных группах, определяющих принадлежность соединения к определенному классу.

# Основные кислородсодержащие соединения



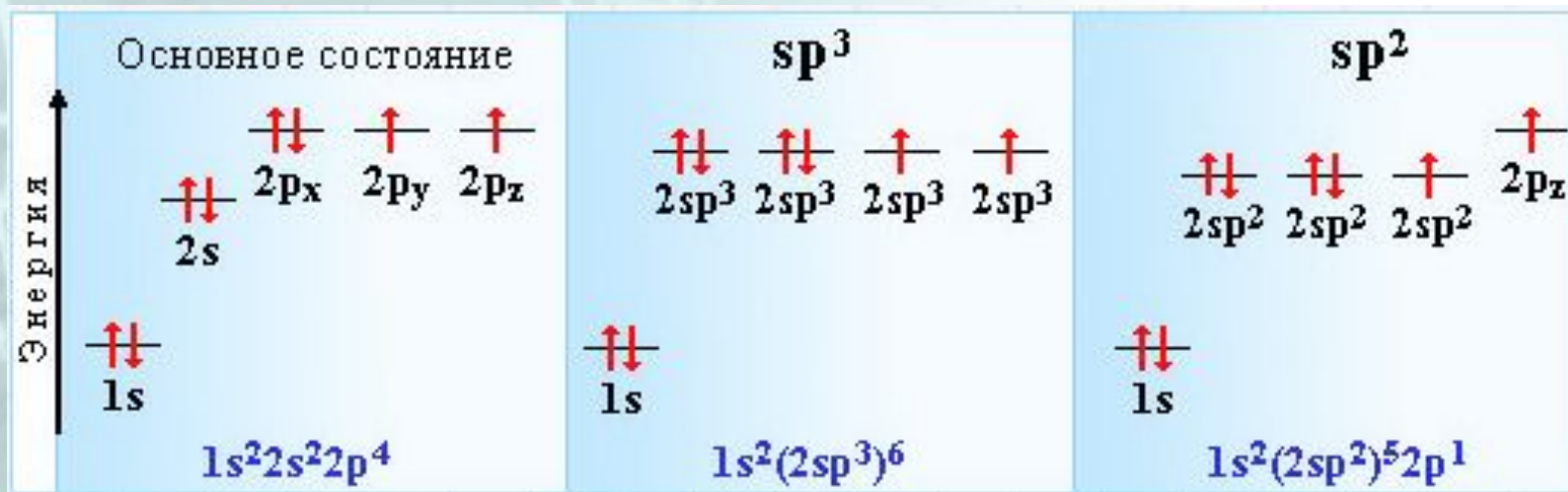
# Функциональные группы

---

- $\text{HO-R-CHO}$  - гидроксикальдегиды
- $\text{HO-R-CO-R}'$  - гидроксикетоны
- $\text{HO-R-COOH}$  - гидроксикислоты
- $\text{ROR}'$  - простые эфиры
- $\text{RCOOR}'$  - сложные эфиры
- $\text{RCONH}_2$  - амиды
- $(\text{RCO})_2\text{O}$  - ангидриды
- $\text{RCOCl}$  - хлорангидриды

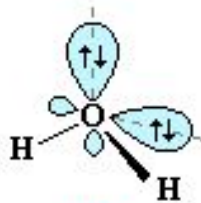
# Строение кислорода

- Кислород – элемент VI A группы 2-го периода периодической системы; порядковый номер 8; атомная масса 16; электроотрицательность 3,5.
- Электронная конфигурация в основном состоянии  $1s^2 2s^2 2p^4$ :

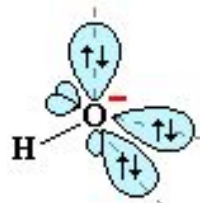


# $sp^3$ -состояние

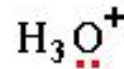
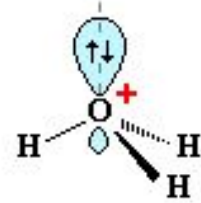
- Соединения, содержащие атом кислорода в  $sp^3$ -гибризованном состоянии:



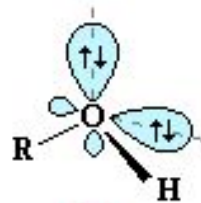
вода



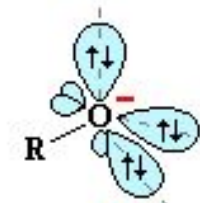
гидроксид-анион



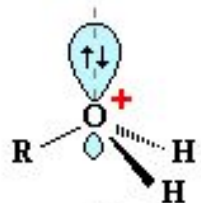
гидроксоний-катион



спирт



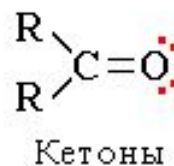
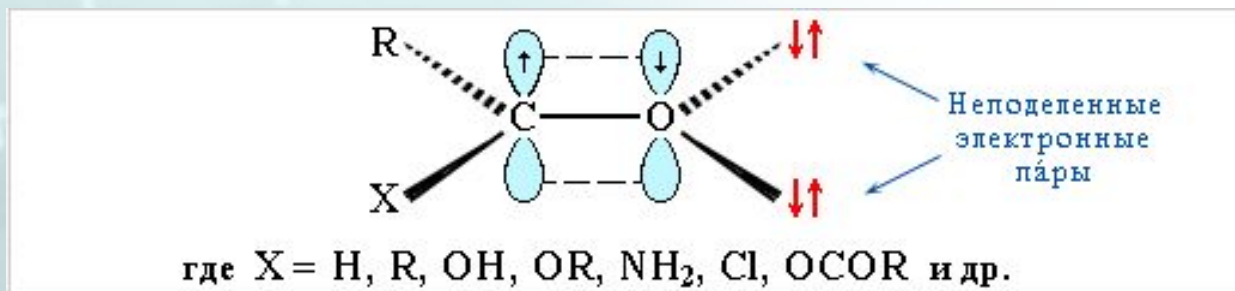
алкоксид-анион



катион  
алкилгидроксония

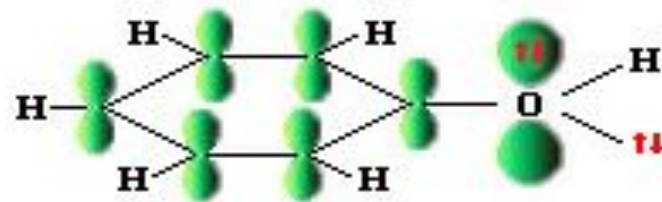
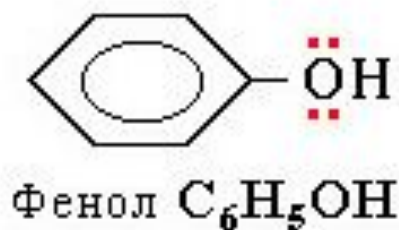
# $sp^2$ -состояние

- $sp^2$ -Гибридизованный атом кислорода присутствует в соединениях с карбонильной группой  $C=O$



# $sp^2$ -состояние

- Кроме того, кислород в  $sp^2$ -состоянии может быть и в группах OH или OR, если они связаны с  $sp^2$ -атомом C.
- Например, в феноле:





# Гидроксисоединения

---

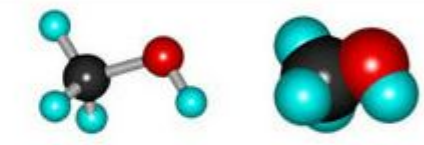
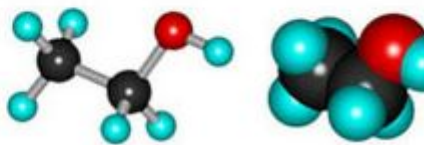
- вещества, содержащие одну или более гидроксильных групп  $-OH$ , связанных с углеводородным радикалом:
  - спирты  $R-OH$
  - фенолы  $Ar-OH$

$R$  – алкил (алифатический радикал);

$Ar$  – арил (ароматический радикал, радикал фенил  $-C_6H_5$ )

# Спирты

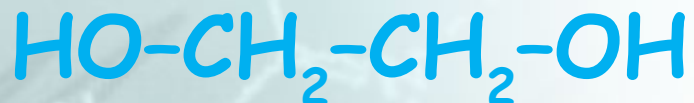
- Спирты - соединения алифатического ряда, содержащие одну или несколько гидроксильных групп.
- Общая формула спиртов с одной гидроксигруппой R-OH.

Простейшие спирты		
Название	Формула	Модели
Метиловый спирт (метанол)	$\text{CH}_3\text{-OH}$	
Этиловый спирт (этанол)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$	

# Классификация спиртов

1. По числу гидроксильных групп спирты подразделяются на

- одноатомные (одна группа -ОН),
- многоатомные (две и более групп -ОН).
- Современное название многоатомных спиртов - полиолы (диолы, триолы и т.д):
  - двухатомный спирт - этиленгликоль (этандиол)



- трехатомный спирт - глицерин (пропантриол-1,2,3)



# Классификация спиртов

2. В зависимости от того, с каким атомом углерода связана гидроксигруппа, различают спирты

- первичные  $R-CH_2-OH$ ,
- вторичные  $R_2CH-OH$ ,
- третичные  $R_3C-OH$ .



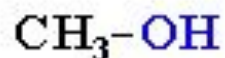
# Классификация спиртов

3. По строению радикалов, связанных с атомом кислорода, спирты подразделяются на:

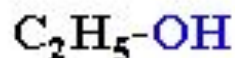
- предельные, или алканолы ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$ )
- непредельные, или алкенолы ( $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-OH}$ )
- ароматические ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{-OH}$ ).

# Номенклатура спиртов

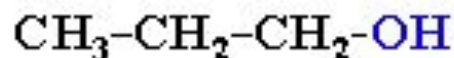
- Систематические названия даются по названию углеводорода с добавлением суффикса -ол и цифры, указывающей положение гидроксигруппы (если это необходимо):



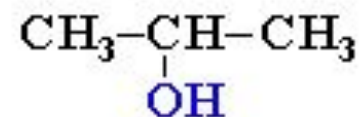
метанол



этанол



пропанол-1

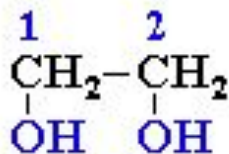


пропанол-2

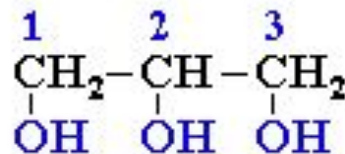


# Номенклатура спиртов

- В многоатомных спиртах положение и число  $\text{OH}$ -групп указывают суффиксами **диол**, **триол** и цифрами:



этандиол-1,2  
(этиленгликоль)



пропантриол-1,2,3  
(глицерин)



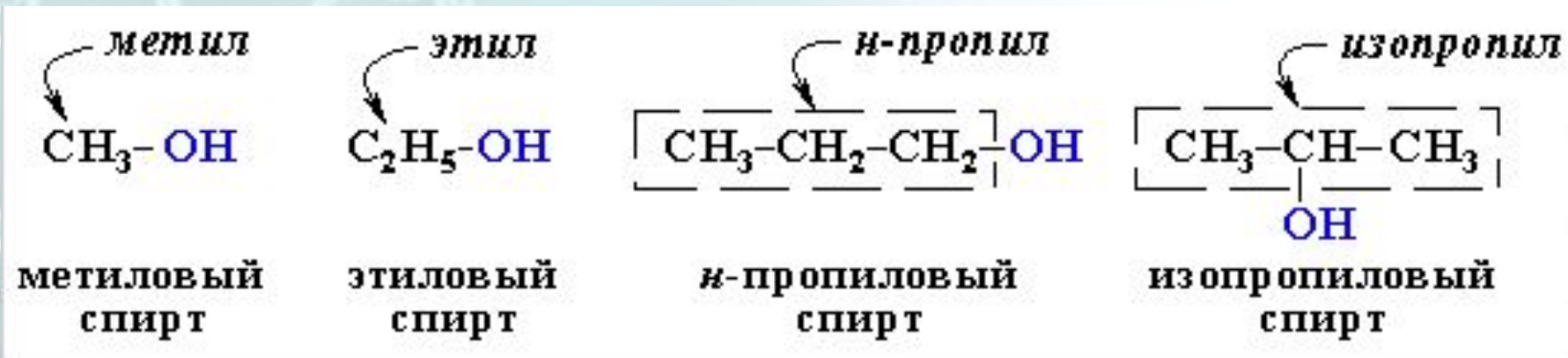
# Номенклатура спиртов

---

- Радикально-функциональная номенклатура ИЮПАК, наличие функциональной группы отражают не суффиксом, а названием соответствующего класса соединений:
- $C_2H_5OH$  - этиловый спирт;
- $C_2H_5Cl$  - этилхлорид;
- $CH_3-O-C_2H_5$  - метилэтиловый эфир;
- $CH_3-CO-CH=CH_2$  - метилвинилкетон.

# Номенклатура спиртов

- Названия спиртов производят от названий радикалов с добавлением слова спирт:



# Назовите следующие спирты:

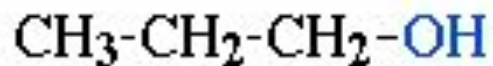
---

- $\text{CH}_3\text{—OH}$
- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$
- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$
- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$
- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$
- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$

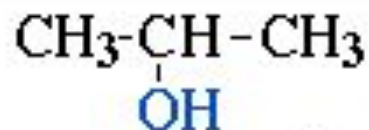
# Структурная изомерия спиртов

---

## 1. изомерия положения OH-группы (начиная с C<sub>3</sub>):



пропанол-1  
(н-пропиловый спирт)



пропанол-2  
(изопропиловый спирт)

# Структурная изомерия спиртов

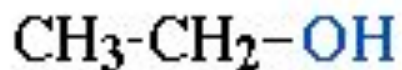
2. углеродного скелета (начиная с  $C_4$ ); формуле  $C_4H_9OH$  соответствует 4 структурных изомера):



# Структурная изомерия спиртов

---

3. межклассовая изомерия с простыми эфирами - этиловый спирт  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$  и диметиловый эфир  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ ):



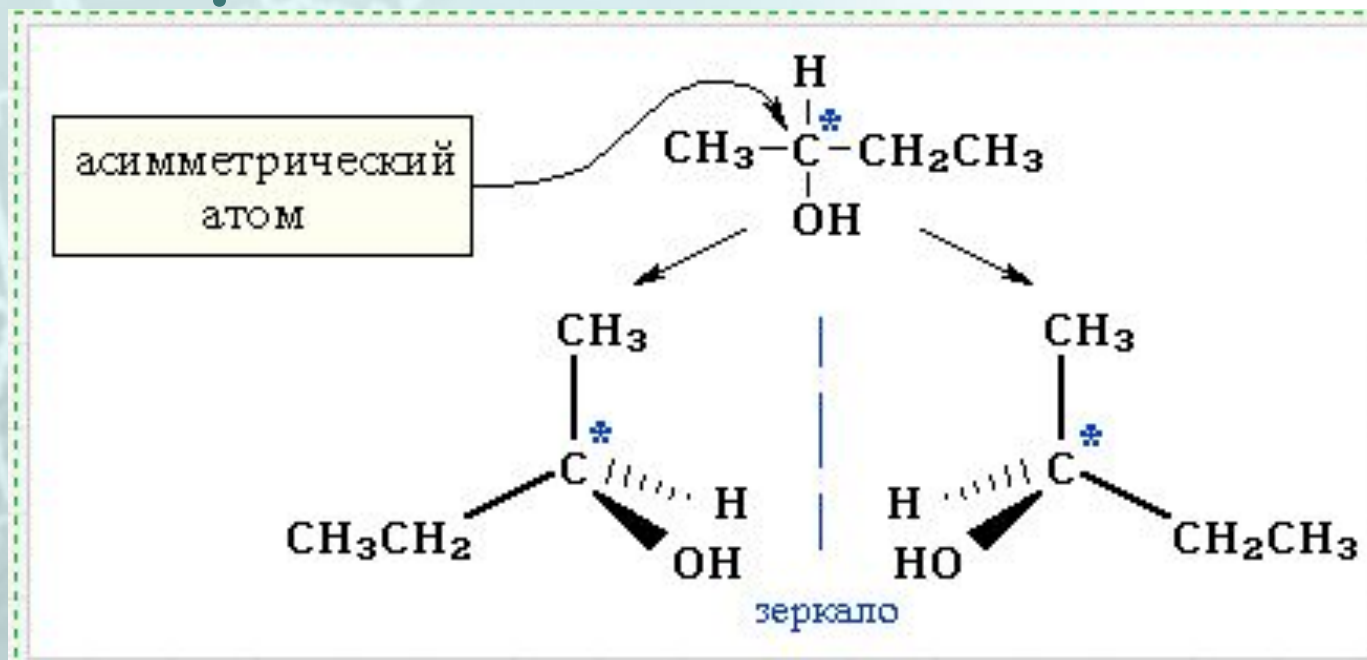
этиловый спирт



диметиловый эфир

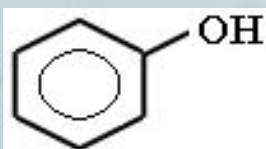
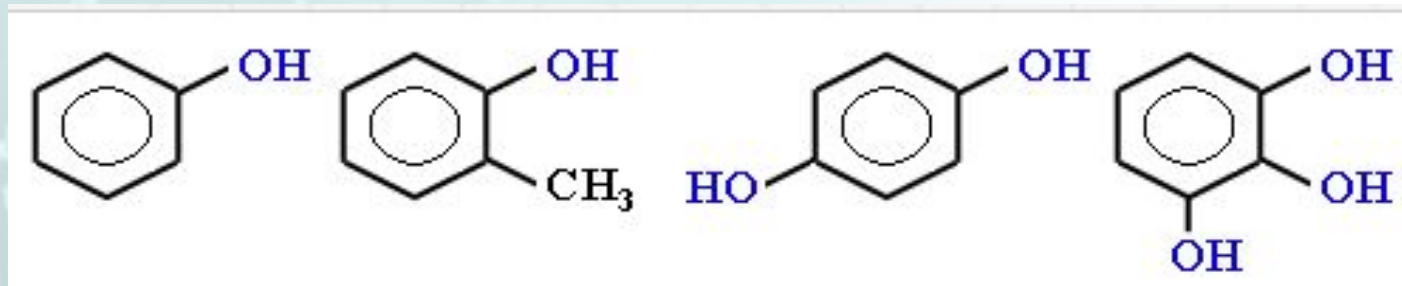
# Пространственная изомерия

- Для спиртов с асимметрическим атомом характерна оптическая изомерия:

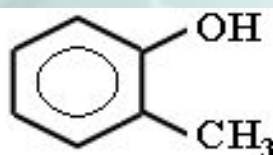


# Фенолы

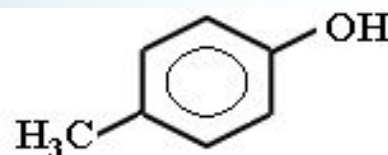
- гидроксисоединения, в молекулах которых **ОН-группы связаны непосредственно с бензольным ядром:**



Фенол



*орто*-Крезол  
(1-гидрокси-  
2-метилбензол)



*пара*-Крезол  
(1-гидрокси-  
4-метилбензол)

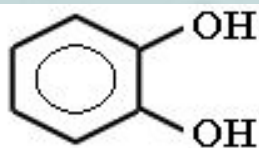


# Фенолы

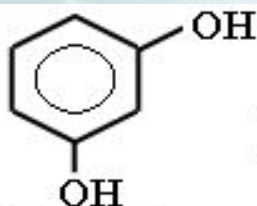
В зависимости от числа  $\text{OH}$ -групп различают:

- одноатомные фенолы
- многоатомные.

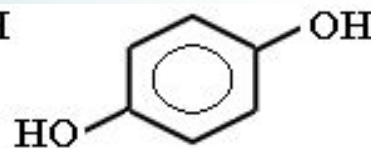
Среди многоатомных фенолов наиболее распространены двухатомные:



Пирокатехин  
(1,2-дигидрокси-  
бензол)



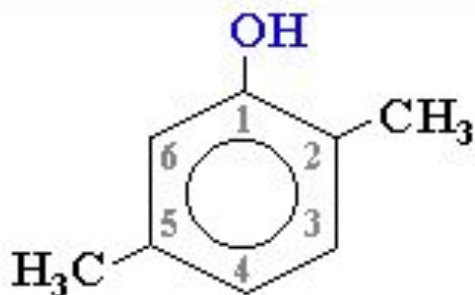
Резорцин  
(1,3-дигидрокси-  
бензол)



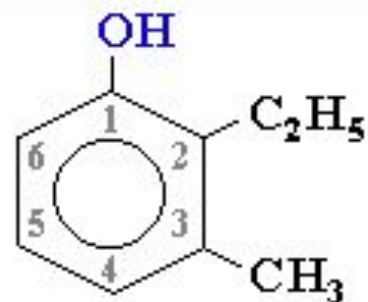
Гидрохинон  
(1,4-дигидрокси-  
бензол)

# Номенклатура фенолов

- Одноатомные фенолы называются как производные от первого вещества этого ряда - фенола:



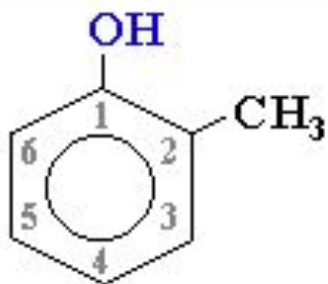
2,5-диметилфенол



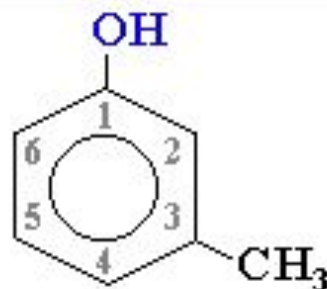
3-метил-2-этилфенол

# Номенклатура фенолов

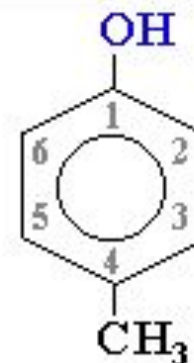
- В названиях монозамещённых фенолов применяют приставки - *орто*, *мета*, *пара*, а сами фенолы называют крезолами:



*орто*-крезол  
(2-метилфенол)



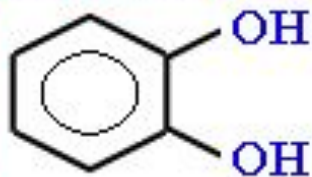
*мета*-крезол  
(3-метилфенол)



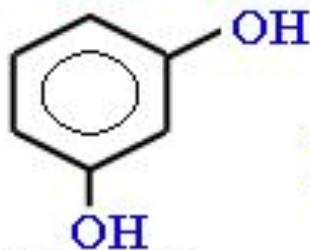
*пара*-крезол  
(4-метилфенол)

# Номенклатура фенолов

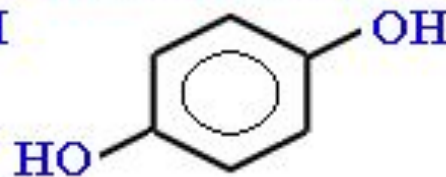
- Для большинства многоатомных фенолов сохраняются тривиальные названия:



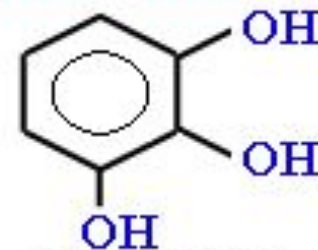
**Пирокатехин**  
(1,2-дигидрокси-  
бензол)



**Резорцин**  
(1,3-дигидрокси-  
бензол)



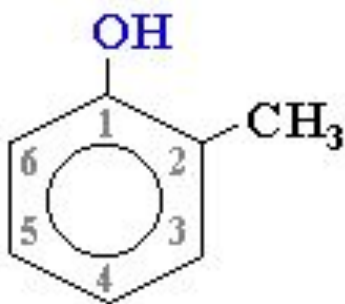
**Гидрохинон**  
(1,4-дигидрокси-  
бензол)



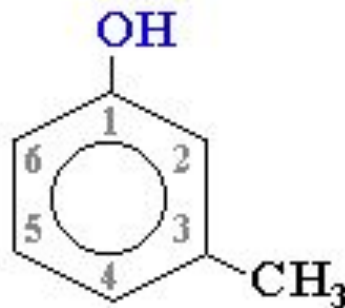
**Пирогаллол**  
(1,2,3-тригидрокси-  
бензол)

# Структурная изомерия фенолов

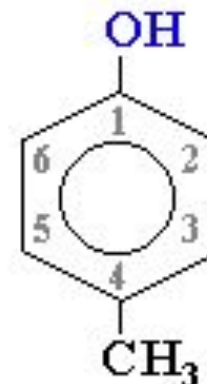
## 1. Изомерия положения OH-группы:



*орто*-крезол  
(2-метилфенол)



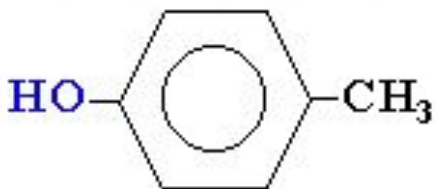
*мета*-крезол  
(3-метилфенол)



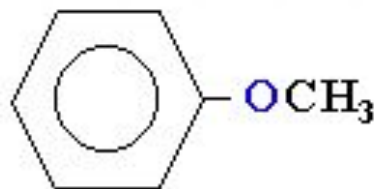
*пара*-крезол  
(4-метилфенол)

# Структурная изомерия фенолов

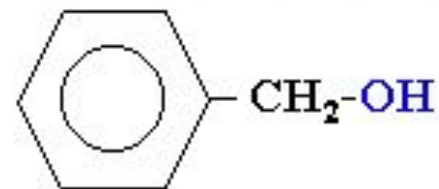
2. межклассовая изомерия алкилфенолов с простыми эфирами и ароматическими спиртами:



*пара*-крезол



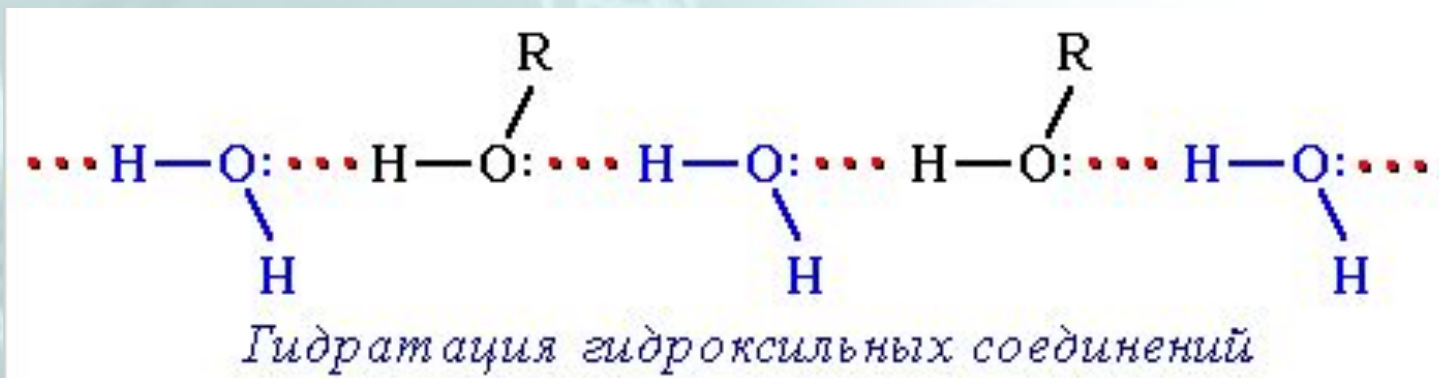
метилфениловый  
эфир



бензиловый  
спирт

# Химические свойства спиртов

Следствием полярности связи O-H и наличия неподеленных пар электронов на атоме кислорода является способность гидроксисоединений к образованию водородных связей:



# Химические свойства спиртов

Поэтому даже низшие спирты - жидкости с относительно высокой температурой кипения

При переходе от одноатомных к многоатомным спиртам или фенолам температуры кипения и плавления резко возрастают:

Название	Формула	Т. пл., °С	Т. кип., °С
Метанол	$\text{CH}_3\text{OH}$	-98	64,5
Этанол	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	-114	78,4
Этиленгликоль	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	-12	197
Глицерин	$\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$	17	290
Фенол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	43	182



# Химические свойства спиртов

---

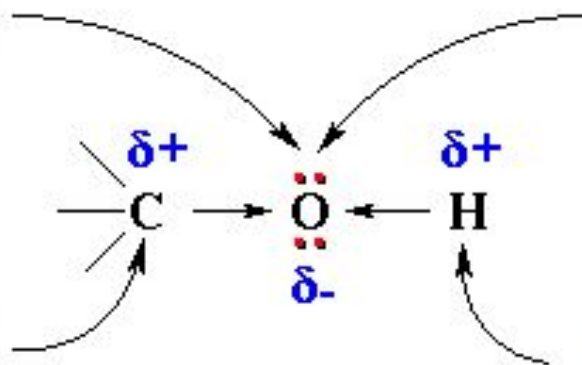
- В химических реакциях возможно разрушение:
  - С-ОН с отщеплением ОН-группы
  - О-Н с отщеплением водорода.
- Это могут быть реакции замещения, или реакция отщепления (элиминирования),
- Полярный характер связей С-О и О-Н способствует протеканию реакций по ионному механизму.

# Химические свойства спиртов

- При разрыве связи O-H с отщеплением протона  $H^+$  проявляются кислотные свойства гидроксисоединения, а при разрыве связи C-O - свойства основания и нуклеофильного реагента:

Взаимодействие с электрофилом  $E^+$  (нуклеофильные свойства)

Взаимодействие с нуклеофилом  $X:$  (электрофильные свойства)



Присоединение  $H^+$  (основные свойства)

Отщепление  $H^+$  (кислотные свойства)

# Химические свойства спиртов

---

- К наиболее характерным реакциям с разрывом связи O-H, относятся:
  - реакции замещения атома водорода на металл (кислотные свойства);
  - реакции замещения атома водорода на остаток кислоты (образование сложных эфиров);
  - реакции отщепления водорода при окислении и дегидрировании.

# Химические свойства спиртов

---

- Легкость этих реакций и строение образующихся продуктов зависят от строения углеводородного радикала и взаимного влияния атомов.
- Реакционная способность одноатомных спиртов в реакциях по связи O-H:  
 $\text{CH}_3\text{OH} > \text{первичные} > \text{вторичные} > \text{третичные}.$

# Химические свойства фенолов

---

- Фенолы в большинстве реакций по связи O-H активнее спиртов,
- эта связь более полярна за счет смещения электронной плотности от атома кислорода в сторону бензольного кольца (участие неподеленной электронной пары атома кислорода в системе  $\pi$ -сопряжения).

# Химические свойства спиртов

---

- Одноатомные спирты реагируют с активными металлами (Na, K, Mg, Al), образуя соли - алкоголяты (алкоксиды):



# Химические свойства спиртов

---

- Алкоголяты под действием воды полностью гидролизуются :



- Спирты – более слабые кислоты, чем вода, поэтому при взаимодействии спиртов со щелочами алкоголяты практически не образуются.

# Химические свойства спиртов

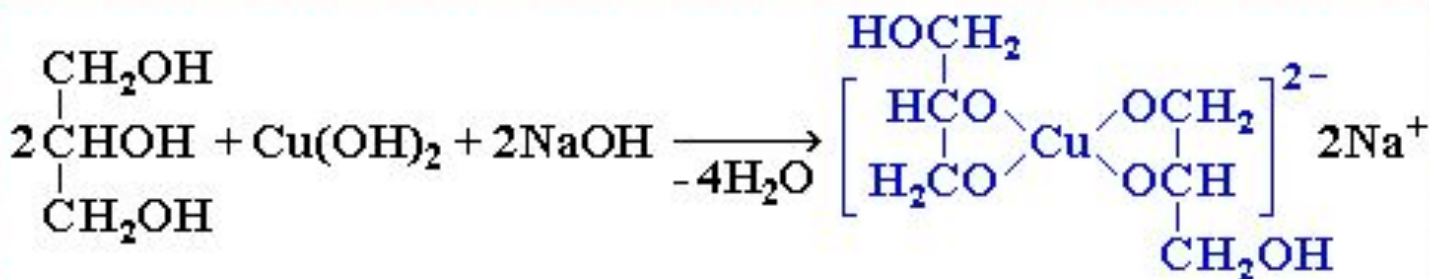
---

- Многоатомные спирты (этиленгликоль, глицерин и т.п.) вследствие взаимного влияния атомов (-I-эффект OH-групп) являются более сильными кислотами, чем одноатомные спирты.
- Они образуют соли не только в реакциях с активными металлами, но и под действием их гидроксидов.



# Химические свойства спиртов

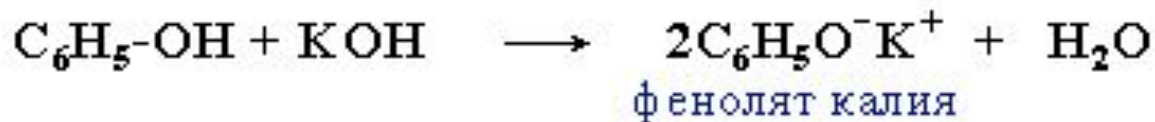
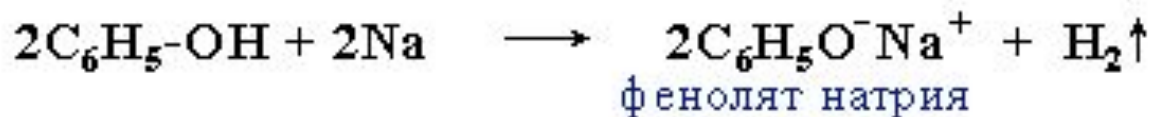
- Многоатомные спирты, в отличие от одноатомных, взаимодействуют с раствором гидроксида меди (II), образуя комплексные соединения, окрашивающие раствор в ярко-синий цвет (качественная реакция):



глицерат меди

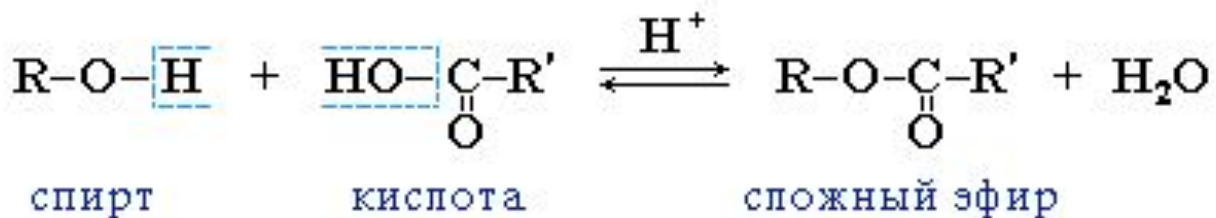
# Химические свойства фенолов

- Фенолы являются более сильными кислотами, чем спирты и вода.
- Фенолы реагируют с гидроксидами щелочных и щелочноземельных металлов, образуя соли - феноляты: .



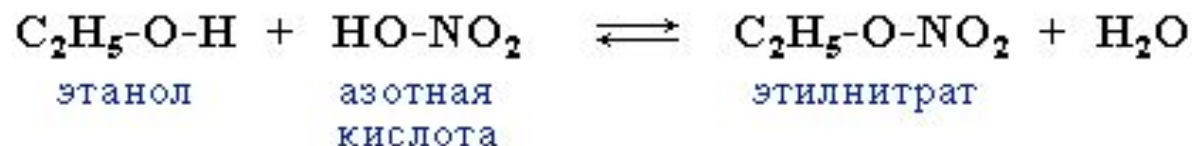
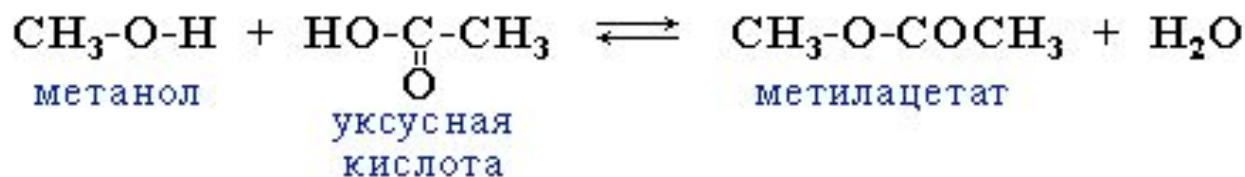
# Образование сложных эфиров

- Спирты вступают в реакции с минеральными и органическими кислотами, образуя сложные эфиры.
- Реакция обратима (обратный процесс - гидролиз сложных эфиров):



# Образование сложных эфиров

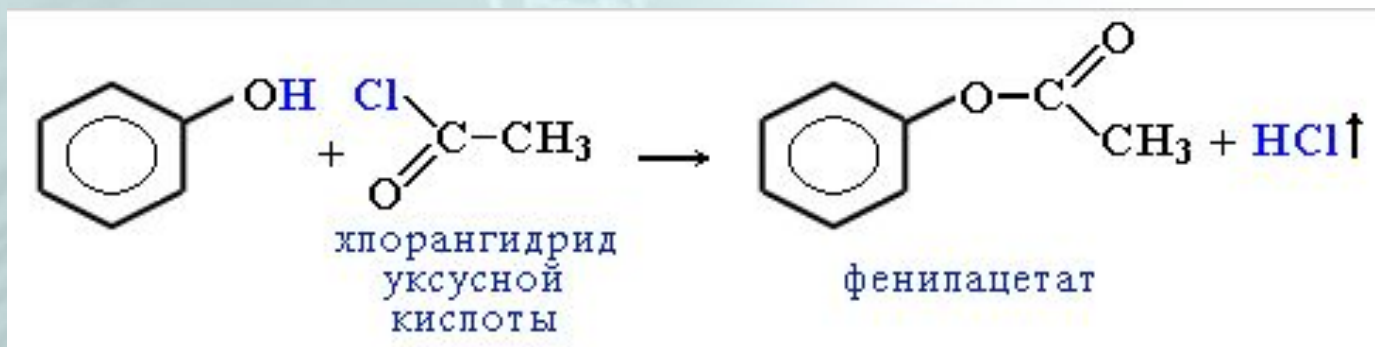
- Название сложного эфира образуется от углеводородного радикала:



- Реакционная способность одноатомных спиртов в этих реакциях убывает от первичных к третичным.

# Химические свойства фенолов

- Фенолы не образуют сложные эфиры в реакциях с кислотами.
- Для этого используются более реакционноспособные производные кислот (ангидриды, хлорангидриды):



# Простые эфиры

---

- Простыми эфирами называют органические вещества, молекулы которых состоят из углеводородных радикалов, соединенных атомом кислорода:  $R'-O-R''$ , где  $R'$  и  $R''$  - различные или одинаковые радикалы.

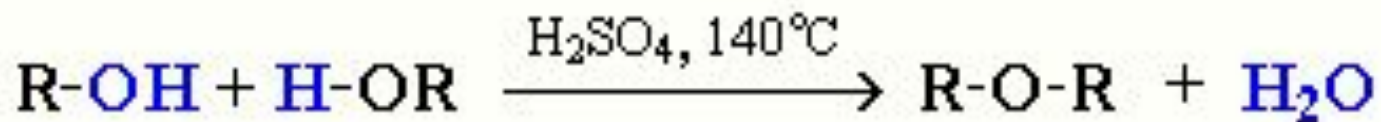
# Простые эфиры

---

- Простые эфиры рассматриваются как производные спиртов.
- Названия этих соединений строятся из названий радикалов (в порядке возрастания молекулярной массы) и слова "эфир":
- $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  - диметилловый эфир;
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCH}_3$  - метилэтиловый эфир.

# Простые эфиры

- Симметричные простые эфиры R-O-R получают при межмолекулярной дегидратации спиртов:

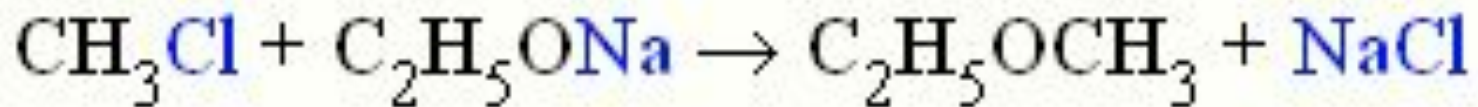


- Реакцию можно рассматривать как нуклеофильное замещение группы HO<sup>-</sup> (в одной молекуле спирта) на группу RO<sup>-</sup> (от другой молекулы).



# Простые эфиры

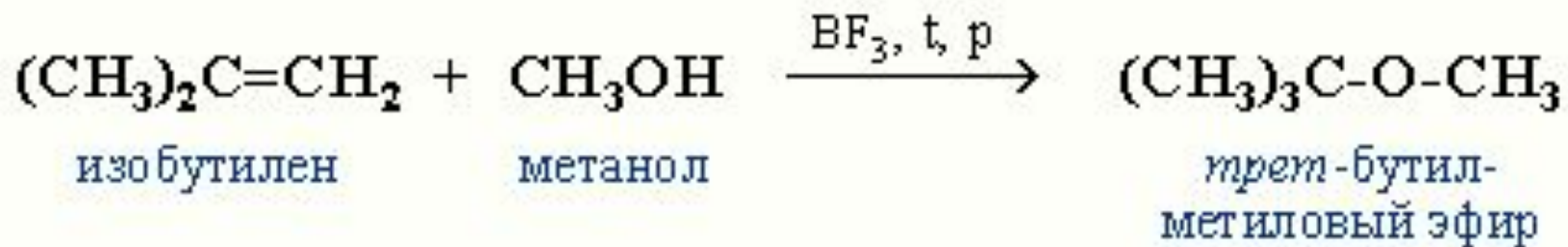
- Эфиры несимметричного строения  $R-O-R'$  образуются при взаимодействии галогенуглеводорода и алкоголята (синтез Вильямсона):



- В этой реакции происходит нуклеофильное замещение галогена ( $\text{Cl}^-$ ) на алкоксигруппу ( $\text{CH}_3\text{O}^-$ ).

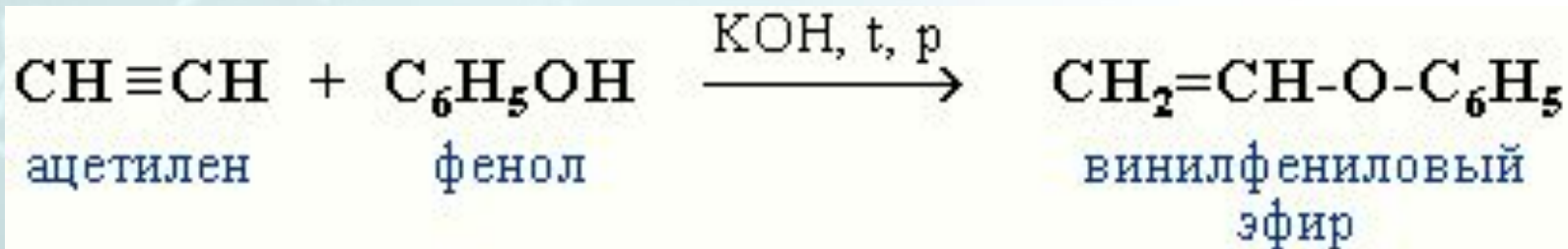
# Простые эфиры

- Простые эфиры получают также присоединением спиртов и фенолов к ненасыщенным углеводородам.
- а) Присоединение к алкенам:



# Простые эфиры

- б) Присоединение к алкинам (образование виниловых эфиров):

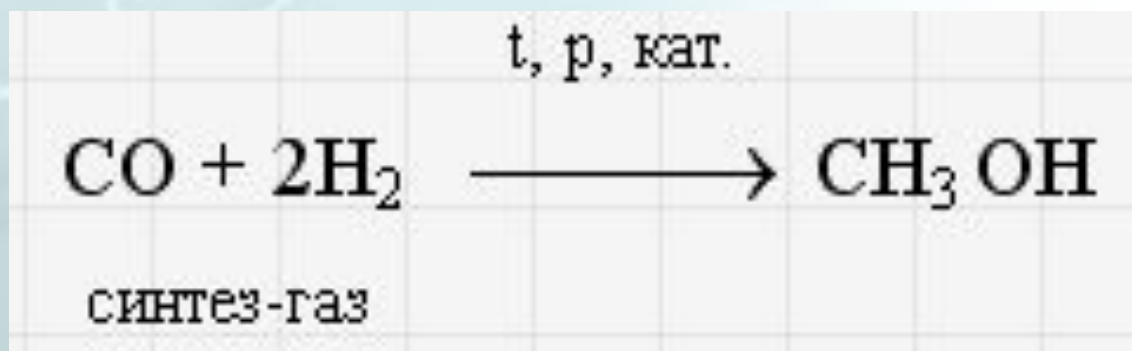


- Механизм реакции – нуклеофильное присоединение по тройной связи. Нуклеофил – феноксид-анион  $\text{ArO}^-$  (или алкоксид-анион  $\text{RO}^-$ ), образующийся из фенола (или спирта) под действием щелочи.

# Получение спиртов и фенолов

---

- I. Метанол получают из синтез-газа над катализаторами (оксид Zn, Cr, Al):



# Получение спиртов и фенолов

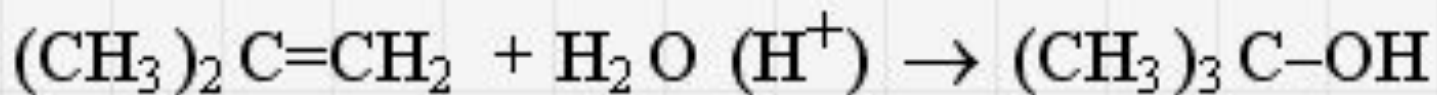
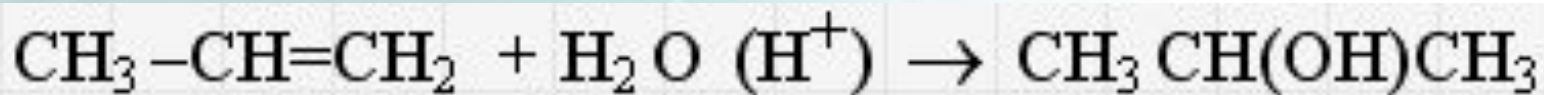
---

- 2. Этанол в промышленности получают несколькими способами:
- а) ферментативное брожение глюкозы (пищевой спирт): 
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$
- б) гидролиз древесины и последующее её сбраживание (гидролизный спирт)
- в) гидратация этилена (синтетический спирт): 
$$CH_2=CH_2 + H_2O (H^+) \rightarrow CH_3CH_2OH$$

# Получение спиртов и фенолов

---

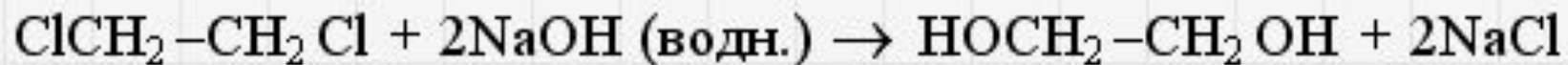
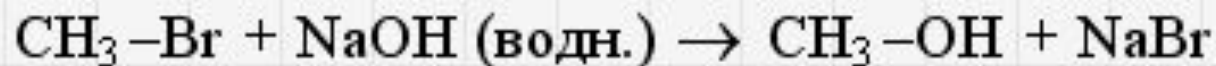
- 3. Гидратация алкенов: присоединение воды к несимметричным алкенам идет по правилу Марковникова с образованием вторичных и третичных спиртов:



# Получение спиртов и фенолов

---

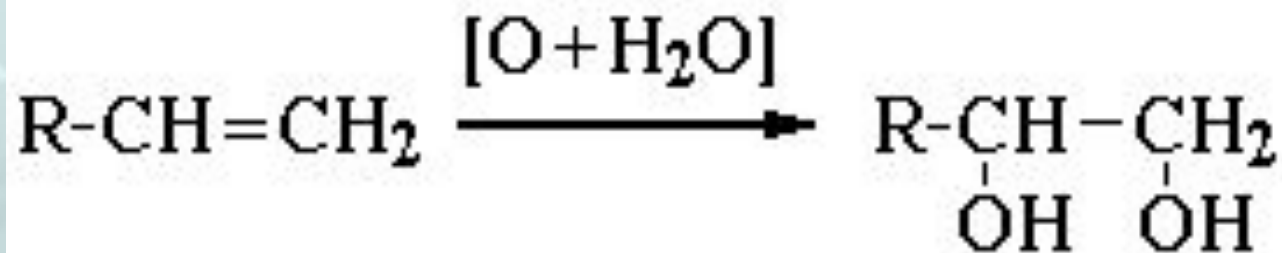
## 4. Щелочной гидролиз галогенуглеводородов:



# Получение спиртов и фенолов

---

- 5. Гликоли получают окислением алкенов щелочным раствором  $\text{KMnO}_4$  :

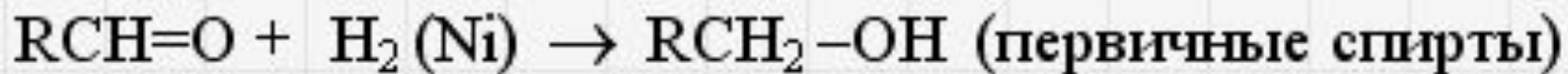




# Получение спиртов и фенолов

---

- 6. восстановление альдегидов и кетонов:



# Получение спиртов и фенолов

- 7. Кумольный способ получения фенола (СССР, 1949 г.).
- Преимущества метода: безотходная технология (выход полезных продуктов > 99%) и экономичность:



# Получение спиртов и фенолов

---

- 8. фенолы и крезолы извлекают из каменноугольной смолы, которая образуется при получении кокса и полукочка для металлургической промышленности

# Применение спиртов

---

Метанол (метилловый спирт)  $\text{CH}_3\text{OH}$ :

- производство формальдегида
- муравьиной кислоты;
- растворитель.

# Применение спиртов

---

Этанол (этиловый спирт)  $C_2H_5OH$ :

- производство ацетальдегида, уксусной кислоты, бутадиена, простых и сложных эфиров;
- растворитель для красителей, лекарственных и парфюмерных средств;
- производство ликеро-водочных изделий;
- дезинфицирующее средство в медицине;
- горючее для двигателей, добавка к моторным топливам

# Применение спиртов

---

Этиленгликоль  $\text{HOCH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$ :

- производство пластмасс;
- компонент антифризов;
- сырьё в органическом синтезе

# Применение спиртов

---

Глицерин  $\text{HOCH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{OH}$ :

- фармацевтическая и парфюмерная промышленность;
- смягчитель кожи и тканей;
- производство взрывчатых веществ

# Применение спиртов

---

Фенол  $C_6H_5OH$ :

- производство фенолформальдегидных смол;
- полупродукт в органическом синтезе



# 1. Контрольная работа

---

1. Соединение  $\text{CH}_3\text{-CHON-CH}_2\text{-CH}_3$  относится к классу:

Ответ 1 : алканов

Ответ 2 : алкенов

Ответ 3 : алканолов

Ответ 4 : фенолов

Ответ 5 : алкандиолов :

## 2. Контрольная работа

---

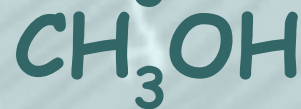
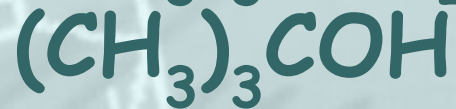
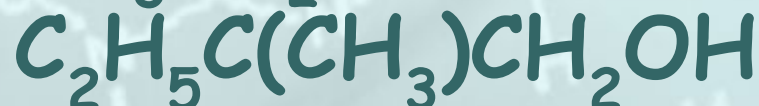
Дайте названия следующих спиртов, полученных из алканов:

- бутан
- гептан
- октан
- пропан
- пентан
- гексан

# 3. Контрольная работа

---

Сколько первичных, вторичных и третичных спиртов приведено ниже?



# 4. Контрольная работа

---

Какой вид химической связи определяет отсутствие среди гидроксисоединений газообразных веществ (при обычных условиях)?

Ответ 1: ионная

Ответ 2: ковалентная

Ответ 3: донорно-акцепторная

Ответ 4: водородная

# 5. Контрольная работа

---

Какое вещество образуется при нагревании этилового спирта до температуры ниже  $140^{\circ}\text{C}$  в присутствии концентрированной серной кислоты?

Ответ 1: уксусный альдегид

Ответ 2: диметиловый эфир

Ответ 3: этилен

Ответ 4: ацетон

# 6. Контрольная работа

---

Водород выделяется в реакции ...

Ответ 1: этанол + уксусная кислота

Ответ 2: этанол + Na металлический

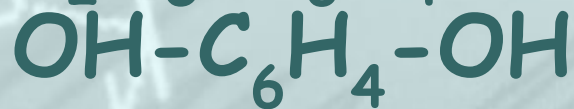
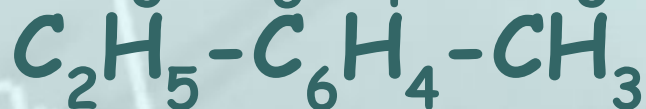
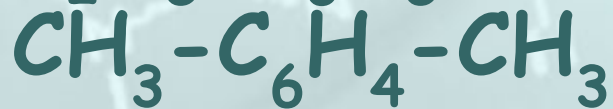
Ответ 3: этанол + водный раствор NaOH

Ответ 4: этанол + уксусный альдегид

# 7. Контрольная работа

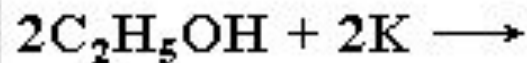
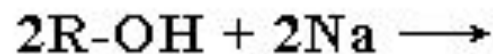
---

Нарисуйте структурные формулы и назовите следующие соединения:



# Свойства спиртов

- Взаимодействие спирта и натрия

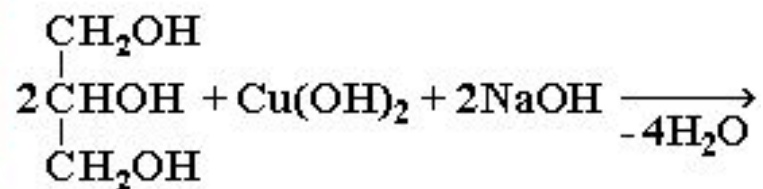


- Напишите уравнения реакций.
- (видеоролик or3.exe в папке лабораторные опыты-кислородсодержащие соединения)



# Свойства спиртов

- Образование глицерата меди.
- Напишите уравнение реакции:



- (видеоролик or2.exe в папке лабораторные - опыты кислородсодержащие соединения)