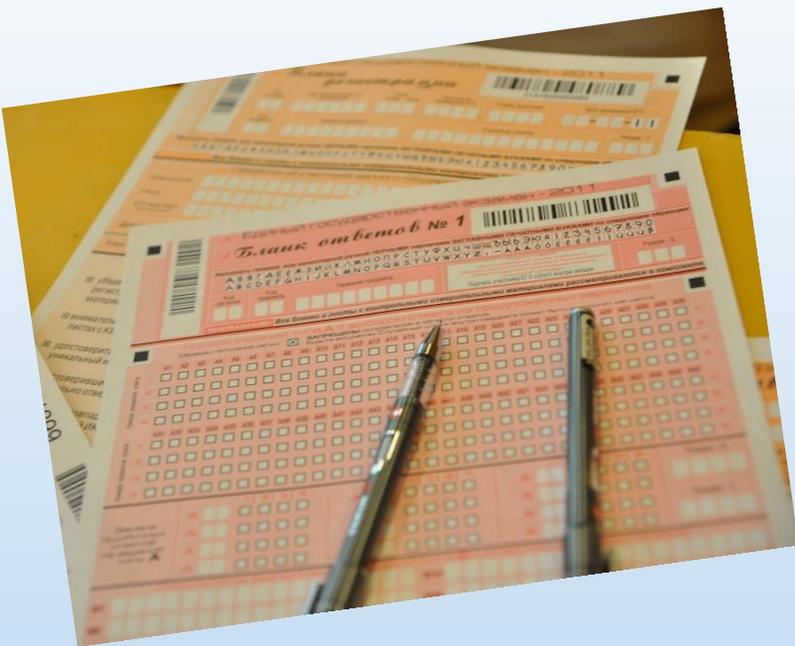
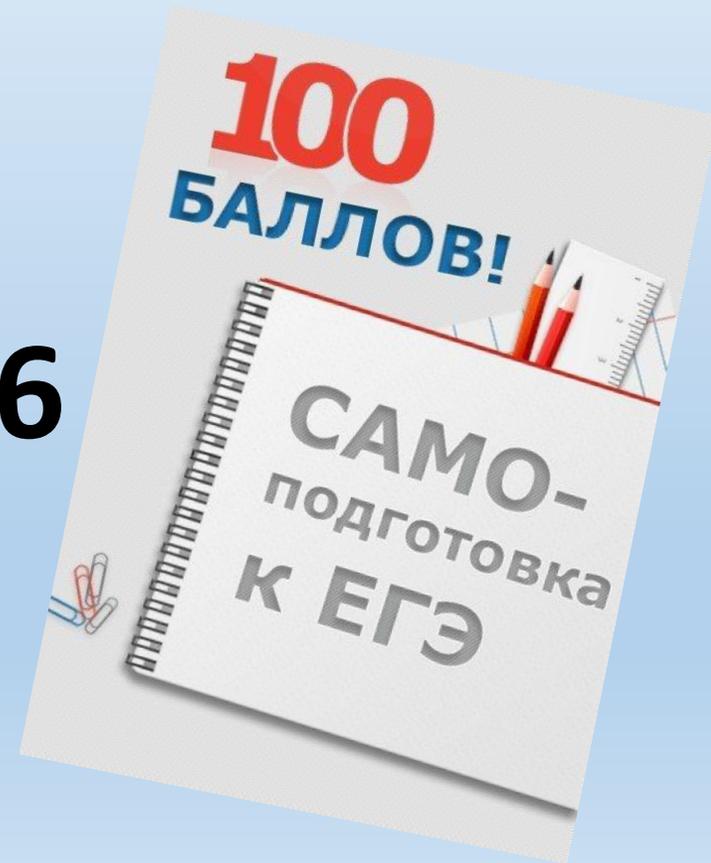


# ЕГЭ 2017



Подготовка к вопросу № 26



# Содержание:

1. Окраска пламени.
2. Качественные реакции на катионы и анионы.
3. Распознавание органических веществ.
4. Химическая посуда.
5. Аллотропия неорганических веществ.
6. Химические производства.



Качественные реакции - реакции, позволяющие доказать наличие того или иного вещества (иона) в среде или присутствие функциональной группы в веществе.

### Щелочные металлы (IA)

$\text{Li}^+$  — темно-розовый.  
 $\text{Na}^+$  — желтый.  
 $\text{K}^+$  — фиолетовый.  
 $\text{Rb}^+$  — красный.  
 $\text{Cs}^+$  — голубой

### Щелочноземельные металлы (IIA)

$\text{Ca}^{2+}$  — кирпично-красный.  
 $\text{Sr}^{2+}$  — карминово-красный.  
 $\text{Ba}^{2+}$  — желтовато-зеленый.  
 $\text{Ra}^{2+}$  — темно-красный

### Соли других металлов окрашивают пламя в

Молибден	Желто-зеленоватый
Медь	Ярко-зеленый
Бор	Бледно-зеленый
Теллур	Зеленый
Таллий	Изумрудный
Селен	Голубой
Мышьяк	Бледно-синий
Индий	Сине-фиолетовый

## Качественная реакция на катионы металлов – окраска пламени



# Окраска пламени



- Борная кислота и ее соли окрашивают пламя в насыщенно-зеленый цвет.

## Качественные реакции на катионы в растворе

Катион	Реактив	Наблюдаемая реакция
Ba <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Выпадение белого осадка, не растворимого в кислотах: Ba <sup>2+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> → BaSO <sub>4</sub>
Cu <sup>2+</sup>	OH <sup>-</sup>	Выпадение осадка синего цвета: Cu <sup>2+</sup> + 2OH <sup>-</sup> → Cu(OH) <sub>2</sub> ↓
Pb <sup>2+</sup>	S <sup>2-</sup>	Выпадение черного осадка: Pb <sup>2+</sup> + S <sup>2-</sup> → PbS ↓
Ag <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Выпадение белого осадка; не растворимого в HNO <sub>3</sub> , но растворимого в конц. NH <sub>3</sub> • H <sub>2</sub> O: Ag <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup> → AgCl ↓
Fe <sup>2+</sup>	1) OH <sup>-</sup> 2) гексациано-феррат (III) калия (красная кровяная соль), K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	1) Выпадение светло-зелёного осадка: Fe <sup>2+</sup> + 2OH <sup>-</sup> → Fe(OH) <sub>2</sub> ↓ 1) Выпадение синего осадка: K <sup>+</sup> + Fe <sup>2+</sup> + [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> → KFe[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>4</sub> ↓
Fe <sup>3+</sup>	1) OH <sup>-</sup> 2) гексацианоферрат (II) калия (желтая кровяная соль) K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] 3) роданид-ион SCN <sup>-</sup>	1) Выпадение бурого осадка: Fe <sup>3+</sup> + 3OH <sup>-</sup> → Fe(OH) <sub>3</sub> ↓ 1) Выпадение синего осадка: K <sup>+</sup> + Fe <sup>3+</sup> + [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> → KFe[Fe(CN) <sub>6</sub> ] ↓ 3) Появление ярко-красного окрашивания за счет образования комплексных ионов Fe(SCN) <sup>2+</sup> , Fe(SCN) <sup>+2</sup>
Al <sup>3+</sup>	щелочь (амфотерные свойства гидроксида)	Выпадение осадка гидроксида алюминия при приливании первых порций щелочи и его растворение при дальнейшем приливании
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	щелочь, нагрев	Запах аммиака: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup> → NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O
H <sup>+</sup> (кислая среда)	индикаторы: лакмус, метиловый оранжевый	красное окрашивание красное окрашивание



## Качественные реакции на анионы в растворе

Анион	Реактив	Наблюдаемая реакция
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ba}^{2+}$	Выпадение белого осадка, нерастворимого в кислотах: $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow$
$\text{NO}_3^-$	Добавить конц. $\text{H}_2\text{SO}_4$ и $\text{Cu}$ , нагреть	Образование голубого раствора, содержащего ионы $\text{Cu}^{2+}$ , выделение газа бурого цвета ( $\text{NO}_2$ )
$\text{PO}_4^{3-}$	ионы $\text{Ag}^+$	Выпадение светло-желтого осадка в нейтральной среде: $3\text{Ag}^+ + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{Ag}_3\text{PO}_4 \downarrow$
$\text{S}^{2-}$	ионы $\text{Pb}^{2+}$	Выпадение черного осадка: $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{PbS} \downarrow$
$\text{CO}_3^{2-}$	ионы $\text{Ca}^{2+}$	Выпадение белого осадка, растворимого в кислотах: $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$
$\text{CO}_2$	известковая вода $\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ Выпадение белого осадка и его растворение при пропускании $\text{CO}_2$
$\text{SO}_3^{2-}$	ионы $\text{H}^+$	Появление характерного запаха $\text{SO}_2$ : $2\text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$
$\text{F}^-$	ионы $\text{Ca}^{2+}$	Выпадение белого осадка: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^- \rightarrow \text{CaF}_2 \downarrow$
$\text{Cl}^-$	ионы $\text{Ag}^+$	Выпадение белого осадка, не растворимого в $\text{HNO}_3$ , но растворимого в конц. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ : $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$ $\text{AgCl} + 2(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
$\text{Br}^-$	ионы $\text{Ag}^+$	Выпадение светло-желтого осадка, не растворимого в $\text{HNO}_3$ : $\text{Ag}^+ + \text{Br}^- \rightarrow \text{AgBr} \downarrow$ осадок темнеет на свету
$\text{I}^-$	ионы $\text{Ag}^+$	Выпадение желтого осадка, не растворимого в $\text{HNO}_3$ и $\text{NH}_3$ конц.: $\text{Ag}^+ + \text{I}^- \rightarrow \text{AgI} \downarrow$ осадок темнеет на свету
$\text{OH}^-$ (щелочная среда)	индикаторы: лакмус фенолфталеин	синее окрашивание малиновое окрашивание



$\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$   $\text{Cu}^{2+}$   $\text{Fe}^{2+}$   $\text{Fe}^{3+}$   $\text{Co}^{2+}$   $\text{Ni}^{2+}$   $\text{Mn}^{2+}$   $\text{Cr}^{3+}$   $\text{Ag}^+$   $\text{Zn}^{2+}$   $\text{Pb}^{2+}$   $\text{Al}^{3+}$



$\text{Ca}(\text{OH})_2$

$\text{Cu}(\text{OH})_2$

$\text{Fe}(\text{OH})_3$

$\text{Ni}(\text{OH})_2$

$\text{Cr}(\text{OH})_3$

$\text{Zn}(\text{OH})_2$

$\text{Al}(\text{OH})_3$

$\text{Mg}(\text{OH})_2$

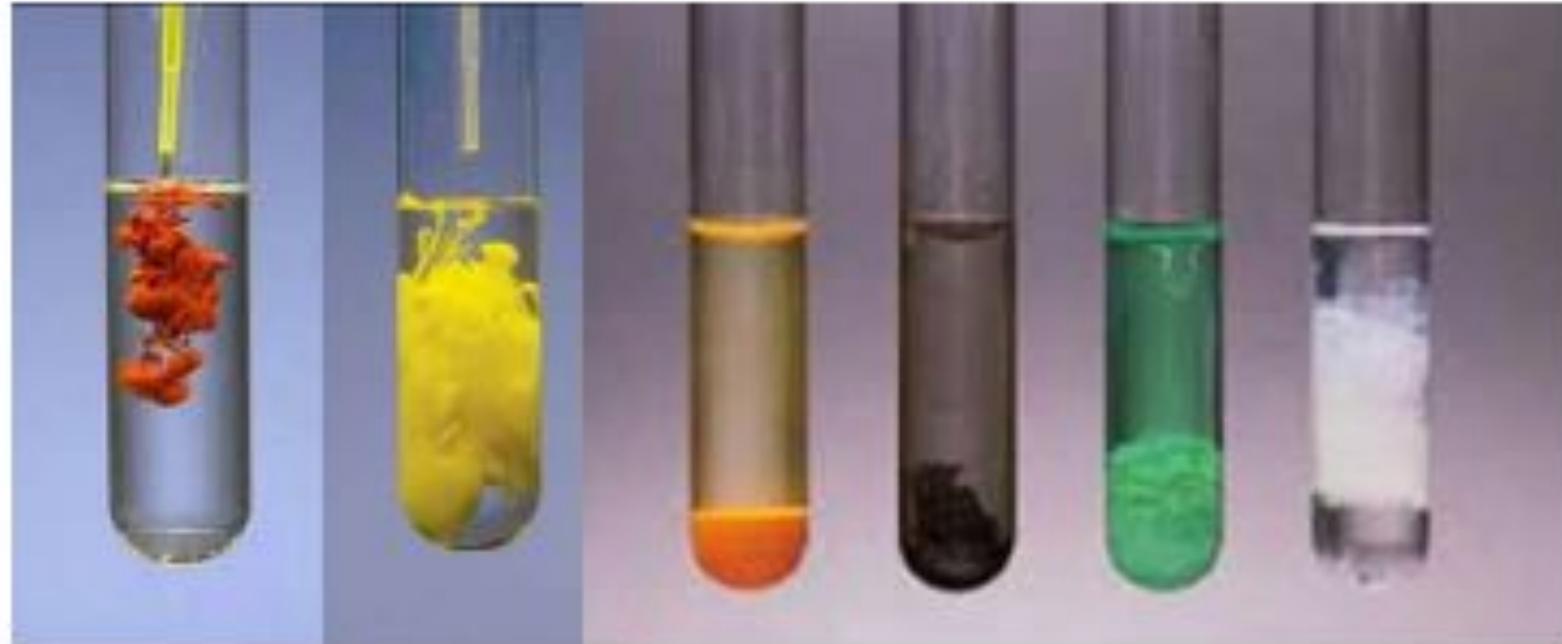
$\text{Fe}(\text{OH})_2$

$\text{Co}(\text{OH})_2$

$\text{Mn}(\text{OH})_2$

$\text{AgOH}$

$\text{Pb}(\text{OH})_2$



$\text{Ag}_2\text{CrO}_4$

$\text{PbI}_2$

$\text{CdS}$

$\text{Bi}_2\text{S}_3$

$\text{Ni}(\text{OH})_2$

$\text{Al}(\text{OH})_3$

$\text{Cu}(\text{OH})_2$

$\text{Ni}(\text{DMG})_2$

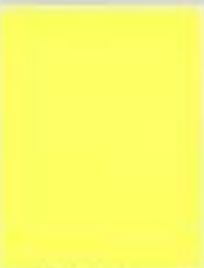
$\text{AgBr}$

$\text{SnS}_2$

$\text{Ag}_3\text{AsO}_4$

$\text{AgCl}$



							
$K_2CrO_4$	$PbI_2$	$K_2[PtCl_6]$	$CdS$	$UO_2$	$Sb_2S_3$	$Pb_2O_3$	$HgS$
							
$MnCl_2 \cdot 6H_2O$	$RhCl_3$ (распеп)	$KMnO_4$ (распеп)	$CrCl_3$	$[Ti(H_2O)_4Cl_2]Cl$	$CrO_2$	$Fe_2O_3$	$AsI$
							
$Cu_3As_2O_7 \cdot H_2O$	$CuOHCl$	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	$K_2[Fe(C_2O_4)_3]$	$K_2MnO_4$ (распеп)	$Cr_2O_3$	$Cu_2(OH)_2CO_3$	$[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl$
							
$Cu_4(OH)_6SO_4$	$K_2MnO_4$	$VO_5O_2 \cdot 3H_2O$	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$[Cu(NH_3)_4]SO_4$	$K[FeFe(CN)_6]$	$[Cr(H_2O)_6]Cl_3$	$FeS$



### КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ

Определяемое вещество	Активный центр	Тип реакции	Качественный реагент	Признак реакции	
Алкин Алькин	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \\ \text{---C}\equiv\text{C---} \end{array}$	Присоединение (AE) Окисление	$\text{Br}_2$	$\text{KMnO}_4$	Обесцвечивание
Алькин	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	Замещение	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$	Серый осадок	
Многосадовый спирт	$\begin{array}{c}   \\ \text{---C---O H} \\   \\ \text{---C---O}^{\ominus}\text{H} \\   \\ \text{---C---O}^{\ominus}\text{H} \\   \\ \text{---C---O}^{\ominus}\text{H} \end{array}$	Замещение Комплексообразование	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	Ярко-синий раствор	
Фенол	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	Замещение (SE)	$\text{Br}_2$	Обесцвечивание	Белый осадок
	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{OH}$	Замещение Комплексообразование	$\text{FeCl}_3$	Фиолетовый раствор	
Альдегид	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	Окисление - восстановление	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$	Серебряное зеркало	Черный осадок
Кетон	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$	Присоединение (AN)	$\text{H}_2\text{O}$	Желтый осадок	
Карбоновая кислота	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	Замещение	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Выделение $\text{CO}_2$ ↑	

## Характер пламени при горении соединений, характер пламени при горении

Фрагмент молекулы (реакционный центр)	Реактив, схема реакции	Признаки реакции
$>C=C<$ - C≡C -	бромная вода (р-р $Br_2$ в $H_2O$ ) $KMnO_4$	обесцвечивание р-ра обесцвечивание р-ра ↓ бурная окислительная реакция
- C≡CH	$[Ag(NH_3)_2]OH$ $[Cu(NH_3)_2]Cl$	↓ белый ↓ красно-коричневый
 - OH	$HNO_3, H_2SO_4$ $KMnO_4$	св.-желт. маслянистая ж-ть с запахом миндаля обесцвечивание р-ра
- CH <sub>2</sub> -OH >CH-OH	Na CuO $KMnO_4$ $K_2Cr_2O_7$	↑ $H_2$ ↓ красный обесцвечивание р-ра
-C(OH)-C(OH)-	$Cu(OH)_2$ лакмус $FeCl_3$	синий р-р красный р-р фиолетовый р-р
	бромная вода ( $Br_2$ в $H_2O$ ) $[Ag(NH_3)_2]OH$ $Cu(OH)_2$ $KMnO_4, H^+$ $K_2Cr_2O_7, H^+$	↓ белый ↓ серебр. зеркало красный обесцвечивание р-ра
-C(=O)-H	лакмус NaHCO <sub>3</sub> Na	красный р-р ↑ $CO_2$ ↑ $H_2$
-C(=O)-OH	спирт	запах сложн. эфира
	бромная вода ( $Br_2$ в $H_2O$ ) $CaOCl_2$ хромовая смесь HCl конц.	обесцвечивание р-ра ↓ белый фиолетовый р-р ↓ черная ↓ белый
R-NH <sub>2</sub> R <sub>2</sub> -NH (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub> - крахмал -C(=O)-NH <sub>2</sub>	$HNO_2$ $HNO_3$ р-р $I_2$ $CuSO_4, NaOH$	↓ $N_2$ характерный запах синее окрашивание фиолетовое окрашивание

### Характер пламени при горении

Алканы, спирты одноатомные, сложные эфиры - бесцветное (голубое) пламя.

Алкены - коптящее (светящееся) пламя желтого цвета.

Арены, высшие карбоновые кислоты, жиры - коптящее пламя.

Алкины - сильно коптящее пламя.



# Химическая посуда и оборудование

## Классификация химической посуды

### По материалу

- 📌 **посуда из обычного стекла:** бутылки для хранения растворов, мензурки и др.;
- 📌 **посуда из специального химически и термически стойкого стекла:** пробирки, стаканы, круглодонные колбы и др.;
- 📌 **посуда из кварца:** колбы, пробирки, стаканы, выпарительные чашки и др.;
- 📌 **посуда из фарфора:** стаканы, тигли, выпарительные чашки, ступки и др.

# Классификация химической посуды

## По назначению

-  **посуда общего назначения:** посуда, которая всегда должна быть в лаборатории и без которой нельзя провести большинство работ (пробирки, воронки, стаканы, конические колбы, плоскодонные колбы, и др.);
-  **посуда специального назначения:** посуда, которая употребляется для какой-либо цели (дефлегматоры, холодильники, насадки, круглодонные колбы и др.);
-  **мерная посуда:** посуда, предназначенная для измерения объемов жидкостей (мерные цилиндры, пипетки, бюретки, мерные колбы и др. )

# Посуда общего назначения

## Пробирки

Применяют для проведения аналитических работ

Пробирки делятся на:

- обычные
- градуированные
- центрифужные



Обычные



Градуированные



Центрифужная

# Посуда общего назначения

## Конические колбы

Бывают:

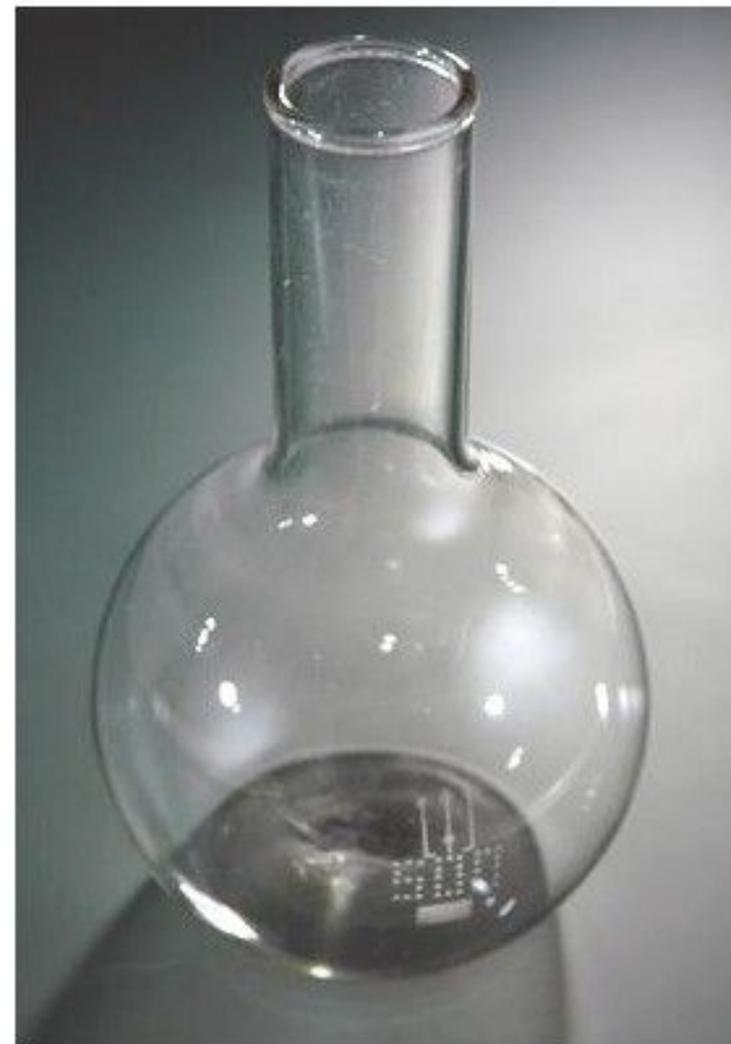
- различной емкости
- с делениями и без делений
- узкогорлые и широкогорлые
- со шлифом и без шлифа

**Конические колбы  
(Эрленмейера)**

применяются при  
аналитических работах  
(титрование)



Колба круглодонная



# Мерная посуда

## Мерные колбы

### *Мерные колбы*

используют для  
приготовления точных  
растворов при  
проведении  
аналитических работ  
Бывают:

- ❑ со шлифом
- ❑ без шлифа
- ❑ разных объемов  
(25-1000 мл)

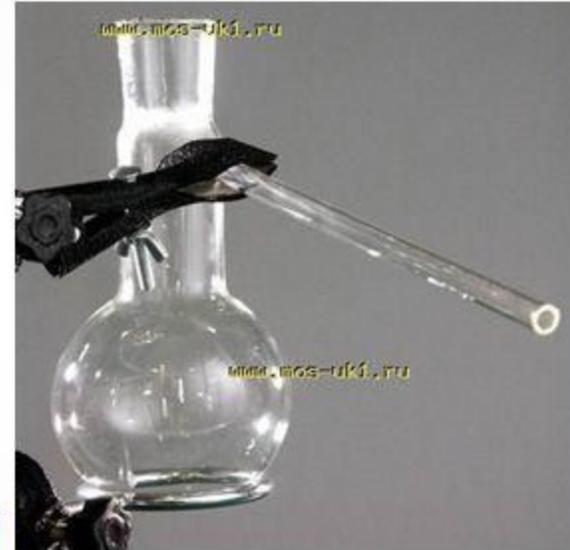


# Посуда специального назначения

## Колбы Вюрца

### *Колбы Вюрца*

(колбы для дистилляции)  
применяют для  
перегонки жидкостей



# Посуда специального назначения

## Колбы для отсасывания (Бунзена)

Применяют в тех случаях, когда фильтрование ведут с применением вакуум-насоса



**Вакуум-насос (водоструйный)** применяют для ускорения фильтрования, при перегонке для создания вакуума над кипящей жидкостью



# Мерная посуда

## Мерные цилиндры

**Мерные цилиндры** -  
стеклянные  
толстостенные сосуды  
с нанесенными на  
наружной стенке  
делениями,  
указывающими объем  
в миллилитрах.  
Бывают разной  
емкости:  
от 5-10 мл до 1 л



# Посуда общего назначения

## Химические стаканы

Представляют собой тонкостенные цилиндры различной емкости

Бывают :

- с носиком и без носика
- с делениями и без делений



**Нагревать стаканы на открытом пламени нельзя!**

# Мерная посуда

## Пипетки

**Пипетки** служат для точного отмеривания определенного объема жидкости

Пипетки бывают:

-  простые (пипетки Мора)
-  градуированные

*Для наполнения пипеток используют резиновые груши и насосы*



# Мерная посуда

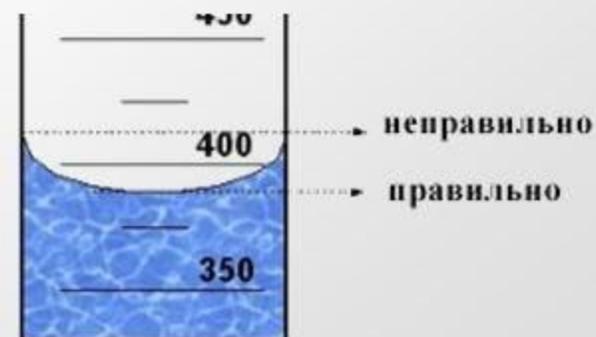
## Бюретки

### *Бюретки*

применяют  
для титрования,  
измерения точных  
объемов жидкости

Бывают

- с краном
  - с зажимом
- Мора
- с бусиной



# Посуда специального назначения

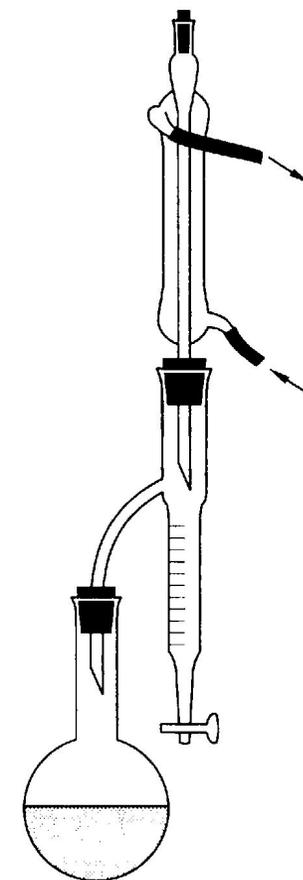
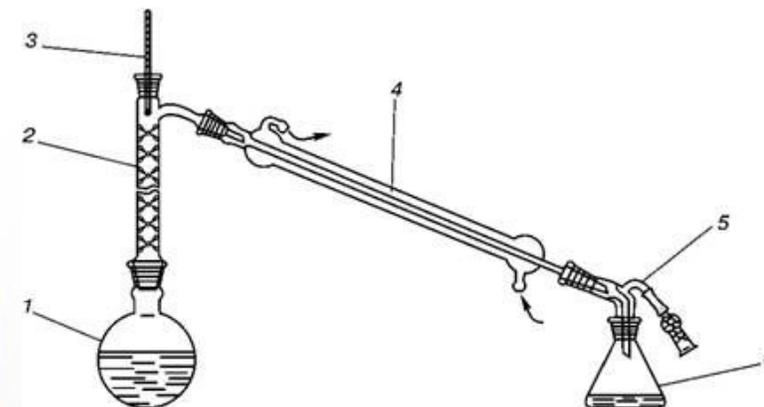
## Холодильники

### *Холодильники*

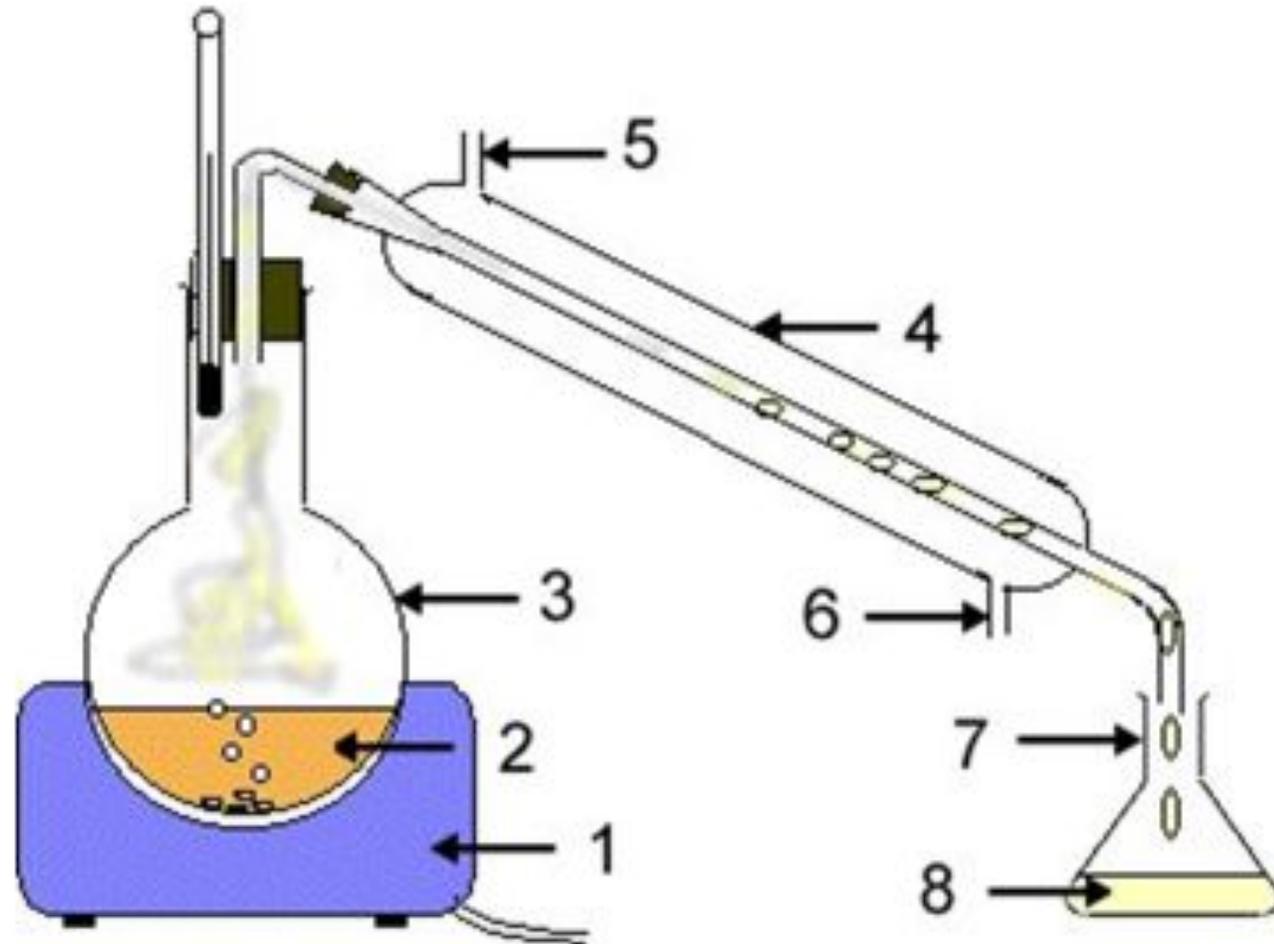
применяют для охлаждения и конденсации паров

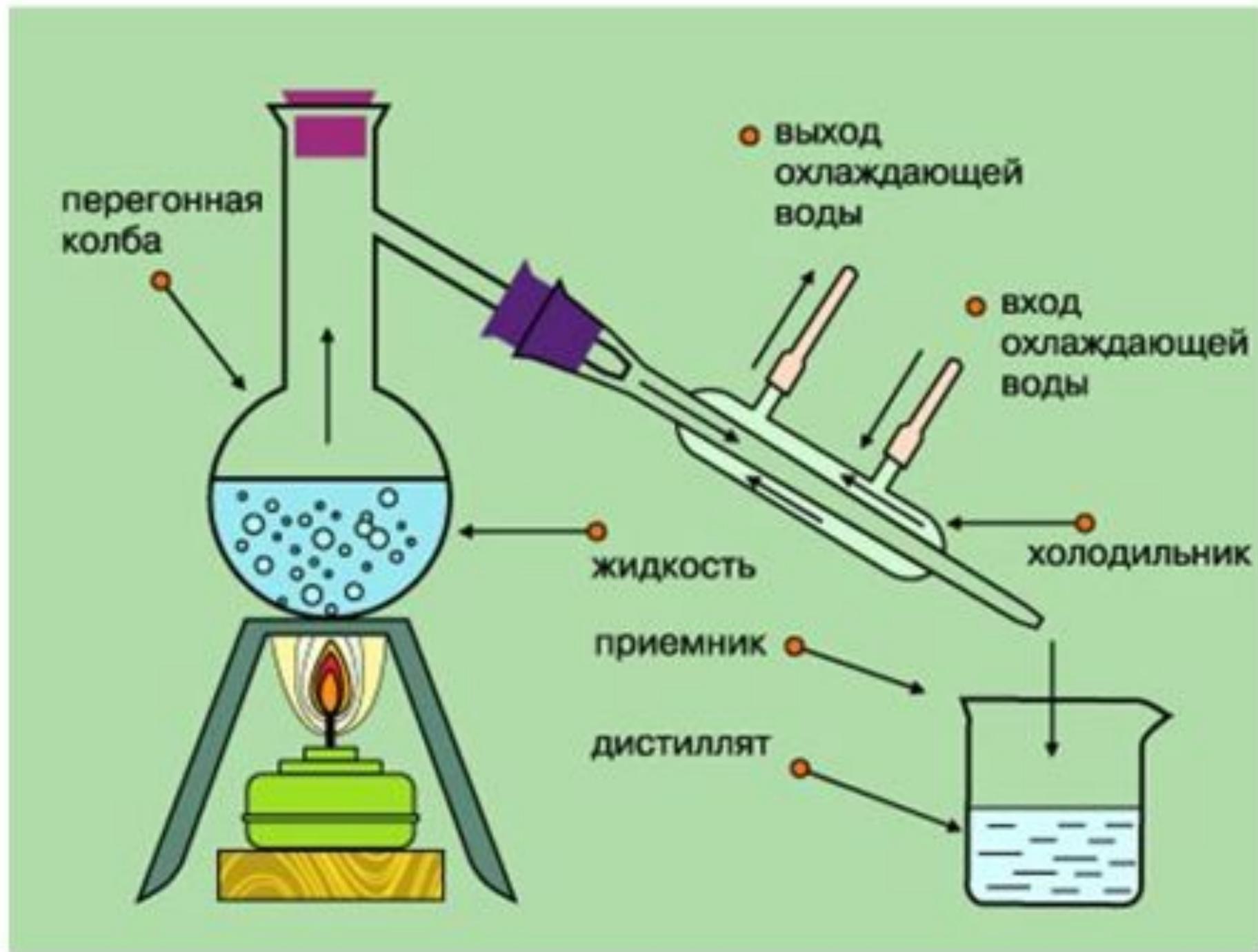
Бывают:

- прямые (Либиха)
- обратные (шариковые, змеевиковые и др.)



# Проверь себя





# Посуда специального назначения

## Делительные воронки

### *Делительные воронки*

применяют для  
разделения  
несмешивающихся  
жидкостей  
(например, воды и  
масла)



# Фарфоровая посуда

## Ступки

**Ступки** применяют  
для измельчения  
твердых веществ



# Фарфоровая посуда

## Выпарительные чашки, тигли

**Выпарительные чашки** широко применяют в лабораториях для упаривания и выпаривания растворов



**Тигли** – применяют для прокаливания веществ



*Фарфоровый треугольник используют при нагревании тиглей*

# Посуда общего назначения

## Воронки

**Воронки** бывают:

- различных размеров
- обычные
- для фильтрования (длинный конец, угол  $60^\circ$ )

Воронки используют для переливания жидкостей, для фильтрования, пересыпания сыпучих веществ



# Фарфоровая посуда

## Воронки Бюхнера

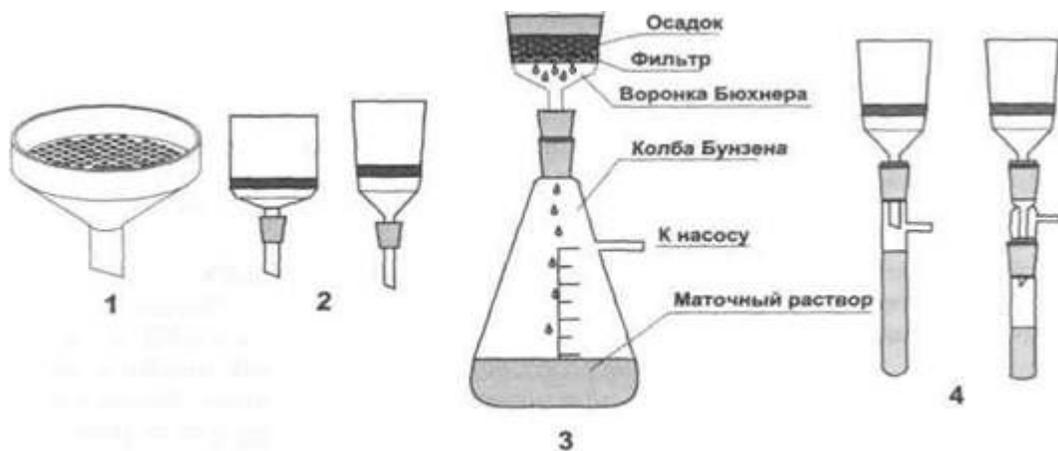
### ***Воронки Бюхнера***

отличаются от обычных воронок тем, что они имеют перегородку с отверстиями

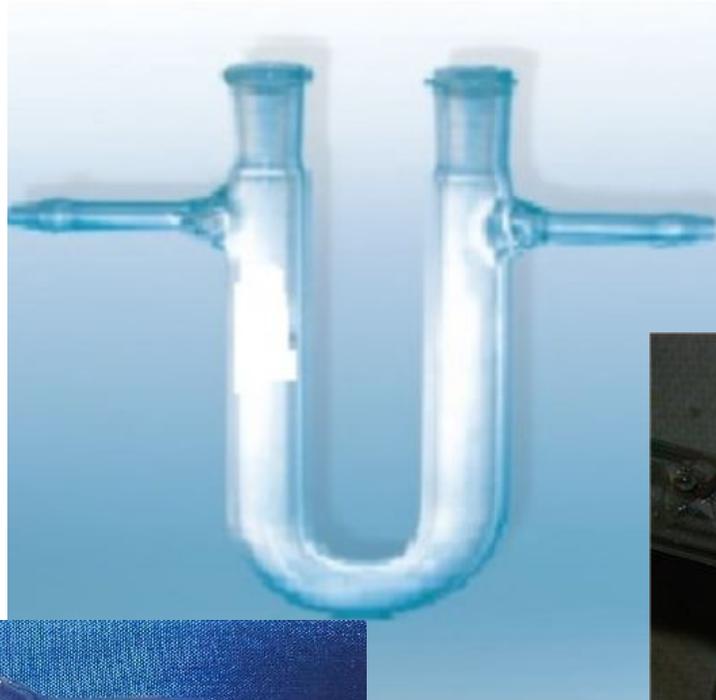
Используют для фильтрации под вакуумом



# Фильтр Шотта

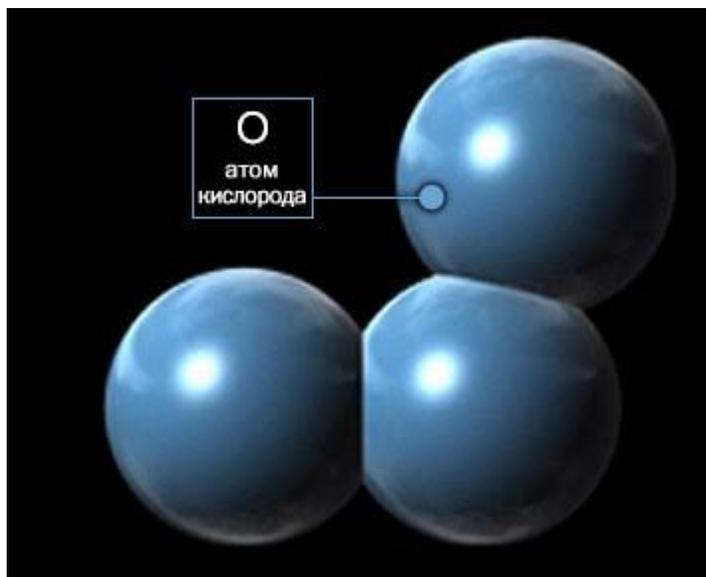
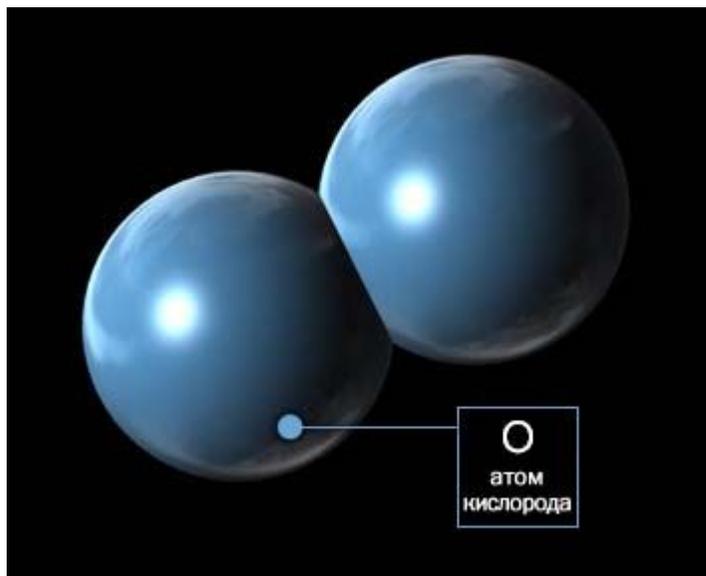


# Хлоркальциевая трубка



(C) Plutonium

# Аллотропия



## Нахождение в природе.



Воздух – 21% по объёму  
23% по массе.

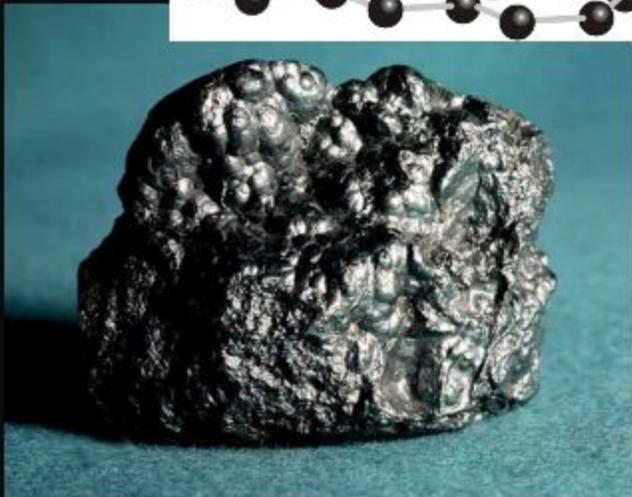
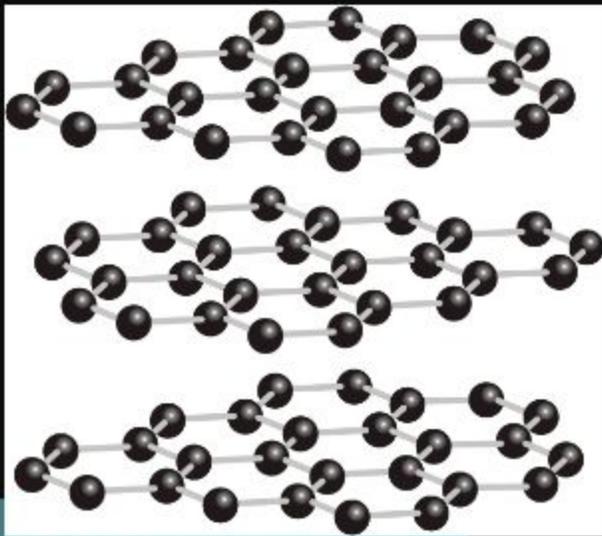


Атмосфера (верхний слой)  
– озоновый экран  
Земли.

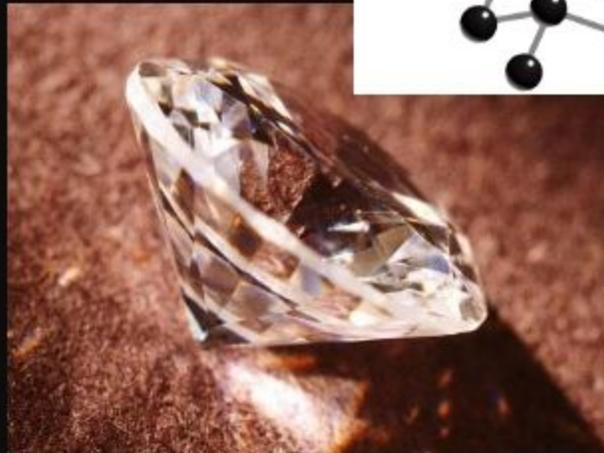
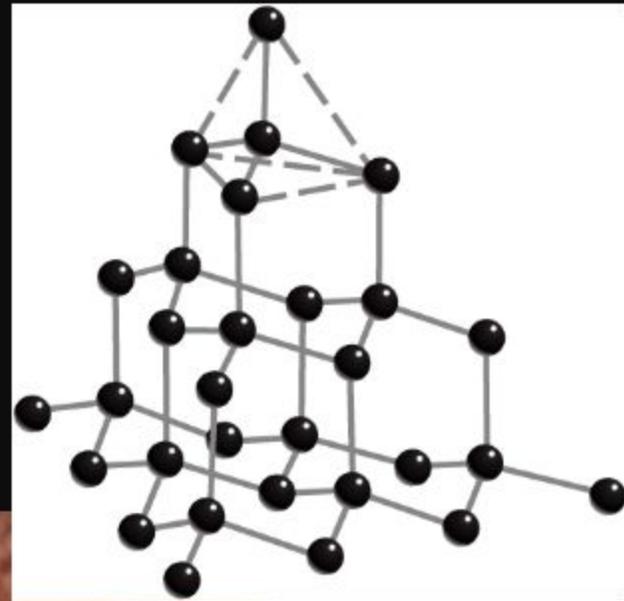


# АЛЛОТРОПИЯ УГЛЕРОДА.

## ▣ Графит

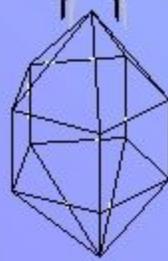


## ▣ Алмаз



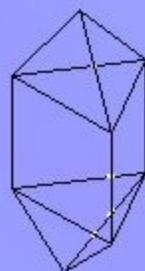
# АЛЛОТРОПНЫЕ МОДИФИКАЦИИ СЕРЫ

Сера ромбическая



Цвет – лимонно-желтый;  $t_{пл.} = 112,8^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\rho = 2,07\text{г/см}^3$

Сера моноклинная



Цвет – медово-желтый;  $t_{пл.} = 119,3^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\rho = 1,96\text{г/см}^3$

Сера пластическая



Цвет – темно-коричневый;  $t_{пл.} = 444,6^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\rho = 1,96\text{г/см}^3$

**При нормальных условиях все модификации серы с течением времени превращаются в ромбическую**

# Аллотропия фосфора



**Белый**

**Красный**

**Черный**

# Аллотропные модификации фосфора

**Белый  
Фосфор**



**Красный  
Фосфор**



**Чёрный  
Фосфор**



**Металлический  
Фосфор**



$t$  без доступа  
воздуха  
 $\leftarrow$   
 $\rightarrow$   
 $500\text{ }^\circ\text{C}$   
В атм. CO

$560\text{ }^\circ\text{C}$

$10$   
 $8,3 \cdot 10\text{ Па}$



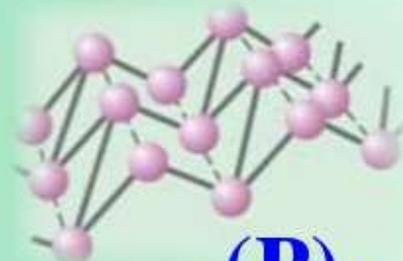
$t_{\text{пл.}} = 44,1\text{ }^\circ\text{C}$   
 $= 1823\text{ кг/м}^3$

Светится при  
комнатной  
температуре



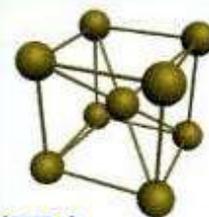
$t_{\text{пл.}} = 240\text{ }^\circ\text{C}$   
 $= 2400\text{ кг/м}^3$

Не светится  
Растворяется только  
в трибромиде фосфора



$t_{\text{пл.}} = 1000\text{ }^\circ\text{C}$   
 $= 2690\text{ кг/м}^3$

Не светится  
Не растворяется  
Проводит эл. ток



$= 3830\text{ кг/м}^3$   
Не светится  
Проводит эл. ток

# Аллотропные модификации мышьяка

Несмотря на то, что мышьяк относится к неметаллам, он имеет 4 аллотропные модификации- **белый, желтый, черный и металлический (или серый) мышьяк**. Последние 2 обладают свойствами металлов.

**1. Серый мышьяк** - хрупкая серо-стальная кристаллическая масса с металлическим блеском, который на воздухе быстро пропадает из-за окисления поверхностного слоя.

**2. Черный мышьяк** - самая устойчивая его форма - порошок черного цвета, как и большинство металлов, в мелкодисперсном (очень мелком, который может пройти через сито.) состоянии (вспомните чернь серебра). В отличие от серой формы устойчива на воздухе, но при  $2859\text{ }^{\circ}\text{C}$  переходит в серую форму.



Чёрный мышьяк



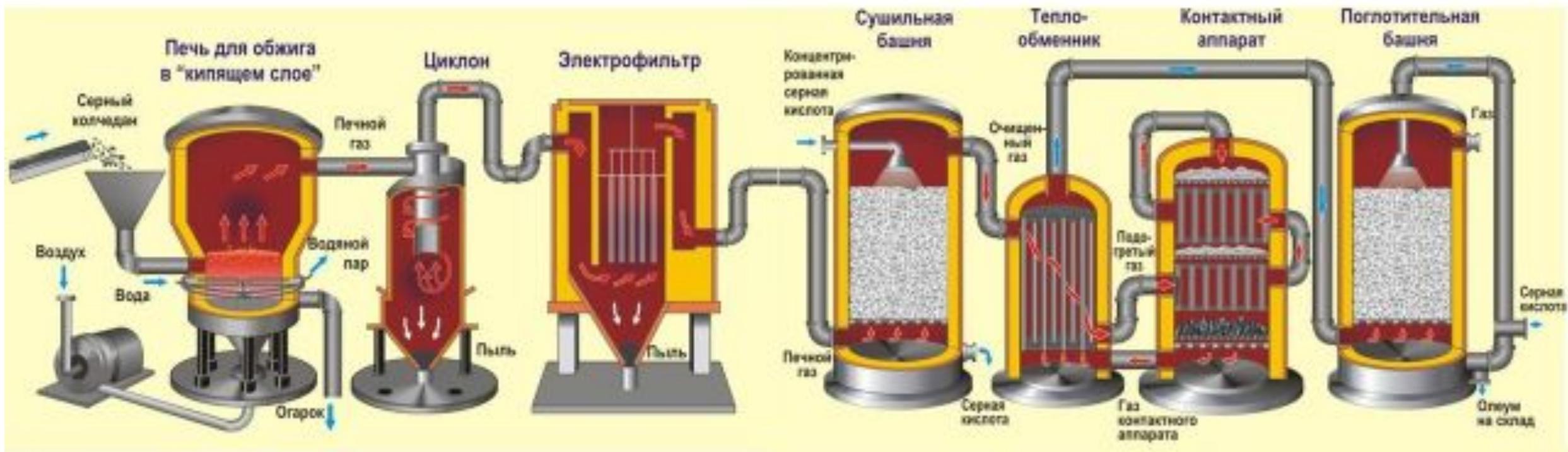
Серый мышьяк (металлический)



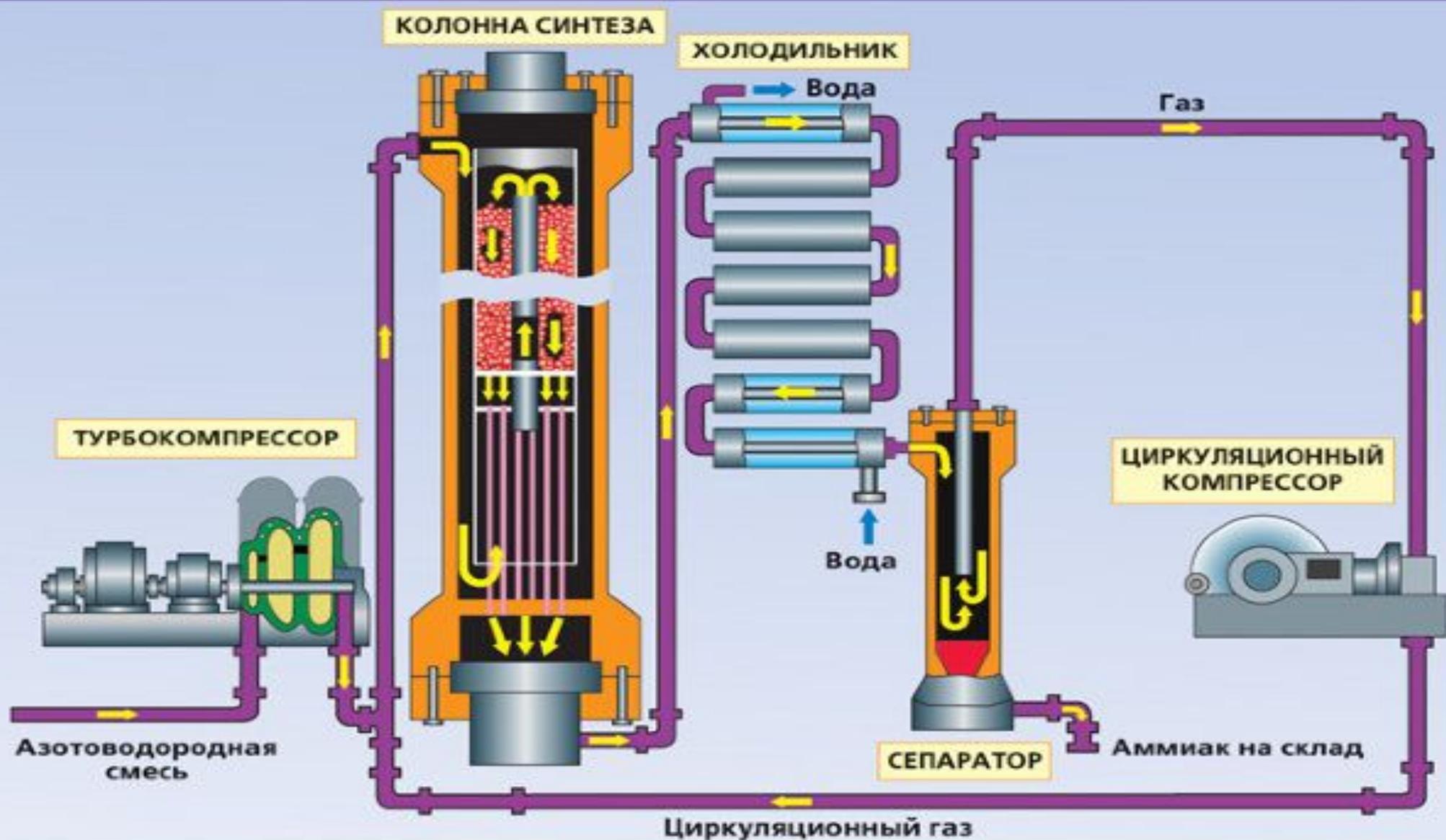
# Олово белое и серое



# Производство серной кислоты



# ПРОИЗВОДСТВО АММИАКА

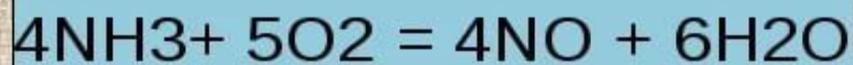




# Получение азотной кислоты в промышленности



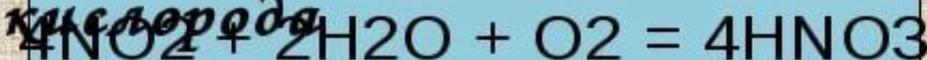
1. Контактное окисление аммиака до оксида азота (II):



2. Окисление оксида азота (II) в оксид азота (IV):



3. Адсорбция (поглощение) оксида азота (IV) водой при избытке кислорода



# Производство азотной кислоты

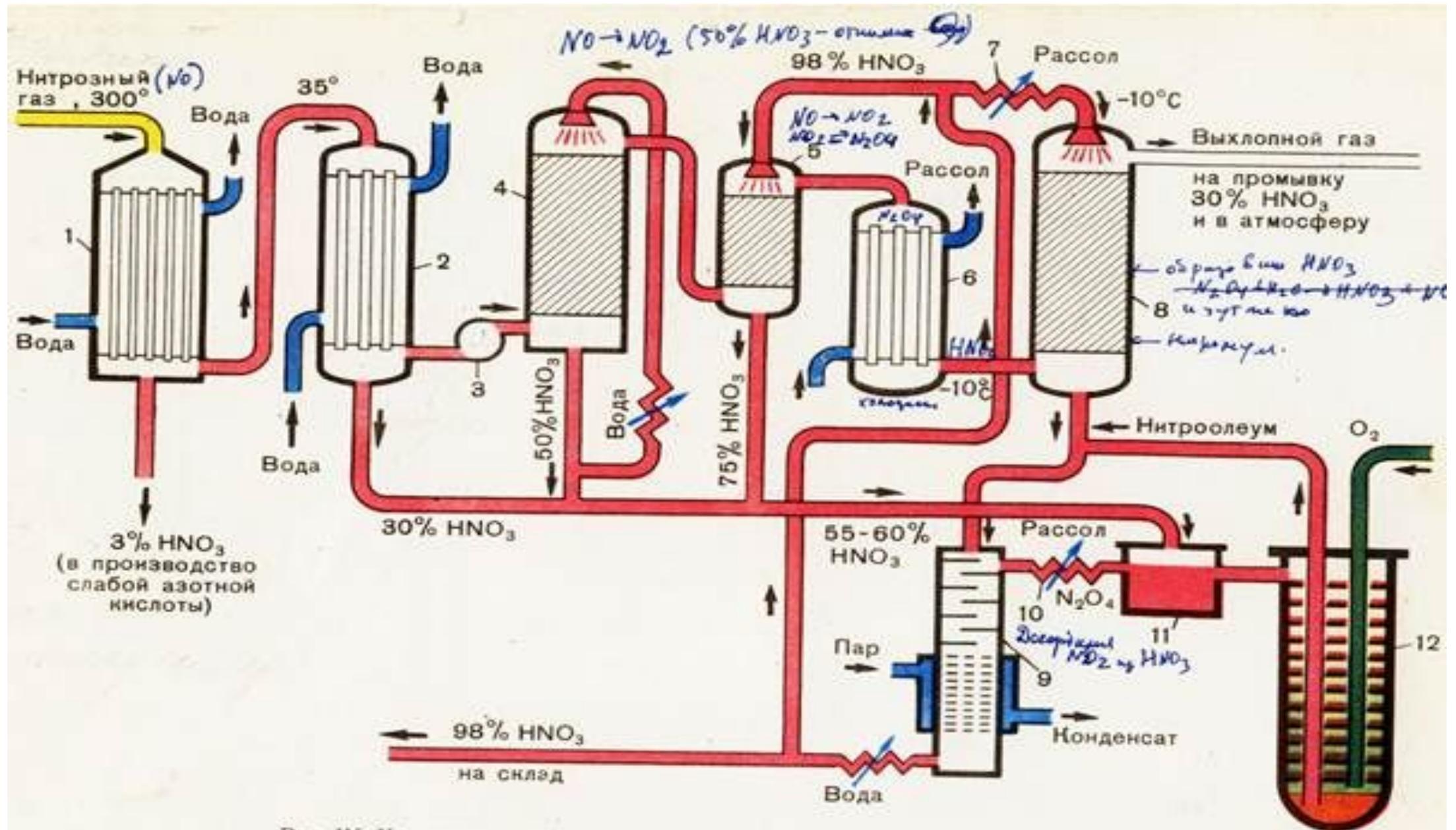
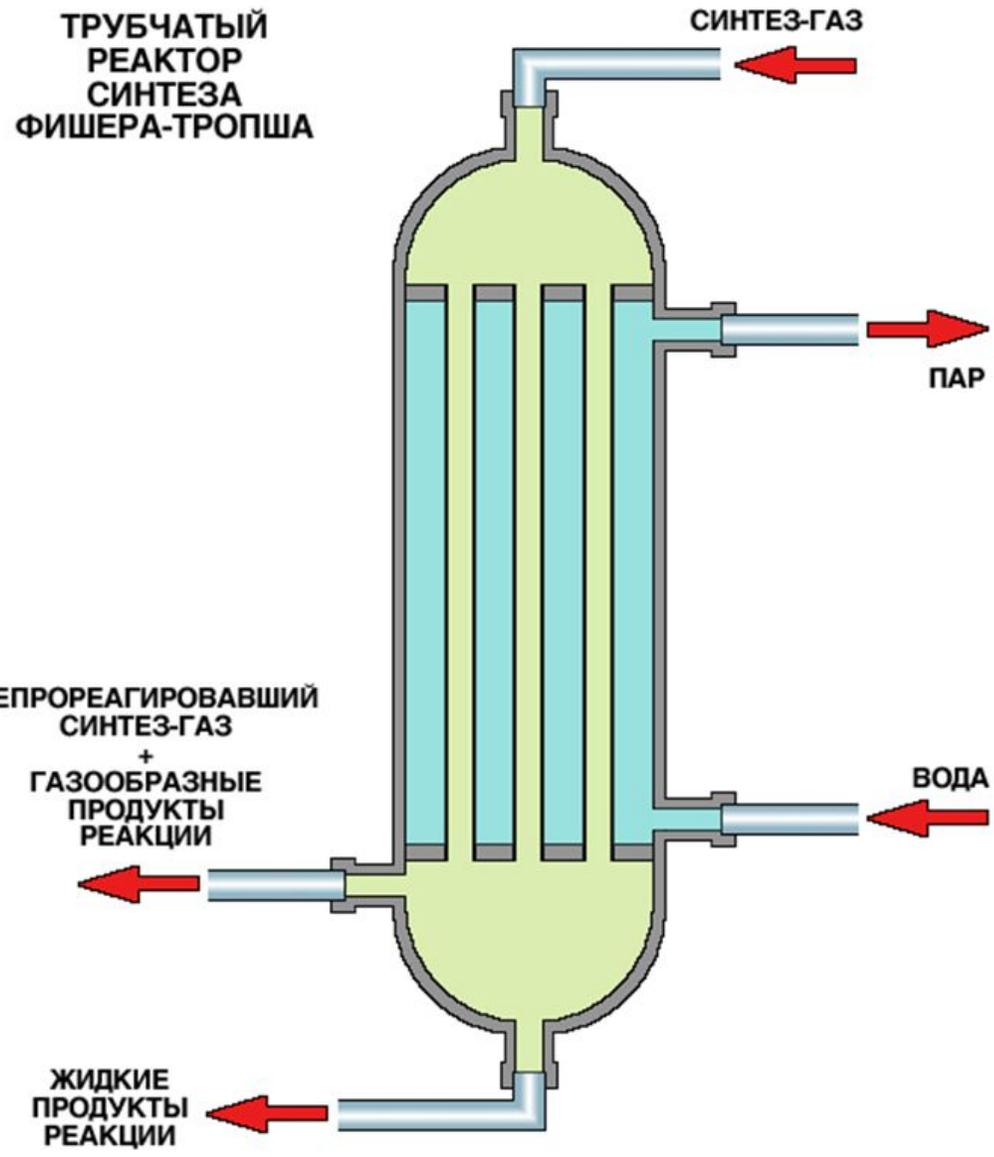
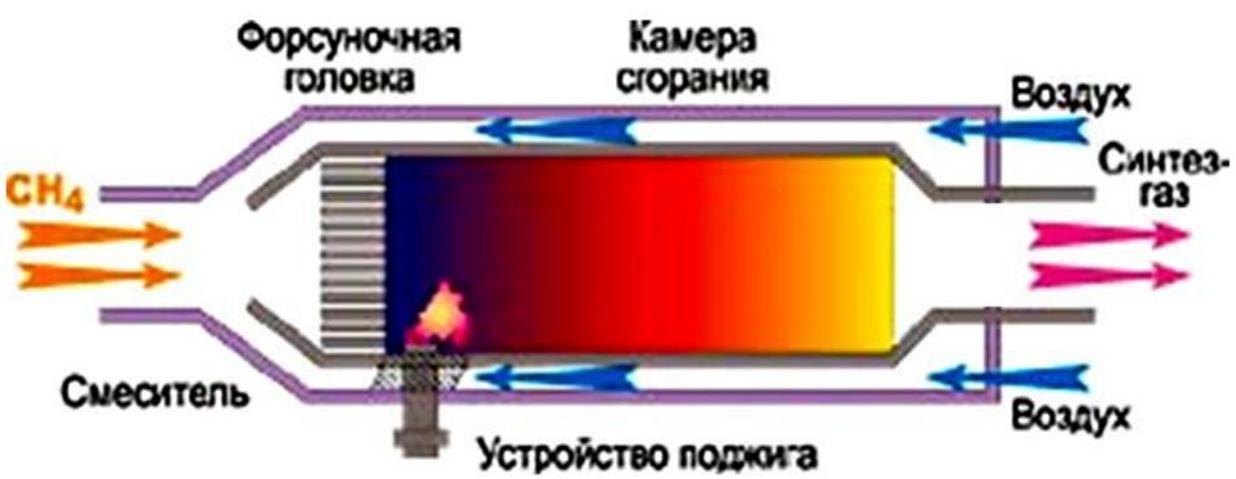


Рис. IV. Упрощенная схема производства азотной кислоты.

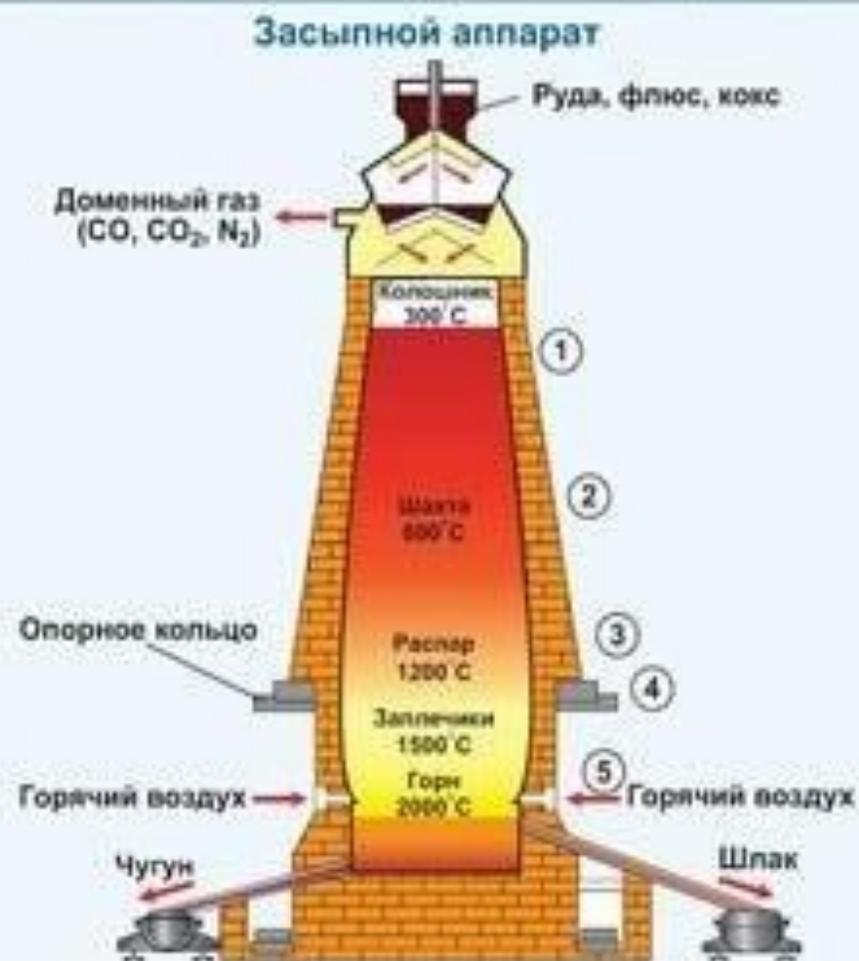
# Производство метанола:



# Синтез метанола

- на катализаторе ( $\text{ZnO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ )
- $P=25-35$  МПа и  $T=330-400$  °С;
- на Си-содержащих катализаторах
- $P = 5-25$  МПа и  $T=200-300$  °С
- процесс обратимый.

# 10. ХИМИЯ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА



Расход материалов на получение 1 тонны чугуна:

Руда - 1,8 т  
 Кокс - 0,8 т  
 Флюсы - 0,3 т  
 Воздух - 3,5 т  
 Всего - 6,4 т

При получении 1 тонны чугуна образуется:

Чугун - 1 т  
 Шлак - 0,4 т  
 Доменный газ - 5 т  
 Всего - 6,4 т

① Нагревание шихты.  
Начало восстановления руды.

② Восстановление оксидов железа:  
 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 + 54 \text{ кДж}$

$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2 - 37 \text{ кДж}$

$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 + 16 \text{ кДж}$

$\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} - 151 \text{ кДж}$

$\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO} - 160 \text{ кДж}$

③ Образование шлака:

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

$\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$

④ Образование оксида углерода (II):

$\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO} - 160 \text{ кДж}$

и «науглероживание» железа:

$3\text{Fe} + 2\text{CO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2 + 181 \text{ кДж}$

⑤ Горение кокса:

$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 402 \text{ кДж}$

# Научные принципы

<i>Общие принципы</i>	<i>Частные принципы</i>
<i>1. Создание оптимальных условий проведения химических реакций</i>	<i>Противоток веществ, прямоток веществ, увеличение площади поверхности соприкосновения реагирующих веществ, использование катализатора, повышение давления, повышение концентраций реагирующих веществ</i>
<i>2. Полное и комплексное использование сырья</i>	<i>Циркуляция, создание смежных производств (по переработке отходов)</i>
<i>3. Использование теплоты химических реакций</i>	<i>Теплообмен, утилизация теплоты реакций</i>
<i>4. Принцип непрерывности</i>	<i>Механизация и автоматизация производства</i>
<i>5. Защита окружающей среды и человека</i>	<i>Автоматизация вредных производств, герметизация аппаратов, утилизация отходов, нейтрализация выбросов в атмосферу</i>