

# ХИМИЯ

## Лекция 11

### Окислительно-восстановительные реакции

## ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ



Окислительно-восстановительные реакции – это реакции с изменением степеней окисления атомов элементов, входящих в состав реагирующих молекул.

Степень окисления – это заряд атома элемента в молекуле, определенный исходя из предположения об ионном строении вещества и электронейтральности молекулы.

Степень окисления показывают цифрой с зарядом над элементом:  $\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_3^{-2}$ .

Рисунок 11.1 Горение белого фосфора – окислительно-восстановительная реакция

## ПРАВИЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ

Таблица 11.1

Элемент, в составе сложного вещества	Степень окисления	Исключения
Li, Na, K, Rb, Cs	+1	-
Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn	+2	-
Al	+3	-
F	-1	-
H	+1	гидриды металлов $MeH_x^{-1}$
O	-2	пероксиды $H_2O_2^{-1}$ , $Na_2O_2^{-1}$ , надпероксиды $NaO_2^{-1/2}$ , супероксиды $KO_3^{-1/3}$ , фторид кислорода $O^{+2}F_2$

В простом веществе степень окисления элементов равна нулю:  $N_2^0$ ,  $Fe^0$ ,  $P_4^0$

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА В СЛОЖНОМ ВЕЩЕСТВЕ ИЛИ ИОНЕ И ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМУЛЕ ЭЛЕМЕНТА

Таблица 11.2

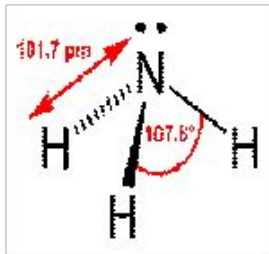
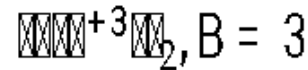
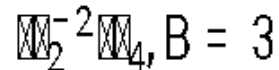
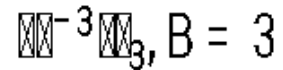
Формульная единица	Порядок определения	Степень окисления хрома
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$(\text{Cr}_2\text{O}_3)^0: 2 \cdot x + 3 \cdot (-2) = 0$	$x = +3$
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	$(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}: 2 \cdot x + 7 \cdot (-2) = -2$	$x = +6$
$\text{H}_2\text{CrO}_4$	$(\text{H}_2\text{CrO}_4)^0: 2 \cdot (+1) + x + 4 \cdot (-2) = 0$	$x = +6$
$\text{Cr}$	$1 \text{Cr}^2 2 \text{Cr}^3$	от -3 до +5
$\text{Cr}$	$1 \text{Cr}^2 2 \text{Cr}^6 3 \text{Cr}^3 3 \text{Cr}^4$	от -2 до +6

# СТЕПЕНЬ ОКИСЛЕНИЯ И ВАЛЕНТНОСТЬ

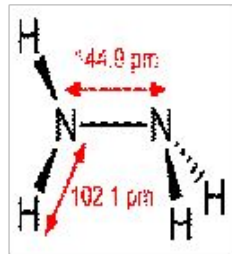
Степень окисления для большинства соединений имеет условный характер, так как не отражает реальный эффективный заряд атома элемента в соединении.

Принимаемые степени окисления  $\text{NH}_3^{+1}$ ,  $\text{NH}_4^{+1}$ ; реальные степени окисления  $\text{NH}_3^{+0.8}$ ,  $\text{NH}_4^{+0.2}$ .

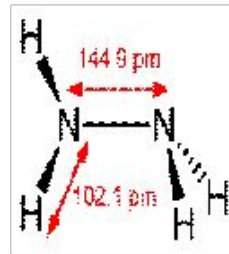
Валентность ( $V$ ) – это число химических связей атома, которыми он соединён с другими атомами. Валентность не может иметь знака и равняться нулю.



аммиак

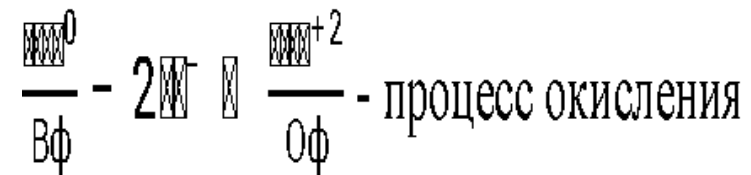
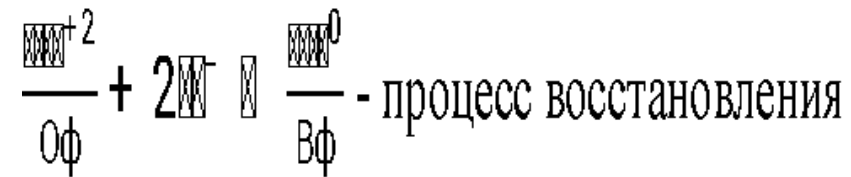


гидразин

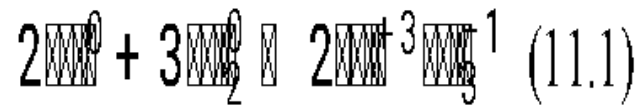


азотистая кислота

## ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ



Of – окисленная форма, Vf – восстановленная форма



# ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ (ОВ) СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ

Таблица 11.3

Типичные окислители	Типичные восстановители	Вещества с ОВ двойственностью
Вещества с элементами в высшей степени окисления: $\text{HN}^{+5}\text{O}_3$ , $\text{KMn}^{+7}\text{O}_4$ , $\text{K}_2\text{Cr}_2^{+6}\text{O}_7$	Вещества с элементами в низших степенях окисления: $\text{HI}$ , $\text{H}_2\text{S}^{-2}$ , $\text{N}^{-3}\text{H}_3$	Вещества, содержащие элементы с промежуточными степенями окисления: $\text{KN}^{+3}\text{O}_2$ , $\text{Na}_2\text{S}^{+4}\text{O}_3$ , $\text{Mn}^{+4}\text{O}_2$
Неметаллы: $\text{S}$ , $\text{Cl}_2$ , $\text{O}_2$	Металлы: $\text{Na}$ , $\text{Mg}$ , $\text{Zn}$	
Ионы металлов в высших степенях окисления: $\text{Fe}^{+3}$ , $\text{Au}^{+3}$	Ионы металлов в низших степенях окисления: $\text{Sn}^{+2}$ , $\text{Fe}^{+2}$	
	Гидриды металлов: $\text{NaN}$ , $\text{CaH}_2$	

# Типы окислительно-восстановительных реакций

## Межмолекулярные реакции

- $\text{Mn}^{+4}\text{O}_2 + 4\text{HCl}^{-1} \rightarrow \text{Mn}^{+2}\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2^0 + 2\text{H}_2\text{O}$  (11.2)
- $\text{Mn}^{+4}$  - окислитель,  $\text{Cl}^{-1}$  - восстановитель

## Внутримолекулярные реакции

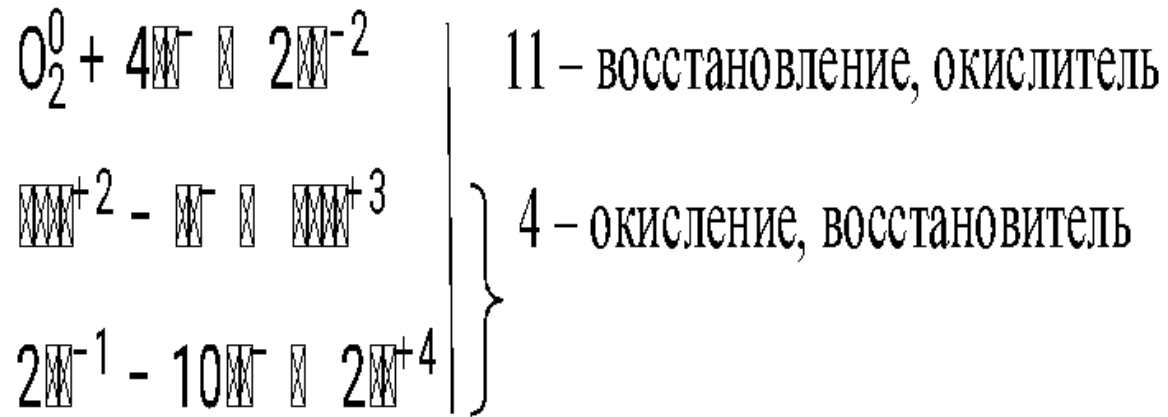
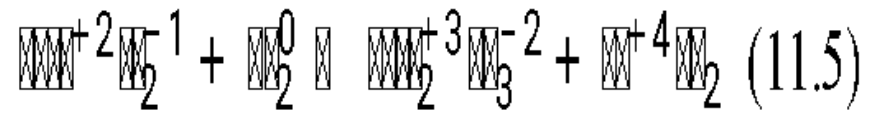
- $\text{KCl}^{+7}\text{O}_4^{-2} \rightarrow \text{KCl}^{-1} + 2\text{O}_2^0$  (11.3)
- $\text{Cl}^{+7}$  - окислитель,  $\text{O}^{-2}$  - восстановитель

## Диспропорционирование

- $3\text{Cl}_2^0 + 6\text{KOH} \rightarrow 5\text{KCl}^{-1} + \text{KCl}^{+3}\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  (11.4)
- $\text{Cl}_2^0$  - окислитель,  $\text{Cl}_2^0$  - восстановитель

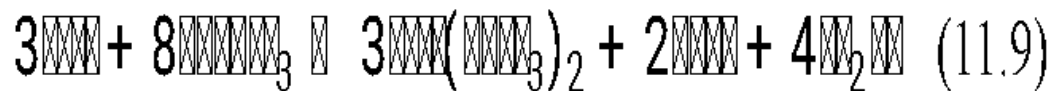
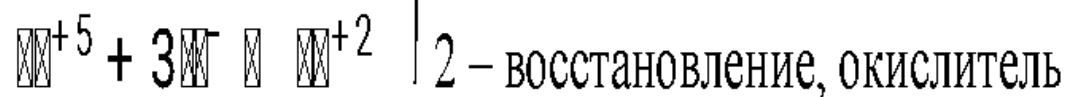
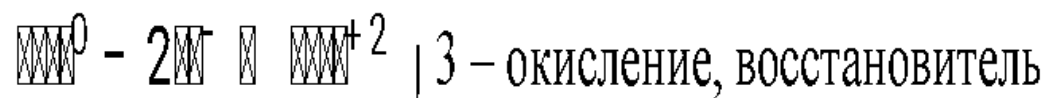
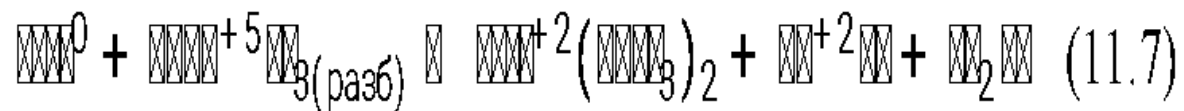


## . МЕТОД ЭЛЕКТРОННОГО БАЛАНСА



Проверка по кислороду:  $11 \cdot 2 = 2 \cdot 3 + 8 \cdot 2$ ;  $22 = 22$

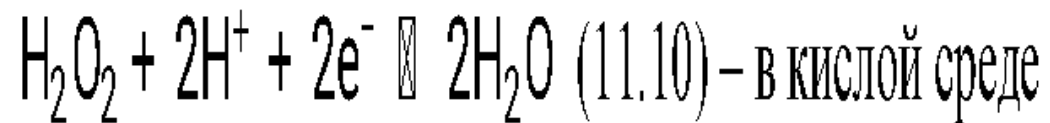
## МЕТОД ЭЛЕКТРОННОГО БАЛАНСА



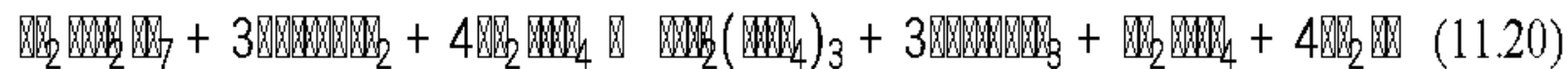
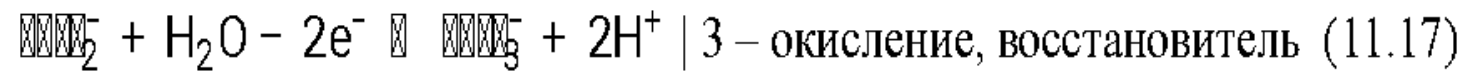
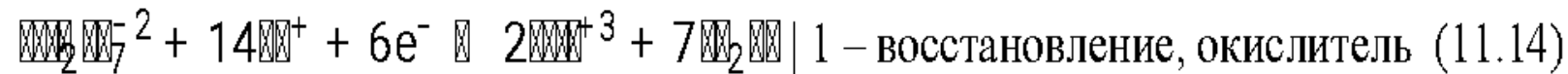
Проверка по кислороду:  $8 \cdot 3 = 3 \cdot 3 \cdot 2 + 2 + 4$ ;  $24 = 24$

## МЕТОД ПОЛУРЕАКЦИЙ

Метод полуреакций учитывает изменения с реально существующими в растворах молекулами и ионами, а также показывает роль среды как активного участника всего процесса. В зависимости от среды может изменяться характер протекания реакции.

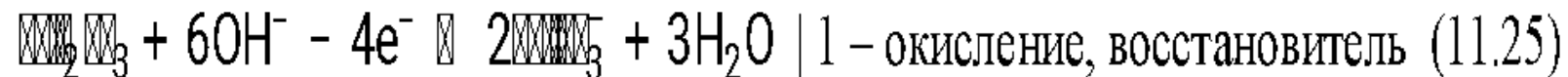


## МЕТОД ПОЛУРЕАКЦИЙ



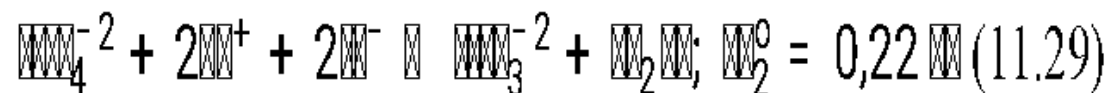
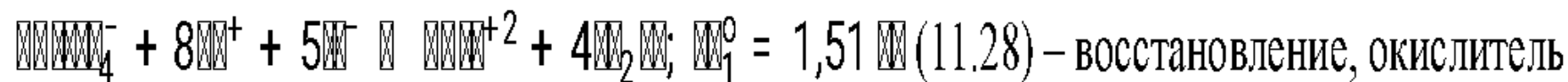
Проверка по кислороду:  $7 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 4 = 3 \cdot 4 + 3 \cdot 3 + 4 + 4$ ;  $29 = 29$

## МЕТОД ПОЛУРЕАКЦИЙ

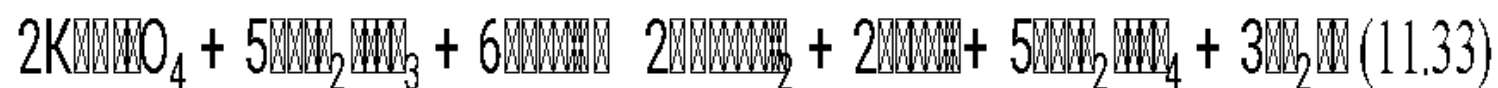
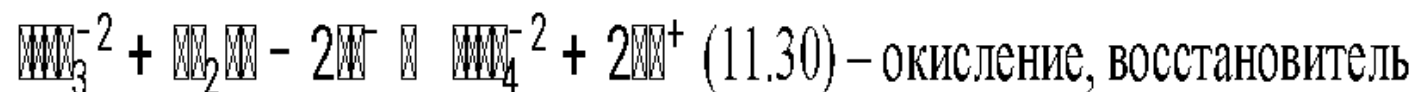


Проверка по кислороду:  $3 + 6 = 2 \cdot 3 + 3$ ;  $9 = 9$

## НАПРАВЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ



$E_1^0 > E_2^0$ , следовательно, 11.28 протекает в прямом направлении, а 11.29 – в обратном



Проверка по кислороду:  $2 \cdot 4 + 5 \cdot 3 = 5 \cdot 4 + 3$ ;  $23 = 23$

## РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ

$$\Delta E^0 = E_{\text{окисл}}^0 - E_{\text{восст}}^0 \quad (11.34)$$

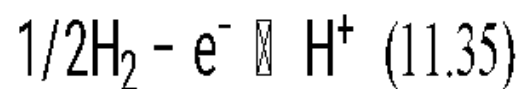


$$E^0 \left[ \frac{\text{MnO}_4^-}{\text{Mn}^{+2}} \right] = 1,51 \text{ В} - \text{окислитель}; \quad E^0 \left[ \frac{\text{SO}_3^{2-}}{\text{SO}_4^{2-}} \right] = 0,22 \text{ В} - \text{восстановитель}$$

$$\Delta E^0 = 1,51 - 0,22 = 1,29 \text{ В}$$

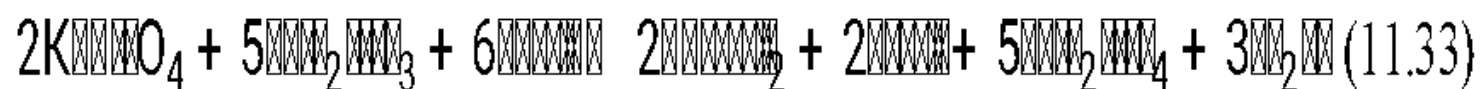
Реакция возможна, если  $\Delta E^0 > 0$  (11.35)

## ЭКВИВАЛЕНТ В ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ



$$M_{\text{Э}} = \frac{M}{n}, \text{ г/моль} \quad (11.37)$$

где  $M$  – молярная масса, г/моль;  $n$  – количество принятых или отданных электронов

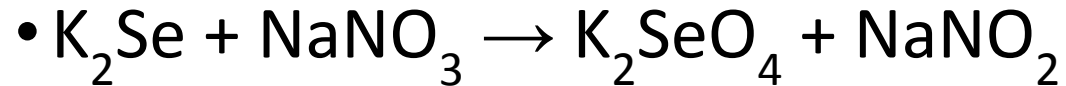
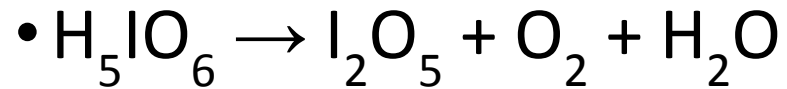
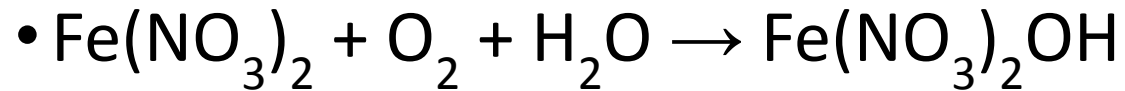


$$\text{Э}\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 = \frac{1}{5} \text{ моль}, M_{\text{Э}} = \frac{155}{5} = 31 \text{ г/моль}$$

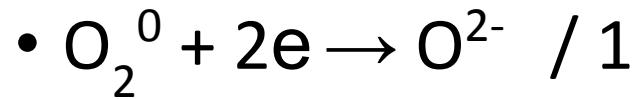
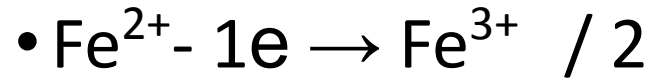
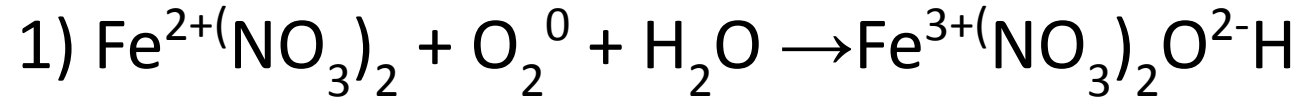


## Примеры решения задач

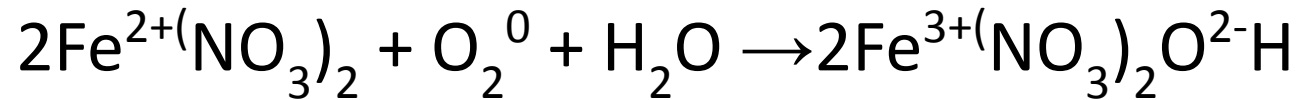
**Пример 1.** Подберите коэффициенты методом электронного баланса в уравнениях реакций:



## Решение



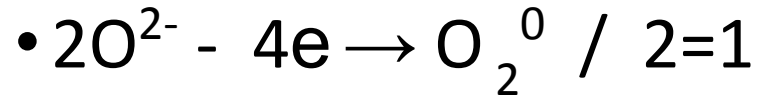
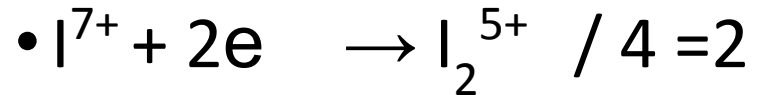
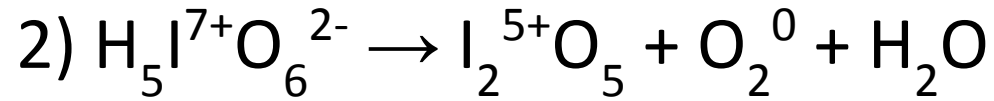
Расставляем коэффициенты



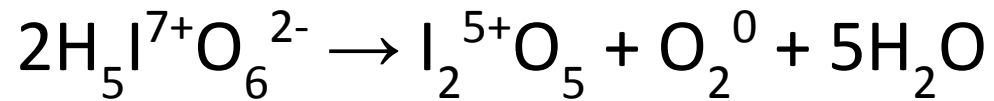
Проверка по кислороду:

$$3 \cdot 2 \cdot 2 + 2 = 2 ( 3 \cdot 2 + 1 ); \quad 14 = 14.$$

## Решение



Расставляем коэффициенты:

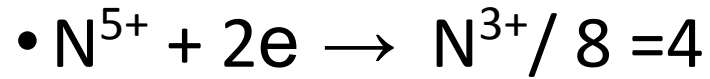
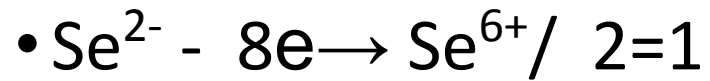
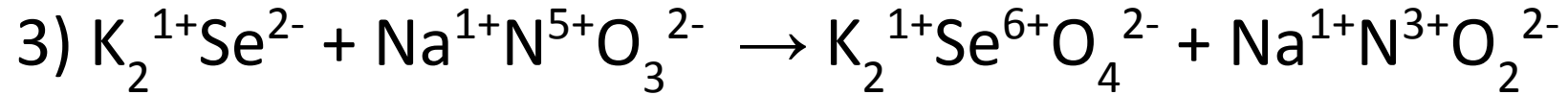


Уравниваем водород.

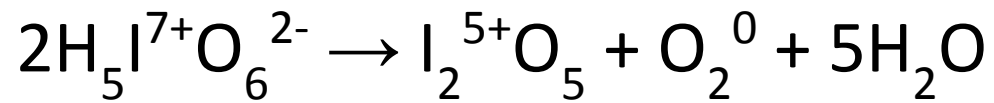
Проверка по кислороду:

$$6 \cdot 2 = 5 + 2 + 5; \quad 12 = 12.$$

## Решение



Расставляем коэффициенты:



Проверка по кислороду:

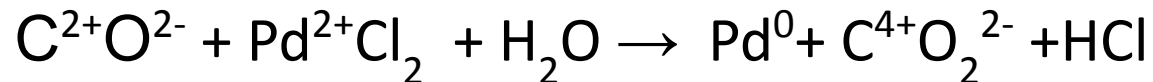
$$3 \cdot 4 = 4 + 2 \cdot 4; \quad 12 = 12.$$

## Примеры решения задач

**Пример 2.** Составьте уравнение реакции и подберите коэффициенты методом электронного баланса:

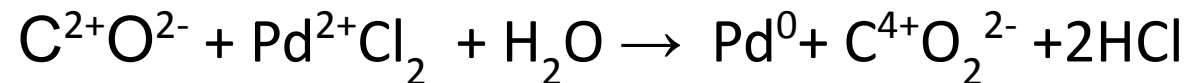
- монооксид углерода + хлорид палладия (II) + вода → палладий + диоксид углерода + ...

**Решение.**



- $\text{C}^{2+} - 2\text{e} \rightarrow \text{C}^{4+} / 2=1$
- $\text{Pd}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Pd}^0 / 2=1$

Расставляем коэффициенты, уравниваем хлор и водород:

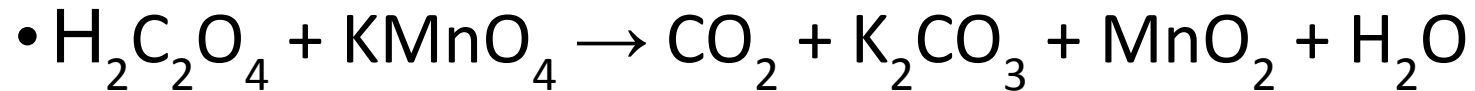
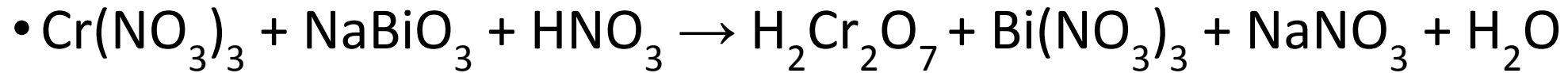
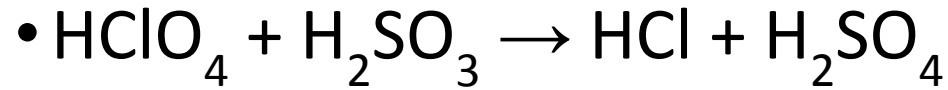


Проверка по кислороду:

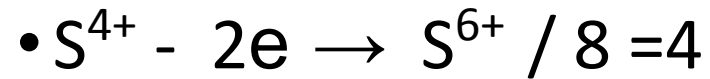
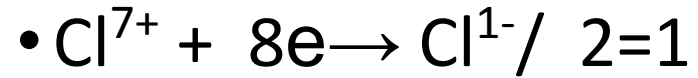
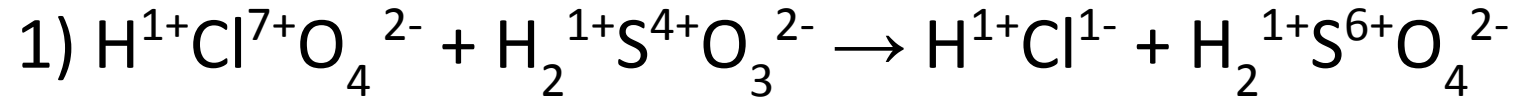
$$1+1= 2; \quad 2=2.$$

## Примеры решения задач

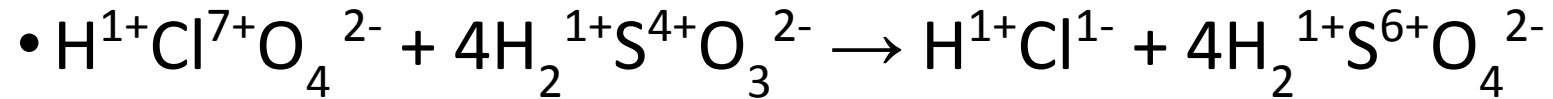
**Пример 3.** Уравнять окислительно-восстановительные реакции методом электронного баланса. Определить тип окислительно-восстановительной реакции:



## Решение



Расставляем коэффициенты:

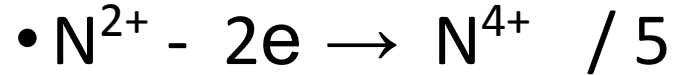
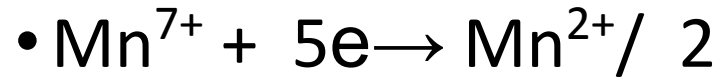
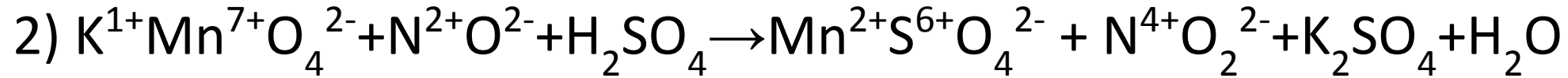


Проверка по кислороду:

$$4+3*4= 4*4; 16=16.$$

• Межмолекулярная реакция.

## Решение



Расставляем коэффициенты:



Уравниваем серу и водород.

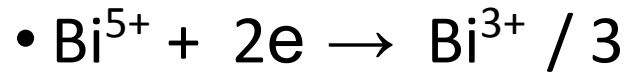
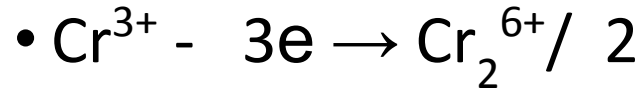
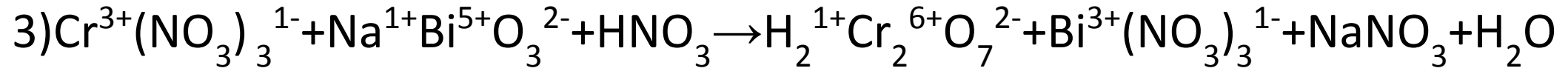
Проверка по кислороду:

$$4 \cdot 2 + 1 \cdot 5 + 4 \cdot 3 = 4 \cdot 2 + 2 \cdot 5 + 4 + 3; \quad 25 = 25.$$

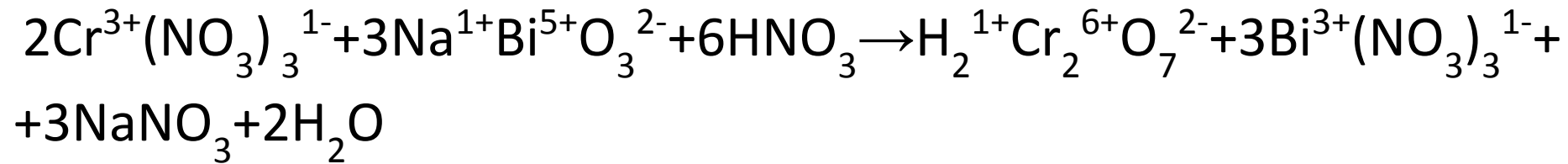
• Межмолекулярная реакция.



## Решение



Расставляем коэффициенты:



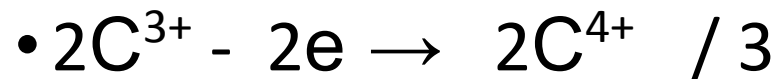
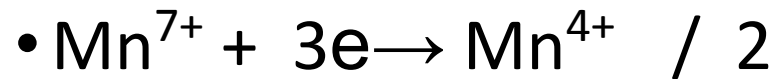
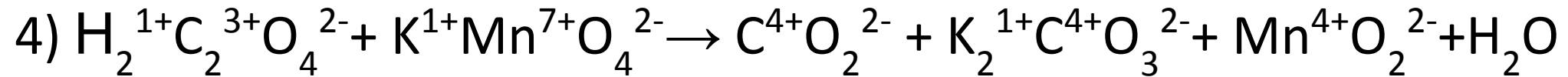
Уравниваем натрий и нитрат-ионы, потом водород

Проверка по кислороду:

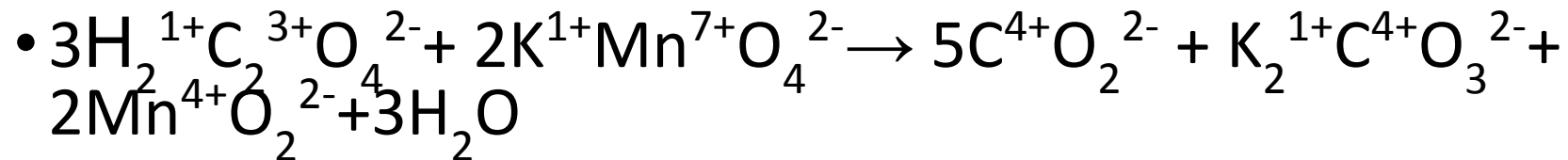
$$3 \cdot 3 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 6 = 7 + 3 \cdot 3 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 2; \quad 45 = 45.$$

• Межмолекулярная реакция.

## Решение



Расставляем коэффициенты:



Уравниваем углерод и водород.

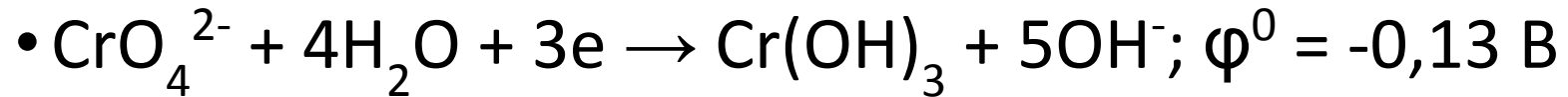
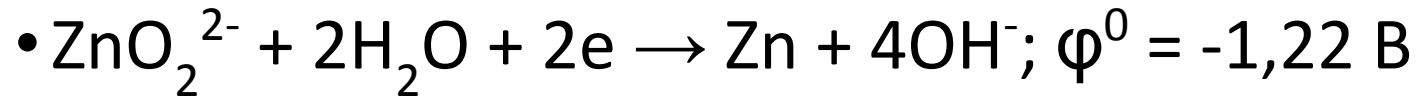
Проверка по кислороду:

$$4 \cdot 3 + 4 \cdot 2 = 2 \cdot 5 + 3 + 2 \cdot 2 + 3; \quad 20 = 20.$$

• Межмолекулярная реакция

## Пример решения задач

**Пример 5.** Определить направление окислительно-восстановительной реакции, описанной следующими полуреакциями, и составить уравнение:



**Решение.**

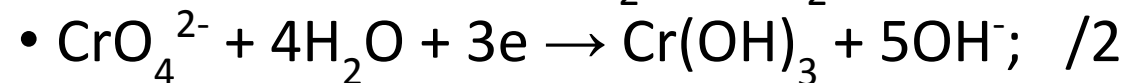
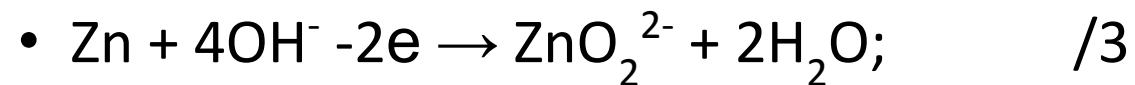
$$\varphi^0 = -0,13 \text{ В} > \varphi^0 = -1,22 \text{ В}.$$

Прямая реакция 2.

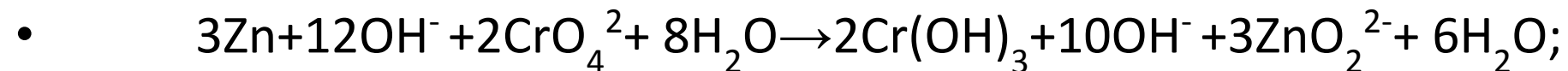
Обратная реакция 1.

# Решение

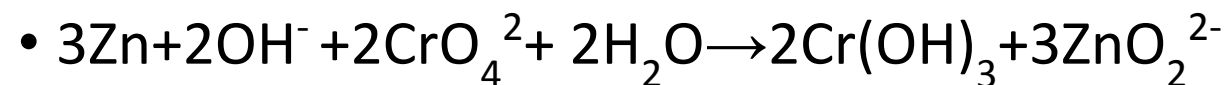
Уравниваем суммы зарядов продуктов реакции, переписав 1 реакцию в обратном направлении:



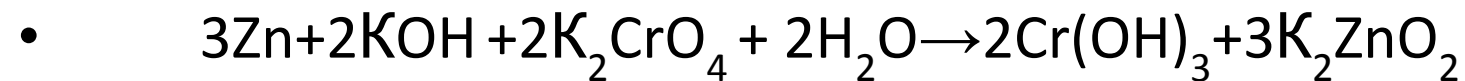
После умножения всех членов реакции на коэффициенты складываем оба уравнения:



Сокращаем одинаковые ионы и молекулы в левой и правой частях уравнения, получаем суммарное уравнение электронно-ионного баланса:



Подбираем катионы, записываем молекулярное уравнение:



Проверка по кислороду:

$$2 + 4 \cdot 2 + 2 = 3 \cdot 2 + 2 \cdot 3; \quad 12 = 12$$

## Вопросы тестов:

Степень окисления азота в ионе  $\text{NH}_4^+$

а) +3

• б) -3

в) +4

г) -4

Заряд + показывает, что в ионе неуравновешены электроны, поэтому  $\text{N}^{3-}\text{H}_4^{4+}$

## Вопросы тестов:

Только восстановительные свойства проявляет:

а) фосфор ( $\text{P}^3-\text{H}_3$ ,  $\text{P}^{5+}_2\text{O}_5$ ,  $\text{P}^{3+}_2\text{O}_3$ )

б) бром ( $\text{HBr}^{1-}$ )

в) цинк ( $\text{Zn}^0$ ,  $\text{Zn}^{2+}\text{O}$ ) всегда степень окисления +2.

г) сера ( $\text{S}^{6+}\text{O}_3$ ,  $\text{S}^{4+}\text{O}_2$ )

Восстановитель – частица, отдающая электроны.

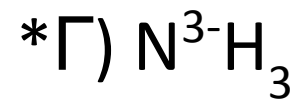
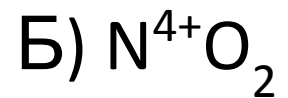
## Вопросы теста

Окислителями являются атомы или ионы в таких степенях окисления, в которых они способны:

- А) присоединять электроны
- Б) отдавать электроны
- В) присоединять протоны
- Г) отдавать гидроксид-ионы

## Вопросы теста

Вещество, в котором азот может быть только восстановителем:

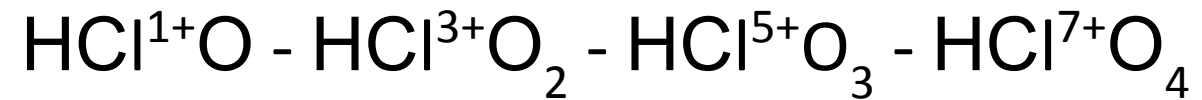


Восстановитель – частица, отдающая электроны.



# Вопросы теста

Окислительные свойства в ряду



\*А) увеличиваются

Б) уменьшаются

В) не изменяются

## Вопросы теста

В реакции  $\text{Cl}_2^0 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCl}^{1-} + \text{HCl}^{1+}\text{O}$  хлор выполняет роль:

А) окислителя

Б) восстановителя

\*В) окислителя и восстановителя

## Вопросы теста

Реакция  $2\text{K}^{1+}\text{C}1^{3+}\text{O}_2^{2-} = 2\text{KC}1^{1-} + 3\text{O}_2^0$  является

а) межмолекулярной

Б) диспропорционированием

\* В) внутримолекулярной

Г) контрпропорционированием

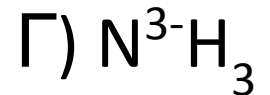
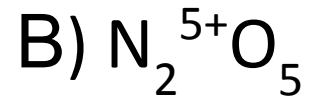
## Вопросы теста

Реакция, протекающая с изменением степеней окисления:

- А) диоксид марганца + соляная кислота
- Б) хлорид натрия + концентрированная серная кислота
- В) оксид натрия + триоксид серы
- Г) хлорид натрия + нитрат серебра

## Вопросы теста

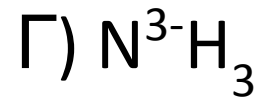
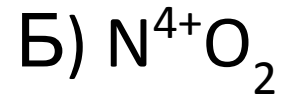
Соединения азота, обладающие окислительно-восстановительной двойственностью:



Восстановитель – частица, отдающая электроны,  
окислитель - принимающая электроны

## Вопросы теста

Вещество, в котором азот может быть только окислителем:



Окислитель – частица, принимающая электроны.

## Вопросы теста

Процесс восстановления имеет место в том случае, когда:

- А) нейтральные атомы превращаются в отрицательно заряженные ионы
- Б) нейтральные атомы превращаются в положительно заряженные ионы
- В) положительный заряд иона увеличивается
- Г) заряд иона не изменяется

## Вопросы теста

Степень окисления фосфора в фосфате кальция  $\text{Ca}_3^{2+}(\text{P}^{\text{O}_4})_2$ :

А) +2

Б) +5

В) +4

Г) +3

$$2 \cdot 4 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 10/2 = 5$$