

# ОБЩАЯ И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ  
РЕАКЦИИ И ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ.  
СБОРНИК ЗАДАНИЙ И ВАРИАНТОВ

К. Ю. Тархов



[www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)



ЭБС  
ЛАНЬ

**К. Ю. ТАРХОВ**

**ОБЩАЯ  
И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ  
ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ  
РЕАКЦИИ И ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ.  
СБОРНИК ЗАДАНИЙ И ВАРИАНТОВ**

*Учебное пособие*



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
МОСКВА · КРАСНОДАР  
2019

ББК 24.1я73

Т 19

**Тархов К. Ю.**

**Т 19**    Общая и неорганическая химия. Окислительно-восстановительные реакции и химическое равновесие. Сборник заданий и вариантов: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2019. — 80 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

**ISBN 978-5-8114-3302-5**

Практическое пособие включает в себя задания, которые могут быть использованы при проведении рубежных контрольных мероприятий (РКМ) по дисциплине «Общая и неорганическая химия» по разделам «Окислительно-восстановительные реакции» и «Химическое равновесие».

Сборник предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: «Химические технологии», «Промышленная экология и биотехнологии», «Техносферная безопасность и природообустройство» и другим техническим и химико-технологическим специальностям, где предусмотрен данный курс. Книга также будет полезна преподавателям ссузов и вузов.

ББК 24.4я73

**Рецензент**

*А. Г. ФАЛАЛЕЕВ* — кандидат физико-математических наук, начальник отдела экспертного сопровождения программ ФГАНУ «Социоцентр».

**Обложка**

*Е. А. ВЛАСОВА*

© Издательство «Лань», 2019

© К. Ю. Тархов, 2019

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВИДЫ РУБЕЖНЫХ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....</b>	<b>4</b>
<b>ПРОГРАММА И СОДЕРЖАНИЕ РУБЕЖНОГО</b>	
<b>КОНТРОЛЬНОГО МЕРОПРИЯТИЯ.....</b>	<b>5</b>
<b>I. РАЗДЕЛ «ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ</b>	
<b>РЕАКЦИИ» .....</b>	<b>6</b>
<i>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ .....</i>	<i>6</i>
<i>ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ .....</i>	<i>8</i>
<i>РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ.....</i>	<i>14</i>
<b>II. РАЗДЕЛ «ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ» .....</b>	<b>20</b>
<b>III. ВАРИАНТЫ РУБЕЖНОГО</b>	
<b>КОНТРОЛЬНОГО МЕРОПРИЯТИЯ .....</b>	<b>40</b>
ВАРИАНТ 1 .....	41
ВАРИАНТ 2 .....	42
ВАРИАНТ 3 .....	43
ВАРИАНТ 4 .....	44
ВАРИАНТ 5 .....	45
ВАРИАНТ 6 .....	46
ВАРИАНТ 7 .....	47
ВАРИАНТ 8 .....	48
ВАРИАНТ 9 .....	49
ВАРИАНТ 10 .....	50
ВАРИАНТ 11 .....	51
ВАРИАНТ 12 .....	52
ВАРИАНТ 13 .....	53
ВАРИАНТ 14 .....	54
ВАРИАНТ 15 .....	55
ВАРИАНТ 16 .....	56
<b>IV. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ И</b>	
<b>РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ .....</b>	<b>57</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>76</b>

## **ВИДЫ РУБЕЖНЫХ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Задания, приведенные в данном сборнике, можно использовать при проведении следующих рубежных контрольных мероприятий (**РКМ**):

- домашняя контрольная работа (ДКР);
- индивидуальное домашнее задание (ИДЗ);
- итоговая контрольная работа (ИКР);
- самостоятельная работа (СР);
- расчетная работа (РР);
- типовой расчет (ТР);
- коллоквиум;
- летучка (Л).

В данном сборнике в качестве рубежного контрольного мероприятия по теме «Окислительно-восстановительные реакции и химическое равновесие» выбрана итоговая контрольная работа (**ИКР**) и для нее приведены шестнадцать вариантов.

## **ПРОГРАММА И СОДЕРЖАНИЕ РУБЕЖНОГО КОНТРОЛЬНОГО МЕРОПРИЯТИЯ**

Определение ОВР, окислителя и восстановителя. Типы ОВР: внутримолекулярные, межмолекулярные. Синпропорционирование (конмутация) и диспропорционирование (дисмутация). Степень окисления атомов и ее изменение в ОВР. Типичные окислители и восстановители. Вещества с окислительной и восстановительной функцией. Роль среды (щелочной, кислотной и нейтральной) в ОВР. Составление уравнений ОВР и подбор коэффициентов в них: метод электронного баланса и метод электронно-ионных полуреакций. Определение направления ОВР с использованием в качестве критерия стандартного электрохимического потенциала. Решение расчетных задач по уравнению реакции и по закону эквивалентов.

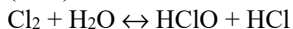
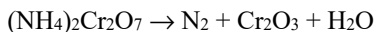
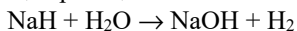
**Химическое равновесие.** Признаки истинного равновесия. Закон действующих масс. Выражение константы равновесия для гомогенных и гетерогенных систем. Константа равновесия для сложных химических реакций. Расчет равновесных концентраций реагентов и продуктов при различных начальных условиях. Принцип Ле Шателье. Сдвиг химического равновесия при изменении температуры, давления, концентраций реагентов и продуктов.

# I. РАЗДЕЛ

## «ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ»

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ

1. Какие реакции называются окислительно-восстановительными? Что представляет собой процесс окисления? Восстановления? Какие типы ОВР вы знаете? К какому типу ОВР относятся следующие реакции?



2. Какие вещества проявляют в ОВР функции **окислителя**? Как меняется степень окисления атома-окислителя в ОВР? Приведите примеры типичных окислителей и полуреакции с их участием.
3. Какие из перечисленных веществ могут выполнять в ОВР функции окислителей: **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(конц.)**, **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(разб.)**, **KI**? Приведите уравнения электронно-ионных полуреакций с их участием.
4. Какие вещества могут выполнять в окислительно-восстановительных реакциях функции **восстановителя**? Как меняется степень окисления атома-восстановителя в ОВР? Приведите примеры типичных восстановителей и полуреакции с их участием.
5. Какие из перечисленных веществ могут выполнять в ОВР функции *восстановителей*: **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**, **Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>S**, **Zn**, **FeCl<sub>3</sub>**? Приведите уравнения электронно-ионных полуреакций с их участием.
6. Какие из перечисленных веществ могут выполнять в ОВР функции *как окислителей, так и восстановителей*: **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**, **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>S**, **SO<sub>2</sub>**, **Al**, **Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>**? Приведите полуреакции с их участием.
7. Какие функции в ОВР могут выполнять следующие вещества: **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**, **KNO<sub>2</sub>**, **HNO<sub>2</sub>**, **CuS**. Приведите электронно-ионные полуреакции с их участием.
8. Какова роль **среды** в окислительно-восстановительных реакциях? Проиллюстрируйте ответ примерами уравнений реакций и электронно-ионными полуреакциями.
9. В какой среде – кислотной или щелочной – сильнее выражены восстановительные свойства: 1) **алюминия**, 2) **нитрит-иона**? Под-

твердите свой вывод справочными данными для соответствующих электронно-ионных полуреакций.

10. Какой реагент обладает более сильными окислительными свойствами в кислой среде: 1) **перманганат калия** или **дихромат калия**; 2) **пероксид водорода** или **дибром**? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями полуреакций.
11. Какие – окислительные или восстановительные – свойства более характерны в кислой среде для следующих реагентов: 1) **пероксид водорода** ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); 2) **нитрит калия** ( $\text{KNO}_2$ )? Приведите уравнения электронно-ионных полуреакций и справочные данные.
12. Какие из галогенов могут окислить **нитрит-ион** в кислотной среде? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями электронно-ионных полуреакций.
13. Можно ли приготовить водные растворы, содержащие следующие пары веществ: 1)  **$\text{FeSO}_4$**  и  **$\text{HNO}_3$**  (разб.); 2)  **$\text{HI}$**  и  **$\text{H}_2\text{SO}_4$**  (конц.); 3)  **$\text{SO}_2$**  и  **$\text{H}_2\text{S}$** ; 4)  **$\text{KBr}$**  и  **$\text{KBrO}_3$** ; 5)  **$\text{HI}$**  и  **$\text{HNO}_3$** ? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями полуреакций.
14. Сформулируйте закон эквивалентов в применении к ОВР. Проиллюстрируйте ответ конкретным примером.



## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

В данном блоке необходимо выполнить следующие задания:

**А)** определить тип окислительно-восстановительной реакции;

**Б)** указать окислитель и восстановитель;

**В)** составить молекулярное уравнение реакции, подобрав коэффициенты методом электронного баланса;

**Г)** определить сумму стехиометрических коэффициентов в составленном/полученном молекулярном уравнении реакции.

1.  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{Ag} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Ag}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$
4.  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NO}$
5.  $\text{AsH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
6.  $\text{Br}_2 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{HBr}$
7.  $\text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{KBrO} + \text{H}_2\text{O}$
8.  $\text{Ca} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
9.  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{C} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{P} + \text{CO}$
10.  $\text{Cd} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CdSO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
11.  $\text{Cl}_2 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HIO}_3 + \text{HCl}$
12.  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{I}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KI} + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
13.  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{CO}_2$
14.  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{NaNO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
15.  $\text{CrCl}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
16.  $\text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
17.  $\text{CrO}_3 + \text{KClO} + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
18.  $\text{Cu}_2\text{O} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
19.  $\text{CuI} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KMnO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{I}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

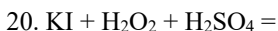
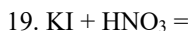
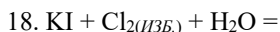
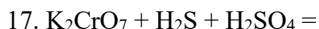
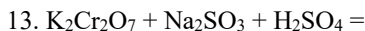
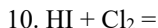
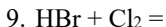
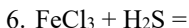
20.  $\text{FeS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
21.  $\text{FeCl}_3 + \text{KI} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{I}_2 + \text{KCl}$
22.  $\text{FeSO}_4 + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
23.  $\text{H}_2\text{S} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$
24.  $\text{H}_2\text{S} + \text{HClO} \rightarrow \text{S} + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$
25.  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HI} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$
26.  $\text{H}_3\text{IO}_6 \rightarrow \text{I}_2\text{O}_5 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
27.  $\text{HCl} + \text{CrO}_3 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{CrCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$
28.  $\text{HClO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$
29.  $\text{HMnO}_4 \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
30.  $\text{I}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaI} + \text{NaIO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
31.  $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{KCl}$
32.  $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$
33.  $\text{K}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4$
34.  $\text{KBr} + \text{KBrO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
35.  $\text{KClO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$
36.  $\text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{HBr}$
37.  $\text{KOH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{KClO}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
38.  $\text{MnCO}_3 + \text{KClO}_3 \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{KCl} + \text{CO}_2$
39.  $\text{NaNO}_2 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
40.  $\text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
41.  $\text{NaCrO}_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$
42.  $\text{NH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{NH}_4\text{Br}$
43.  $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{N}_2\text{O}_3$
44.  $\text{P} + \text{HClO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HCl}$
45.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$
46.  $\text{PbS} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

В данном блоке необходимо выполнить следующие задания:

**А)** составить молекулярное уравнение реакции в водном растворе, подобрав коэффициенты методом электронно-ионного баланса (с помощью электронно-ионных полуреакций);

**Б)** определить сумму стехиометрических коэффициентов в составленном/полученном молекулярном уравнении реакции;

**В)** рассчитать значение  $\Delta\varphi^\circ$  для каждой реакции и определить возможность ее самопроизвольного протекания в стандартных условиях.



21.  $\text{KMnO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
22.  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
23.  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{S}_{(p)} + \text{H}_2\text{O} =$
24.  $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
25.  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KOH} =$
26.  $\text{KMnO}_4 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
27.  $\text{KMnO}_4 + \text{KI} + \text{H}_2\text{O} =$
28.  $\text{KMnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
29.  $\text{KMnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{KOH} =$
30.  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} =$
31.  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
32.  $\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} =$
33.  $\text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
34.  $\text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KI} =$
35.  $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + \text{Na}_2\text{O}_2 =$
36.  $\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3 =$
37.  $\text{PbO}_2 + \text{HCl}_{(KOHCl)} =$
38.  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}_{(p)} =$
39.  $\text{SO}_2 + \text{HNO}_3 =$
40.  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(KOHCl)} =$
41.  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(PA3B)} =$
42.  $\text{Zn} + \text{HNO}_{3(Oq. PA3B)} =$
43.  $\text{Zn} + \text{HCl}_{(PA3B)} =$
44.  $\text{Zn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} =$
45.  $\text{CuS}_{(T)} + \text{HNO}_{3(KOHCl)} =$
46.  $\text{MnO}_2 + \text{HCl} =$

В данном блоке необходимо:

**А)** составить уравнения реакций в водном растворе;

**Б)** определить сумму коэффициентов в полученном уравнении;

**В)** используя справочные данные, сделать вывод о возможности самопроизвольного протекания этих реакций в стандартных условиях.

1. фосфор + азотная кислота (конц.) = ...
2. медь + азотная кислота (разб.) =
3. сульфид меди(II) + азотная кислота (конц.) = ...
4. азотная кислота (конц.) + сероводород = ...
5. азотная кислота (разб.) + иодид калия =
6. пероксид водорода + бромоводород =
7. пероксид водорода + гексагидроксохромат(III) натрия = ...
8. перманганат калия + иодоводород = ...
9. перманганат калия + пероксид водорода = ...
10. диоксид серы + вода + бром =
11. иодид калия + вода + хлор (избыток) =
12. алюминий + гидроксид натрия (конц.) + вода =
13. вода + гидроксид натрия (конц.) + цинк =
14. хлорид железа(III) + вода + иодид натрия =
15. хлорид железа(III) + вода + сульфит натрия =
16. иодид калия + серная кислота + нитрит калия = ...
17. оксид свинца(IV) + азотная кислота + пероксид водорода =
18. пероксид водорода + серная кислота + бромид калия =
19. гексагидроксохромат(III) натрия + гидроксид натрия + бром = ...
20. дихромат калия + серная кислота + щавелевая кислота =
21. сероводород + серная кислота + дихромат калия =
22. нитрит калия + серная кислота + дихромат калия =

23. дихромат калия + серная кислота + иодид калия =
24. дихромат калия + серная кислота + сульфит натрия = ...
25. сульфат железа(II) + серная кислота + дихромат калия =
26. перманганат калия + серная кислота + нитрит калия =
27. перманганат калия + серная кислота + иодид калия =
28. перманганат калия + серная кислота + щавелевая кислота = ...
29. перманганат калия + серная кислота + сероводород (г) =
30. перманганат калия + вода + сероводород = ...
31. перманганат калия + серная кислота + сульфит натрия = ...
32. перманганат калия + гидроксид калия + сульфит калия = ...
33. перманганат калия + вода + сульфит калия = ...
34. пероксид водорода + перманганат калия + вода =

## РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ

В данном блоке рекомендуется составить молекулярное уравнение окислительно-восстановительной реакции, используя метод электронно-ионных полуреакций, определить, какое вещество, участвующее в данной реакции, выполняет роль окислителя или восстановителя.

Расчеты необходимо проводить: **а)** по закону эквивалентов; **б)** по уравнению реакции.

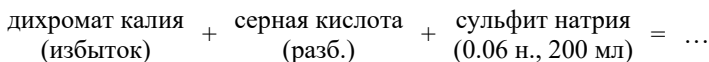
1. Рассчитайте массу осадка, который образуется при окислении сероводорода в 100 мл его 0.1M раствора разбавленной азотной кислотой.
2. Рассчитайте объем газа, выделяющегося при взаимодействии 4.48 л (при н.у.) сероводорода с концентрированной азотной кислотой.
3. При окислении щавелевой кислоты 750 мл 0.05M раствором перманганата калия выделяется газ. Определите его объем (н.у.).
4. Проводится реакция между раствором иодида калия с избытком нитрита калия, в результате которой образовалось 1.26 г осадка.  
1) Рассчитайте молярную концентрацию иодида калия, если в реакцию вступило 50 мл его раствора; 2) определите объем 0.1M раствора иодида калия, вступившего в реакцию.
5. Для реакции из п. 4 найдите массу иодида калия, вступившего в реакцию с 400 мл 0.25M раствора нитрита калия.
6. Рассчитайте массу окислителя и объем выделившегося газа при взаимодействии 160 мл 0.8M раствора иодида калия с избытком нитрита калия в кислой среде.
7. Какая масса восстановителя требуется для проведения реакции пероксида водорода в кислой среде с 25 мл 0.8M раствора: а) перманганата калия; б) дихромата калия?
8. Вычислите массу окислителя в реакции пероксида водорода с перманганатом калия, если в реакцию вступило 250 мл: а) 0.05M; б) 0.15 н раствора пероксида водорода.
9. Рассчитайте объем выделившегося газа (при н.у.) в ходе реакции избытка пероксида водорода с 250 мл 0.05M раствора перманганата калия в кислой среде.

10. Какой объем газа (при н.у.) выделяется при взаимодействии избытка пероксида водорода с дихроматом калия, содержащимся в 20 мл 0.2М раствора (среда кислая)?
11. Рассчитайте объем газа (н.у.), выделяемого при взаимодействии избытка цинка с разбавленной серной кислотой, содержащейся в 10 мл ее 0.2М раствора.
12. Для реакции из п. 11 проведите расчет, если в реакцию вступило 75.6 г цинка.
13. Определите объем газа (н.у.), выделяемого при взаимодействии 63 г цинка с концентрированной серной кислотой.
14. Какая масса иодида калия необходима для реакции в кислой среде с 200 мл 0.05М раствора перманганата калия?
15. Рассчитайте массу хромата калия, необходимого для приготовления 500 мл его 0.2М раствора, предназначенного для окислительно-восстановительных реакций в щелочной среде.
16. Рассчитайте объем кислорода, получаемого в результате взаимодействия избытка пероксида водорода с перманганатом калия, содержащимся в 100 мл 0.2М раствора (среда кислая).
17. В лаборатории в кислой среде проводилась реакция поглощения 2.24 л (н.у.) сероводорода 0.02М раствором пероксида водорода. Рассчитайте затраченный на проведение этой реакции объем пероксида водорода.
18. При проведении реакции 5 г меди с концентрированной серной кислотой выделился газ. Определите его объем (при н.у.).
19. Рассчитайте массу нитрита калия, необходимого для приготовления 200 мл 0.5М раствора, предназначенного для изучения его восстановительных свойств в кислой среде.
20. Какой объем восстановителя (при н.у.) был затрачен на проведение реакции в кислой среде сероводорода с 50 мл 0.4М раствора:  
а) перманганата калия; б) дихромата калия?
21. Какая масса сульфита натрия потребуется для реакции с 400 мл 0.05М раствора перманганата калия в кислотной среде?
22. Рассчитайте массу восстановителя для реакции из п. 21 при изменении среды на щелочную и с учетом того, что в реакцию вступило 50 мл 1.5М раствора окислителя.



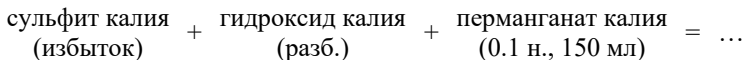
23. Определите массу перманганата калия, которая потребуется на проведение реакции с 300 мл 0.2М раствора сульфита натрия в щелочной среде.
24. Вычислите объем газа, выделяющийся при взаимодействии 200 мл 0.2М раствора иодида калия с концентрированной азотной кислотой.
25. Рассчитайте концентрацию 119 мл пероксида водорода, который потребовался на реакцию с 5.99 г оксида свинца(IV) в кислотной среде.
26. Найдите объем выделившегося газа (н.у.) при проведении реакции избытка оксида свинца(IV) с 50 мл 0.05М раствора пероксида водорода.
27. Масса хлорида марганца(II), образовавшегося в ходе реакции концентрированной соляной кислоты с диоксидом марганца, равна 10.1 г. Вычислите массу вступившего в реакцию окислителя.
28. Определите массу дихромата калия, вступившего в реакцию с 250 мл 0.2М раствора сульфита натрия в кислой среде.
29. Для реакции из п. 28 найдите объем 0.05М раствора восстановителя, если на проведение реакции израсходовано 50 мл 0.1М раствора дихромата калия.
30. Рассчитайте объем и массу окислителя при проведении реакции 60 мл 0.4М раствора сульфата железа(II) с 0.1М раствором дихромата калия.
31. При окислении 25 мл 0.4М раствора сульфита натрия раствором перманганата калия образуется осадок. Вычислите его массу.
32. 12.7 г меди взаимодействует с разбавленной азотной кислотой. Найдите объем выделяющегося газа (при н.у.).
33. Рассчитайте объем выделяющего газа (при н.у.) при взаимодействии 2.5 г алюминия с разбавленной соляной кислотой.
34. Найдите массу окислителя в реакции избытка пероксида водорода с 50 мл 0.5М раствора иодида калия.
35. Для реакции из п. 34 вычислите массу образовавшегося осадка, если было израсходовано 100 мл 0.05М раствора пероксида водорода, а йодид калия был взят в избытке.

36. Найдите массу перманганата калия, который был взят для проведения реакции с 10 мл 0.01 н. раствора нитрита калия в кислотной среде.
37. Вычислите массу окислителя в реакции 120 мл 0.5 н. раствора нитрита калия с дихроматом калия в кислотной среде.
38. Определите объем выделившегося газа в случае взаимодействия с избытком раствора гидроксида натрия в присутствии воды:  
а) 5.4 г алюминия; б) 3.27 г цинка.
39. Рассчитайте массу вступившего с 25 мл 2М концентрированной азотной кислоты сульфида меди(II).
40. Найдите объем газообразного продукта (при н.у.) при взаимодействии 3.2 г сульфида меди(II) с избытком концентрированной азотной кислоты.
41. Какая масса 400 мл 0.4М раствора перманганата калия будет израсходована на реакцию с избытком сероводорода?
42. Определите массу осадка, образующегося в ходе реакции 44.8 л сероводорода с избытком перманганата калия.
43. Вычислите массу восстановителя в реакции нитрита калия с 40 мл 0.5М раствора перманганата калия.
44. 28 г этилового спирта окисляются 0.2М раствором дихромата калия. Найдите объем раствора окислителя.
45. Составьте уравнение реакции:



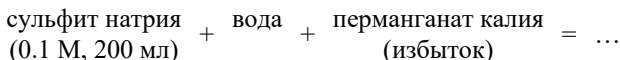
Рассчитайте массу прореагировавшего окислителя.

46. Составьте уравнение реакции:



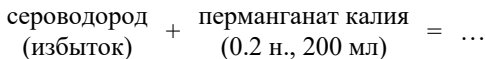
Рассчитайте массу прореагировавшего восстановителя.

47. Составьте уравнение реакции:



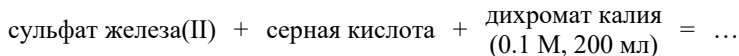
Рассчитайте массу осадка (г), выпавшего в результате полного протекания реакции.

48. Составьте уравнение реакции:



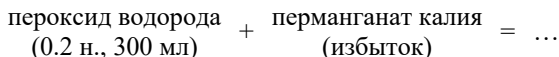
Рассчитайте объем (н.у.) прореагировавшего газа.

49. Составьте уравнение реакции:



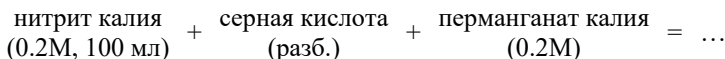
Рассчитайте массу вступившего в реакцию восстановителя (протекание реакции полное).

50. Составьте уравнение реакции:



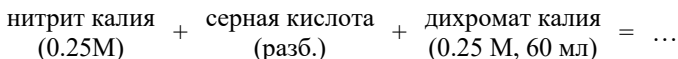
Рассчитайте массу выпавшего осадка.

51. Составьте уравнение реакции:



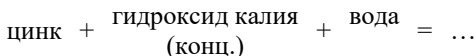
Рассчитайте объем раствора (мл) прореагировавшего окислителя, считая протекание реакции полным.

52. Составьте уравнение реакции:



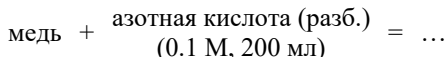
Рассчитайте объем раствора восстановителя.

53. Составьте уравнение реакции:



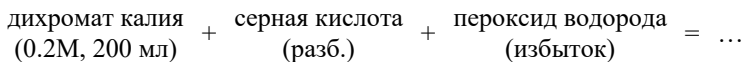
Рассчитайте массу (г) прореагировавшего восстановителя, если в результате полного протекания реакции выделилось 2,24 л (н.у.) газообразного продукта.

54. Составьте уравнение реакции:



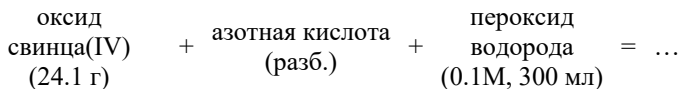
Рассчитайте массу прореагировавшего восстановителя, считая протекание реакции полным

55. Составьте уравнение реакции:



Рассчитайте объем газообразного продукта (л, н.у.), образовавшегося в результате полного протекания реакции.

56. Составьте уравнение реакции:



Рассчитайте объем газообразного продукта (л, н.у.), образовавшегося в результате полного протекания реакции.

## II. РАЗДЕЛ «ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ»

1. Составьте выражение для константы равновесия  $K_C$  следующих гомогенных и гетерогенных реакций и сделайте вывод о преимущественном направлении этих реакций, исходя из известных значений  $K_C$ .

№	Реакция	$K_C$
1	$2\text{SO}_{2(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(\Gamma)}$	0.74
2	$2\text{C}_2\text{H}_{6(\Gamma)} + 7\text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 4\text{CO}_{2(\Gamma)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\Gamma)}$	145
3	$4\text{NH}_{3(\Gamma)} + 5\text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 4\text{NO}_{(\Gamma)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\Gamma)}$	0.008
4	$6\text{HF}_{(\Gamma)} + \text{N}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{NF}_{3(\Gamma)} + 3\text{H}_{2(\Gamma)}$	1
5	$2\text{CO}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)}$	0.25
6	$2\text{H}_2\text{S}_{(\Gamma)} + 3\text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{2(\Gamma)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\Gamma)}$	$3 \cdot 10^5$
7	$\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{Cl}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{(\Gamma)}$	24.3
8	$2\text{NH}_{3(\Gamma)} + 3\text{Cl}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{N}_{2(\Gamma)} + 6\text{HCl}_{(\Gamma)}$	$1 \cdot 10^{-6}$
9	$\text{Fe}_{(\Gamma)} + \text{CO}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{FeO}_{(\Gamma)} + \text{CO}_{(\Gamma)}$	215
10	$2\text{C}_{(\Gamma)} + \text{H}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_{2(\Gamma)}$	0.72
11	$\text{NiO}_{(\Gamma)} + \text{CO}_{(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{Ni}_{(\Gamma)} + \text{CO}_{2(\Gamma)}$	16
12	$\text{CO}_{2(\Gamma)} + \text{H}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\Gamma)} + \text{H}_2\text{O}_{(\Gamma)}$	3.06
13	$2\text{ZnS}_{(\Gamma)} + 3\text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{ZnO}_{(\Gamma)} + 2\text{SO}_{2(\Gamma)}$	12.5

2. Запишите выражение для константы равновесия гомогенной реакции  $K_C^{\text{гом}}$ . Как изменится это выражение, если одно или несколько веществ (реагентов и/или продуктов) будет находиться в твердой или жидкой фазе? Составьте выражение для константы равновесия гетерогенной реакции  $K_C^{\text{гет}}$ .

№	Гомогенная реакция	Гетерогенная реакция
<b>1</b>	$2\text{NO}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{4(\Gamma)}$	$2\text{NO}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{4(\text{ж})}$
<b>2</b>	$\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{Br}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{HBr}(\Gamma)$	$\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{Br}_{2(\text{ж})} \rightleftharpoons 2\text{HBr}(\Gamma)$
<b>3</b>	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\Gamma) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4(\Gamma) + \text{H}_2\text{O}(\Gamma)$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4(\Gamma) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$
<b>4</b>	$\text{C}_2\text{H}_4(\Gamma) + 3\text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{2(\Gamma)} + 2\text{H}_2\text{O}(\Gamma)$	$\text{C}_2\text{H}_4(\Gamma) + 3\text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{2(\Gamma)} + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$
<b>5</b>	$\text{CO}_{2(\Gamma)} + 4\text{H}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{CH}_4(\Gamma) + 2\text{H}_2\text{O}(\Gamma)$	$\text{CO}_{2(\Gamma)} + 4\text{H}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{CH}_4(\Gamma) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$
<b>6</b>	$2\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\Gamma)$	$2\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$

3. Состояние **гомогенного** равновесия установилось при равновесных концентрациях всех веществ, равных друг другу. Составьте выражение для константы равновесия  $K_C$ , рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции.

№	Реакция	[...], моль/л
<b>1</b>	$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$	<b>2</b>
<b>2</b>	$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCl}$	<b>0.04</b>
<b>3</b>	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$	<b>2</b>
<b>4</b>	$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	<b>2</b>
<b>5</b>	$2\text{NF}_3 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 6\text{HF} + \text{N}_2$	<b>3</b>
<b>6</b>	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$	<b>3</b>
<b>7</b>	$2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NOCl}$	<b>0.04</b>
<b>8</b>	$2\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{O}_2 \rightleftharpoons 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	<b>4</b>

№	Реакция	[...], моль/л
<b>9</b>	$\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$	<b>0.04</b>
<b>10</b>	$\text{SCl}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$	<b>5</b>

[...] – равновесные концентрации веществ.

4. Состояние *гетерогенного* равновесия установилось при равновесных концентрациях всех веществ, равных друг другу. Составьте выражение для константы равновесия  $K_c$ , рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции.

№	Реакция	[...], моль/л
<b>1</b>	$\text{FeO}_{(\text{T})} + \text{CO}_{(\text{Г})} \rightleftharpoons \text{Fe}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{Г})}$	<b>2</b>
<b>2</b>	$\text{CaCO}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CaO}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{Г})}$	<b>0.06</b>
<b>3</b>	$\text{C}_{(\text{T})} + \text{CO}_{(\text{Г})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{Г})}$	<b>3</b>
<b>4</b>	$\text{CH}_{4(\text{Г})} + 4\text{S}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CS}_{2(\text{Г})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{Г})}$	<b>0.06</b>
<b>5</b>	$2\text{AgNO}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{(\text{T})} + 2\text{NO}_{2(\text{Г})} + \text{O}_{2(\text{Г})}$	<b>2</b>
<b>6</b>	$\text{S}_{(\text{T})} + \text{H}_{2(\text{Г})} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}_{(\text{Г})}$	<b>0.06</b>
<b>7</b>	$2\text{CuO}_{(\text{T})} + \text{CO}_{(\text{Г})} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{Г})}$	<b>3</b>
<b>8</b>	$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{Г})} + 3\text{S}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{SO}_{2(\text{Г})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{Г})}$	<b>2</b>
<b>9</b>	$2\text{HgO}_{(\text{Ж})} \rightleftharpoons 2\text{Hg}_{(\text{Ж})} + \text{O}_{2(\text{Г})}$	<b>0.06</b>

[...] – равновесные концентрации веществ.

5. По известному значению константы *гетерогенного* равновесия рассчитайте равновесную концентрацию газообразного продукта (моль/л).

№	Реакция	K <sub>C</sub>
1	$\text{CaCO}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CaO}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{Г})}$	0.4
2	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{T})} + 3\text{C}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(\text{T})} + 2\text{CO}_{(\text{Г})}$	9
3	$\text{BaSO}_{4(\text{T})} + 4\text{C}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{BaS}_{(\text{T})} + 4\text{CO}_{(\text{Г})}$	$2.56 \cdot 10^{-6}$
4	$\text{C}_{(\text{T})} + \text{CaO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\text{Г})} + \text{Ca}_{(\text{T})}$	0.002
5	$2\text{NaN}_3_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{Na}_{(\text{Ж})} + 3\text{N}_{2(\text{Г})}$	0.027
6	$\text{C}_{(\text{T})} + \text{CaCO}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{Г})} + \text{CaO}_{(\text{T})}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$
7	$\text{PbCO}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons \text{PbO}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{Г})}$	0,02
8	$\text{Mg}_3\text{N}_{2(\text{T})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{Ж})} \rightleftharpoons 3\text{Mg}(\text{OH})_{2(\text{T})} + 2\text{NH}_3_{(\text{Г})}$	4
9	$\text{B}_2\text{S}_3_{(\text{T})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{Ж})} \rightleftharpoons 2\text{B}(\text{OH})_{3(\text{T})} + 3\text{H}_2\text{S}_{(\text{Г})}$	0.125
10	$\text{MnO}_{2(\text{T})} + 2\text{C}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{Mn}_{(\text{T})} + 2\text{CO}_{(\text{Г})}$	0.01
11	$3\text{C}_{(\text{T})} + \text{CaO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\text{Г})} + \text{CaC}_{2(\text{T})}$	3
12	$4\text{AgCl}_{(\text{Ж})} + 2\text{BaO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 4\text{Ag}_{(\text{T})} + 2\text{BaCl}_{2(\text{T})} + \text{O}_{2(\text{Г})}$	0.003
13	$\text{CaH}_{2(\text{T})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{Ж})} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{T})} + 2\text{H}_{2(\text{Г})}$	0.04
14	$2\text{HgO}_{(\text{Ж})} \rightleftharpoons 2\text{Hg}_{(\text{Ж})} + \text{O}_{2(\text{Г})}$	0.01
15	$\text{Mg}_{(\text{T})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{Ж})} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_{2(\text{T})} + 2\text{H}_{2(\text{Г})}$	$4 \cdot 10^{-4}$
16	$2\text{CuO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{Cu}_{(\text{T})} + \text{O}_{2(\text{Г})}$	0,03

6. Рассчитайте константу равновесия гомогенных реакций, протекающих по различным схемам. Для упрощения математических расчетов примите равновесные концентрации всех веществ равными 4 моль/л соответственно.



№	Схема реакции	№	Схема реакции
1	$2A + B \rightleftharpoons 4C + 3D$	9	$4A + 3B \rightleftharpoons 2C + D$
2	$4A + 6B \rightleftharpoons 4C + 5D$	10	$2A + 5B \rightleftharpoons 4C + 6D$
3	$4A + B \rightleftharpoons 2C + 3D$	11	$2A + 3B \rightleftharpoons C + 6D$
4	$A + 5B \rightleftharpoons 2C + 3D$	12	$4A + 5B \rightleftharpoons 4C + 6D$
5	$4A + 6B \rightleftharpoons 2C + 7D$	13	$2A + 6B \rightleftharpoons 4C + 3D$
6	$6A + B \rightleftharpoons 2C + 3D$	14	$2A + 7B \rightleftharpoons 4C + 6D$
7	$2A + 3B \rightleftharpoons C + 4D$	15	$2A + 3B \rightleftharpoons 5C + D$
8	$4A + 6B \rightleftharpoons 2C + 5D$	16	$4A + 3B \rightleftharpoons 2C + 6D$

- Равновесные концентрации веществ для реакции, протекающей по схеме  $4A_{(г)} + 6B_{(г)} \rightleftharpoons 2C_{(г)} + 5D_{(г)}$  (например,  $4NO_{(г)} + 6H_2O_{(г)} \rightleftharpoons 2NH_{3(г)} + 5O_{2(г)}$ ), равны  $[A] = 3.67$ ,  $[B] = 2.35$ ,  $[D] = 1.28$  моль/л соответственно. Рассчитайте начальные концентрации реагентов (**A** и **B**) и равновесную концентрацию продукта **C**. После определения равновесных концентраций всех веществ, участвующих в реакции, рассчитайте константу равновесия для этой реакции.
- Равновесные концентрации веществ для реакции, протекающей по схеме  $4A_{(г)} + 3B_{(г)} \rightleftharpoons 2C_{(г)} + D_{(г)}$  (например,  $4NF_{3(г)} + 3H_{2(г)} \rightleftharpoons 2HF_{(г)} + N_{2(г)}$ ) равны  $[A] = 0.82$ ,  $[B] = 0.41$ ,  $[D] = 1.18$  моль/л соответственно. Рассчитайте начальные концентрации реагентов (**A** и **B**) и равновесную концентрацию продукта **C**. После определения равновесных концентраций всех веществ, участвующих в реакции, рассчитайте константу равновесия для этой реакции.
- Равновесные концентрации веществ для реакции, протекающей по схеме  $4A_{(г)} + 3B_{(г)} \rightleftharpoons 2C_{(г)} + 6D_{(г)}$  (например,  $4NH_{3(г)} + 3O_{2(г)} \rightleftharpoons 2N_{2(г)} + 6H_2O_{(г)}$ ) равны  $[A] = 2.55$ ,  $[B] = 1.93$ ,  $[D] = 6.60$  моль/л соответственно. Рассчитайте начальные концентрации реагентов (**A** и **B**) и равновесную концентрацию продукта **C**. После опреде-

ления равновесных концентраций всех веществ, участвующих в реакции, рассчитайте константу равновесия для этой реакции.

10. Для гомогенной реакции, протекающей по схеме  $A + B \rightleftharpoons C + D$  (например,  $SO_2 + CO_2 \rightleftharpoons SO_3 + CO$ ,  $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ ), константа равновесия равна 3.04, а начальные концентрации реагентов по 1.21 моль/л для каждого соответственно. Определите равновесные концентрации реагентов и продуктов.
11. Для гомогенной реакции, протекающей по схеме  $A \rightleftharpoons B + C$  (дегидрирование этана –  $C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_4 + H_2$ , дегидратация этанола –  $C_2H_5OH \rightleftharpoons C_2H_4 + H_2O$ , реакции разложения пентахлорида фосфора  $PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$ ) известны начальная концентрация реагента и константа равновесия. Определите равновесные концентрации реагента и продуктов.

№	$C_0$ , моль/л	$K_C$	№	$C_0$ , моль/л	$K_C$	№	$C_0$ , моль/л	$K_C$
1	4	2	8	0.25	0.125	15	6	3
2	3	4	9	9	12	16	0.45	0.6
3	1	0.5	10	4.5	6	17	0.6	0.8
4	6	8	11	10	5	18	1.2	1.6
5	1.5	2	12	0.3	0.4	19	1.8	2.4
6	0.5	0.25	13	0.15	0.2	20	0.8	0.4
7	8	4	14	0.1	0.05			

12. Для гетерогенной реакции, протекающей по схеме  $A_{(г)} + 2B_{(г)} \rightleftharpoons C_{(г)}$  (например,  $C_{(г)} + 2H_{2(г)} \rightleftharpoons CH_{4(г)}$ ,  $C_{(г)} + 2Cl_{2(г)} \rightleftharpoons CCl_{4(г)}$ ), константа равновесия равна 0.56, а начальная концентрация газообразного реагента 1.68 моль/л. Определите равновесные концентрации газообразных реагента и продукта.
13. Для гомогенной реакции, протекающей по схеме  $2A \rightleftharpoons B + C$  (разложение типа  $2H\Xi \rightleftharpoons H_2 + \Xi_2$ , где  $\Xi = Cl, Br, I$ ), константа равновесия равна 0.81, а начальная концентрация реагента 0.55 моль/л. Определите равновесные концентрации реагента и продуктов.

14. Для гетерогенной реакции, протекающей по схеме  $A_{(T)} + B_{(Г)} \rightleftharpoons 2C_{(Г)}$  (например,  $C_{(T)} + CO_{2(Г)} \rightleftharpoons 2CO_{(Г)}$ ,  $2C_{(T)} + O_{2(Г)} \rightleftharpoons 2CO_{(Г)}$ ), константа равновесия равна 0.25, а начальная концентрация газообразного реагента 0.75 моль/л. Определите равновесные концентрации газообразных реагента и продукта.

15. Для гетерогенной реакции, протекающей по схеме  $A_{(T)} + B_{(Г)} \rightleftharpoons C_{(T)} + D_{(Г)}$  (например,  $NiO_{(T)} + H_{2(Г)} \rightleftharpoons Ni_{(T)} + H_2O_{(Г)}$ ,  $FeO_{(T)} + CO_{(Г)} \rightleftharpoons Fe_{(T)} + CO_{2(Г)}$ ,  $NiO_{(T)} + CO_{(Г)} \rightleftharpoons Ni_{(T)} + CO_{2(Г)}$ ,  $FeO_{(T)} + H_{2(Г)} \rightleftharpoons Fe_{(T)} + H_2O_{(Г)}$ ,  $CoO_{(T)} + H_{2(Г)} \rightleftharpoons Co_{(T)} + H_2O_{(Г)}$ ,  $2CuO_{(T)} + CO_{(Г)} \rightleftharpoons Cu_2O_{(T)} + CO_{2(Г)}$ ,  $Fe_2O_{3(T)} + CO_{(Г)} \rightleftharpoons 2FeO_{(T)} + CO_{2(Г)}$ ,  $CoO_{(T)} + CO_{(Г)} \rightleftharpoons Co_{(T)} + CO_{2(Г)}$ ,  $Fe_2O_{3(T)} + H_{2(Г)} \rightleftharpoons 2FeO_{(T)} + H_2O_{(Г)}$ ,  $2C_{(T)} + H_{2(Г)} \rightleftharpoons C_2H_{2(Г)}$ ,  $C_{(T)} + O_{2(Г)} \rightleftharpoons CO_{2(Г)}$ ), константа равновесия равна 0.825, а начальная концентрация газообразного реагента 0.55 моль/л. Определите равновесные концентрации газообразных реагента и продукта.

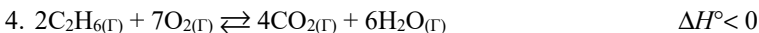
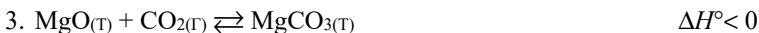
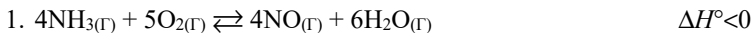
16. Какие параметры влияют на смещение химического равновесия? Какие изменения для следующих реакций приведут к смещению химического равновесия в сторону образования продуктов реакции? Предложите оптимальную схему воздействия посредством изменения термодинамических параметров для увеличения выхода продуктов.

**А)** Нагревание (увеличение температуры,  $P = \text{const}$ ).

**Б)** Охлаждение (уменьшение температуры,  $P = \text{const}$ ).

**В)** Повышение давления ( $T = \text{const}$ ).

**Г)** Уменьшение давления ( $T = \text{const}$ ).



5.  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{r}) + 3\text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{r}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{r})$   $-\text{Q}$
6.  $\text{CaO}(\text{T}) + \text{CO}_2(\text{r}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{T})$   $\Delta H < 0$
7.  $2\text{H}_2\text{O}(\text{r}) + 2\text{F}_2(\text{r}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{r}) + 4\text{HF}(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
8.  $4\text{HI}(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{r}) + 2\text{I}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
9.  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$   $\Delta H^\circ < 0$
10.  $4\text{NH}_3(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{N}_2(\text{r}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{r})$   $+\text{Q}$
11.  $4\text{KO}_2(\text{T}) + 2\text{CO}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{K}_2\text{CO}_3(\text{T}) + 3\text{O}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
12.  $\text{FeO}(\text{T}) + \text{H}_2(\text{r}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{T}) + \text{H}_2\text{O}(\text{r})$   $\Delta H^\circ > 0$
13.  $\text{C}(\text{T}) + 2\text{N}_2\text{O}(\text{r}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{r}) + 2\text{N}_2(\text{r})$   $+\text{Q}$
14.  $2\text{C}_2\text{H}_2(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 4\text{C}(\text{T}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
15.  $2\text{BBr}_3(\text{r}) + 3\text{H}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 6\text{HBr}(\text{r}) + 2\text{B}(\text{T})$   $\Delta H^\circ > 0$
16.  $\text{C}(\text{T}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{r})$   $+\text{Q}$
17.  $\text{SiH}_4(\text{r}) + 2\text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons \text{SiO}_2(\text{T}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
18.  $2\text{Al}(\text{T}) + 2\text{NH}_3(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{AlN}(\text{T}) + 3\text{H}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
19.  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + 3\text{CO}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{T}) + 3\text{CO}(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
20.  $\text{CaCO}_3(\text{T}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{T}) + \text{CO}_2(\text{r})$   $-\text{Q}$
21.  $2\text{PbS}(\text{T}) + 3\text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{PbO}(\text{T}) + 2\text{SO}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
22.  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{r}) + 5\text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 3\text{CO}_2(\text{r}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{r})$   $+\text{Q}$
23.  $2\text{SO}_2(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
24.  $\text{I}_2\text{O}_5(\text{T}) + 5\text{CO}(\text{r}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{T}) + 5\text{CO}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
25.  $2\text{NO}(\text{r}) + \text{Cl}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{NOCl}(\text{r})$   $+\text{Q}$
26.  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + 3\text{C}(\text{T}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{T}) + 2\text{CO}(\text{r})$   $\Delta H^\circ > 0$
27.  $2\text{NO}(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ < 0$
28.  $2\text{HI}(\text{r}) + \text{S}(\text{T}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{r}) + \text{H}_2\text{S}(\text{r})$   $+\text{Q}$
29.  $2\text{SO}_3(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r})$   $\Delta H^\circ > 0$

30.  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{NH}_{3(\text{T})} + \text{HCl}_{(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
31.  $2\text{HgO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{Hg}_{(\text{ж})} + \text{O}_{2(\text{T})}$   $-Q$
32.  $\text{SiO}_{2(\text{T})} + 2\text{H}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{Si}_{(\text{T})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
33.  $\text{C}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
34.  $2\text{N}_2\text{O}_{(\text{T})} + \text{S}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{N}_{2(\text{T})} + \text{SO}_{2(\text{T})}$   $+Q$
35.  $\text{PCl}_{5(\text{T})} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(\text{T})} + \text{Cl}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
36.  $2\text{NH}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons \text{N}_{2(\text{T})} + 3\text{H}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
37.  $\text{C}_{(\text{T})} + 2\text{Cl}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CCl}_{4(\text{T})}$   $\Delta H^\circ < 0$
38.  $\text{CO}_{(\text{T})} + \text{Cl}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(\text{T})}$   $+Q$
39.  $\text{C}_{(\text{T})} + 2\text{N}_2\text{O}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{T})} + 2\text{N}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ < 0$
40.  $\text{H}_{2(\text{T})} + \text{I}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
41.  $6\text{HF}_{(\text{T})} + \text{N}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{NF}_{3(\text{T})} + 3\text{H}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
42.  $2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{O}_2$   $-Q$
43.  $2\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})} + 3\text{O}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{T})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$   $\Delta H^\circ < 0$
44.  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{T})} + 3\text{CO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(\text{T})} + 3\text{CO}_{2(\text{T})}$   $+Q$
45.  $2\text{O}_{3(\text{T})} \rightleftharpoons 3\text{O}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ < 0$
46.  $2\text{CO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{C}_{(\text{T})} + \text{O}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
47.  $3\text{C}_{(\text{T})} + \text{CaO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\text{T})} + \text{CaC}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
48.  $2\text{CO}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{C}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{T})}$   $+Q$
49.  $\text{I}_{2(\text{T})} + 5\text{CO}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{I}_{2\text{O}_{5(\text{T})}} + 5\text{CO}_{(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
50.  $\text{C}_{(\text{T})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CO}_{(\text{T})} + \text{H}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
51.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CaCO}_{3(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{T})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{T})}$   $-Q$
52.  $2\text{NOCl}_{(\text{T})} + \text{Br}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons 2\text{NOBr}_{(\text{T})} + \text{Cl}_{2(\text{T})}$   $\Delta H^\circ > 0$
53.  $\text{CH}_{4(\text{T})} + 4\text{S}_{(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CS}_{2(\text{T})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{T})}$   $-Q$
54.  $\text{CO}_{(\text{T})} + 2\text{H}_{2(\text{T})} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{T})}$   $\Delta H^\circ < 0$

55.  $\text{N}_2\text{O}_{4(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$
56.  $8\text{H}_2\text{S}_{(\Gamma)} + 8\text{I}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{S}_{8(\Gamma)} + 16\text{HI}_{(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$
57.  $\text{CH}_{4(\Gamma)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\Gamma)} + 4\text{H}_{2(\Gamma)}$   $-Q$
58.  $\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{Br}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{HBr}_{(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ < 0$
59.  $4\text{HCl}_{(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_{2(\Gamma)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ < 0$
60.  $\text{N}_{2(\Gamma)} + 3\text{H}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ < 0$
61.  $\text{H}_{2(\Gamma)} + \text{Cl}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{(\Gamma)}$   $+Q$
62.  $\text{SO}_{3(\Gamma)} + \text{NO}_{(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{SO}_{2(\Gamma)} + \text{NO}_{2(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$
63.  $\text{PCl}_{5(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(\Gamma)} + \text{Cl}_{2(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$
64.  $\text{CO}_{2(\Gamma)} + 2\text{SO}_{3(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{CS}_{2(\Gamma)} + 4\text{O}_{2(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$
65.  $2\text{NaNO}_{3(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{NaNO}_{2(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$
66.  $2\text{CO}_{(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{2(\Gamma)}$   $+Q$
67.  $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2(\Gamma)} \rightleftharpoons 2\text{CuO}_{(\Gamma)} + 4\text{NO}_{2(\Gamma)} + \text{O}_{2(\Gamma)}$   $\Delta H^\circ > 0$

17. Изучение химического равновесия, отвечающего экзотермической реакции  $\text{CO}_{2(\Gamma)} + \text{BaO}_{(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{BaCO}_{3(\Gamma)}$ , показало следующие концентрации диоксида углерода: в первом опыте 0.2 моль/л, во втором 0.3 моль/л, в третьем 0.5 моль/л. Как менялись значения давления и температуры от опыта к опыту? Как изменялось при этом значение константы равновесия  $K_C$ ?

18. Определите, как и во сколько раз изменится равновесная концентрация **диоксида углерода** при двукратном увеличении равновесной концентрации **монооксида углерода** в системе  $3\text{CO}_{2(\Gamma)} + 2\text{Fe}_{(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_{3(\Gamma)} + 3\text{CO}_{(\Gamma)}$ . Как повлияет на состояние равновесия в системе повышение давления?

19. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  эндотермической реакции  $3\text{CO}_{2(\Gamma)} + 2\text{Fe}_{(\Gamma)} \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_{3(\Gamma)} + 3\text{CO}_{(\Gamma)}$ . Как повлияет на состояние химического равновесия: 1) повышение давления, 2) понижение температуры, 3) введение дополнительного количе-

ства **железа**, 4) добавление инертного газа при неизменном объеме реактора? Изменится ли при этих воздействиях значение  $K_C$ ?

20. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  экзотермической реакции  $\text{Fe}_{(т)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} \rightleftharpoons \text{FeO}_{(т)} + \text{H}_{2(г)}$ . Как повлияет на равновесие этой реакции: 1) повышение давления, 2) понижение температуры, 3) введение дополнительного количества **железа**, 4) добавление к реакционной смеси инертного газа (при неизменном давлении)? Изменится ли при этих воздействиях значение  $K_C$ ?

21. Найдите значения равновесных концентраций **водорода** и **газообразной воды**, если их исходные концентрации в момент смешения были равны 2 и 3 моль/л соответственно, а константа равновесия  $K_C$  реакции  $\text{Fe}_{(т)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} \rightleftharpoons \text{FeO}_{(т)} + \text{H}_{2(г)}$  при выбранной температуре приняла значение 1.0.

22. Выразите константу равновесия  $K_C$  реакции через константы равновесия  $K_{C1}$  и  $K_{C2}$  реакций (1) и (2):

№	Реакция $K_C$	Реакция (1) $K_{C1}$	Реакция (2) $K_{C2}$
1	$\text{CO}_{2(г)} + 2\text{N}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{C}_{(т)} + 2\text{N}_2\text{O}_{(г)}$	$\text{CO}_{(г)} + \text{N}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{(г)} + \text{C}_{(т)}$	$\text{CO}_{2(г)} + \text{C}_{(т)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(г)}$
2	$\text{SO}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_3 + \text{CO}$	$2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$
3	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 4\text{HCl} + \text{O}_2$	$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$	$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
4	$\text{CO}_{2(г)} + \text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{CO}_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$	$\text{Fe}_{(т)} + \text{CO}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{FeO}_{(т)} + \text{CO}_{(г)}$	$\text{Fe}_{(т)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} \rightleftharpoons \text{FeO}_{(т)} + \text{H}_{2(г)}$
5	$2\text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$	$\text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_3 + \text{O}_2$	$\text{N}_2\text{O}_3 + \text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons 4\text{NO}_2$

23. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  эндотермической реакции  $\text{PbCO}_{3(г)} \rightleftharpoons \text{PbO}_{(т)} + \text{CO}_{2(г)}$ . В какую сторону сдвинется равновесие реакции, если: 1) повысить давление, 2) ввести

в реактор при неизменном его объеме дополнительное количество **диоксида углерода**, 3) добавить **оксид свинца(II)**  $\text{PbO}$ , 4) повысить температуру? Как изменится при этих воздействиях  $K_c$ ?

24. Как изменится равновесная концентрация **монооксида азота** в равновесной системе, где идет экзотермическая реакция  $\text{CuO}_{(т)} + \text{NO}_{(г)} \rightleftharpoons \text{Cu}_{(т)} + \text{NO}_{2(г)}$  при: 1) понижении температуры, 2) увеличении концентрации **диоксида азота**, 3) повышении внешнего давления, 4) введении газообразного **аргона** при неизменном давлении?

25. Экспериментальное определение равновесных концентраций диоксида азота для экзотермической реакции  $2\text{NO}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{4(ж)}$ . Было проведено при постоянном давлении и трех значениях температуры:  $-20$ ,  $-15$  и  $-10^\circ\text{C}$ . Как менялась от опыта к опыту равновесная концентрация **диоксида азота**? Менялось ли при этом значение  $K_c$ ?

26. Состояние равновесия  $\text{N}_2\text{O}_{4(ж)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(г)}$  установилось при концентрации каждого вещества, равной: **а)** 3.5 моль/л; **б)** 1.5 моль/л. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Сместится ли равновесие (и если да, то в какую сторону) при: **а)** введении некоторого количества жидкого реагента; **б)** понижении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.

27. Состояние гомогенного равновесия  $\text{N}_2\text{O}_{4(г)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(г)} - Q$  установилось при концентрациях **0.06** и **0.08** моль/л соответственно. Составьте выражение для **константы равновесия** и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход продуктов при повышении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

28. Состояние гомогенного равновесия  $\text{N}_2 + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{NO} + Q$  установилось при концентрациях: **а)** 0.15; 0.2 и 0.1 моль/л; **б)** 0.5, 0.8 и 0.3 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продукта при охлажде-



нии ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

29. Найдите равновесные концентрации **дифтора** и **серодифора**, если исходные концентрации их в газовой смеси составляли по 0.6 моль/л, а константа равновесия  $K_C$  для реакции  $\text{ZnS}_{(г)} + \text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{Zn}_{(ж)} + \text{H}_2\text{S}_{(г)}$  при заданных условиях приняла значение 0.2.

30. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  экзотермической реакции  $\text{CO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(г)}$ . В каком направлении произойдет сдвиг равновесия при 1) повышении температуры, 2) введении дополнительного количества хлора (при неизменном объеме реактора), 3) повышении концентрации монооксида углерода, 4) разбавлении смеси инертным газом при неизменном давлении? Как все эти воздействия отразятся на значении  $K_C$ ?

31. Определите, как и во сколько раз изменится равновесная концентрация **диоксида углерода** при двукратном увеличении равновесной концентрации **монооксида углерода** в системе:  $2\text{CO}_{(г)} \rightleftharpoons \text{C}_{(г)} + \text{CO}_{2(г)}$ . Как повлияет на состояние равновесия в системе повышение давления

32. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $2\text{MgCl}_{2(г)} + \text{O}_{2(г)} \rightleftharpoons 2\text{MgO}_{(г)} + 4\text{Cl}_{2(г)}$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** повышение давления; **б)** введение дополнительного количества хлорида магния; **в)** увеличение концентрации кислорода; **г)** введение газообразного аргона при  $V = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.

33. Состояние равновесия  $\text{H}_2\text{O}_{(г)} + 2\text{CuCl}_{(г)} \rightleftharpoons 2\text{HCl}_{(г)} + \text{Cu}_2\text{O}_{(г)}$  установилось при концентрации каждого вещества, равной **а)** 0.5 моль/л; **б)** 3 моль/л. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Сместится ли равновесие (и если «да», то в какую сторону) при **а)** введении некоторого количества газообразной воды ( $V = \text{const}$ ); **б)** при повышении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.

34. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  эндотермической реакции  $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{C}_{(\text{т})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{г})}$ . Укажите направление сдвига равновесия при 1) введении в реактор дополнительного количества **монооксида углерода** повышение давления (при неизменном объеме); 2) понижении температуры, 3) введение дополнительного количества **углерода**? Как эти воздействия отразятся на значениях  $K_C$ ?
35. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $2\text{NaHCO}_{3(\text{т})} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ . Как повлияют на состояние равновесия **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества гидрокарбоната натрия; **в)** увеличение концентрации углекислого газа; **г)** введение газообразного аргона при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.
36. Состояние равновесия  $2\text{PbS}_{(\text{т})} + 3\text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{PbO}_{(\text{т})} + 2\text{SO}_{2(\text{г})}$  установилось при концентрации газов, равной **а)** 0.15 и 0.25; **б)** 0.5 и 0.75 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход газа-продукта при введении некоторого количества: **а)** сульфида свинца; **б)** кислорода ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.
37. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  экзотермической реакции  $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{г})}$ . Как повлияет на состояние химического равновесия: 1) понижение давления, 2) повышение температуры, 3) дополнительное введение водорода при неизменном объеме реактора, 4) введение аргона при неизменном давлении в системе? Изменится ли при этих воздействиях значение  $K_C$ ?
38. Состояние гетерогенного равновесия  $5\text{CO}_{(\text{г})} + \text{I}_2\text{O}_{5(\text{т})} \rightleftharpoons 5\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} + Q$  установилось при концентрациях 0,2; 10,0; 0,4 и 1,2 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продуктов при нагревании ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия?

39. Состояние гомогенного равновесия  $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$  установилось при концентрациях: а) 0.25, 0.4, 1.0 и 0.15; б) 0.5, 0.8, 1.0 и 0.3 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход продуктов при нагревании ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.
40. Состояние гомогенного равновесия  $\text{NH}_3(\text{r}) + \text{HCl}(\text{r}) \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}(\text{r}) + \text{Q}$  установилось при концентрациях реагентов 0.5 и 0.75 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Какие из воздействий: а) нагревание ( $p = \text{const}$ ); б) введение некоторого количества аммиака; в) повышение давления ( $T = \text{const}$ ) – будут способствовать повышению выхода продукта? Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.
41. Состояние гетерогенного равновесия  $2\text{N}_2\text{O}(\text{r}) + \text{C}(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{N}_2(\text{r}) + 2\text{CO}_2(\text{r}) + \text{Q}$  установилось при концентрациях 0.2; 10.0; 0.4 и 1.2 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход продуктов при нагревании ( $V = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.
42. Состояние гетерогенного равновесия  $2\text{HI}(\text{r}) + \text{S}(\text{r}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{r}) + \text{H}_2\text{S}(\text{r}) + \text{Q}$  установилось при концентрациях: а) 0.2; 10.0; 0.4 и 1.2; б) 0.2; 5.1; 1.4 и 1.2 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продуктов при охлаждении ( $p = \text{const}$ )? Как изменится концентрация сероводорода при понижении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованные ответы.
43. Состояние гетерогенного равновесия  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI} - \text{Q}$  установилось при концентрациях 0.5; 0.8 и 0.3 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продукта при нагревании ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли

при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

44. Состояние гетерогенного равновесия  $6\text{HF} + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NF}_3 + 3\text{H}_2 + \text{Q}$  установилось при концентрациях 1.5; 0.6; 2.4 и 0.8 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продукта при понижении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

45. Состояние гомогенного равновесия  $\text{CO}_2 + 2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{CS}_2 + 4\text{O}_2 + \text{Q}$  установилось при концентрациях: а) 1.5; 0.6; 2.4 и 0.8; б) 1.2; 0.7; 2.4 и 0.8 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продукта при понижении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

46. Состояние гетерогенного равновесия  $\text{CH}_{4(\text{г})} + 4\text{S}_{(\text{т})} \rightleftharpoons \text{CS}_{2(\text{г})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})} - \text{Q}$  установилось при концентрациях 0.2; 10.0; 0.4 и 1.2 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продуктов при нагревании ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

47. Состояние гетерогенного равновесия  $2\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})} + \text{C}_{(\text{т})} \rightleftharpoons 2\text{N}_{2(\text{г})} + 2\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{Q}$  установилось при концентрациях 0.2; 10.0; 0.4 и 1.2 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Повысится ли выход продуктов при нагревании ( $V = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

48. Состояние гомогенного равновесия  $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2 + \text{Q}$  установилось при концентрациях: а) 0.25, 0.4 и 0.15 моль/л; б) 0.5, 0.8 и 0.3 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход

продукта при охлаждении ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

49. Состояние равновесия  $4\text{HCl}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_{2(\text{г})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  установилось при концентрациях каждого вещества, равных **2.5 моль/л** соответственно. Составьте выражение для **константы равновесия**, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции. Сместится ли равновесие (и если да, то в какую сторону) при: **а)** введении некоторого количества воды; **б)** повышении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.
50. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $\text{CuO}_{(\text{т})} + \text{CO}_{(\text{г})} \rightleftharpoons \text{Cu}_{(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества оксида меди(II); **в)** увеличение концентрации углекислого газа; **г)** введение газообразного аргона при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.
51. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $\text{Cu}_{(\text{т})} + \text{NO}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{CuO}_{(\text{т})} + \text{NO}_{(\text{г})}$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества меди; **в)** увеличение концентрации диоксида азота; **г)** введение газообразного азота при  $V = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.
52. Состояние гомогенного равновесия  $2\text{SO}_3 \rightleftharpoons 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$  установилось при равновесных концентрациях реагента и продуктов, равных **1.0; 0.12 и 0.06 моль/л** соответственно. Составьте выражение для **константы равновесия** и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход продуктов при понижении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.
53. Состояние равновесия  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{т})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{Fe}_{(\text{т})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  установилось при концентрации каждого вещества, равной **2.5 моль/л**. Составьте выражение для **константы равновесия** и рассчитайте ее значение. Сместится ли равновесие (и если да, то в какую сторону)

при: **а)** введении некоторого количества воды ( $V = \text{const}$ ); **б)** повышении давления ( $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.

54. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $\text{MgCO}_3(\text{т}) \rightleftharpoons \text{MgO}(\text{т}) + \text{CO}_2(\text{г})$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** повышение давления; **б)** введение дополнительного количества карбонат магния; **в)** увеличение концентрации углекислого газа; **г)** введение газообразного азота при  $V = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Дайте мотивированный ответ.

55. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $\text{CaCO}_3(\text{т}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{т}) + \text{CO}_2(\text{г})$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества оксида кальция; **в)** увеличение концентрации углекислого газа; **г)** введение газообразного азота при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Дайте мотивированный ответ.

56. Состояние гетерогенного равновесия  $\text{CaCO}_3(\text{т}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{т}) + \text{CO}_2(\text{г}) - Q$  установилось при концентрациях веществ 0.2; 3.7; 0.4 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Как изменится концентрация сероводорода при: **а)** охлаждении; **б)** понижении давления ( $T = \text{const}$ ). Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованные ответы.

57. Как повлияют на состояние равновесия: **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества оксида кальция; **в)** увеличение концентрации углекислого газа; **г)** введение газообразного азота при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Дайте мотивированный ответ.

58. Состояние гомогенного равновесия  $2\text{NOCl} \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{Cl}_2 - Q$  установилось при концентрациях веществ 2.0; 2.0; 3.0 моль/л, соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Сместится ли равновесие при: **а)** повышении температуры; **б)** добавлении монооксида азота ( $V = \text{const}$ ); **в)** повышении

давления ( $T = \text{const}$ ). Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованные ответы.

59. Состояние гомогенного равновесия  $2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NOCl}_{(\text{г})} + \text{Q}$  установилось при концентрациях **0.05; 0.08 и 0.03 моль/л** соответственно. Составьте выражение для **константы равновесия** и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход продукта при нагревании ( $p = \text{const}$ )? Как изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

60. Состояние гетерогенного равновесия  $4\text{H}_{2(\text{г})} + \text{CS}_{2(\text{ж})} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})} + \text{CH}_{4(\text{г})} + \text{Q}$  установилось при концентрациях веществ 2.0; 1.6; 2.0; 1.6 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Сместится ли равновесие при: **а)** охлаждении; **б)** понижении давления ( $T = \text{const}$ ). Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованные ответы.

61. Состояние гомогенного равновесия  $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2 - \text{Q}$  установилось при концентрациях веществ 1.5; 1.5; 2.0 моль/л, соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение и укажите преимущественное направление реакции. Сместится ли равновесие при: **а)** повышении температуры; **б)** добавлении диоксида углерода ( $V = \text{const}$ ); **в)** повышении давления ( $T = \text{const}$ ). Изменится ли при этих воздействиях значение константы равновесия? Дайте обоснованные ответы.

62. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{Br}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{HBr}_{(\text{г})} + \text{Q}$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества бромоводорода; **в)** увеличение концентрации водорода; **г)** введение газообразного аргона при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.

63. Состояние равновесия  $\text{Bi}_2\text{O}_{3(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{Bi}_{(\text{г})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  установилось при концентрациях газов, равных **0.015 и 0.025 моль/л** соответственно. Составьте выражение для константы равновесия и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход газа-продукта при

введении некоторого количества: **а)** оксида висмута(III); **б)** водорода (при  $T = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте обоснованный ответ.

64. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $2\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{PbO}_{(\text{т})} + 4\text{NO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$ . Как повлияют на состояние равновесия: **а)** понижение давления; **б)** введение дополнительного количества оксида свинца(II); **в)** увеличение концентрации кислорода; **г)** введение газообразного аргона при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Дайте мотивированный ответ.



### **III. ВАРИАНТЫ РУБЕЖНОГО КОНТРОЛЬНОГО МЕРОПРИЯТИЯ**

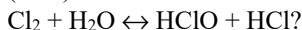
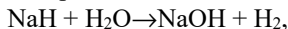
В данном разделе представлены шестнадцать примерных вариантов для проведения итоговой контрольной работы (ИКР) по разделам «Окислительно-восстановительные реакции» и «Химическое равновесие».

Каждый вариант содержит по четыре задания (первые три относятся к разделу «Окислительно-восстановительные реакции», четвертый – к разделу «Химическое равновесие»):

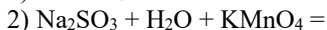
- 1) теоретический вопрос;
- 2) задание на составление трех окислительно-восстановительных реакций с расчетом значения  $\Delta\varphi^\circ$  для определения возможности протекания реакции в стандартных условиях;
- 3) расчетная задача;
- 4) теоретическое и/или расчетное задание по химическому равновесию для различных реакций (гомогенных, гетерогенных), а также влияния разных факторов на смещение этого равновесия.

## ВАРИАНТ 1

1. Какие реакции называются окислительно-восстановительными? Что представляет собой процесс окисления? Восстановления? Какие типы ОВР вы знаете? К какому типу ОВР относятся следующие реакции:



2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:

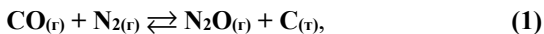


Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta\phi^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.

3. Рассчитайте эквивалентное количество газа, выделяющегося при окислении щавелевой кислоты, содержащейся в 250 мл ее 0.2 н. раствора.
4. Определите, как и во сколько раз изменится равновесная концентрация **диоксида углерода** при двукратном увеличении равновесной концентрации **монооксида углерода** в системе  $3\text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{Fe}_{(\text{г})} \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{г})} + 3\text{CO}_{(\text{г})}$ . Как повлияет на состояние равновесия в системе повышение давления?

## ВАРИАНТ 2

1. Какие вещества могут выполнять в окислительно-восстановительных реакциях функции восстановителя? Как меняется степень окисления атома-восстановителя в ОВР? Приведите примеры типичных восстановителей и полуреакции с их участием.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 =$   
2)  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 =$   
3)  $\text{CuS}_{(\text{T})} + \text{HNO}_{3(\text{KOHЦ.})} =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте количество **пероксида водорода**, необходимого для реакции с **дихроматом калия**, содержащегося в 200 мл 0.1М раствора (среда кислая).
4. Выразите константу равновесия  $K_C$  реакции  $\text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{N}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{C}_{(\text{г})} + 2\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}$  через константы равновесия  $K_{C1}$  и  $K_{C2}$  реакций (1) и (2):



### ВАРИАНТ 3

1. Какие вещества проявляют в ОВР функции окислителя? Как меняется степень окисления атома-окислителя в ОВР? Приведите примеры типичных окислителей и полуреакции с их участием.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KI} =$   
2)  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})} =$   
3)  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})} =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Какой объем газа (при н.у.) выделяется при взаимодействии избытка **пероксида водорода** с **дихроматом калия**, содержащимся в 20 мл 0.2 н. раствора (среда кислая)?
4. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  эндотермической реакции



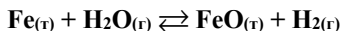
В какую сторону сдвинется равновесие реакции, если: 1) повысить давление, 2) ввести в реактор при неизменном его объеме дополнительное количество **диоксида углерода**, 3) добавить **оксид свинца(II)**  $\text{PbO}$ , 4) повысить температуру? Как изменится при этих воздействиях  $K_C$ ?

## ВАРИАНТ 4

1. Какова роль среды в окислительно-восстановительных реакциях? Проиллюстрируйте ответ примерами уравнений реакций и электронно-ионными полуреакциями.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:
  - 1)  $\text{K}_2\text{CrO}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
  - 2)  $\text{K}_2\text{CrO}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$
  - 3)  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Какая масса **пероксида водорода** требуется для реакции с **дихроматом калия**, содержащимся в 100 мл 0.1 н. раствора (среда кислая)?
4. Состояние гомогенного равновесия  $\text{N}_2 + \text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{Q}$  установилось при концентрациях **0.15; 0.2 и 0.1** моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия и рассчитайте ее значение. Повысится ли выход продукта при охлаждении ( $p = \text{const}$ )? Изменится ли при этом значение константы равновесия? Дайте мотивированный ответ.

## ВАРИАНТ 5

1. В какой среде – кислотной или щелочной – сильнее выражены восстановительные свойства: 1) *алюминия*, 2) *нитрит-иона*? Подтвердите свой вывод справочными данными для соответствующих электронно-ионных полуреакций.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3 + \text{PbO}_2 =$   
2)  $\text{H}_2\text{S}_{(P)} + \text{HNO}_{3(\text{КОНЦ.})} =$   
3)  $\text{H}_2\text{S}_{(Г)} + \text{HNO}_{3(\text{КОНЦ.})} =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Какая масса **иодида калия** требуется для реакции с **перманганатом калия**, содержащимся в 50 мл 0.2 н. раствора (среда кислая)?
4. Найдите значения равновесных концентраций **водорода** и **газообразной воды**, если их исходные концентрации в момент смешения были равны 2 и 3 моль/л соответственно, а константа равновесия  $K_c$  реакции

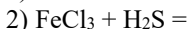
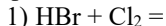


при выбранной температуре приняла значение 1.0.

## ВАРИАНТ 6

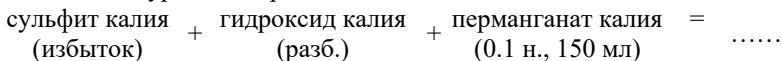
1. Можно ли приготовить водные растворы, содержащие следующие пары веществ: 1)  $\text{FeSO}_4$  и  $\text{HNO}_3$ (разб.); 2)  $\text{KBr}$  и  $\text{KBrO}_3$ ? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями полуреакций.

2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:



Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta\varphi^\circ$  и определите возможность ее протекания в стандартных условиях.

3. Составьте уравнение реакции:



Рассчитайте массу прореагировавшего восстановителя.

4. Определите, как и во сколько раз изменится равновесная концентрация **диоксида углерода** при двукратном увеличении равновесной концентрации **монооксида углерода** в системе  $2\text{CO}_{(\text{г})} \rightleftharpoons \text{C}_{(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ . Как повлияет на состояние равновесия в системе повышение давления?

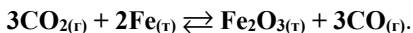
## ВАРИАНТ 7

1. Сформулируйте закон эквивалентов в применении к ОВР. Проиллюстрируйте ответ конкретным примером.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} =$   
2)  $\text{Zn} + \text{HNO}_3(\text{оч. разб.}) =$   
3)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3(\text{конц.}) =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте объем газа, выделившегося при окислении щавелевой кислоты, содержащейся в 250 мл ее 0.2 н. раствора.
4. Запишите выражение для константы равновесия  $K_c$  экзотермической реакции  $\text{CO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{г})$ . В каком направлении произойдет сдвиг равновесия при: 1) повышении температуры, 2) введении дополнительного количества хлора (при неизменном объеме реактора), 3) повышении концентрации монооксида углерода, 4) разбавлении смеси инертным газом при неизменном давлении? Как все эти воздействия отразятся на значении  $K_c$ ?



## ВАРИАНТ 8

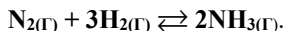
1. Какие функции в ОВР могут выполнять следующие вещества:  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{KNO}_2$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{CuS}$ ? Приведите электронно-ионные полуреакции с их участием.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:
  - 1)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KMnO}_4 =$
  - 2)  $\text{KI} + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_{2(\text{избыток})} =$
  - 3)  $\text{H}_2\text{S}_{(\text{p})} + \text{HNO}_{3(\text{конц.})} =$Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте эквивалентное количество **кислорода**, получаемого в результате взаимодействия избытка **пероксида водорода** с **перманганатом калия**, содержащимся в 100 мл 0.2 н. раствора (среда кислая).
4. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  эндотермической реакции



Как повлияет на состояние химического равновесия: 1) повышение давления, 2) понижение температуры, 3) введение дополнительного количества **железа**, 4) добавление инертного газа при неизменном объеме реактора? Изменится ли при этих воздействиях значение  $K_C$ ?

## ВАРИАНТ 9

1. Какие из перечисленных веществ могут выполнять в ОВР функции окислителей:  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{КОНЦ.})}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{РАЗБ.})}$ ,  $\text{KI}$ ? Приведите уравнения электронно-ионных полуреакций с их участием.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{KMnO}_4 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
2)  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{КОНЦ.})} =$   
3)  $\text{K}_2\text{CrO}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta\varphi^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Какой объем газообразного сероводорода (при н.у.) требуется для восстановления перманганата калия, содержащегося в 100 мл 0.2 н. раствора (среда кислая)?
4. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  экзотермической реакции



Как повлияет на состояние химического равновесия: 1) понижение давления, 2) повышение температуры, 3) дополнительное введение водорода при неизменном объеме реактора, 4) введение аргона при неизменном давлении в системе? Изменится ли при этих воздействиях значение  $K_C$ ?

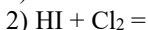
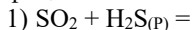
## ВАРИАНТ 10

1. Какие из перечисленных веществ могут выполнять в **ОВР** функции восстановителей: **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**, **Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>S**, **Zn**, **FeCl<sub>3</sub>**? Приведите уравнения электронно-ионных полуреакций с их участием.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3(\text{разб.}) =$   
2)  $\text{KI} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} =$   
3)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
Для реакции (3) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте массу **хромата калия**, необходимого для приготовления 500 мл его 0.2М раствора, предназначенного для окислительно-восстановительных реакций в щелочной среде.
4. Найдите равновесные концентрации **дводорода** и **сероводорода**, если исходные концентрации их в газовой смеси составляли по 0.6 моль/л, а константа равновесия  $K_C$  для реакции  $\text{ZnS}_{(г)} + \text{H}_{2(г)} \rightleftharpoons \text{Zn}_{(ж)} + \text{H}_2\text{S}_{(г)}$  при заданных условиях приняла значение 0.2.

## ВАРИАНТ 11

1. Какие из перечисленных веществ могут выполнять в ОВР функции как окислителей, так и восстановителей:  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ? Приведите полуреакции с их участием.

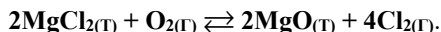
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:



Для реакции (3) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.

3. Рассчитайте объем 0.01M раствора **пероксида водорода**, который будет затрачен на поглощение 1.12 л (при н.у.) **сероводорода** в кислой среде.

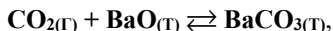
4. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия



Как повлияют на состояние равновесия: а) повышение давления; б) введение дополнительного количества хлорида магния; в) увеличение концентрации кислорода; г) введение газообразного аргона при  $V = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.

## ВАРИАНТ 12

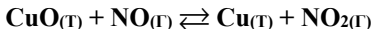
1. Какие из галогенов могут окислить **нитрит-ион** в кислотной среде? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями электронно-ионных полуреакций.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{CuS}_{(\text{T})} + \text{HNO}_{3(\text{конц.})} =$   
2)  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{разб.})} =$   
3)  $\text{H}_2\text{S}_{(\text{p})} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте объем газа (при н.у.), выделяемого при взаимодействии 10 г **меди** с **концентрированной серной кислотой**.
4. Изучение химического равновесия, отвечающего экзотермической реакции



показало следующие концентрации **диоксида углерода**: в первом опыте 0.2 моль/л, во втором 0.3 моль/л, в третьем 0.5 моль/л. Как менялись значения давления и температуры от опыта к опыту? Как изменялось при этом значение константы равновесия  $K_C$ ?

## ВАРИАНТ 13

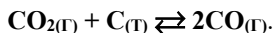
1. Какие – окислительные или восстановительные – свойства более характерны в кислой среде для следующих реагентов: а) **пероксид водорода** ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); б) **нитрит калия** ( $\text{KNO}_2$ )? Приведите уравнения электронно-ионных полуреакций и справочные данные.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{KNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
2)  $\text{PbO}_2 + \text{HCl}_{(\text{конц.})} =$   
3)  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})} =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta\varphi^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте объем газа (при н.у.), выделяемого при взаимодействии избытка цинка с разбавленной серной кислотой, содержащейся в 10 мл ее 0.2M раствора. В решении используйте закон эквивалентов.
4. Как изменится равновесная концентрация монооксида азота в равновесной системе, где протекает эндотермическая реакция



при: 1) понижении температуры, 2) увеличении концентрации диоксида азота, 3) повышении внешнего давления, 4) введении газообразного аргона при неизменном давлении?

## ВАРИАНТ 14

1. Какой реагент обладает более сильными окислительными свойствами в кислой среде: 1) **перманганат калия** или **дихромат калия**; 2) **пероксид водорода** или **дибром**? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями полуреакций.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3 =$   
2)  $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
3)  $\text{Zn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} =$   
Для реакции (2) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и определите возможность ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте количество вещества **нитрита калия**, необходимого для приготовления 200 мл 0.5 н. раствора, предназначенного для изучения его восстановительных свойств в кислой среде.
4. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  эндотермической реакции



Укажите направление сдвига равновесия при: 1) введении в реактор дополнительного количества **монооксида углерода** (при неизменном объеме); 2) понижении температуры, 3) введении дополнительного количества **углерода**? Как эти воздействия отразятся на значении  $K_C$ ?

## ВАРИАНТ 15

1. Можно ли приготовить водные растворы, содержащие следующие пары веществ: 1) **KBr** и **KBrO<sub>3</sub>**; 2) **HI** и **HNO<sub>3</sub>**? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями полуреакций.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{KMnO}_4 + \text{KI} + \text{H}_2\text{O} =$   
2)  $\text{Zn} + \text{HCl}_{(\text{РАЗБ.})} =$   
3)  $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + \text{Na}_2\text{O}_2 =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta_f^\circ$  и сделайте вывод о возможности ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте эквивалентную концентрацию иодида калия, если при взаимодействии 100 мл его раствора с избытком нитрита калия в кислой среде выделилось 2.52 г осадка.
4. Запишите выражение для константы равновесия  $K_C$  экзотермической реакции



Как повлияет на равновесие этой реакции: 1) повышение давления, 2) понижение температуры, 3) введение дополнительного количества железа, 4) добавление к реакционной смеси инертного газа (при неизменном давлении)? Изменится ли при этих воздействиях значение  $K_C$ ?



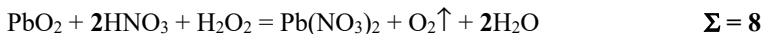
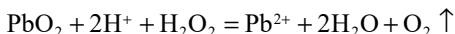
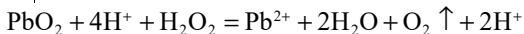
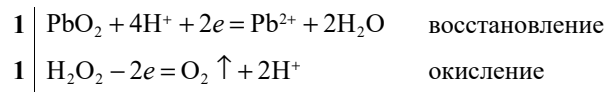
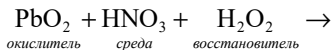
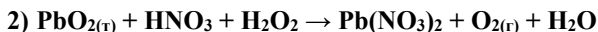
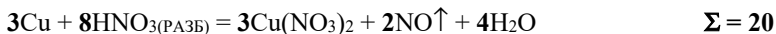
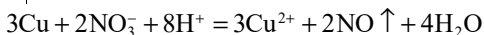
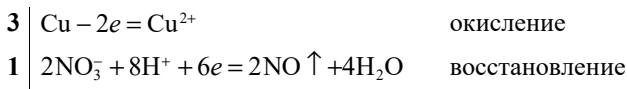
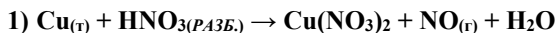
## ВАРИАНТ 16

1. Можно ли приготовить водные растворы, содержащие следующие пары веществ: 1) **HI** и **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**(конц.); 2) **SO<sub>2</sub>** и **H<sub>2</sub>S**? Ответ подтвердите справочными данными и уравнениями полуреакций.
2. Составьте уравнения реакций в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций:  
1)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
2)  $\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} =$   
3)  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$   
Для реакции (1) рассчитайте значение  $\Delta\varphi^\circ$  и определите возможность ее протекания в стандартных условиях.
3. Рассчитайте массу осадка, который образуется при окислении сероводорода в 100 мл его 0.1M раствора разбавленной азотной кислотой.
4. Запишите выражение для константы гетерогенного равновесия  $2\text{NaHCO}_{3(\text{т})} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ . Как повлияют на состояние равновесия: а) понижение давления; б) введение дополнительного количества гидрокарбоната натрия; в) увеличение концентрации углекислого газа; г) введение газообразного аргона при  $p = \text{const}$  (температура во всех случаях остается постоянной)? Изменится ли при этих воздействиях константа равновесия? Дайте мотивированный ответ.

#### IV. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ И РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ

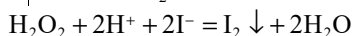
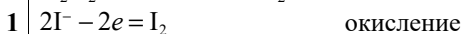
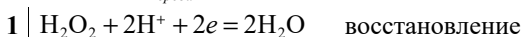
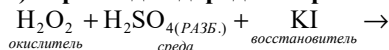
В данном разделе приведены решения наиболее типичных практических заданий и расчетных задач по разделу «Окислительно-восстановительные реакции. Химическое равновесие», которые можно использовать как образцы или шаблоны при оформлении решений.

**ЗАДАНИЕ.** Составить молекулярное уравнение реакции в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций, и определить сумму стехиометрических коэффициентов в полученном молекулярном уравнении реакции.



**ЗАДАНИЕ.** Составить молекулярное уравнение реакции в водном растворе, подобрав коэффициенты с помощью электронно-ионных полуреакций, определить сумму стехиометрических коэффициентов в полученном молекулярном уравнении реакции. Используя справочные данные, подтвердите возможность самопроизвольного протекания этой реакции в стандартных условиях.

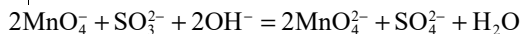
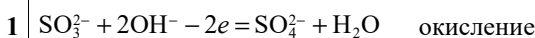
**1) пероксид водорода + серная кислота + иодид калия =**



$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{\text{OK}}^\circ - \varphi_{\text{BC}}^\circ = \varphi_{\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^\circ - \varphi_{\text{I}_2/\text{I}^-}^\circ = 1.764 \text{ В} - 0.535 \text{ В} = 1.229 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях самопроизвольно.

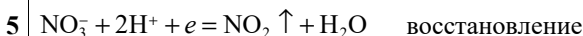
**2) Сульфит натрия + гидроксид калия + перманганат калия**

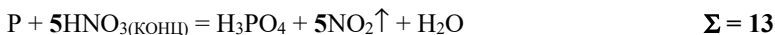


$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{\text{OK}}^\circ - \varphi_{\text{BC}}^\circ = \varphi_{\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_4^{2-}}^\circ - \varphi_{\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_3^{2-}}^\circ = 0.558 \text{ В} - (-0.932 \text{ В}) = 1.49 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях самопроизвольно.

**3) фосфор + азотная кислота (конц.) = ...**

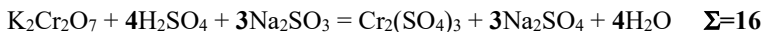
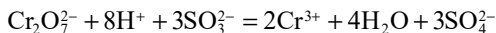
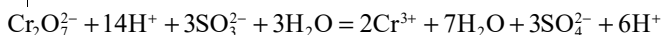
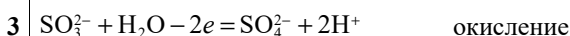
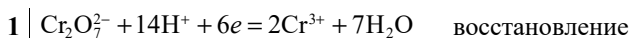




$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{\text{OK}}^\circ - \varphi_{\text{BC}}^\circ = \varphi_{\text{NO}_3^-/\text{NO}_2}^\circ - \varphi_{\text{H}_3\text{PO}_4/\text{P}}^\circ = 0.772 \text{ В} - (-0.383) \text{ В} = 1.155 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях.

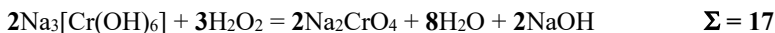
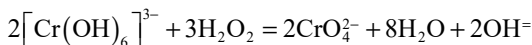
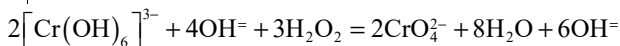
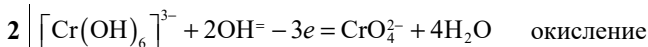
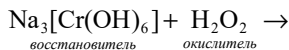
#### 4) дихромат калия + серная кислота + сульфит натрия



$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{\text{OK}}^\circ - \varphi_{\text{BC}}^\circ = \varphi_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}}^\circ - \varphi_{\text{SO}_3^{2-}/\text{SO}_4^{2-}}^\circ = 1.333 \text{ В} - (-0.10 \text{ В}) = 1.433 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях.

#### 5) пероксид водорода + гексагидроксохромат(III) натрия = ...

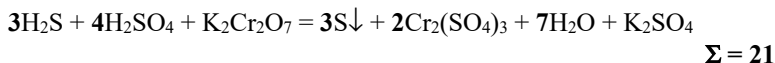
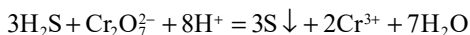
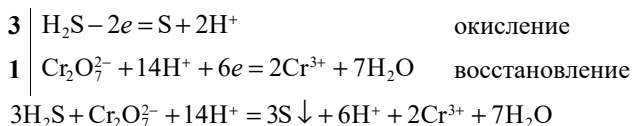


$$\Delta\varphi^{\circ} = \varphi_{OK}^{\circ} - \varphi_{BC}^{\circ} = \varphi_{\text{H}_2\text{O}_2/\text{OH}^-}^{\circ} - \varphi_{\text{CrO}_4^{2-}/[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}}^{\circ} =$$

$$= 0.936 \text{ В} - (-0.165 \text{ В}) = 1.101 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция в стандартных условиях протекает самопроизвольно.

**б) сероводород + серная кислота + дихромат калия =**

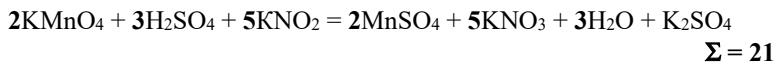
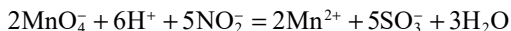
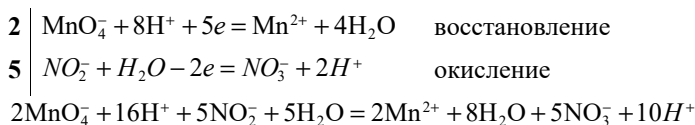


$$\Delta\varphi^{\circ} = \varphi_{OK}^{\circ} - \varphi_{BC}^{\circ} = \varphi_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}}^{\circ} - \varphi_{\text{S}/\text{H}_2\text{S}}^{\circ} =$$

$$= 1.333 \text{ В} - 0.144 \text{ В} = 1.189 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях.

**7) перманганат калия + серная кислота + нитрит калия =**

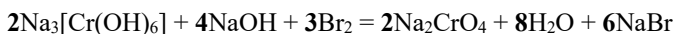
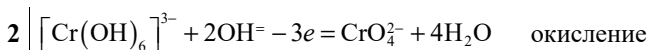


$$\Delta\varphi^{\circ} = \varphi_{OK}^{\circ} - \varphi_{BC}^{\circ} = \varphi_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^{\circ} - \varphi_{\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-}^{\circ} = 1.531 \text{ В} - 0.838 \text{ В} = 1.693 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях самопроизвольно.

**8) гексагидроксохромат(III) натрия + гидроксид натрия + бром =**

...



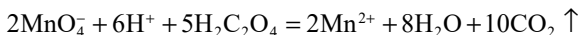
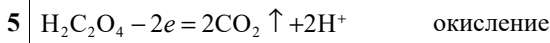
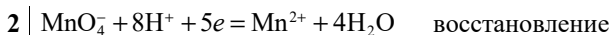
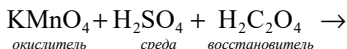
**Σ = 25**

$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{OK}^\circ - \varphi_{BC}^\circ = \varphi_{\text{Br}_2/\text{Br}^-}^\circ - \varphi_{\text{CrO}_4^{2-}/[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}}^\circ =$$

$$= 1.087 \text{ В} - (-0.165 \text{ В}) = 1.252 \text{ В} > 0 \text{ В.}$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях самопроизвольно.

**9) перманганат калия + серная кислота + щавелевая кислота =**



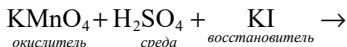
**Σ = 31**

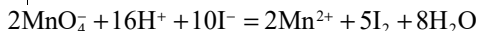
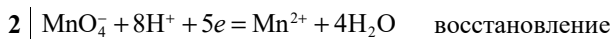
$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{OK}^\circ - \varphi_{BC}^\circ = \varphi_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^\circ - \varphi_{\text{CO}_2/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}^\circ =$$

$$= 1.531 \text{ В} - (-0.470 \text{ В}) = 2.001 \text{ В} > 0 \text{ В.}$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях самопроизвольно.

**10) перманганат калия + серная кислота + иодид калия =**





**$\Sigma = 37$**

$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_{OK}^\circ - \varphi_{BC}^\circ = \varphi_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^\circ - \varphi_{\text{I}_2/\text{I}^-}^\circ =$$

$$= 1.531 \text{ В} - 0.535 \text{ В} = 0.996 \text{ В} > 0 \text{ В}.$$

Данная реакция протекает в стандартных условиях.

Следует отметить, что если  $\Delta\varphi^\circ > 0.4 \text{ В}$ , то окислительно-восстановительная реакция протекает в прямом направлении до конца при любых начальных условиях; если  $\Delta\varphi^\circ < -0.4 \text{ В}$  ОВР протекает в обратном направлении до конца при любых начальных условиях; если  $-0.4 \text{ В} < \Delta\varphi^\circ < 0.4 \text{ В}$ , то можно изменить направление ОВР, изменяя условия.

Важную роль при решении задач играют стехиометрические расчеты, которые можно проводить как по уравнениям реакций, так и по закону эквивалентов. Далее будут приведены основные положения и формулы, которые используются при решении задач.

Количество образующегося или прореагировавшего вещества ( $n$ , моль) определяется следующей формулой:

$$n = \frac{m}{M}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса вещества, г;  $M$  – молярная масса вещества, г/моль.

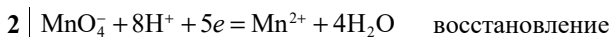
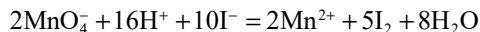
Для газообразных веществ их количество может быть определено как

$$n = \frac{V}{V_m}, \quad (2)$$

где  $V$  – объем, л;  $V_m$  – молярный объем идеального газа, л/моль. Обычно в задачах оговариваются стандартные условия проведения реакции, поэтому значение  $V_m$  принимается равным 22.4 л/моль.

В окислительно-восстановительных реакциях используют так называемые эквивалентные числа ( $z$ ) окислителя и восстановителя, которые определяются числом электронов, принятых одной формульной единицей окислителя или отданных одной формульной единицей восстановителя. Эквивалентные числа продуктов реакции (восстановленной формы окислителя и окисленной формы восстановителя) определяются по эквивалентным числам реагентов.

Например, для окислительно-восстановительной реакции



$z_{\text{MnO}_4^-} = 5$ ,  $z_{\text{I}^-} = 1$ ,  $z_{\text{Mn}^{2+}} = 5$ ,  $z_{\text{I}_2} = 2$ . Данные значения определяются по числу электронов, участвующих в соответствующих полуреакциях окисления и восстановления, в расчете на одну формульную единицу  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{I}_2$ . Тогда эквивалентные числа веществ соответственно равны  $z_{\text{KMnO}_4} = 5$ ,  $z_{\text{KI}} = 1$ ,  $z_{\text{MnSO}_4} = 5$ ,  $z_{\text{I}_2} = 2$ .

Эквивалентное количество вещества ( $n^{\text{eq}}$ , моль) определяется по простой формуле

$$n^{\text{eq}} = zn. \quad (3)$$



Эквивалентная масса вещества ( $M^{eq}$ , г/моль) равна

$$M^{eq} = \frac{M}{z}. \quad (4)$$

Эквивалентный объем газообразного вещества ( $V^{eq}$ , л/моль) определяется как

$$V^{eq} = \frac{V_m}{z}. \quad (5)$$

Формулы для нахождения массы вещества (6) и объема газа (7) имеют следующий вид:

$$m = n_{eq} M_{eq}, \quad (6)$$

$$V = n_{eq} V_{eq}. \quad (7)$$

Часто в расчетах окислительно-восстановительных реакций используется не молярная концентрация вещества  $C$ , а его эквивалентная концентрация (по-другому, нормальность  $C_{eq}$ ), формула для нахождения которой имеет вид:

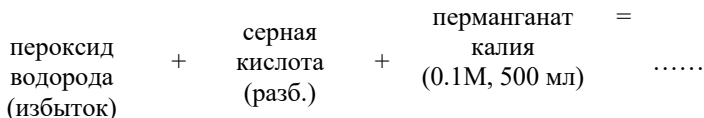
$$C_{eq} = \frac{n_{eq}}{V}. \quad (8)$$

Преимущество стехиометрических расчетов по закону эквивалентов заключается в том, что при известном значении эквивалентного количества одного из веществ (реагента или продукта) автоматические известны и определены значения эквивалентных количеств всех остальных веществ, участвующих в реакции. Приведем одну из формулировок закона эквивалентов: эквивалентные количества всех веществ, участвующих в реакции, одинаковы. Для реакции  $aA + bB + \dots = cC + dD + \dots$  эквивалентные количества вступивших в реакцию реагентов и образовавшихся продуктов одинаковы:

$$n_{eq}^{(A)} = n_{eq}^{(B)} = \dots = n_{eq}^{(C)} = n_{eq}^{(D)} = \dots$$

$$z_A n_A = z_B n_B = \dots = z_C n_C = z_D n_D.$$

**ЗАДАЧА № 1.** Рассчитайте объем (при н.у.) выделившегося газа по реакции



Расчет провести: а) по закону эквивалентов; б) по уравнению реакции.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$\text{KMnO}_4 \equiv A$ $\text{O}_2 \equiv B$ $C_A = 0.1 \text{ моль/л}$ $V_A = 500 \text{ мл} = 0.5 \text{ л}$ $z_A = 5$ $z_B = 2$ $V_m = 22.4 \text{ л/моль}$	$\underset{\text{восстановитель}}{\text{H}_2\text{O}_2} + \underset{\text{среда}}{\text{H}_2\text{SO}_4} + \underset{\text{окислитель}}{\text{KMnO}_4} \rightarrow$ $\begin{array}{l} 5 \mid \text{H}_2\text{O}_2 - 2e = \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}^+ \quad \text{окисление} \\ 2 \mid \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \quad \text{восстановление} \end{array}$ $5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}^+ = 5\text{O}_2 \uparrow + 10\text{H}^+ + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$ $5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ = 5\text{O}_2 \uparrow + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$ $5\text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KMnO}_4 = 5\text{O}_2 \uparrow + 2\text{MnSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$ <p><i>а) по закону эквивалентов</i></p> $V_B = n_B^{\text{eq}} V_B^{\text{eq}} = \frac{n_B^{\text{eq}} V_m}{z_B} = \frac{n_A z_A V_m}{z_B} = \frac{C_A V_A z_A V_m}{z_B} =$ $= \frac{0.1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0.5 \text{ л} \cdot 5 \cdot 22.4 \frac{\text{л}}{\text{моль}}}{2} = 2.8 \text{ л}$ <p><i>б) по уравнению реакции</i></p> $V_B = n_B V_m$ $n_B = \frac{5}{2} n_A$ $n_A = C_A V_A$ $V_B = \frac{5}{2} C_A V_A V_m = \frac{5}{2} \cdot 0.1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0.5 \text{ л} \cdot 22.4 \frac{\text{л}}{\text{моль}} = 2.8 \text{ л}$
$V_B = ?$	<b>ОТВЕТ:</b> объем выделившегося газа равен 2.8 л

## ЗАДАЧА № 2. Составьте уравнение реакции:

дихромат калия + серная кислота (разб.) + сульфит натрия (0.15M, 500 мл) = .....

Рассчитайте массу прореагировавшего окислителя: **а)** по закону эквивалентов, **б)** по уравнению реакции.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$\text{Na}_2\text{SO}_3 \equiv A$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \equiv B$ $C_A = 0.15$ моль/л $V_A =$ = 500 мл $M_B =$ = 294.181 г/моль $z_A = 2$ $z_B = 6$	$\underset{\text{окислитель}}{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} + \underset{\text{среда}}{\text{H}_2\text{SO}_4} + \underset{\text{восстановитель}}{\text{Na}_2\text{SO}_3} \rightarrow$ $\begin{array}{l} \mathbf{1} \quad \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} \quad \text{восстановление} \\ \mathbf{3} \quad \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} - 2e = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \quad \text{окисление} \end{array}$ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 3\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 3\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}^+$ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\text{SO}_3^{2-} = 2\text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{SO}_4^{2-}$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 3\text{Na}_2\text{SO}_3 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;"><i>а) по закону эквивалентов</i></p> $m_B = n_B^{\text{eq}} M_B^{\text{eq}} = n_A^{\text{eq}} M_B^{\text{eq}} = \frac{n_A^{\text{eq}} M_B}{z_B} = \frac{n_A z_A M_B}{z_B} = \frac{C_A V_A z_A M_B}{z_B} =$ $= \frac{0.15 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}} \cdot 0.5 \text{ л} \cdot 2 \cdot 294.181 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}}{6} = 7.3545 \text{ Г}$ <p style="text-align: center;"><i>б) по уравнению реакции</i></p> $m_B = n_B M_B$ $n_B = \frac{1}{3} n_A$ $n_A = C_A V_A$ $m_B = \frac{1}{3} C_A V_A M_B = \frac{1}{3} \cdot 0.15 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}} \cdot 0.5 \text{ л} \cdot 294.181 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} = 7.3545 \text{ Г}$
$m_B = ?$	<b>ОТВЕТ:</b> масса прореагировавшего окислителя равна 7.3545 г

**ЗАДАЧА № 3.** Установите объем (л, н.у.) диоксида серы, необходимый для полной реакции в растворе с 0.75 моль Cl<sub>2</sub> (экв.).

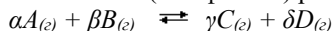
ДАНО	РЕШЕНИЕ
$\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \dots$ $\text{SO}_2 \equiv A$ $\text{Cl}_2 \equiv B$ $n_{\text{eq}}^B = 0.75$ моль $V_m = 22.4$ л/моль	$\begin{array}{ccccc} \text{SO}_2 & + & \text{H}_2\text{O} & + & \text{Cl}_2 & \rightarrow \\ \text{восстановитель} & & \text{среда} & & \text{окислитель} & \end{array}$ <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; margin-right: 5px;">1</div> <div> <math>\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} - 2e = \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+</math>  <math>\text{Cl}_2 + 2e = 2\text{Cl}^-</math> </div> <div>                         окисление                           восстановление                     </div> </div> <math display="block">\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Br}_2 = \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{Br}^-</math> <math display="block">\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}</math> <math display="block">n_A^{\text{eq}} = n_B^{\text{eq}} = 0.75 \text{ моль}</math> <math display="block">V_A = n_C^{\text{eq}} V_C^{\text{eq}} = \frac{n_A^{\text{eq}} V_m}{z_A} = \frac{0.75 \text{ моль} \cdot 22.4 \frac{\text{л}}{\text{моль}}}{2} = 8.4 \text{ л}</math> </div>
$V(\text{SO}_2) = ?$	<b>ОТВЕТ:</b> объем диоксида серы, необходимый для полной реакции, равен 8.4 л

**ЗАДАЧА № 4.** Рассчитайте эквивалентную концентрацию (моль/л) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в 250 мл раствора, содержащего 0.77 г этого вещества и предназначенного для изучения его окислительных свойств в кислотной среде.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$\text{H}_2\text{O}_2 \equiv A$ $m_A = 0.77 \text{ г}$ $M_A = 34$ г/моль $V = 250 \text{ мл} = 0.25 \text{ л}$	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2e = 2\text{OH}^-$ $C_A^{\text{eq}} = \frac{n_A^{\text{eq}}}{V} = \frac{m}{M_A^{\text{eq}} V} = \frac{m_A z_A}{M_A V} = \frac{0.77 \text{ г} \cdot 2}{34 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 0.25 \text{ л}} =$ $= 0.18 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$
$C_A^{\text{eq}} = ?$	<b>ОТВЕТ:</b> эквивалентная концентрация пероксида водорода равна 0.18 моль/л

При рассмотрении раздела «Химическое равновесие» остановимся только на основных положениях и формулах, необходимых для решения заданий и задач по этой теме.

Для обратимой гомогенной (газофазной) реакции



константа равновесия ( $K_C$ ) по закону действующих масс будет определяться как

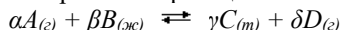
$$K_C = \frac{[C]^\gamma [D]^\delta}{[A]^\alpha [B]^\beta}, \quad (9)$$

где  $[A]$ ,  $[B]$ ,  $[C]$ ,  $[D]$  – равновесные концентрации веществ (реагентов и продуктов).

Равновесные концентрации продуктов связаны соотношением

$$\frac{[C]}{\gamma} = \frac{[D]}{\delta}. \quad (10)$$

Для обратимой гетерогенной реакции



константа равновесия ( $K_C$ ) будет иметь следующий вид:

$$K_C = \frac{[D]^\delta}{[A]^\alpha}. \quad (11)$$

При решении задач по данной теме предполагаются равными нулю концентрации газообразных продуктов ( $C_C^0 = C_D^0 = 0$ ). Тогда для равновесных концентраций веществ, участвующих в обратимой газофазной реакции, будут справедливы следующие выражения, при учете уменьшения концентраций реагентов и увеличения концентраций продуктов:

$$\begin{aligned} [A] &= C_A^0 - \Delta C_A, \\ [B] &= C_B^0 - \Delta C_B, \end{aligned} \quad (12)$$

$$[C] = C_C^0 + \Delta C_C = \Delta C_C,$$

$$[D] = C_D^0 + \Delta C_D = \Delta C_D.$$

С учетом стехиометрии реакции получим

$$\frac{\Delta C_A}{\alpha} = \frac{\Delta C_B}{\beta} = \frac{\Delta C_C}{\gamma} = \frac{\Delta C_D}{\delta}. \quad (13)$$

**ЗАДАЧА № 5.** Рассчитайте константу равновесия для реакции  $4A_{(г)} + B_{(г)} \rightleftharpoons 2C_{(г)} + 3D_{(г)}$ , если известны (при  $T = \text{const}$ ) равновесные концентрации веществ (моль/л):  $[A] = 0.03$ ;  $[B] = 0.15$ ;  $[C] = 0.84$ ;  $[D] = 0.66$ .

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$4A_{(г)} + B_{(г)} \rightleftharpoons 2C_{(г)} + 3D_{(г)}$  $T = \text{const}$ $[A] = 0.03 \text{ моль/л}$  $[B] = 0.15 \text{ моль/л}$  $[C] = 0.84 \text{ моль/л}$  $[D] = 0.66 \text{ моль/л}$	$K_c = \frac{[D]^3 [C]^2}{[B][A]^4}$  $K_c = \frac{[0.66]^3 [0.84]^2}{[0.15][0.03]^4} = 1669606.4 \approx 1.7 \cdot 10^6$
$K_c = ?$	<b>ОТВЕТ:</b> Для данной реакции константа равновесия равна $1.7 \cdot 10^6$

**ЗАДАЧА № 6.** Для реакции  $NiO_{(т)} + CO_{(г)} \rightleftharpoons Ni_{(т)} + CO_{2(г)}$  с константой равновесия 16.09 и начальной концентрацией газообразного реагента 1,88 моль/л рассчитайте равновесные концентрации газообразных веществ (моль/л).

ДАНО	РЕШЕНИЕ																	
$\begin{aligned} &\text{NiO}_{(\text{T})} + \text{CO}_{(\text{Г})} \rightleftharpoons \\ &\text{Ni}_{(\text{T})} + \text{CO}_{2(\text{Г})} \end{aligned}$ $K_C = 16.09$ $C_0(\text{CO}) = 1.88 \text{ моль/л}$	$K_C = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]}$ <p>Для решения задачи используем табличный метод.</p> <table><tr><td></td><td>CO</td><td>CO<sub>2</sub></td></tr><tr><td>C<sub>0</sub>, моль/л</td><td>1.88</td><td>0</td></tr><tr><td>ν</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>ΔC, моль/л</td><td>X</td><td>X</td></tr><tr><td>[...], моль/л</td><td>1.88 – X</td><td>X</td></tr></table>				CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>0</sub> , моль/л	1.88	0	ν	1	1	ΔC, моль/л	X	X	[...], моль/л	1.88 – X	X
	CO	CO <sub>2</sub>																
C <sub>0</sub> , моль/л	1.88	0																
ν	1	1																
ΔC, моль/л	X	X																
[...], моль/л	1.88 – X	X																

ДАНО	РЕШЕНИЕ
	<p>Обозначим через <math>X</math> равновесную концентрацию <math>\text{CO}_2</math>.</p> $16.09 = \frac{X}{1.88 - X} \Rightarrow X = 1.77 \Rightarrow [\text{CO}_2] = 1.77 \text{ моль/л}$ $[\text{CO}] = 1.88 - 1.77 = 0.11 \text{ моль/л}$
$[\text{CO}] = ?$ $[\text{CO}_2] = ?$	<b>ОТВЕТ:</b> равновесные концентрации газообразных веществ равны 0.11 моль/л для $\text{CO}$ и 1.77 моль/л для $\text{CO}_2$

**ЗАДАЧА № 7.** Для реакции  $4\text{NO}_{(\text{г})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} \rightleftharpoons 4\text{NH}_{3(\text{г})} + 5\text{O}_{2(\text{г})}$  рассчитайте равновесную концентрацию аммиака и начальные концентрации реагентов, если равновесные концентрации  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{O}_2$  равны 0.98, 0.34 и 0.85 моль/л соответственно.

### РЕШЕНИЕ

Для решения данной задачи используем табличный метод

	$4\text{NO}_{(\text{г})}$	$+ 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$	$= 4\text{NH}_{3(\text{г})} +$	$5\text{O}_{2(\text{г})}$
$C_0$ , моль/л	?	?	0	0
$\nu$	4	6	4	5
$[C]$ , моль/л	0.98	0.34	?	0.85

Используя соотношение (12) выразим равновесные концентрации веществ, участвующих в реакции:

$$[\text{NO}] = C_0^{\text{NO}} - \Delta C^{\text{NO}},$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = C_0^{\text{H}_2\text{O}} - \Delta C^{\text{H}_2\text{O}},$$

$$[\text{NH}_3] = C_0^{\text{NH}_3} + \Delta C^{\text{NH}_3} = 0 + \Delta C^{\text{NH}_3} = \Delta C^{\text{NH}_3},$$

$$[\text{O}_2] = C_0^{\text{O}_2} + \Delta C^{\text{O}_2} = 0 + \Delta C^{\text{O}_2} = \Delta C^{\text{O}_2}.$$

Перепишем выражение (13) для реакции:

$$\frac{\Delta C^{\text{NO}}}{\nu_{\text{NO}}} = \frac{\Delta C^{\text{H}_2\text{O}}}{\nu_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\Delta C^{\text{NH}_3}}{\nu_{\text{NH}_3}} = \frac{\Delta C^{\text{O}_2}}{\nu_{\text{O}_2}} = \frac{\Delta C^{\text{NO}}}{4} = \frac{\Delta C^{\text{H}_2\text{O}}}{6} = \frac{\Delta C^{\text{NH}_3}}{4} = \frac{\Delta C^{\text{O}_2}}{5}.$$

Тогда равновесная концентрация аммиака будет равна

$$\Delta C^{\text{NH}_3} = [\text{NH}_3] = \frac{\Delta C^{\text{O}_2} \nu_{\text{NH}_3}}{\nu_{\text{O}_2}} = \frac{0.85 \cdot 4}{5} = 0.68 \text{ моль/л.}$$

Расчет начальной концентрации первого реагента (оксида азота) можно вести как по кислороду, так и по аммиаку:

$$C_0^{\text{NO}} = [\text{NO}] + \Delta C^{\text{NO}} = [\text{NO}] + \frac{\Delta C^{\text{NH}_3} \nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{NH}_3}} = 0.98 + \frac{0.68 \cdot 4}{4} = 0.98 + 0.68 = 1.66 \text{ моль/л.}$$

$$C_0^{\text{NO}} = [\text{NO}] + \Delta C^{\text{NO}} = [\text{NO}] + \frac{\Delta C^{\text{O}_2} \nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{O}_2}} = 0.98 + \frac{0.85 \cdot 4}{5} = 0.98 + 0.68 = 1.66 \text{ моль/л.}$$

Расчет начальной концентрации второго реагента (воды) в общем случае можно вести по любому из оставшихся компонентов, но во избежание громоздких математических выкладок и наличия уже известных величин, также как и для первого реагента расчет проведем по кислороду и по аммиаку:

$$C_0^{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}_2\text{O}] + \Delta C^{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}_2\text{O}] + \frac{\Delta C^{\text{O}_2} \nu_{\text{H}_2\text{O}}}{\nu_{\text{O}_2}} = 0.34 + \frac{0.85 \cdot 6}{5} = 0.34 + 1.02 = 1.36 \text{ моль/л.}$$

$$C_0^{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}_2\text{O}] + \Delta C^{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}_2\text{O}] + \frac{\Delta C^{\text{NH}_3} \nu_{\text{H}_2\text{O}}}{\nu_{\text{NH}_3}} = 0.34 + \frac{0.68 \cdot 6}{4} = 0.34 + 1.02 = 1.36 \text{ моль/л.}$$

**ОТВЕТ:** равновесная концентрация аммиака равна 0.68 моль/л, начальная концентрация оксида азота равна 1.66 моль/л, воды 1.36 моль/л.



**ЗАДАЧА № 8.** Для реакции  $\text{CuO}_{(т)} + \text{CO}_{(г)} \rightleftharpoons \text{Cu}_{(т)} + \text{CO}_{2(г)}$  константа равновесия равна 12.84. Определите равновесные концентрации газообразных веществ, если начальная концентрация газообразного реагента равна 4.43 моль/л.

### РЕШЕНИЕ

Для решения данной задачи используем табличный метод

	$\text{CuO}_{(т)}$	$+ \text{CO}_{(г)}$	$= \text{Cu}_{(т)} +$	$\text{CO}_{2(г)}$
$C_0$ , моль/л		4.43		0
$\nu$		1		1
$\Delta C$ , моль/л		$x$		$x$
$[C]$ , моль/л		$C_0 - x$		$x$

При записи константы реакции учитываются только газообразные вещества:

$$K_c = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]} = 12.84,$$

$$[\text{CO}] = C_0^{\text{CO}} - \Delta C^{\text{CO}},$$

$$[\text{CO}_2] = C_0^{\text{CO}_2} + \Delta C^{\text{CO}_2} = 0 + \Delta C^{\text{CO}_2} = \Delta C^{\text{CO}_2}.$$

Обозначим через  $x$  равновесную концентрацию  $\text{CO}_2$ , тогда выражение для константы равновесия примет вид

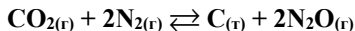
$$K_c = \frac{x}{C_0^{\text{CO}} - x} \Rightarrow x = \frac{K_c C_0^{\text{CO}}}{1 + K_c} = \frac{12.84 \cdot 4.43}{1 + 12.84} \approx 4.11 \text{ моль/л},$$

$$[\text{CO}_2] = 4.11 \text{ моль/л},$$

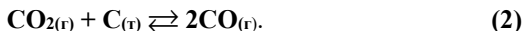
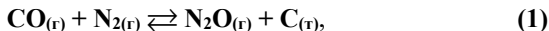
$$[\text{CO}] = 4.43 - 4.11 = 0.32 \text{ моль/л}.$$

**ОТВЕТ:** равновесная концентрация  $\text{CO}$  равна 0.32 моль/л,  $\text{CO}_2$  – 4.11 моль/л.

**ЗАДАЧА № 9.** Выразите константу равновесия  $K_C$  реакции



через константы равновесия  $K_{C1}$  и  $K_{C2}$  реакций (1) и (2):



### РЕШЕНИЕ

Выражение для константы равновесия искомой реакции имеет следующий вид:

$$K_C = \frac{[\text{N}_2\text{O}]^2}{[\text{CO}_2][\text{N}_2]^2}.$$

Константа равновесия реакции (1)

$$K_{C1} = \frac{[\text{N}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{N}_2]}.$$

Константа равновесия реакции (2)

$$K_{C2} = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}.$$

Тогда

$$K_C = K_{C1}^2 K_{C2} = \frac{[\text{N}_2\text{O}]^2}{[\text{CO}]^2 [\text{N}_2]^2} \cdot \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]} = \frac{[\text{N}_2\text{O}]^2}{[\text{CO}_2][\text{N}_2]^2}.$$

**ЗАДАЧА № 10.** Состояние гомогенного равновесия  $\text{CO}_2 + 2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{CS}_2 + 4\text{O}_2$  установилось при концентрациях 1.5; 0.6; 2.4 и 0.8 моль/л соответственно. Составьте выражение для константы равновесия, рассчитайте ее значение, укажите преимущественное направление реакции.

### РЕШЕНИЕ

$$K_C = \frac{[\text{O}_2]^4 [\text{CS}_2]}{[\text{CO}_2][\text{SO}_3]^2} = \frac{0.8^4 \cdot 2.4}{1.5 \cdot 0.6^2} = 1.82.$$

Для реакций, в которых  $K_C > 1$ , преобладает прямое направление, при  $K_C < 1$  преобладает обратное направление.

**ЗАДАНИЕ.** Запишите выражение для константы равновесия эндотермической реакции  $3\text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{Fe}_{(\text{т})} \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{т})} + 3\text{CO}_{(\text{г})}$ . Как повлияет на состояние химического равновесия 1) повышение давления, 2) понижение температуры.

## РЕШЕНИЕ

Выражение для константы равновесия искомой реакции имеет следующий вид:  $K_C = \frac{[\text{CO}]^3}{[\text{CO}_2]^3}$ . 1) Повышение давления не повлияет

на состояние химического равновесия, так как реакция происходит без изменения объема газообразных веществ  $\sum \nu_{\text{РЕАГ}} = \sum \nu_{\text{ПРОД}}$  (сумма стехиометрических коэффициентов газообразных реагентов равна сумме стехиометрических коэффициентов газообразных продуктов). 2) Так как реакция эндотермическая (реакция идет с поглощением тепла, тепловой эффект соответственно  $\Delta H^\circ > 0$ ), понижение температуры приведет к смещению равновесия влево (в сторону обратной реакции, протекающей с выделением тепла, в сторону реагентов).

Следует отметить, что направление сдвига (смещения) химического равновесия регулируется **принципом Ле Шателье**: *любое воздействие на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, выражающееся в изменении одного из факторов, определяющих равновесие, вызывает в ней изменение, стремящееся ослабить это воздействие*. Данный принцип можно выразить в другой формулировке: *если на систему в состоянии истинного равновесия воздействовать извне, изменяя термодинамические параметры (температуру, давление, концентрацию), то равновесие сместится в таком направлении, которое ослабит эффект внешнего воздействия*.

При сдвиге равновесия в прямом направлении концентрации и выход продуктов увеличиваются, при смещении в обратном направлении – уменьшаются. Это обусловлено зависимостью константы равновесия реакции от температуры.

В таблице 1 представлена реализация принципа Ле Шателье.

ТАБЛИЦА 1

Влияние различных факторов на смещение химического равновесия

№	Фактор	Направление смещения
1	<b>Повышение</b> температуры ( $\uparrow T$ )	Для <i>экзотермической</i> реакции ( $\Delta H^\circ < 0$ , $+Q$ , с выделением тепла) $\leftarrow$ Для <i>эндотермической</i> реакции ( $\Delta H^\circ > 0$ , $-Q$ , с поглощением тепла) $\rightarrow$
2	<i>Понижение</i> температуры ( $\downarrow T$ )	Для <i>экзотермической</i> реакции $\rightarrow$ Для <i>эндотермической</i> реакции $\leftarrow$
3	<b>Повышение</b> давления ( $\uparrow P$ )	Для реакции с $\Delta \nu < 0$ ( $\Sigma \nu_{\text{РЕАГ}} > \Sigma \nu_{\text{ПРОД}}$ ) $\rightarrow$ Для реакции с $\Delta \nu > 0$ ( $\Sigma \nu_{\text{РЕАГ}} < \Sigma \nu_{\text{ПРОД}}$ ) $\leftarrow$
4	<i>Понижение</i> давления ( $\downarrow P$ )	Для реакции с $\Delta \nu < 0$ ( $\Sigma \nu_{\text{РЕАГ}} > \Sigma \nu_{\text{ПРОД}}$ ) $\leftarrow$ Для реакции с $\Delta \nu > 0$ ( $\Sigma \nu_{\text{РЕАГ}} < \Sigma \nu_{\text{ПРОД}}$ ) $\rightarrow$
5	<b>Увеличение</b> концентрации реагента ( $\uparrow C_{\text{РЕАГ}}$ )	$\rightarrow$
6	<i>Уменьшение</i> концентрации <i>реагента</i> ( $\downarrow C_{\text{РЕАГ}}$ )	$\leftarrow$
7	<b>Увеличение</b> концентрации продукта ( $\uparrow C_{\text{ПРОД}}$ )	$\leftarrow$
8	<i>Уменьшение</i> концентрации <i>продукта</i> ( $\downarrow C_{\text{ПРОД}}$ )	$\rightarrow$
9	Введение инертного газа при $V = \text{const}$	Не приводит к смещению равновесия
10	Введение инертного газа при $p = \text{const}$	Для реакции с $\Delta \nu < 0$ $\leftarrow$ Для реакции с $\Delta \nu > 0$ $\rightarrow$
11	Введение катализатора	Не приводит к смещению равновесия

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лидин, Р. А.* Справочник по общей и неорганической химии. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : КолосС, 2008. – 350 с.
2. *Лидин, Р. А.* Задачи по общей и неорганической химии : учеб. пособие / Р. А. Лидин, В. А. Молочко, Л. Л. Андреева ; под ред. Р. А. Лидина. – М. : Гуманитар. издат. центр ВЛАДОС, 2004. – 383 с.
3. *Лидин, Р. А.* Химические свойства неорганических веществ / Р. А. Лидин, В. А. Молочко, Л. Л. Андреева ; под ред. Р. А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М. : КолосС, 2008. – 480 с.
4. Тестовые задания по общей и неорганической химии с решениями и ответами / Р. А. Лидин, Е. В. Савинкина, Н. С. Рукк, Л. Ю. Аликберова. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2004. – 230 с.
5. Химическое равновесие : учеб. пособие / В. А. Михайлов, О. В. Сорокина, Е. В. Савинкина, М. Н. Давыдова ; под ред. А. Ю. Цивадзе. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 197 с.

*Кирилл Юрьевич ТАРХОВ*

**ОБЩАЯ И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ  
ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ  
РЕАКЦИИ И ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ.  
СБОРНИК ЗАДАНИЙ И ВАРИАНТОВ**

*Учебное пособие*

Зав. редакцией  
естественнонаучной литературы *М. В. Рудкевич*  
Ответственный редактор *Т. С. Спирина*  
Корректор *Ю. Н. Теплова*  
Выпускающий *В. А. Иутин*

ЛР № 065466 от 21.10.97  
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028  
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

**Издательство «ЛАНЬ»**  
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com  
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 1, лит. А  
Тел./факс: (812) 336-25-09, 412-92-72  
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 14.09.18.  
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108<sup>1/32</sup>.  
Печать офсетная. Усл. п. л. 4,20. Тираж 100 экз.

Заказ № 560-18.

Отпечатано в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета  
в АО «Т8 Издательские Технологии».  
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.