

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Российский химико-технологический университет  
имени Д. И. Менделеева

**ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ДОМАШНЯЯ РАБОТА  
ПО ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ  
В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ**

Утверждено

Редакционным советом университета

в качестве учебного пособия

Москва

2022

УДК 546 (076.2)

ББК 24.1я73

И60

Авторы: И. М. Артемкина, Ю. М. Артемкина, А. Я. Дупал,  
С. В. Кожевникова, Н. В. Свириденкова, С. Н. Соловьев,  
В. В. Щербаков

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор Российского химико-  
технологического университета им. Д. И. Менделеева

*Н. А. Макаров*

Доктор химических наук, профессор Ивановского государственного  
химико-технологического университета

*А. И. Лыткин*

**Индивидуальная домашняя работа по общей и неорганической  
И60 химии в примерах и задачах:** учеб. пособие/ И. М. Артемкина,  
Ю. М. Артемкина, А. Я. Дупал, С. В. Кожевникова, Н. В. Свириденкова,  
С. Н. Соловьев, В. В. Щербаков. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2022.  
– 144 с.

ISBN 978-5-7237-1978-1

Пособие содержит примеры решения задач, задания для индивидуальной домашней работы и охватывает важнейшие разделы теоретических основ химии: строение вещества, химическая связь, реакции окисления-восстановления, основы химической термодинамики, химическое равновесие, равновесие в растворах электролитов и комплексные соединения.

Предназначено для студентов первого курса РХТУ им. Д.И. Менделеева, обучающихся по направлениям бакалавриата и специалитета. Материал пособия может быть использован при проведении семинарских занятий по первой части курса «Общая и неорганическая химия».

УДК 546 (076.2)

ББК 24.1я73

ISBN 978-5-7237-1978-1

© Российский химико-технологический  
университет им. Д. И. Менделеева, 2022

© Артемкина И. М., Артемкина Ю. М.,  
Дупал А. Я., Кожевникова С. В.,  
Свириденкова Н. В., Соловьев С. Н.,  
Щербаков В. В., 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	4
1. Эквивалент. Закон эквивалентов . . . . .	6
2. Способы выражения концентрации растворов . . . . .	12
3. Квантовые числа. Квантовые числа и формы электронных облаков . . . . .	18
4. Электронные формулы атомов и ионов . . . . .	27
5. Реакции окисления-восстановления . . . . .	29
6. Ковалентная связь. Гибридизация. $\sigma$ - и $\pi$ -связи . . . . .	39
7. Метод Гиллеспи . . . . .	46
8. Метод молекулярных орбиталей . . . . .	50
9. Термохимия. Закон Гесса. Энтропия. Энергия Гиббса. . . . .	53
10. Химическое равновесие . . . . .	61
11. Электролитическая диссоциация . . . . .	68
12. Произведение растворимости . . . . .	78
13. Гидролиз . . . . .	88
14. Химическая связь в комплексных соединениях . . . . .	100
15. Диссоциация комплексных соединений . . . . .	103
Приложение . . . . .	118
Таблицы плотностей растворов . . . . .	118
Справочные термодинамические данные . . . . .	120
Стандартные электродные потенциалы . . . . .	141

## Введение

В учебное пособие включены вопросы и задачи по изучаемым в первом семестре основным разделам общей и неорганической химии: строение вещества, химическая связь, реакции окисления-восстановления, основы химической термодинамики, химическое равновесие, равновесие в растворах электролитов и комплексные соединения. В каждом из пятнадцати заданий приведены примеры решения задач по данной теме и тридцать вариантов индивидуальных задач для самостоятельного решения. Комбинацией представленных в пособии четырехсот пятидесяти заданий может быть составлено большое число различных вариантов индивидуальной домашней работы (ИДР) для студентов первого курса.

В таблицах приложения содержатся справочные величины плотностей растворов электролитов, а также стандартные термодинамические характеристики (энтальпии, энергии Гиббса образования и энтропии) и электродные потенциалы, необходимые для решения задач. Использование предлагаемых в пособии заданий позволит студентам первого курса хорошо подготовиться к изучению химии элементов во втором семестре, а также других химических дисциплин.

При составлении пособия для обозначения различных физико-химических величин применялись, в основном, обозначения, рекомендованные Международным союзом теоретической и прикладной химии (IUPAC). В опубликованной ранее учебной литературе кафедры общей и неорганической химии Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева и используемой в настоящее время в учебном процессе обозначения некоторых величин отличаются от рекомендованных IUPAC. Поэтому для описания равновесия в водных растворах малорастворимых электролитов вместо рекомендованного IUPAC для произведения растворимости символа  $K_s$  употребляется обозначение ПР.

При описании равновесий в водных растворах комплексных соединений вместо константы устойчивости  $\beta$  использован символ  $K_y$ , а также обратная величина константы устойчивости – константа нестойкости  $K_n$ :

$$K_n = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{K_y}.$$

Стандартные термодинамические характеристики (энтальпия, энергия Гиббса и энтропия) образования веществ обозначаются в пособии  $\Delta H^\circ_{\text{обр}}$ ,  $\Delta G^\circ_{\text{обр}}$ , и  $\Delta S^\circ_{\text{обр}}$ .

Индивидуальная домашняя работа (ИДР) включает в себя выполнение заданий по общей и неорганической химии. Оценка за каждое задание содержит формальные и содержательные критерии. Формальными критериями оценки являются: соблюдение сроков сдачи законченной работы, правильность оформления, грамотность структурирования работы. К содержательным критериям относятся правильность и полнота выполнения заданий работы.

ИДР оформляется в отдельной тетради. На титульном листе помимо названия (Индивидуальная домашняя работа по общей и неорганической химии) указывается Ф.И.О. студента, № учебной группы и приводится таблица оценок:

№ задания									Итог
Баллы									

Каждое задание оформляется с новой страницы. При этом сначала указывается № задания и приводится его условие. После решения каждого задания на следующей строке даётся его ответ:

**№ задания:**

**Условие:**

**Решение: ...**

....

**Ответ:**

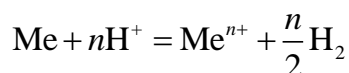
## 1. ЭКВИВАЛЕНТ. ЗАКОН ЭКВИВАЛЕНТОВ

### Пример 1

При взаимодействии 3,49 г металла с избытком разбавленной серной кислоты выделилось 1,68 л (н.у.) газа. Определить молярную массу эквивалента металла и его оксида.

#### Решение:

В соответствии с законом эквивалентов для процесса:



$$n_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}) = n_{\text{ЭКВ}}(\text{H}_2)$$

Поскольку  $f_{\text{ЭКВ}}(\text{H}_2) = 1/2$ , то 1 моль эквивалентов (моль экв.) водорода при н.у. занимает объём  $V_{m,\text{ЭКВ}} = 11,2$  л. Находим число молей эквивалентов участников реакции:

$$n_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}) = n_{\text{ЭКВ}}(\text{H}_2) = \frac{1,68}{11,2} = 0,15 \text{ моль экв.}$$

Определяем молярную массу эквивалента металла:

$$n_{\text{ЭКВ}} = \frac{m}{M_{\text{ЭКВ}}}; \quad M_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}) = \frac{3,49}{0,15} = 23,3 \text{ г/(моль экв.)}$$

Молярная масса эквивалента оксида составит соответственно:

$$M_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}_x\text{O}_y) = M_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}) + M_{\text{ЭКВ}}(\text{O}) = 23,3 + 8,0 = 31,3 \text{ г/(моль экв.)}.$$

**Ответ:**  $M_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}) = 23,3 \text{ г/(моль экв.)}$ ;  $M_{\text{ЭКВ}}(\text{Me}_x\text{O}_y) = 31,3 \text{ г/(моль экв.)}$ .

### Пример 2

13,5 г хлорида металла образуют в обменной реакции 16,0 сульфата этого металла. Найти молярную массу эквивалента металла и его гидроксида.

#### Решение:

В соответствии с законом эквивалентов:

$$n_{\text{ЭКВ}}(\text{хлорида}) = n_{\text{ЭКВ}}(\text{сульфата}).$$

Число молей эквивалентов хлорида металла равно:

$$n_{\text{экв}}(\text{MeCl}_y) = \frac{m(\text{MeCl}_y)}{M_{\text{экв}}(\text{MeCl}_y)} = \frac{m(\text{MeCl}_y)}{M_{\text{экв}}(\text{Me}) + M_{\text{экв}}(\text{хлорид-иона})} = \frac{13,5}{M_{\text{экв}}(\text{Me}) + 35,5}.$$

Число молей эквивалентов сульфата металла равно:

$$n_{\text{экв}}(\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y) = \frac{m(\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y)}{M_{\text{экв}}(\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y)} = \frac{m(\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y)}{M_{\text{экв}}(\text{Me}) + M_{\text{экв}}(\text{сульфат-иона})} = \frac{16,0}{M_{\text{экв}}(\text{Me}) + 48,0}.$$

По закону эквивалентов получаем:

$$\frac{13,5}{M_{\text{экв}}(\text{Me}) + 35,5} = \frac{16,0}{M_{\text{экв}}(\text{Me}) + 48,0}.$$

Решая данное уравнение, находим, что молярная масса эквивалента металла равна 32,0 г/моль экв.

Молярная масса эквивалента гидроксида составит соответственно:

$$M_{\text{экв}}(\text{Me}(\text{OH})_y) = 32,0 + 17,0 = 49,0 \text{ г/моль экв.}.$$

**Ответ:**  $M_{\text{экв}}(\text{Me}) = 32,0 \text{ г/моль экв.}$ ,  $M_{\text{экв}}(\text{Me}(\text{OH})_y) = 49,0 \text{ г/моль экв.}$ .

### Задания

1. Вычислите молярную массу эквивалента кислоты, 1,10 г которой содержит 0,05 г водорода, причём из трёх атомов водорода лишь один может замещаться на металл.

Определите молярную концентрацию 0,08 Н раствора  $\text{H}_3\text{PO}_2$ , если фосфорноватистая кислота в результате реакции превращается в ортофосфорную кислоту.

2. На нейтрализацию 200 г 4,2 мас. % раствора КОН израсходовано 4,9 г ортофосфорной кислоты, содержащейся в 100 см<sup>3</sup> раствора.

Вычислите молярную массу эквивалента кислоты, молярную и нормальную концентрации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в исходном растворе.

3. Определите молярную массу эквивалента металла, если 0,54 г его вытесняют при растворении в кислоте 750 см<sup>3</sup> водорода, измеренного при температуре 300 К и давлении 99,7 кПа.

Вычислите нормальную концентрацию 0,5 М раствора  $\text{KMnO}_4$ , восстанавливающегося в результате реакции до  $\text{MnO}_2$ .

4. 2,24 г некоторого простого вещества соединяются с 675 см<sup>3</sup> кислорода (объём измерен при н.у.). Вычислите молярную массу эквивалента этого вещества и его оксида.

Определите нормальную концентрацию 0,005 М раствора угольной кислоты, превращающейся в результате реакции в карбонат кальция.

5. Вычислите молярную массу эквивалента карбоната бария, если на растворение 3,94 г  $\text{BaCO}_3$  было израсходовано 80 мл 0,5 Н раствора  $\text{HNO}_3$ .

Определите молярную концентрацию 0,08 Н раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , если бихромат калия в результате реакции превращается в сульфат хрома (III).

6. 3,00 г некоторого элемента соединяются с 1,23 г серы. Вычислите молярную массу эквивалента элемента, его оксида, хлорида и гидроксида.

Определите молярную концентрацию 0,01 Н раствора  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в реакции:  $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{Ba}(\text{OH})\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ .

7. Определите молярную массу эквивалента металла и его оксида, если 2,00 г металла образуют 4,41 г хлорида.

Вычислите молярную концентрацию и титр 0,25 Н раствора  $\text{KMnO}_4$ , в результате реакции превращающегося в  $\text{MnSO}_4$ .

8. Сколько граммов  $\text{KMnO}_4$  следует взять для окисления 50 г  $\text{K}_2\text{SO}_3$ , если реакцию проводить в присутствии  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ? В каком объёме 0,5 Н раствора  $\text{KMnO}_4$  содержится найденное количество  $\text{KMnO}_4$ ?

9. Какой объём 0,1 М раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  потребуется для окисления в кислой среде всего  $\text{KI}$ , содержащегося в 200 мл 0,6 М его раствора? Вычислите массу выделившегося йода.

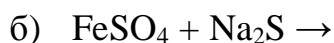
10. Определите молярную массу эквивалента металла и галогена, если 0,100 г металла образуют 0,167 г оксида или 0,397 г галогенида.



Вычислите нормальную концентрацию 0,15 М раствора  $K_2S$ , если в результате реакции окисления сульфида калия выделяется сера.

11. Какая масса  $K_2Cr_2O_7$  требуется для окисления 7 г  $FeSO_4$  в кислой среде?

В каком объёме воды надо растворить 7 г  $FeSO_4$  для получения 1 Н раствора, используемого в реакциях:



(принять, что объём раствора равен объёму воды).

12. Определите молярную массу эквивалента металла, если 0,650 г его гидроксида образуют 1,425 г сернокислой соли.

Вычислите нормальную концентрацию 1 М раствора  $H_2SO_4$  в реакции:  $H_2SO_4 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaSO_4 + \dots$

13. В каком объёмном отношении нужно смешать 0,5 М раствор  $Na_2SO_3$  и 0,1 М раствор  $Na_2S$ , чтобы выход серы был максимальным? Какой объём 0,5 М раствора  $Na_2SO_3$  надо взять, чтобы получить 3,2 г серы?

14. Сколько миллилитров 0,02 Н раствора можно приготовить для реакции окисления-восстановления из 1 г перманганата калия, если он восстанавливается в реакции до  $MnO_2$ ? Сколько граммов  $MnO_2$  получится?

15. Мышьяк образует два оксида, из которых один содержит 65,2 мас. % As, а другой 75,7 мас. % As. Определите молярные массы эквивалентов мышьяка в обоих случаях. Напишите формулы этих оксидов.

Вычислите нормальную концентрацию 0,08 М раствора  $H_3AsO_3$ , в реакции:  $H_3AsO_3 + \dots \rightarrow AsH_3 + \dots$

16. Для растворения 16,9 г металла потребовалось 14,7 г серной кислоты. Определите молярную массу эквивалента металла и объём выделившегося водорода.

Вычислите молярную концентрацию 0,6 Н раствора  $H_3PO_4$  в реакции:  $H_3PO_4 + CaCl_2 \rightarrow CaHPO_4 + \dots$

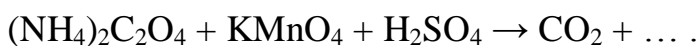
17. На восстановление 1,80 г оксида металла израсходовано 876 см<sup>3</sup> водорода (объём измерен при н.у.). Вычислите молярную массу эквивалента металла и его оксида.

Определите нормальную концентрацию 0,07 М раствора NaNO<sub>2</sub>, используемого в реакции:  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \dots$

18. При взаимодействии 5,95 г некоторого вещества с 2,75 г хлороводорода получается 4,40 г соли. Вычислите молярную массу эквивалента вещества и образовавшейся соли.

Определите молярную концентрацию 0,5 Н раствора H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, используемого в реакции:  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2 + \dots$

19. Какую массу оксалата аммония (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> можно окислить действием 50 см<sup>3</sup> 0,2 Н раствора перманганата калия в кислой среде?



Какой объём углекислого газа выделится в результате реакции?

20. Какую массу сероводорода можно окислить до свободной серы одним граммом йода?

Определите молярную концентрацию 0,02 Н раствора Na<sub>2</sub>S, используемого в реакции:  $\text{Na}_2\text{S} + \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \dots$

21. Какую массу сульфата железа (II) можно окислить в кислой среде с помощью 20 мл 0,1 Н раствора KMnO<sub>4</sub>?

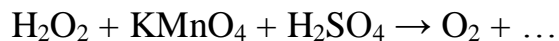
Определите нормальную концентрацию 0,09 М раствора FeSO<sub>4</sub>, используемого в реакции:  $\text{FeSO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \dots$

22. Соединение металла с водородом содержит 10 мас. % водорода. Определите молярную массу эквивалента металла и гидрида металла.

Вычислите нормальную концентрацию 0,7 М раствора MnSO<sub>4</sub>, который в ходе реакции окисляется до MnO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-иона.

23. Объём водорода, вытесненного из кислоты 1,8 г металла при 300 К и давлении 120 кПа, равен 4,16 л. Вычислите молярную массу эквивалента металла и определите, в каком объёме 0,3 Н раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> содержится необходимое для реакции количество кислоты.

24. Для получения 224 см<sup>3</sup> (при н.у.) кислорода по реакции:



потребовалось 200 см<sup>3</sup> раствора  $\text{KMnO}_4$  и 300 см<sup>3</sup> раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ .  
Определите молярную концентрацию раствора окислителя и нормальную концентрацию раствора восстановителя.

25. На восстановление 3,2 г оксида металла израсходовано 896 см<sup>3</sup> водорода, измеренного при нормальных условиях. Определите молярную массу эквивалента металла и его оксида.

Вычислите молярную концентрацию 0,1 Н раствора  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , принимающего участие в реакции:  $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_3\text{PO}_4 + \dots$

26. Определите объём 1 моль эквивалентов азота, измеренного при 700 К и давлении 30 МПа, если известно, что при образовании аммиака три объёма водорода соединяются с одним объёмом азота.

Вычислите нормальную концентрацию 0,3 М раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , принимающего участие в реакции:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$ .

27. Вычислите объём фосфина при нормальных условиях, который необходим для восстановления 250 см<sup>3</sup> 0,2 М раствора  $\text{KMnO}_4$  в кислой среде:  $\text{PH}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \dots$

Определите нормальную концентрацию 0,2 М раствора  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , принимающего участие в реакции:  $\text{K}_2\text{HPO}_4 + \text{AlCl}_3 \rightarrow \text{AlPO}_4 + \dots$

28. В каком объёмном отношении надо смешать 1 Н раствор  $\text{KBr}$  и 0,3 М раствор  $\text{KBrO}_3$  в кислой среде, чтобы выход брома был максимальным?

Сколько граммов брома можно получить, если взять 200 см<sup>3</sup> 0,3 М раствора  $\text{KBrO}_3$ ?

29. Определите молярную массу эквивалента металла, если 9 г его оксида образуют 11 г гидроксида.

Вычислите нормальную концентрацию 0,3 М раствора  $\text{KMnO}_4$ , принимающего участие в реакции:  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$

30. Каким объёмом 1 М раствора  $\text{KMnO}_4$  можно заменить 1 л 10 мас. % раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (плотность раствора  $1,08 \text{ г/см}^3$ ) в реакциях окисления-восстановления, протекающих в: а) кислой среде, б) щелочной среде?

## 2. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ

\* – при решении задач этого раздела, помеченных звездочкой, следует пользоваться таблицами плотностей водных растворов, приведённых в приложении. Если в таблицах нет значения плотности, точно соответствующей концентрации раствора, нужно применить метод интерполяции (см. с. 13).

### Пример 1

Какой объём 2,0 мас. % раствора  $\text{NaCl}$  и 14,0 мас. % раствора  $\text{NaCl}$  необходимо смешать для приготовления 150 мл 6,2 мас. % раствора этой соли?

#### Решение:

Решение задачи сводится к составлению уравнений материального баланса, согласно которым масса приготовленного раствора равна сумме масс составляющих его растворов, а масса растворённого вещества в приготовленном растворе равна сумме масс этого вещества в исходных растворах.

Пусть необходимый объём 14,0 мас. % раствора составляет  $V_1$  мл, а объём 2,0 мас. % раствора –  $V_2$  мл.

Для нахождения плотностей водных растворов хлорида натрия следует воспользоваться таблицей плотностей (Приложение, с. 118):

$c$ , мас. %	$\rho$ , $\text{г/см}^3$
2	1,012
6	1,041
7	1,049
14	1,101

В таблице нет значения плотности, точно соответствующей концентрации раствора (6,2 мас. %). Применяем метод интерполяции.

Найдём плотность 6,2 мас. % раствора NaCl: плотность 6,0 мас. % раствора отличается от плотности 7,0 мас. % на  $1,049 - 1,041 = 0,008$  г/см<sup>3</sup>.

Составляем пропорцию:

$$0,008 \text{ г/см}^3 \rightarrow 1 \%$$

$$x \text{ г/см}^3 \rightarrow 0,2 \%,$$

из которой находим:  $x = 0,0016$  г/см<sup>3</sup>. Таким образом, плотность 6,2 мас. % раствора равна  $1,041 + 0,0016 = 1,0426$  г/см<sup>3</sup>.

Составляем уравнения материального баланса:

$$V_1 \cdot 1,101 + V_2 \cdot 1,012 = 150 \cdot 1,0426, \quad (1)$$

$$V_1 \cdot 1,101 \cdot 0,14 + V_2 \cdot 1,012 \cdot 0,02 = 150 \cdot 1,0426 \cdot 0,062. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), получаем, что нужно смешать 49,71 мл 14,0 мас. % раствора NaCl ( $V_1$ ) и 100,45 мл 2,0 мас. % раствора NaCl ( $V_2$ ).

**Ответ:**  $V_1$  (14,0 мас. %) = 49,71 мл,  $V_2$  (2,0 мас. %) = 100,45 мл.

## Пример 2

Определить массу воды, в которой необходимо растворить 26,0 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  для получения 0,55 М раствора  $\text{BaCl}_2$  (плотность раствора 1,092 г/мл). Вычислить титр и моляльность полученного раствора.

**Решение:**

Определим содержание  $\text{BaCl}_2$  в полученном растворе. Для этого найдём содержание хлорида бария в кристаллогидрате. Молярная масса  $\text{BaCl}_2$  составляет 208 г/моль, а  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 244 г/моль. Соответственно в 26 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  содержится  $208 \cdot 26,0 / 244 = 22,16$  г  $\text{BaCl}_2$ , что составляет  $22,16 / 208 = 0,107$  моль.

Находим объём 0,55 М раствора  $\text{BaCl}_2$ :

$$c_M = \frac{n}{V}, \quad V = \frac{n}{c_M}, \quad V = 0,107 / 0,55 = 0,195 \text{ л.}$$

Масса раствора равна:  $m = V \cdot \rho = 195 \cdot 1,092 = 212,9$  г.

Находим массу воды, в которой необходимо растворить  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ :

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 212,9 - 26,0 = 186,9 \text{ г.}$$

Рассчитаем титр полученного раствора:

$$T = \frac{m_{\text{в-ва}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{22,16}{195} = 0,114 \text{ г/мл.}$$

Моляльность полученного раствора  $m$  равна:

$$m = \frac{n_{\text{в-ва}}}{m(\text{H}_2\text{O})}; \quad m = 0,107 \cdot 1000 / (212,9 - 22,16) = 0,561 \text{ моль/кг H}_2\text{O}.$$

**Ответ:**  $m(\text{H}_2\text{O}) = 186,9$  г;  $T = 0,114$  г/мл,  $m = 0,561$  моль/(кг  $\text{H}_2\text{O}$ ).

### Задания

31\*. К  $220 \text{ см}^3$  раствора, содержащего 15 мас. %  $\text{HNO}_3$ , добавлено  $50 \text{ см}^3$  воды. Вычислите молярную концентрацию, титр и концентрацию в массовых процентах полученного раствора.

32\*. Сколько граммов  $\text{KCl}$  надо добавить к  $200 \text{ см}^3$  19,1 мас. % раствора  $\text{KCl}$ , чтобы получить 21,0 мас. % раствор? Вычислите молярную долю  $\text{KCl}$  в исходном растворе и молярную концентрацию полученного раствора.

33. К какому объёму 0,22 М раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (плотность раствора  $1,010 \text{ г/см}^3$ ) следует добавить  $50 \text{ см}^3$  9,4 мас. % раствора ортофосфорной кислоты (плотность раствора  $1,050 \text{ г/см}^3$ ) для получения 5,0 мас. % раствора с плотностью, равной  $1,025 \text{ г/см}^3$ ? Вычислите моляльность и титр полученного раствора.

34\*. Сколько килограммов воды следует выпарить из двух тонн 42 мас. % раствора серной кислоты для получения 96 мас. % раствора? Определите объём полученного раствора, его плотность, титр и молярную концентрацию.

35. Для приготовления 1,19 М раствора хлорида кальция (плотность раствора  $1,101 \text{ г/см}^3$ ) взято 120 г кристаллогидрата  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Найдите объём полученного раствора, мольную долю  $\text{CaCl}_2$  в растворе, титр и моляльность раствора.

36\*. Сколько  $\text{cm}^3$  воды и раствора, содержащего 9,5 мас. % уксусной кислоты, потребуется для приготовления 300  $\text{cm}^3$  раствора, содержащего 4,5 мас. %  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ? Вычислите молярную концентрацию, титр и моляльность полученного раствора, а также мольное отношение  $\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_3\text{COOH}$ .

37. Сколько граммов глауберовой соли  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и 10 мас. % раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (плотность раствора 1,091  $\text{г/см}^3$ ) надо взять, чтобы получить 1 л 16 мас. % раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (плотность раствора 1,151  $\text{г/см}^3$ )? Вычислите мольную долю  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в полученном растворе и титр раствора, а также мольное отношение  $\text{H}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

38\*. Смешали 2 л 25 мас. % раствора  $\text{NaOH}$  и 3 л 35 мас. % раствора  $\text{NaOH}$ . Какова молярная концентрация, титр и концентрация в массовых процентах полученного раствора?

39. До какого объёма надо упарить 500 мл 1 М раствора  $\text{NaNO}_3$ , чтобы получить 20 мас. % раствор  $\text{NaNO}_3$  (плотность раствора 1,143  $\text{г/см}^3$ )? Вычислите молярную концентрацию, титр и моляльность полученного раствора?

40\*. В каком объёме воды надо растворить 5 л хлороводорода (объём измерен при н.у.), чтобы получить 15 мас. % раствор  $\text{HCl}$ ? Вычислите молярную концентрацию, моляльность и мольную долю  $\text{HCl}$  в полученном растворе.

41\*. Какой объём 19 мас. % раствора  $\text{KOH}$  следует добавить к 50  $\text{cm}^3$  воды для получения 11,5 мас. % раствора  $\text{KOH}$ ? Вычислите молярную концентрацию, моляльность и титр полученного раствора.

42\*. Сколько граммов  $\text{NaOH}$  и какой объём 9,3 мас. % раствора  $\text{NaOH}$  надо взять для получения 100  $\text{cm}^3$  15,5 мас. % раствора? Вычислите молярную концентрацию, титр и моляльность полученного раствора.

43\*. Сколько  $\text{см}^3$  11 мас. % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 20 мас. % раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  потребуется для приготовления 300  $\text{см}^3$  15 мас. % раствора? Вычислите молярную концентрацию и моляльность полученного раствора, мольную долю  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в исходном 11 мас. % растворе.

44\*. Из 400  $\text{см}^3$  15 мас. % раствора  $\text{KCl}$  выпариванием удалили 50 г воды. Чему равна концентрация (массовый процент, молярность, моляльность и титр) хлорида калия в оставшемся растворе?

45. В какой массе воды нужно растворить 40 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , чтобы получить 0,8 М раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (плотность раствора 1,080  $\text{г/см}^3$ )? Вычислите моляльность и титр раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

46\*. Сколько  $\text{см}^3$  воды надо добавить к 400  $\text{см}^3$  15,5 мас. % раствора  $\text{HCl}$ , чтобы получить 2,5 мас. % раствор? Вычислите мольную долю  $\text{HCl}$  в полученном растворе, молярную концентрацию и титр исходного раствора, а также мольное отношение  $\text{H}_2\text{O}:\text{HCl}$ .

47\*. В каком объёме 2,5 мас. % раствора  $\text{KCl}$  надо растворить 15 г  $\text{KCl}$ , чтобы получить 17,5 мас. % раствор? Вычислите молярную концентрацию, титр и моляльность полученного раствора.

48\*. К какому объёму 10 мас. % раствора  $\text{HNO}_3$  следует добавить 100  $\text{см}^3$  40 мас. % раствора  $\text{HNO}_3$  для получения 20 мас. % раствора? Вычислите молярную концентрацию, титр и моляльность 10 мас. % раствора  $\text{HNO}_3$ .

49. При выпаривании 450  $\text{см}^3$  0,97 М раствора сульфата аммония (плотность раствора 1,069  $\text{г/см}^3$ ) получили 20 мас. % раствор (плотность раствора 1,115  $\text{г/см}^3$ ). Сколько граммов воды выпарили и каков объём полученного раствора, его молярная концентрация и титр?

50. Найти массу воды и массу  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , необходимые для приготовления 700  $\text{см}^3$  1,41 М раствора  $\text{CaCl}_2$  (плотность раствора 1,120  $\text{г/см}^3$ ). Определите концентрацию раствора в массовых процентах, а также моляльность и титр раствора.



51\*. В 5 л воды растворили 105 л аммиака, измеренного при нормальных условиях. Вычислите концентрацию  $\text{NH}_3$  в полученном растворе в массовых процентах, мольную долю  $\text{NH}_3$  в растворе и титр.

52. Сколько граммов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  надо добавить к 600 см<sup>3</sup> 6 мас. % раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (плотность раствора 1,053 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 1,3 М раствор (плотность раствора 1,151 г/см<sup>3</sup>)? Вычислите титр и моляльность полученного раствора.

53. До какого объёма надо упарить 550 мл 11 мас. % раствора  $\text{NaOH}$  (плотность раствора 1,120 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 4,85 М раствор (плотность раствора 1,180 г/см<sup>3</sup>)? Вычислите мольную долю  $\text{NaOH}$  и мольное отношение компонентов в полученном растворе.

54. В каком объёме 0,6 М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (плотность раствора 1,060 г/см<sup>3</sup>) надо растворить 10 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , чтобы получить 15,2 мас. % раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (плотность раствора 1,160 г/см<sup>3</sup>)? Вычислите молярную концентрацию и титр полученного раствора.

55\*. В 300 см<sup>3</sup> воды растворено 12 л  $\text{HCl}$  (объём измерен при нормальных условиях). Вычислите молярную концентрацию, моляльность и титр полученного раствора.

56. Сколько см<sup>3</sup> воды и раствора ортофосфорной кислоты, имеющего титр 1,00 г/мл и плотность 1,490 г/см<sup>3</sup>, потребуется для приготовления 1,5 л 30 мас. % раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , имеющего плотность 1,180 г/см<sup>3</sup>? Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

57. Какой объём 2,0 М раствора  $\text{HClO}_4$  следует добавить к 500 г воды для получения 1,4 М раствора  $\text{HClO}_4$ ? Плотности растворов равны соответственно 1,115 и 1,080 г/см<sup>3</sup>. Определите мольную долю  $\text{HClO}_4$  в полученном растворе и его титр.

58. Сколько см<sup>3</sup> воды надо добавить к 75 см<sup>3</sup> 3,3 М раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (плотность раствора 1,10 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 1,3 М раствор  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (плотность раствора 1,04 г/см<sup>3</sup>)? Вычислите моляльность и титр полученного раствора.

59\*. Сколько см<sup>3</sup> 17 мас. % раствора КОН и 31 мас. % раствора КОН потребуется для приготовления 2 л 5,6 М раствора (плотность раствора 1,240 г/см<sup>3</sup>)? Вычислите мольную долю КОН в полученном растворе, титр и моляльность 17 мас. % раствора КОН.

60. Какой объём 0,25 М раствора NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> следует добавить к 150 г воды для получения 0,5 мас. % раствора NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>? Плотности 0,25 М и 0,5 мас. % растворов равны соответственно 1,006 г/см<sup>3</sup> и 1,001 г/см<sup>3</sup>. Определите мольную долю NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> в исходном растворе, его титр и моляльность.

### 3. КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА. КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА И ФОРМЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛАКОВ

#### Пример 1

А. Каковы значения квантового числа  $l$  для следующих состояний электрона:  $4p$ ,  $5d$ ,  $3s$ ,  $5f$ ,  $7p$ ,  $4f$ ,  $3d$ ?

**Решение:**

Побочное (орбитальное) квантовое число  $l$  принимает значение от 0 до  $(n - 1)$ . Независимо от величины  $n$  приняты следующие обозначения:

Обозначение	$s$	$p$	$d$	$f$
Величина $l$	0	1	2	3

Поэтому для электронов  $4p$ ,  $5d$ ,  $3s$ ,  $5f$ ,  $7p$ ,  $4f$ ,  $3d$  квантовое число  $l$  принимает следующие значения:

Электрон	$4p$	$5d$	$3s$	$5f$	$7p$	$4f$	$3d$
Величина $l$	1	2	0	3	1	3	2

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны в состоянии  $5f^7$ .

**Решение:**

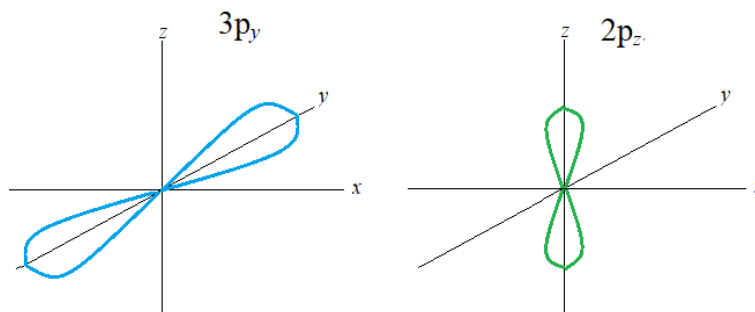
Для всех семи  $5f^7$ -электронов главное квантовое число равно 5, а побочное равно 3. Магнитное квантовое число может принимать значения от  $-3$  до  $+3$ , а спиновые квантовые числа согласно правилу Хунда одинаковы и равны  $+1/2$  (или  $-1/2$ ). В результате получаем:

Квантовое число	$n$	$l$	$m_l$	$m_s$
Электрон 1	5	3	-3	+1/2
Электрон 2	5	3	-2	+1/2
Электрон 3	5	3	-1	+1/2
Электрон 4	5	3	0	+1/2
Электрон 5	5	3	1	+1/2
Электрон 6	5	3	2	+1/2
Электрон 7	5	3	3	+1/2

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3p_y$  и  $2p_z$ .

**Решение:**

Эти орбитали имеют форму «гантели», при этом  $3p_y$ -орбиталь больше по размеру. Орбитали направлены по осям  $y$  ( $3p_y$ ) и  $z$  ( $2p_z$ ):



### Пример 2

А. Какие значения квантовых чисел  $l$  и  $m_l$  возможны для  $5f$ -состояния электрона?

**Решение:**

Квантовое число  $l$  принимает значение от 0 до  $(n - 1)$ , а квантовое число  $m_l$  принимает значение от  $-l$  до  $+l$ . В результате получаем для  $5f$ -состояния:  $l=3$ ,  $m_l = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ .

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома молибдена в состоянии  $4d^5 5s^1$ .

**Решение:**

Для  $d$ -электронов  $l=2$ , для  $s$ -электрона  $l=0$ . В результате получаем:

Квантовое число	$n$	$l$	$m_l$	$m_s$
$4d$ -электрон 1	4	2	-2	+1/2
$4d$ -электрон 2	4	2	-1	+1/2
$4d$ -электрон 3	4	2	0	+1/2
$4d$ -электрон 4	4	2	1	+1/2
$4d$ -электрон 5	4	2	2	+1/2
$5s$ -электрон	5	0	0	+1/2

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_z$  и  $3s$  состояниям электрона?

**Решение:**

Для  $2p_z$ -электрона имеется одна шарообразная узловая поверхность, проходящая на бесконечно большом расстоянии от ядра, вторая – плоская узловая поверхность, располагающаяся в плоскости  $xy$ . Для  $3s$ -электрона имеются три шарообразные узловые поверхности: одна шарообразная узловая поверхность, проходящая на бесконечно большом расстоянии от ядра и две, проходящие на расстояниях от ядра, отвечающих двум минимумам электронной плотности.

### Задания

61. А. Какие значения квантовых чисел  $m_l$  и  $m_s$  возможны для  $2p$ -состояния электрона?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома натрия (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $1s$  и  $3d_{x^2-y^2}$  состояниям электрона?

62. А. Укажите максимально возможное число электронов в  $s$ -,  $d$ -оболочках атома. Ответ обоснуйте.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома цинка (основное состояние).

В. Приведите график функции радиального распределения вероятности нахождения электрона в атоме для состояний  $2p$  и  $3p$ . Укажите общее число и вид узловых поверхностей для орбиталей  $2p$  и  $3p$ .

63. А. Какие значения квантовых чисел  $m_l$  и  $m_s$  возможны для  $3p$ -состояния электрона?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома кобальта (основное состояние).

В. Приведите график функции радиального распределения вероятности нахождения электрона в атоме водорода для состояний  $3s$  и  $3p$ . Укажите общее число и вид узловых поверхностей для орбиталей  $3s$  и  $3p$ .

64. А. Сколько орбиталей в атоме могут характеризоваться значением квантового числа  $l = 3$  при фиксированном значении квантового числа  $n$ .

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома хрома (основное состояние).

В. Приведите график функции радиального распределения вероятности нахождения электрона в атоме водорода для состояний  $3p$  и  $2s$ . Укажите общее число и вид узловых поверхностей орбиталей  $3p$  и  $2s$ .

65. А. Каков физический смысл побочного квантового числа?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $f$ -электроны атома гольмия (основное состояние).

В. Приведите график функции радиального распределения вероятности нахождения электрона в атоме водорода для состояний  $1s$  и  $2p$ . Укажите общее число узловых поверхностей для орбиталей  $1s$  и  $2p$ .

66. А. Какие из приведённых ниже выражений для волновых функций электрона в атоме водорода невозможны и почему?

( $r$  – расстояние электрона от ядра,  $K$  – константа)

$\Psi = Ke^{-r}$ ;  $\Psi = Ke^r$ ;  $\Psi = K/r$ ;  $\Psi = K \arcsin r$ .

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $f$ -электроны атома европия (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_z$  и  $3d_{x^2-y^2}$  состояниям электрона?

67. А. Сколько электронов в атоме стронция (основное состояние) имеют значение  $l = 0$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома селена (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_x$  и  $3d_{yz}$  состояниям электрона?

68. А. Какую характеристику движения электрона определяет спиновое квантовое число?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома кремния (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_y$  и  $3d_{xz}$  состояниям электрона?

69. А. Сколько электронов атома теллура (основное состояние) имеют значение квантового числа  $l = 1$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома сурьмы (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_x$  и  $3d_{xy}$  состояниям электрона?

70. А. Сколько электронов атома марганца (основное состояние) имеют значение квантового числа  $l = 1$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома полония (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_z$  и  $3d_{yz}$  состояниям электрона?

71. А. Какую характеристику движения электрона определяет спиновое квантовое число?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома углерода (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_y$  и  $3d_{xy}$  состояниям электрона?

72. А. Какое квантовое число обозначается буквами  $s, p, d, f$ ?

Какие его значения соответствуют этим буквам?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома осмия (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2s$  и  $3d_{z^2}$  состояниям электрона?

73. А. Какую характеристику движения электрона определяет магнитное квантовое число?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома азота (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2p_x$  и  $3d_{xy}$  состояниям электрона?

74. А. Каковы значения квантового числа  $l$  для следующих состояний электрона:  $3p, 3d, 4s, 5f, 2p, 4f, 5d$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома кислорода (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $2s$  и  $3d_{yz}$  состояниям электрона?

75. А. Какие значения квантового числа  $m_l$  возможны для  $4f$ -состояния электрона?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома молибдена (основное состояние).

В. Какие узловые поверхности отвечают  $3s$  и  $3d_{xz}$  состояниям электрона?

76. А. Какие значения квантового числа  $m_l$  возможны для  $4d$ -состояния электрона?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома фтора (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{xz}$  и  $2p_x$ .

77. А. Сколько орбиталей в атоме могут характеризоваться значением квантового числа  $n = 3$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома магния (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{z^2}$  и  $2s$ .

78. А. Каков физический смысл побочного квантового числа?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома ниобия (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{zx}$  и  $3s$ .

79. А. Каков физический смысл главного квантового числа?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома сурьмы (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{z^2}$  и  $3d_{yz}$ .

80. А. Укажите максимальное число электронов в атоме, обладающих определённым значением главного квантового числа.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома свинца (основное состояние).



В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{x^2-y^2}$  и  $3d_{xy}$ .

81. А. В приведённом ряду укажите обозначения состояния электронов, которые невозможны:  $1s$ ,  $3d$ ,  $2d$ ,  $4f$ ,  $5f$ ,  $1p$ ,  $3p$ . Ответ обоснуйте.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома ксенона (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2p_z$  и  $3d_{xz}$ .

82. А. Сформулируйте правило Хунда и приведите иллюстрирующий его пример.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны атома алюминия (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2p_x$  и  $3d_{yz}$ .

83. А. Каковы значения квантового числа  $l$  для следующих состояний электрона:  $3p$ ,  $3d$ ,  $4s$ ,  $5f$ ,  $2s$ ,  $4d$ ,  $4f$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами электроны внешнего слоя атома германия (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{x^2-y^2}$  и  $2p_y$ .

84. А. Укажите максимально возможное число электронов в  $p$ - и  $f$ -оболочках атома. Ответ обоснуйте.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома никеля (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2p_x$  и  $3d_{z^2}$ .

85. А. Перечислите квантовые числа электронов в атоме и укажите интервалы их изменения.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома кобальта (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3d_{xz}$  и  $2p_x$ .

86. А. Каковы значения квантового числа  $l$  для следующих состояний электрона:  $1s$ ,  $3s$ ,  $4s$ ,  $4f$ ,  $4p$ ,  $3d$ ,  $4d$ ?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $f$ -электроны атома самария (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2p_x$  и  $3s$ .

87. А. Расположите орбитали атома водорода в порядке увеличения их энергии:  $3d$ ,  $1s$ ,  $5p$ ,  $2s$ ,  $4f$ .

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома железа (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2p_x$  и  $2s$ .

88. А. В приведенном ряду укажите состояния электронов, которые невозможны:  $2s$ ,  $2p$ ,  $3p$ ,  $3f$ ,  $2d$ ,  $5f$ ,  $6p$ . Ответ обоснуйте.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $f$ -электроны атома тербия (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2p_z$  и  $1s$ .

89. А. Какие характеристики состояния электрона в атоме определяет главное квантовое число?

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $d$ -электроны атома марганца (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $3s$  и  $2p_y$ .

90. А. Укажите максимально возможное число электронов в  $s$ - и  $f$ -оболочках атома. Ответ обоснуйте.

Б. Охарактеризуйте квантовыми числами  $f$ -электроны атома диспрозия (основное состояние).

В. Изобразите формы электронных облаков для состояний  $2s$  и  $2p_z$ .

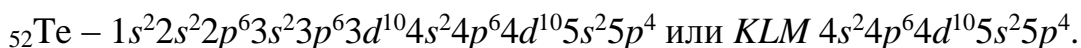
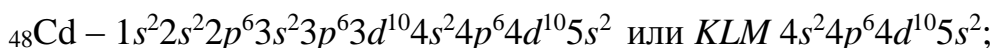
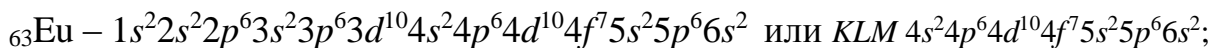
## 4. ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОРМУЛЫ АТОМОВ И ИОНОВ

### Пример

Напишите электронные формулы атомов элементов с зарядом ядра 63, 48, 52. Приведите примеры атомов элементов, имеющих сходную электронную структуру. К какому типу элементов (*s*, *p*, *d*, *f*) они относятся? Какие степени окисления возможны для атома элемента, приведённого в задании последним? Напишите электронные формулы наиболее устойчивых «ионов» этого элемента.

### Решение:

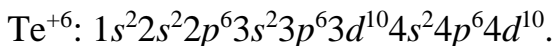
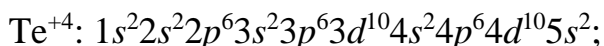
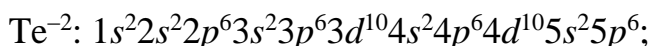
Электронные формулы элементов:



Сходную электронную структуру имеют:  ${}_{63}\text{Eu}$  и  ${}_{95}\text{Am}$ ;  ${}_{48}\text{Cd}$ ,  ${}_{30}\text{Zn}$ ,  ${}_{80}\text{Hg}$  и  ${}_{112}\text{Cn}$ ;  ${}_{52}\text{Te}$ ,  ${}_{16}\text{S}$ ,  ${}_{34}\text{Se}$ ,  ${}_{84}\text{Po}$  и  ${}_{116}\text{Lv}$ .

${}_{63}\text{Eu}$  – *f*-элемент;  ${}_{48}\text{Cd}$  – *d*-элемент;  ${}_{52}\text{Te}$  – *p*-элемент.

Стоящий в подгруппе кислорода теллур проявляет чётные степени окисления в соединениях: –2, 0, +4, +6. Наиболее устойчивые «ионы» этого элемента:



### Задания

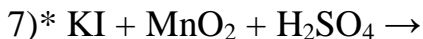
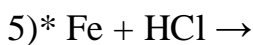
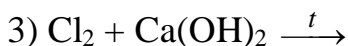
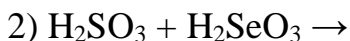
Напишите электронные формулы атомов элементов с зарядом ядра А, Б, В. Приведите примеры атомов элементов, имеющих сходную электронную структуру. К какому типу элементов (*s*, *p*, *d*, *f*) они относятся? Какие степени окисления возможны для атома элемента, приведённого в задании последним? Напишите электронные формулы наиболее устойчивых «ионов» этого элемента.

Номер задания	Порядковый номер элемента (заряд ядра)		
	А	Б	В
91	30	35	81
92	13	44	83
93	7	59	73
94	17	63	24
95	43	56	75
96	10	93	35
97	47	65	52
98	8	69	74
99	38	57	33
100	14	20	41
101	48	60	50
102	92	46	34
103	71	12	21
104	80	61	32
105	87	95	26
106	64	79	53
107	54	11	28
108	94	15	72
109	9	67	82
110	19	58	39
111	66	77	31
112	88	68	27
113	45	90	51
114	62	86	29
115	78	70	49
116	36	91	25
117	96	18	42
118	16	89	22
119	76	84	40
120	85	37	23

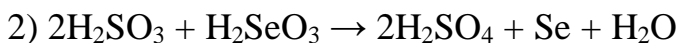
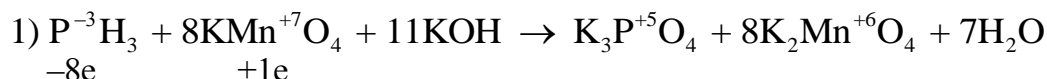
## 5. РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ

### Пример 1

А. Напишите уравнения реакций окисления-восстановления. Отметьте реакцию диспропорционирования и реакцию внутримолекулярного окисления-восстановления.

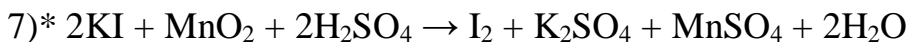
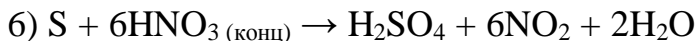
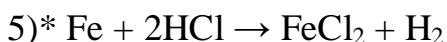


**Решение:** (для реакции (1) приведён пример подстрочного баланса электронов)



3)  $6\text{Cl}_2 + 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t} 5\text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{ClO}_3)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  – реакция диспропорционирования

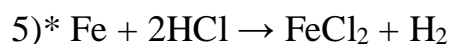
4)  $4\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \xrightarrow{t} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 12\text{NO}_2 + 3\text{O}_2$  – реакция внутримолекулярного окисления-восстановления



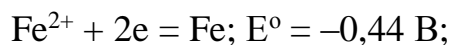
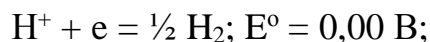
Используя таблицу стандартных электродных потенциалов (Приложение, с. 141), подтвердите расчетом возможность протекания двух реакций, отмеченных в задании знаком \*.

**Решение:**

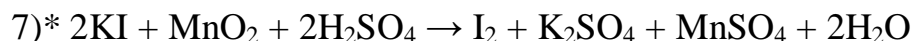
$E^\circ_{\text{реакции}} = E^\circ_{\text{окисл}} - E^\circ_{\text{восст}}$ ; если  $E^\circ_{\text{реакции}} > 0$ , то реакция протекает; если  $E^\circ_{\text{реакции}} < 0$ , то реакция самопроизвольно не протекает.



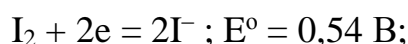
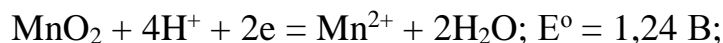
Электродные потенциалы:



$E^\circ_{\text{реакции}} = E^\circ_{\text{окисл}} - E^\circ_{\text{восст}} = 0,00 - (-0,44) = +0,44 \text{ В}$ . Реакция идет.



Электродные потенциалы:

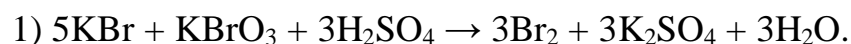


$E^\circ_{\text{реакции}} = E^\circ_{\text{окисл}} - E^\circ_{\text{восст}} = 1,24 - 0,54 = +0,70 \text{ В}$ . Реакция идет.

Б. Определите фактор эквивалентности и молярную массу эквивалента окислителя и восстановителя (не являющихся одновременно и средой, в которой протекает реакция) в трёх межмолекулярных реакциях окисления-восстановления (на выбор), **не имеющих** в вашем варианте.

**Решение:**

Фактор эквивалентности равен  $1/n$ , где для окислительно-восстановительных реакций  $n$  – число электронов, принимаемых одной молекулой окислителя, или число электронов, отдаваемых одной молекулой восстановителя. Молярная масса эквивалента равна молярной массе, умноженной на фактор эквивалентности.

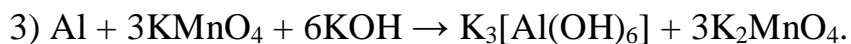


Фактор эквивалентности окислителя ( $\text{KBrO}_3$ ) равен  $1/5$ ; фактор эквивалентности восстановителя ( $\text{KBr}$ ) равен 1. Молярная масса эквивалента окислителя ( $\text{KBrO}_3$ ) равна  $167 \cdot 1/5 = 33,4 \text{ г/(моль экв.)}$ ; молярная масса эквивалента восстановителя ( $\text{KBr}$ ) равна  $119 \cdot 1 = 119 \text{ г/(моль экв.)}$ .



Фактор эквивалентности окислителя ( $\text{O}_2$ ) равен  $1/4$ ; фактор эквивалентности восстановителя ( $\text{MnO}_2$ ) равен  $1/2$ . Молярная масса

эквивалента окислителя ( $O_2$ ) равна  $32 \cdot 1/4 = 8$  г/(моль экв.); молярная масса эквивалента восстановителя ( $MnO_2$ ) равна  $55 \cdot 1/2 = 27,5$  г/(моль экв.).



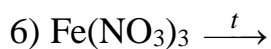
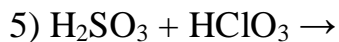
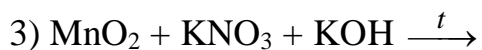
Фактор эквивалентности окислителя ( $KMnO_4$ ) равен 1; фактор эквивалентности восстановителя ( $Al$ ) равен  $1/3$ . Молярная масса эквивалента окислителя ( $KMnO_4$ ) равна  $158 \cdot 1 = 158$  г/(моль экв.); молярная масса эквивалента восстановителя ( $Al$ ) равна  $27 \cdot 1/3 = 9$  г/(моль экв.).

### Задания

А. Напишите уравнения реакций окисления-восстановления. Отметьте реакцию диспропорционирования и реакцию внутримолекулярного окисления-восстановления. Используя таблицу стандартных электродных потенциалов (Приложение, с. 141), подтвердите расчётом возможность протекания двух реакций, отмеченных в задании знаком \*.

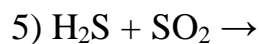
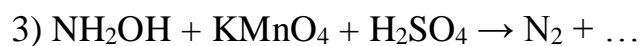
Б. Определите фактор эквивалентности и молярную массу эквивалента окислителя и восстановителя (не являющихся одновременно и средой, в которой протекает реакция) в трёх межмолекулярных реакциях окисления-восстановления (на выбор), **не имеющих** в вашем варианте.

121.

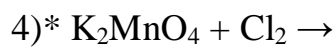
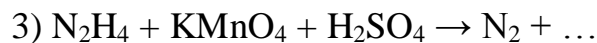
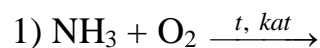


122.

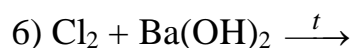
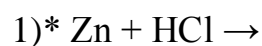




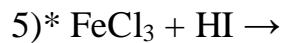
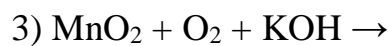
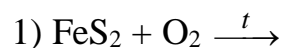
123.



124.

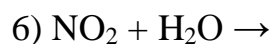
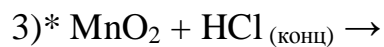
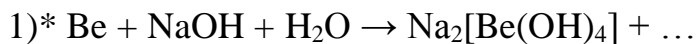


125.

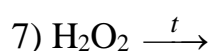
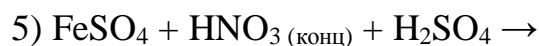
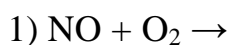




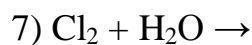
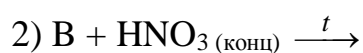
126.



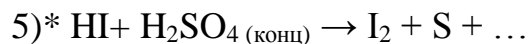
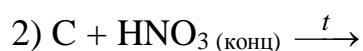
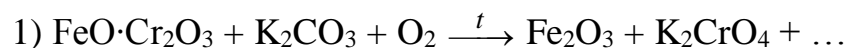
127.



128.

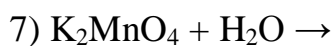
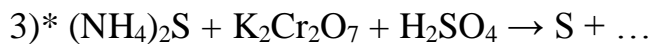
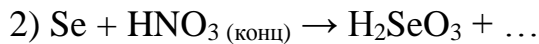
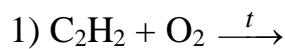


129.

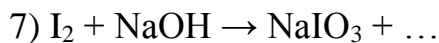
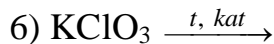
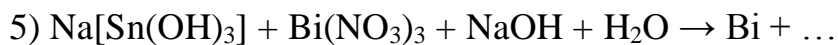
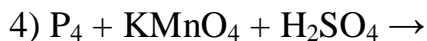
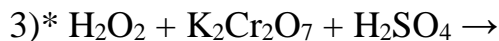
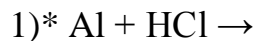




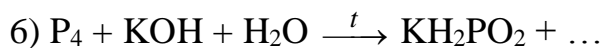
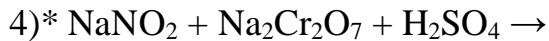
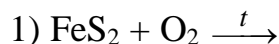
130.



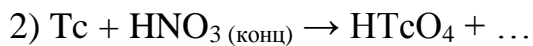
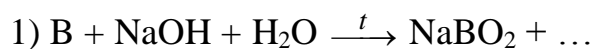
131.

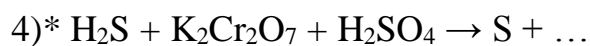


132.

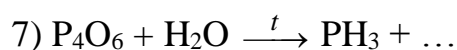
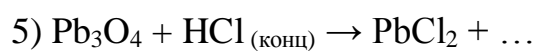
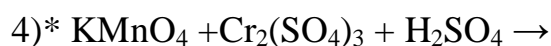
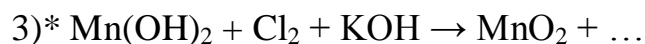
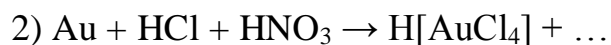
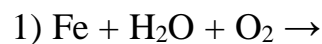


133.

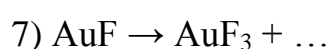
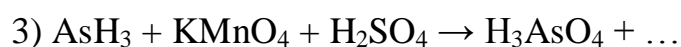




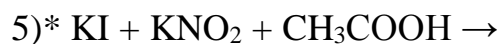
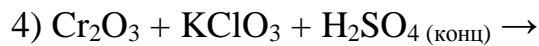
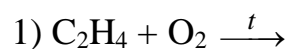
134.



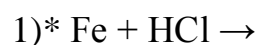
135.

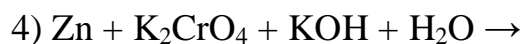


136.

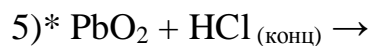
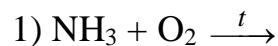


137.

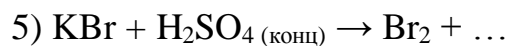
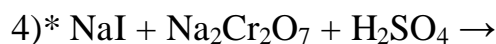
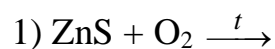




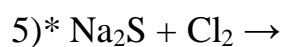
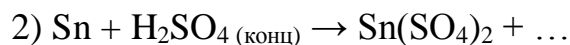
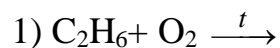
138.



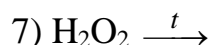
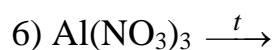
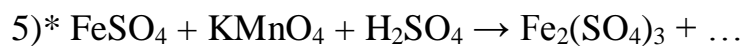
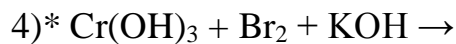
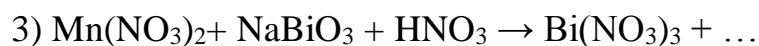
139.



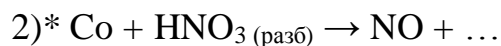
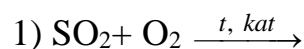
140.



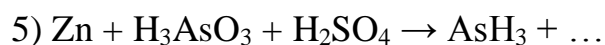
141.



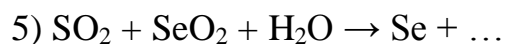
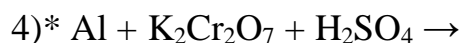
142.



143.

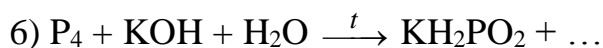


144.

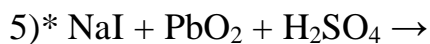
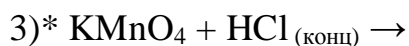
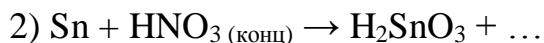




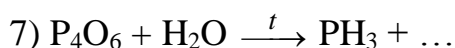
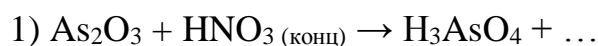
145.



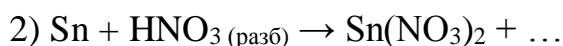
146.

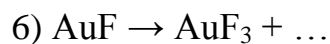
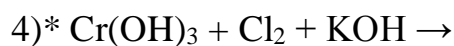


147.

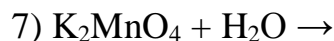
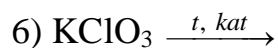
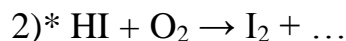


148.

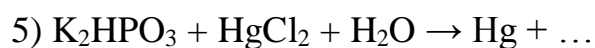
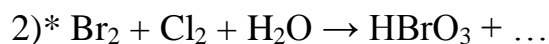




149.



150.

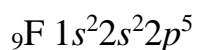
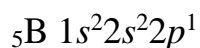


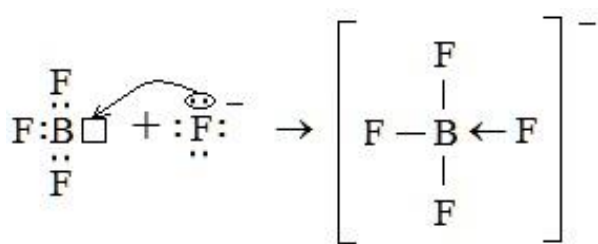
## 6. КОВАЛЕНТНАЯ СВЯЗЬ. ГИБРИДИЗАЦИЯ. $\sigma$ - И $\pi$ -СВЯЗИ

### Пример 1

Укажите количество связей в ионе  $\text{BF}_4^-$ , образованных по донорно-акцепторному механизму.

**Решение:**





По донорно-акцепторному механизму образована **1 связь**.

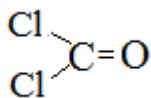
### Пример 2

Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{COCl}_2$  и  $\text{CH}_3\text{--C}\equiv\text{C--H}$ .

**Решение:**

#### $\text{COCl}_2$

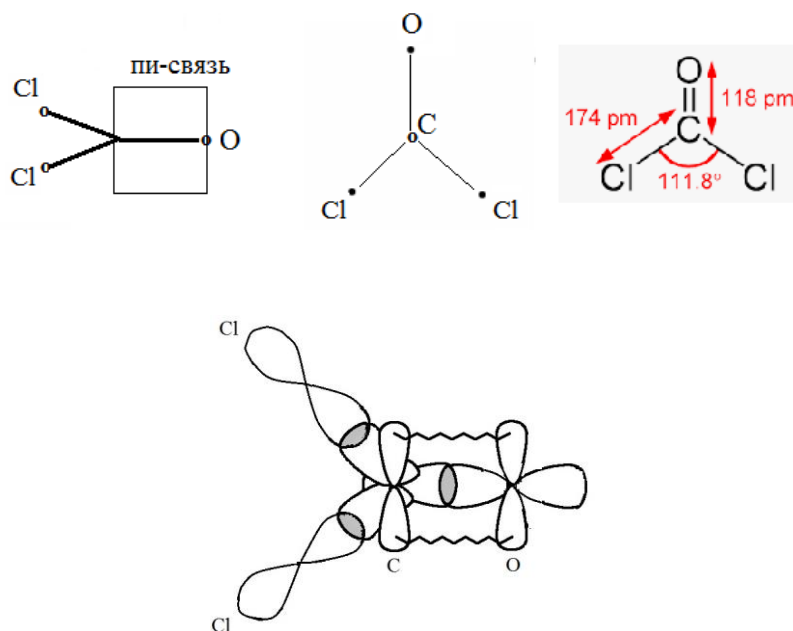
1. Графическая формула молекулы:



В молекуле **три  $\sigma$ -связи** и **одна  $\pi$ -связь**

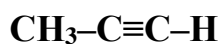
2. Гибридизация  $sp^2$ .

3. Три гибридных орбитали атома углерода участвуют в образовании трех  $\sigma$ -связей, а один  $p$ -электрон – в образовании  $\pi$ -связи с атомом кислорода, которая располагается под углом  $90^\circ$  к плоскости молекулы.

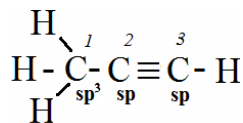


4. Молекула  $\text{COCl}_2$  – **плоский треугольник; полярная**.





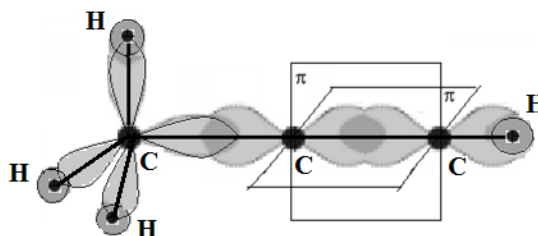
1. Графическая формула молекулы:



В молекуле **шесть**  $\sigma$ -связей и **две**  $\pi$ -связи.

2. Гибридизация  $\text{sp}^3$  у первого атома углерода и  $\text{sp}$  – у второго и третьего атомов углерода.

3. Две гибридных орбитали второго и третьего атомов углерода участвуют в образовании двух  $\sigma$ -связей и два  $p$ -электрона – в образовании двух  $\pi$ -связей, которые располагается под углом  $90^\circ$  друг к другу.

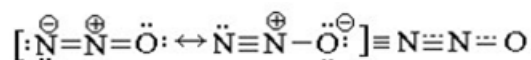
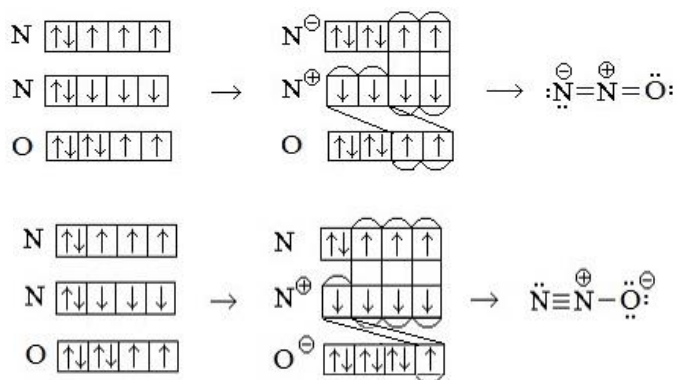


4. Молекула **полярная**.

### Пример 3

Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Решение:**



Кратность связи (КС):

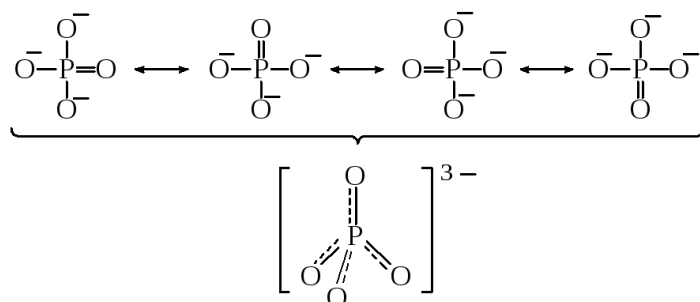
$$\text{КС (N--N)} = (2+3)/2 = 2,5$$

$$\text{КС (N--O)} = (2+1)/2 = 1,5$$

### Пример 4

Изобразите валентные схемы для молекулярного иона  $\text{PO}_4^{3-}$ .

**Решение:**



Кратность связи:  $\text{КС} = 5/4 = 1 \frac{1}{4}$ .

### Задания

150. А. Укажите количество связей в ионе  $\text{SiF}_6^{2-}$ , образованных по донорно-акцепторному механизму.

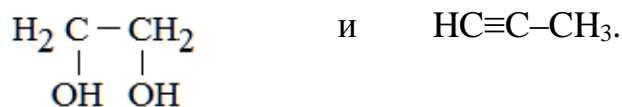
Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CO}_2$  и  $\text{CCl}_3\text{COOH}$ .

151. А. Какова геометрическая форма молекулы  $\text{AX}_5$ , если валентные орбитали атома А находятся в  $dsp^3$ -гибридном состоянии.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{COOH}$  и  $\text{BCl}_3$ .

152. А. Укажите количество связей в молекуле  $\text{Be}_2\text{Cl}_4$ , образованных по донорно-акцепторному механизму.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах



154. А. Какой тип гибридизации валентных орбиталей атома А отвечает плоскому расположению связей в молекуле типа  $\text{AX}_3$ ?

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

155. А. Укажите количество связей в ионе  $\text{AlH}_4^-$ , образованных по донорно-акцепторному механизму.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_6\text{H}_6$  и  $\text{CO}_2$ .

156. А. Какой вид гибридизации валентных орбиталей атома А отвечает линейному расположению связей в молекуле типа  $\text{AX}_2$ ?

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_3\text{CHO}$  и  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

157. А. Какой вид гибридизации валентных орбиталей атома А отвечает октаэдрическому расположению связей в молекуле типа  $\text{AX}_6$ ?

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  и  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

158. А. Укажите количество связей в молекуле  $\text{Al}_2\text{I}_6$  образованных по донорно-акцепторному механизму.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CS}_2$  и  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

159. А. Какой вид гибридизации валентных орбиталей атома А отвечает квадратному расположению связей в молекулах типа  $\text{AX}_4$ ?

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_3\text{OH}$  и  $\text{COS}$ .

160. А. Укажите количество связей в ионе  $\text{BH}_4^-$ , образованных по донорно-акцепторному механизму.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{HCN}$  и  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ .

161. А. Изобразите форму  $sp$ -гибридных орбиталей и укажите направленность гибридных электронных облаков в пространстве.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_3\text{COH}$  и  $\text{SiF}_4$ .

162. А. Изобразите форму  $sp^2$ -гибридных орбиталей и укажите направленность гибридных электронных облаков в пространстве.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$  и  $\text{BF}_3$ .

163. А. Изобразите форму  $sp^3$ -гибридных орбиталей и укажите направленность гибридных электронных облаков в пространстве.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$  и  $\text{CS}_2$ .

164. А. Изобразите схему перекрывания  $s$ -орбиталей при образовании  $\sigma$ -связи.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{HCOOH}$  и  $\text{SiH}_4$ .

165. А. Изобразите схему перекрывания  $p$ -орбиталей при образовании  $\sigma$ -связи.

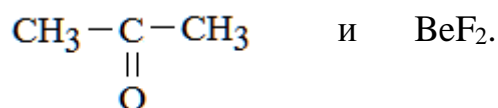
Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$  и  $\text{HCHO}$ .

166. А. Изобразите схему перекрывания  $s$ - и  $p$ -орбиталей при образовании  $\sigma$ -связи.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  и  $\text{PF}_3$ .

167. Изобразите схему перекрывания  $d$ -орбиталей при образовании  $\pi$ -связи.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах



168. А. Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{HN}_3$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{Cl}$ .

169. А. Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{SO}_3$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl}$  и  $\text{CH}_4$ .

170. А. Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{SO}_2$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  и  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

171. А. Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{HNO}_3$ .

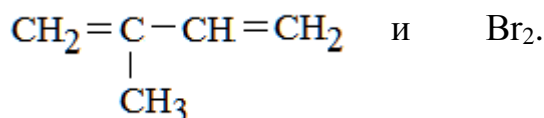
Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$  и  $\text{PH}_3$ .

172. А. Изобразите валентные схемы для иона  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$  и  $\text{NH}_3$ .

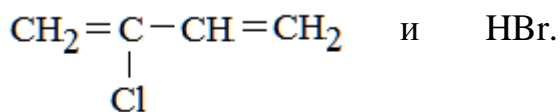
173. А. Изобразите валентные схемы для иона  $\text{SO}_3^{2-}$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах



174. А. Изобразите валентные схемы для иона  $\text{N}_3^-$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах



175. А. Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{HN}_3$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{ClCH}_2\text{COOH}$  и  $\text{Na}_2$ .

176. А. Изобразите валентные схемы для молекулы  $\text{NO}_2$ .

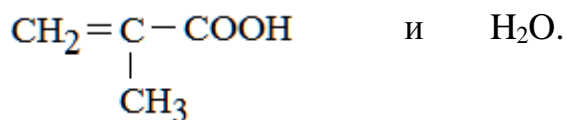
Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  и  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ .

177. А. Изобразите валентные схемы для иона  $\text{NO}_2^-$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$  и  $\text{HF}$ .

178. А. Изобразите валентные схемы для иона  $\text{NO}_3^-$ .

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах



179. А. Какой вид гибридизации валентных орбиталей атома А отвечает тетраэдрическому расположению связей в молекуле типа  $\text{AX}_4$ ?

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$  и  $\text{CHCl}_3$ .

180. А. Укажите количество связей в ионе  $\text{NH}_4^+$ , образованных по донорно-акцепторному механизму.

Б. Изобразите схемы перекрывания орбиталей при образовании  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CON}$  и  $\text{AsCl}_3$ .

## 7. МЕТОД ГИЛЛЕСПИ

### Обозначения в методе Гиллеспи

$\text{AX}_n\text{E}_m$  – представление химической формулы молекулы (иона):

А – центральный атом,

Х – лиганд, с которым центральный атом образует химическую связь, т.е. даёт связывающие электронные пары (другой атом, связанный с центральным),

Е – неподелённая электронная пара,

$n$  – число связывающих электронных пар (общее число партнеров центрального атома по химической связи),

$m$  – число неподелённых электронных пар.

### Алгоритм определения геометрии молекул по методу Гиллеспи

1. Определяется число лигандов  $n$ , с которыми образует связь центральный атом (на основе формулы молекулы).
2. Определяется общее число связывающих и неподелённых электронных пар ( $n + m$ ):

$$n + m = \frac{N_{\text{ц}} + \sum N_{\text{л}} - z}{2} - \pi.$$

В этом уравнении:

$N_{\text{ц}}$  – число электронов центрального атома на его внешнем электронном слое,

$\sum N_{\text{л}}$  – число электронов лигандов, которые участвуют в образовании связей с центральным атомом,

$\pi$  – число  $\pi$ -связей в молекуле,

$z$  – заряд иона (для определения строения молекулярного иона).

3. Определяется число неподелённых электронных пар:  
 $m = (n + m) - n.$

Записывается  $\text{AX}_n\text{E}_m$ .

4. Определяется пространственное расположение всех электронных пар (связывающих и неподелённых).

5. Устанавливается геометрия молекулы (расположение в пространстве связывающих электронных пар).

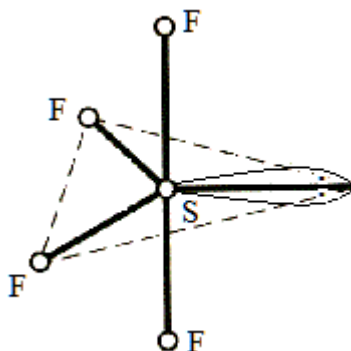
### Пример 1

На основе метода Гиллеспи предскажите геометрическую форму молекулы  $\text{SF}_4$ . Определите, полярна указанная молекула или нет. Ответ обоснуйте.

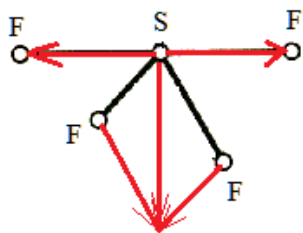
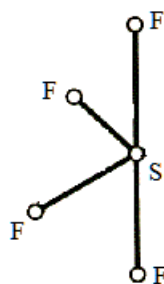
#### Решение:

1.  $n = 4.$
2.  $n + m = (6 + 4)/2 = 5.$
3.  $m = 5 - 4 = 1.$   $\text{AX}_4\text{E}_1.$

4. Пространственное расположение всех электронных пар – тригональная бипирамида.



5. Геометрия молекулы – «качели»



Молекула  $\text{SF}_4$  полярная, поскольку геометрическая сумма дипольных моментов связей не равна нулю (находящиеся на одной прямой F-S-F дипольные моменты связей S-F компенсируют друг друга).

### Пример 2

На основе метода Гиллеспи предскажите геометрическую форму молекулярного иона  $\text{CO}_3^{2-}$ .

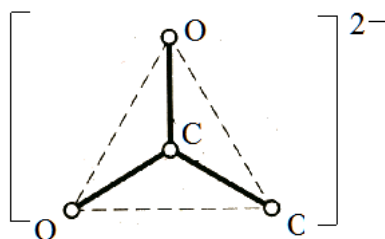
1.  $n = 3$ .

2.  $n + m = \frac{4 + 6 - 2}{2} - 1 = 3$ .

3.  $m = 3 - 3 = 0$ .  $\text{AX}_3\text{E}_0$ .

4. Пространственное расположение всех электронных пар – правильный треугольник.





5. Геометрия – правильный треугольник.

### Задания

На основе метода Гиллеспи предскажите геометрическую форму следующих молекул и ионов. Определите, полярны указанные молекулы или нет. Ответ обоснуйте.

181.  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{SF}_6$ ;  $\text{SnCl}_2$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ .
182.  $\text{NH}_3$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{SnCl}_4$ ;  $\text{SO}_3^{2-}$ .
183.  $\text{PH}_3$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{TeCl}_4$ ;  $\text{PO}_4^{3-}$ .
184.  $\text{SbH}_3$ ;  $\text{H}_2\text{Te}$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $\text{BF}_4^-$ .
185.  $\text{SO}_3$ ;  $\text{AsH}_3$ ;  $\text{SnCl}_4$ ;  $\text{BH}_4^-$ .
186.  $\text{SOCl}_2$ ;  $\text{XeF}_2$ ;  $\text{SiCl}_4$ ;  $\text{AlH}_4^-$ .
187.  $\text{XeF}_4$ ;  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ;  $\text{ClF}_3$ ;  $\text{NO}_3^-$ .
188.  $\text{ClF}_5$ ;  $\text{CH}_4$ ;  $\text{SO}_3$ ;  $\text{AsO}_4^{3-}$ .
189.  $\text{PCl}_6^-$ ;  $\text{ClF}_3$ ;  $\text{CHF}_3$ ;  $\text{SiF}_6^{2-}$ .
190.  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ;  $\text{XeF}_2$ ;  $\text{CO}_2$ ;  $\text{PCl}_6^-$ .
191.  $\text{NCl}_3$ ;  $\text{XeF}_6$ ;  $\text{COS}$ ;  $\text{ClO}_3^-$ .
192.  $\text{PCl}_3$ ;  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $\text{NO}_2^-$ .
193.  $\text{PCl}_5$ ;  $\text{COCl}_2$ ;  $\text{COSe}$ ;  $\text{NH}_4^+$ .
194.  $\text{POCl}_3$ ;  $\text{COF}_2$ ;  $\text{CH}_2\text{F}_2$ ;  $\text{PCl}_4^+$ .
195.  $\text{BCl}_3$ ;  $\text{ICl}_5$ ;  $\text{BeCl}_2$ ;  $\text{SO}_3^{2-}$ .
196.  $\text{BF}_3$ ;  $\text{IF}_7$ ;  $\text{CHF}_3$ ;  $\text{SeO}_4^{2-}$ .
197.  $\text{CCl}_4$ ;  $\text{IF}_5$ ;  $\text{SeO}_3$ ;  $\text{PH}_4^+$ .
198.  $\text{SCl}_4$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{SOCl}_2$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ .
199.  $\text{PF}_5$ ;  $\text{F}_2\text{O}$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $\text{ClO}_4^-$ .

200.  $\text{PF}_3$ ;  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{SO}_3$ ;  $\text{PO}_4^{3-}$ .
201.  $\text{COCl}_2$ ;  $\text{SF}_6$ ;  $\text{CO}_2$ ;  $\text{ICl}_4^-$ .
202.  $\text{H}_2\text{Te}$ ;  $\text{IF}_3$ ;  $\text{COS}$ ;  $\text{ClO}_2^-$ .
203.  $\text{CF}_4$ ;  $\text{BrF}_3$ ;  $\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_4^{4-}$ .
204.  $\text{ICl}_5$ ;  $\text{NF}_3$ ;  $\text{CS}_2$ ;  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ .
205.  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ;  $\text{BrF}_5$ ;  $\text{SOCl}_2$ ;  $\text{H}_3\text{O}^+$ .
206.  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ;  $\text{XeF}_4$ ;  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ;  $\text{PF}_6^-$ .
207.  $\text{SiF}_4$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $\text{HCN}$ ;  $\text{NH}_4^+$ .
208.  $\text{SF}_6$ ;  $\text{IF}_7$ ;  $\text{CS}_2$ ;  $\text{SiF}_6^{2-}$ .
209.  $\text{XeF}_2$ ;  $\text{BF}_3$ ;  $\text{POCl}_3$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ .
210.  $\text{BeH}_2$ ;  $\text{NH}_3$ ;  $\text{SeOCl}_2$ ;  $\text{SeO}_4^{2-}$ .

## 8. МЕТОД МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРБИТАЛЕЙ

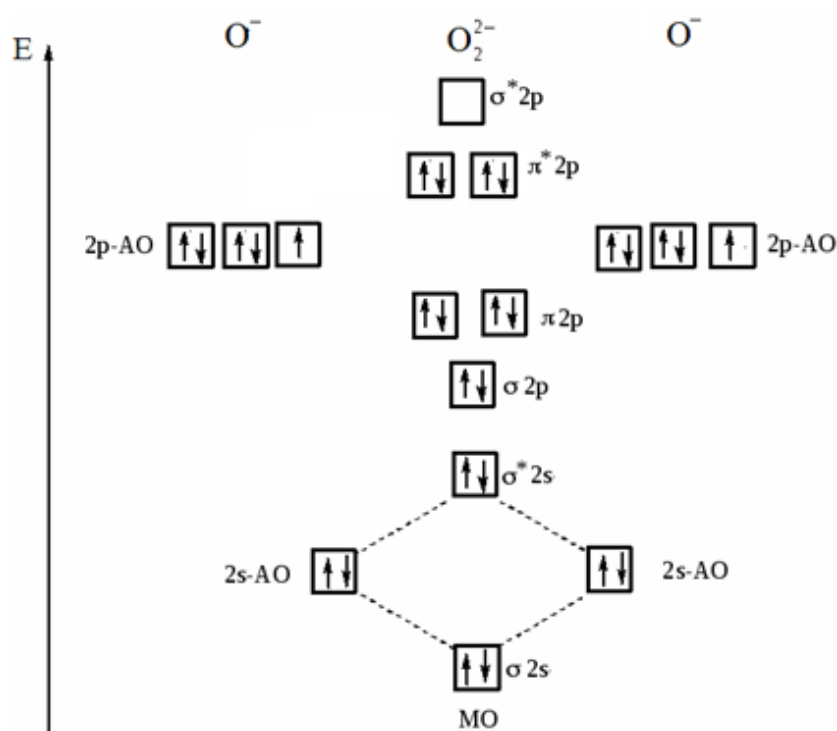
### Пример

Распределите электроны по молекулярным орбиталям для следующих частиц:  $\text{O}_2^{2-}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2^{2+}$  (формально можно считать, что ион  $\text{O}_2^{2-}$  имеется в молекуле  $\text{H}_2\text{O}_2$ , а ион  $\text{O}_2^{2+}$  – в молекуле  $\text{F}_2\text{O}_2$ ); определите кратность связи и магнитные свойства каждой частицы. Объясните, как изменяется длина и энергия связи в приведённом ряду частиц. Какие частицы (молекулы или ионы) изоэлектронны имеющейся в ряду нейтральной частице?

### Решение:

$\text{O}_2^{2-}$  – 18 электронов.

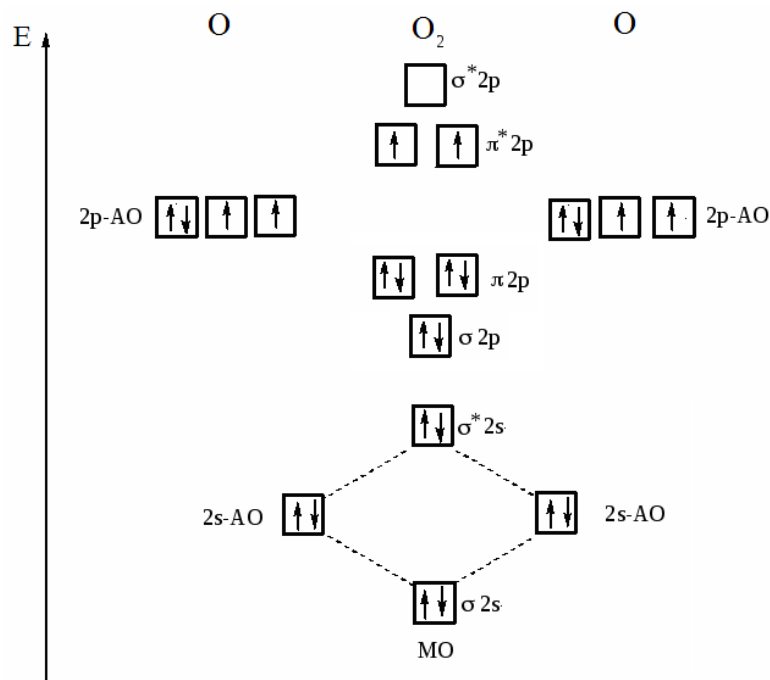
$\text{O}_2^{2-}$   $[\text{KK}^*(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\sigma 2p_z)^2(\pi 2p_x)^2(\pi 2p_y)^2(\pi^* 2p_x)^2(\pi^* 2p_y)^2]$ .



Кратность связи (КС) равна половине разности числа связывающих и разрыхляющих электронов:  $КС = (10 - 8)/2 = 1$ . Молекулярный ион  $O_2^{2-}$  не содержит неспаренных электронов, он диамагнитен.

$O_2$  – 16 электронов.

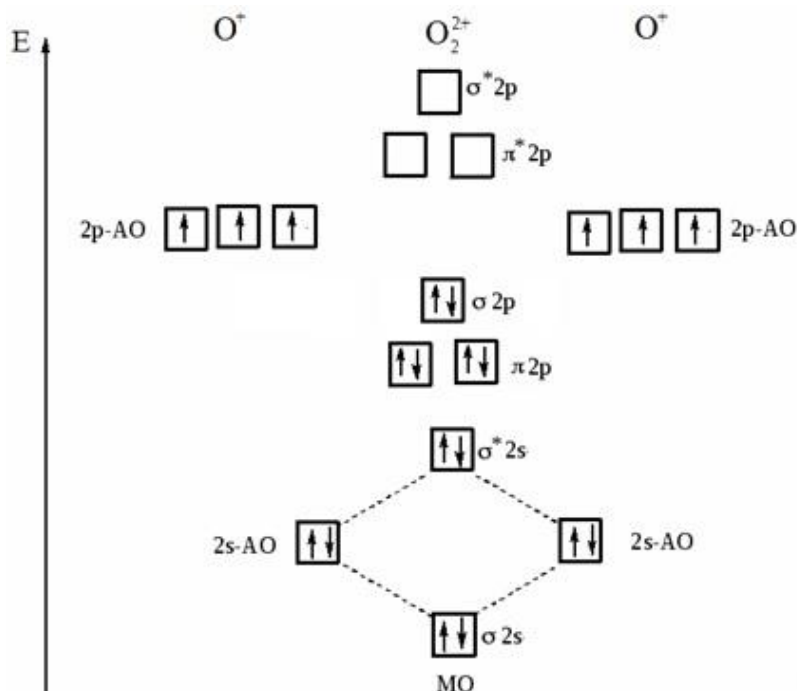
$O_2$   $[KK^*(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\sigma 2p_z)^2(\pi 2p_x)^2(\pi 2p_y)^2(\pi^* 2p_x)^1(\pi^* 2p_y)^1]$ .



Кратность связи:  $КС = (10 - 6)/2 = 2$ . Молекула  $O_2$  содержит два неспаренных электрона, поэтому она парамагнитна.

$O_2^{2+}$  – 14 электронов.

$O_2^{2+}$   $[KK^*(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\pi 2p_x)^2(\pi 2p_y)^2(\sigma 2p_z)^2]$ .



Кратность связи:  $КС = (10 - 4)/2 = 3$ . Молекулярный ион  $O_2^{2+}$  не содержит неспаренных электронов, он диамагнитен.

В ряду:  $O_2^{2-}$ ,  $O_2$ ,  $O_2^{2+}$  увеличивается кратность связи, а, следовательно, возрастает энергия связи и уменьшается длина связи.

Распределение  $[KK^*(\sigma 2s)^2(\sigma^* 2s)^2(\sigma 2p_z)^2(\pi 2p_x)^2(\pi 2p_y)^2(\pi^* 2p_x)^1(\pi^* 2p_y)^1]$  электронов по молекулярным орбиталям будут иметь двухатомные частицы (молекулы и ионы), у которых суммарное число электронов на этих орбиталях такое же (16), как в молекуле кислорода. К таким частицам относятся, например,  $NO^-$ ,  $N_2^{2-}$ ,  $CO^{2-}$ .

### Задания

Распределите электроны по молекулярным орбиталям для следующих частиц. Определите кратность связи и магнитные свойства каждой частицы. Объясните, как изменяется длина и энергия связи в приведённом ряду частиц. Какие частицы (молекулы или ионы) изоэлектронны имеющейся в ряду нейтральной частице?

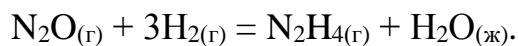
Номер задания	Молекулы и ионы		
211	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> <sup>-</sup>
212	He <sub>2</sub>	He <sub>2</sub> <sup>+</sup>	He <sub>2</sub> <sup>-</sup>
213	Li <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Li <sub>2</sub> <sup>-</sup>
214	Be <sub>2</sub>	Be <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Be <sub>2</sub> <sup>-</sup>
215	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> <sup>+</sup>	B <sub>2</sub> <sup>-</sup>
216	C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	C <sub>2</sub> <sup>-</sup>
217	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	N <sub>2</sub> <sup>-</sup>
218	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>
219	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub> <sup>+</sup>	F <sub>2</sub> <sup>-</sup>
220	Ne <sub>2</sub>	Ne <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Ne <sub>2</sub> <sup>-</sup>
221	CN	CN <sup>+</sup>	CN <sup>-</sup>
222	CO	CO <sup>+</sup>	CO <sup>-</sup>
223	NO	NO <sup>+</sup>	NO <sup>-</sup>
224	BF	BF <sup>+</sup>	BF <sup>-</sup>
225	BN	BN <sup>+</sup>	BN <sup>-</sup>
226	OF	OF <sup>+</sup>	OF <sup>-</sup>
227	BO	BO <sup>+</sup>	BO <sup>-</sup>
228	BeO	BeO <sup>+</sup>	BeO <sup>-</sup>
229	LiO	LiO <sup>+</sup>	LiO <sup>-</sup>
230	LiB	LiB <sup>+</sup>	LiB <sup>-</sup>
231	LiC	LiC <sup>+</sup>	LiC <sup>-</sup>
232	LiN	LiN <sup>+</sup>	LiN <sup>-</sup>
233	LiF	LiF <sup>+</sup>	LiF <sup>-</sup>
234	BeB	BeB <sup>+</sup>	BeB <sup>-</sup>
235	BeC	BeC <sup>+</sup>	BeC <sup>-</sup>
236	BeN	BeN <sup>+</sup>	BeN <sup>-</sup>
237	BeF	BeF <sup>+</sup>	BeF <sup>-</sup>
238	BC	BC <sup>+</sup>	BC <sup>-</sup>
239	CF	CF <sup>+</sup>	CF <sup>-</sup>
240	NF	NF <sup>+</sup>	NF <sup>-</sup>

## 9. ТЕРМОХИМИЯ. ЗАКОН ГЕССА. ЭНТРОПИЯ.

### ЭНЕРГИЯ ГИББСА

#### Пример 1

Пользуясь справочными термодинамическими данными (Приложение, с. 120), определите  $\Delta H^{\circ}_{298}$ ,  $\Delta G^{\circ}_{298}$ ,  $\Delta S^{\circ}_{298}$  химической реакции:



**Решение:**

Справочные данные приведены в таблице:

Вещество	$\text{N}_2\text{H}_{4(\text{г})}$	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	$\text{H}_{2(\text{г})}$	$\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}$
$\Delta H^\circ_{\text{обр, 298, кДж/моль}}$	95,3	-285,83	0	82,01
$\Delta G^\circ_{\text{обр, 298, кДж/моль}}$	159,10	-237,25	0	104,12
$S^\circ_{298, \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}}$	238,50	70,08	130,52	219,83

$$\Delta H^\circ_{298, \text{х.р}} = \Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{N}_2\text{H}_{4(\text{г})}) + \Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - 3\Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{H}_{2(\text{г})}) - \Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 95,3 + (-285,83) - 82,01 = -272,54 \text{ кДж.}$$

$$\Delta G^\circ_{298, \text{х.р}} = \Delta G^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{N}_2\text{H}_{4(\text{г})}) + \Delta G^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - 3\Delta G^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{H}_{2(\text{г})}) - \Delta G^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 159,10 + (-237,25) - 104,12 = -182,27 \text{ кДж.}$$

$$\Delta S^\circ_{298, \text{х.р}} = S^\circ_{298} (\text{N}_2\text{H}_{4(\text{г})}) + S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - 3S^\circ_{298} (\text{H}_{2(\text{г})}) - S^\circ_{298} (\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 238,50 + 70,08 - 3 \cdot 130,52 - 219,83 = -302,81 \text{ Дж/К.}$$

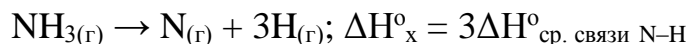
**Ответ:**  $\Delta H^\circ_{298, \text{х.р}} = -272,54 \text{ кДж};$

$$\Delta G^\circ_{298, \text{х.р}} = -182,27 \text{ кДж};$$

$$\Delta S^\circ_{298, \text{х.р}} = -302,81 \text{ Дж/К.}$$

**Пример 2**

На основе справочных термодинамических данных (Приложение, с. 120) определите среднюю энтальпию связи N–H в молекуле  $\text{NH}_3$ .

**Решение:**

Вещество	$\text{H}_{(\text{г})}$	$\text{N}_{(\text{г})}$	$\text{NH}_{3(\text{г})}$
$\Delta H^\circ_{\text{обр, 298, кДж/моль}}$	218,0	472,7	-46,2

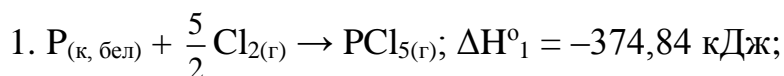
$$\Delta H^\circ_{\text{х}} = 3\Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{H}_{(\text{г})}) + \Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{N}_{(\text{г})}) - \Delta H^\circ_{\text{обр, 298}} (\text{NH}_{3(\text{г})}) = 3 \cdot 218,0 + 472,7 - (-46,2) = 1172,9 \text{ кДж.}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{ср. связи N-H}} = \frac{1}{3} \Delta H^\circ_{\text{х}} = 1172,9 \cdot 1/3 = 390,97 \text{ кДж.}$$

**Ответ:**  $\Delta H^\circ_{\text{ср. связи N-H}} = 390,97 \text{ кДж.}$

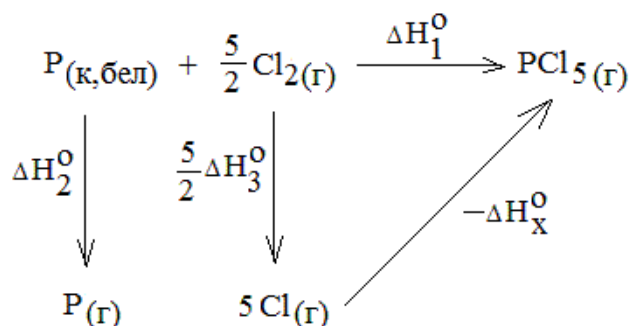
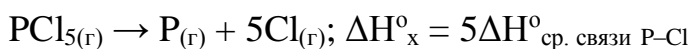
### Пример 3

Вычислите среднюю энтальпию связи P–Cl в молекуле PCl<sub>5</sub>, используя следующие термохимические уравнения:



#### Решение:

По определению средней энтальпии связи:



$$\Delta \text{H}^{\circ}_1 = \Delta \text{H}^{\circ}_2 + \frac{5}{2} \Delta \text{H}^{\circ}_3 - \Delta \text{H}^{\circ}_x$$

$$\Delta \text{H}^{\circ}_x = \Delta \text{H}^{\circ}_2 + \frac{5}{2} \Delta \text{H}^{\circ}_3 - \Delta \text{H}^{\circ}_1$$

$$\Delta \text{H}^{\circ}_x = 316,5 + \frac{5}{2} 242,6 - (-374,84) = 1297,84 \text{ кДж}$$

$$\Delta \text{H}^{\circ}_{\text{ср. связи P-Cl}} = \frac{1}{5} \Delta \text{H}^{\circ}_x = \frac{1}{5} \cdot 1297,84 = 259,57 \text{ кДж}$$

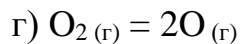
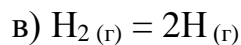
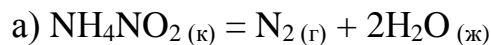
**Ответ:**  $\Delta \text{H}^{\circ}_{\text{ср. связи P-Cl}} = 259,57 \text{ кДж}.$

### Задания

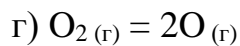
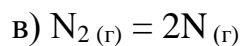
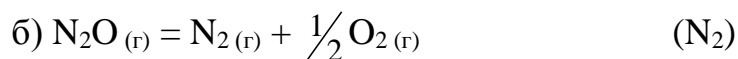
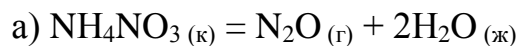
Пользуясь справочными термодинамическими данными (Приложение, с. 120), определите  $\Delta \text{H}^{\circ}_{298}$ ,  $\Delta \text{G}^{\circ}_{298}$ ,  $\Delta \text{S}^{\circ}_{298}$  приведенных реакций.

Определите также энергию (энтальпию) связи в молекуле (среднюю энергию связи в молекуле), указанной в задании в скобках.

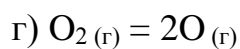
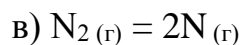
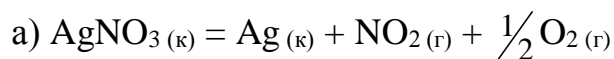
241.



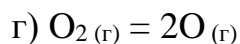
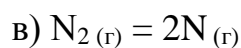
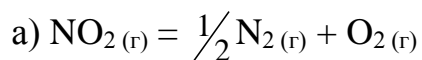
242.



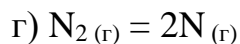
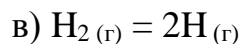
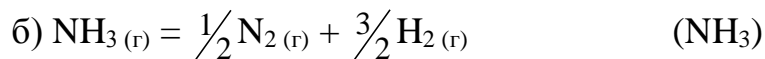
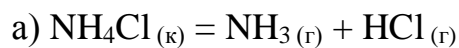
243.



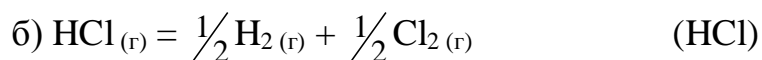
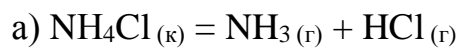
244.



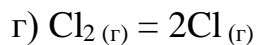
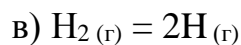
245.



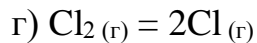
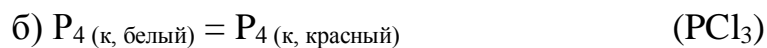
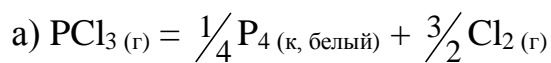
246.



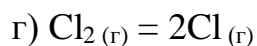
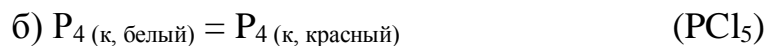
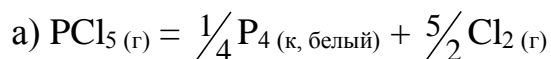




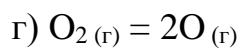
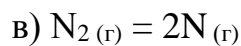
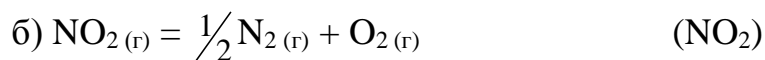
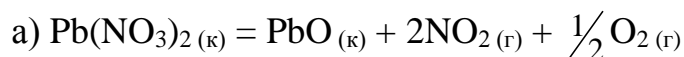
247.



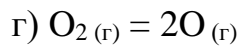
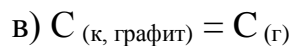
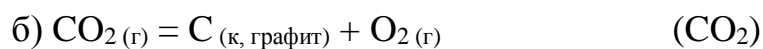
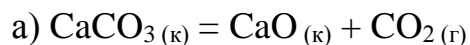
248.



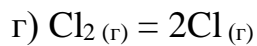
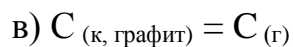
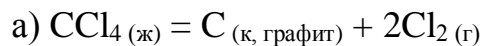
249.



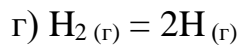
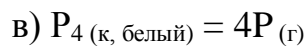
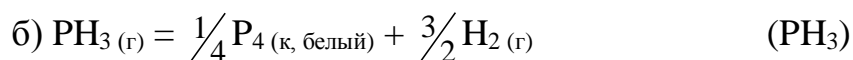
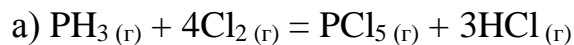
250.



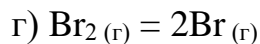
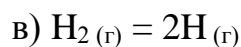
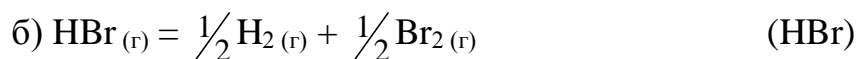
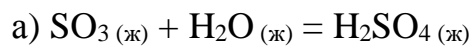
251.



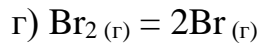
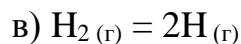
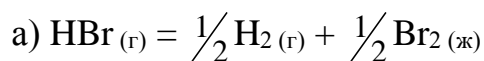
252.



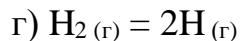
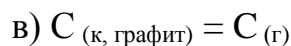
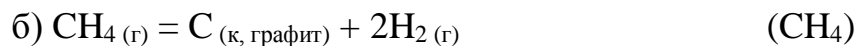
253.



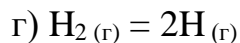
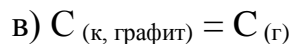
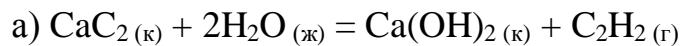
254.



255.

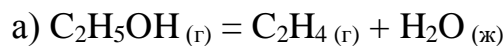


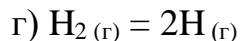
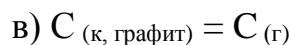
256.



Принять энергию связи С–Н равной 414 кДж/моль

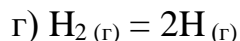
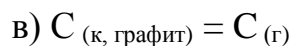
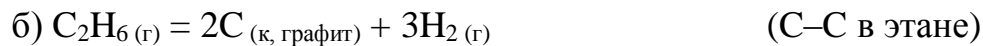
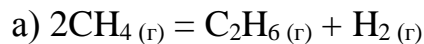
257.





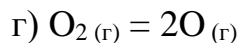
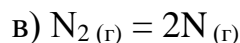
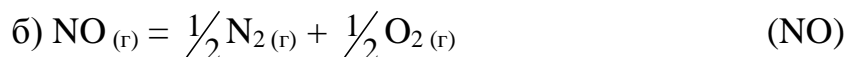
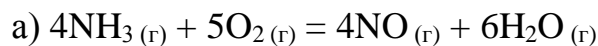
Принять энергию связи C–H равной 414 кДж/моль

258.

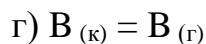
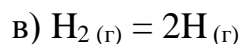
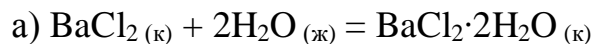


Принять энергию связи C–H равной 414 кДж/моль

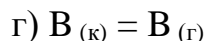
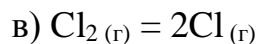
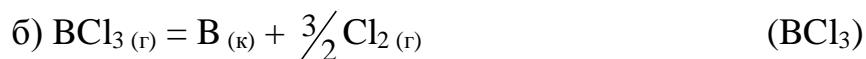
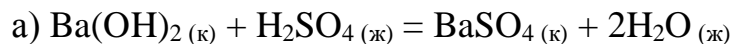
259.



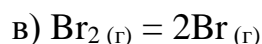
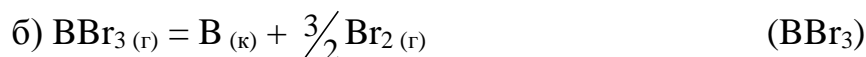
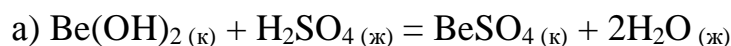
260.

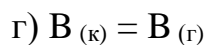


261.

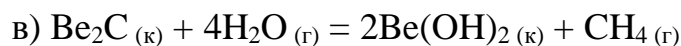
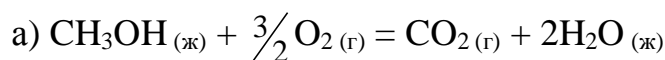


262.

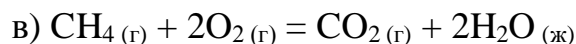
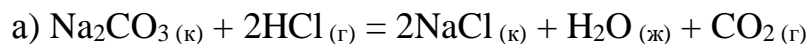




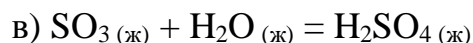
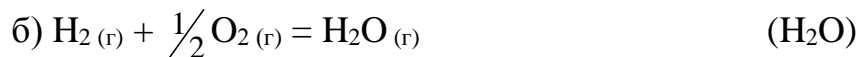
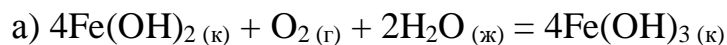
263.



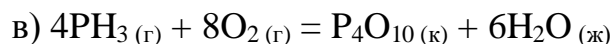
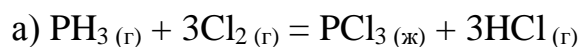
264.



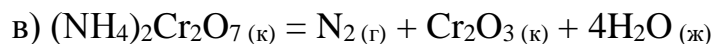
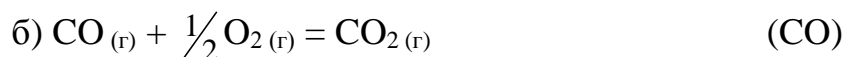
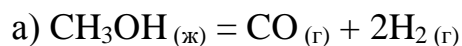
265.



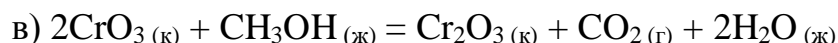
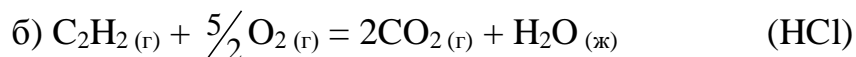
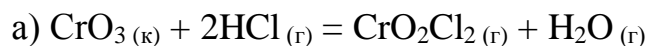
266.



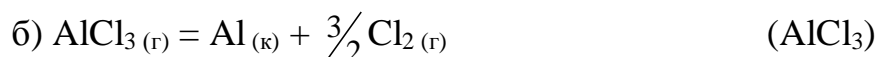
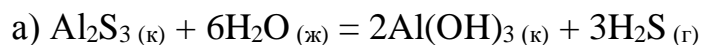
267.

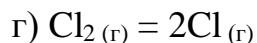
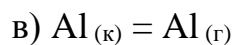


268.

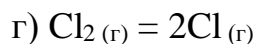
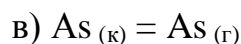
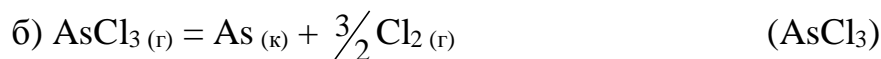
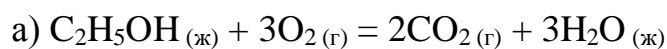


269.





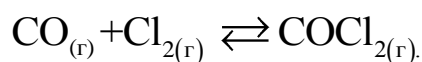
270.



## 10. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

### Пример 1

Пользуясь справочными данными, определите  $K_{\text{равн}}$  при температуре 298 К для реакции:



**Решение:**

Вещество	$\text{CO}_{(г)}$	$\text{Cl}_{2(г)}$	$\text{COCl}_{2(г)}$
$\Delta G^{\circ}_{\text{обр, 298, кДж/моль}}$	-137,14	0	-206,77

$$\Delta G^{\circ}_{298, \text{х.р}} = \Delta G^{\circ}_{\text{обр, 298}} (\text{COCl}_{2(г)}) - \Delta G^{\circ}_{\text{обр, 298}} (\text{CO}_{(г)}) - \Delta G^{\circ}_{\text{обр, 298}} (\text{Cl}_{2(г)}) =$$

$$= -206,77 - (-137,14) = -69,63 \text{ кДж}.$$

$$\Delta G^{\circ}_T = -RT \ln K_{\text{равн}}.$$

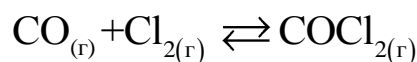
Учитывая перевод кДж в Дж, получаем:

$$K_{\text{равн}} = e^{-\frac{\Delta G^{\circ}_T}{RT}} = e^{\frac{69,63 \cdot 10^3}{8,314 \cdot 298}} = 1,60 \cdot 10^{12}$$

**Ответ:**  $K_{\text{равн}} = 1,60 \cdot 10^{12}$ .

### Пример 2

При некоторой температуре для химической реакции



равновесная концентрация  $[\text{COCl}_2] = 1,2$  моль/л. Определите  $K_{\text{равн}}$ , если исходные концентрации  $\text{CO}_{(г)}$  и  $\text{Cl}_{2(г)}$  равны 2,0 и 1,8 моль/л.

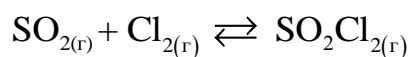
$c$	$\text{CO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(\text{г})}$		
$c_{\text{исх}}$	2,0	1,8	0
$c_{\text{прореаг}}$	1,2	1,2	<b>1,2</b>
$c_{\text{равн}}$	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = \frac{1,2}{0,8 \cdot 0,6} = 2,5$$

**Ответ:**  $K_{\text{равн}} = 2,5$ .

### Пример 3

При некоторой температуре для химической реакции:



$K_{\text{равн}} = 4,0$ . Определите равновесную концентрацию  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ , если

$$c_{\text{исх}}(\text{SO}_2) = 2 \text{ моль/л}$$

$$c_{\text{исх}}(\text{Cl}_2) = 2 \text{ моль/л}$$

$$c_{\text{исх}}(\text{SO}_2\text{Cl}_2) = 1 \text{ моль/л}$$

**Решение:**

$c$	$\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{SO}_2\text{Cl}_{2(\text{г})}$		
$c_{\text{исх}}$	2	2	1
$c_{\text{прореаг}}$	<b><math>x</math></b>	<b><math>x</math></b>	<b><math>x</math></b>
$c_{\text{равн}}$	2- $x$	2- $x$	1+ $x$

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\text{SO}_2\text{Cl}_2]}{[\text{SO}_2][\text{Cl}_2]} = \frac{1+x}{(2-x)^2} = 4$$

$$1+x = 4(4 - 4x + x^2)$$

$$4x^2 - 17x + 15 = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = 49$$

$$x_1 = (17+7)/8 = 3 - \text{не подходит}; \quad x_2 = (17-7)/8 = 1,25 - \text{подходит.}$$

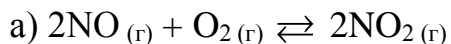
$$[\text{SO}_2\text{Cl}_2] = 1+1,25 = 2,25 \text{ моль/л.}$$

**Ответ:**  $[\text{SO}_2\text{Cl}_2] = 2,25 \text{ моль/л.}$

## Задания

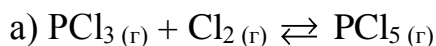
Задания «а» и «б» даны для одного и того же процесса. В задании «а», пользуясь справочными данными (Приложение, с. 120), следует определить константу равновесия при 298,15 К.

271.



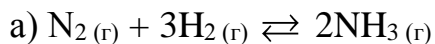
б) Найдите начальные концентрации NO и O<sub>2</sub>, если известно, что равновесные концентрации NO, O<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> при некоторой температуре равны 0,5 моль/л, а начальная концентрация NO<sub>2</sub> равна нулю.

272.



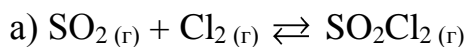
б) Найдите равновесную концентрацию PCl<sub>5</sub>, если константа равновесия при некоторой температуре равна 2, а исходные концентрации PCl<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub> и PCl<sub>5</sub> равны соответственно 1 моль/л, 2 моль/л и 0 моль/л.

273.



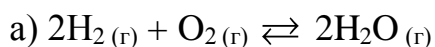
б) Найдите начальные концентрации N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>, если известно, что равновесные концентрации N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub> при некоторой температуре равны 1 моль/л, а начальная концентрация NH<sub>3</sub> – нулю.

274.



б) Найдите равновесную концентрацию SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, если константа равновесия при некоторой температуре равна 1,5, а исходные концентрации SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> равны соответственно 2 моль/л, 1 моль/л, 0 моль/л.

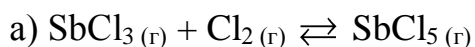
275.



б) Найдите начальные концентрации H<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>, если известно, что равновесные концентрации H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O при некоторой температуре равны

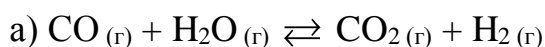
соответственно 2 моль/л; 1,5 моль/л; 3 моль/л, а начальная концентрация  $\text{H}_2\text{O}$  – нулю.

276.



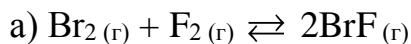
б) Найдите константу равновесия при некоторой температуре, если известно, что к моменту наступления равновесия прореагировало 80 %  $\text{SbCl}_3$ , а начальные концентрации  $\text{SbCl}_3$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{SbCl}_5$  равны соответственно 1 моль/л; 2 моль/л; 1,5 моль/л.

277.



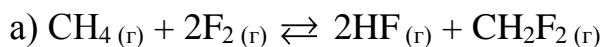
б) Найдите равновесные концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ , если константа равновесия при некоторой температуре равна 1, а исходные концентрации  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  равны соответственно 1 моль/л; 1 моль/л; 0 моль/л; 0 моль/л.

278.



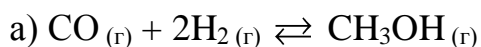
б) Найдите равновесные концентрации всех веществ, если константа равновесия при некоторой температуре равна 3, а исходные концентрации  $\text{Br}_2(\text{г})$ ,  $\text{F}_2(\text{г})$ ,  $\text{BrF}(\text{г})$  равны соответственно 2 моль/л; 2 моль/л; 0 моль/л.

279.



б) Найдите начальные концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{F}_2$ , если известно, что равновесные концентрации  $\text{CH}_4$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{F}_2$  и  $\text{HF}$  при некоторой температуре равны соответственно 1 моль/л; 2 моль/л; 0,5 моль/л; 1 моль/л, а начальные концентрации  $\text{CH}_2\text{F}_2$ ,  $\text{HF}$  – нулю.

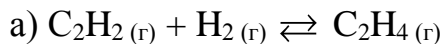
280.





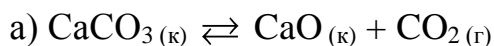
б) Найдите начальные концентрации CO и H<sub>2</sub>, если известно, что равновесные концентрации CO, H<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub>OH при некоторой температуре равны 1,2 моль/л, а начальная концентрация CH<sub>3</sub>OH равна нулю.

281.



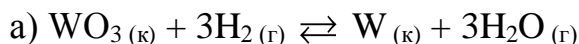
б) Найдите начальные концентрации C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>, если известно, что равновесные концентрации C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> при некоторой температуре равны соответственно 2,2 моль/л; 1,4 моль/л; 2,0 моль/л, а начальная концентрация C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> – нулю.

282.



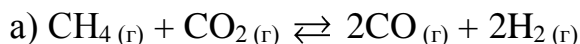
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру начала разложения CaCO<sub>3</sub>(к).

283.



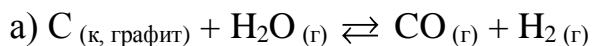
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру, при которой константа равновесия равна 1.

284.



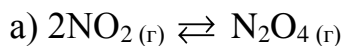
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру, при которой константа равновесия равна 1.

285.



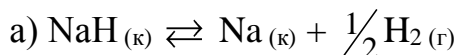
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру, при которой константа равновесия равна 1.

286.



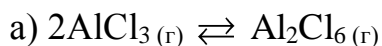
б) Найдите равновесную концентрацию  $\text{N}_2\text{O}_4$ , если константа равновесия при некоторой температуре равна 3, а исходные концентрации  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  равны соответственно 2 моль/л и 0 моль/л.

287.



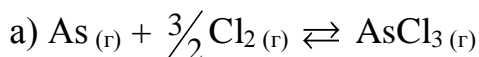
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру начала разложения  $\text{NaH}_{(\text{к})}$ .

288.



б) Найдите равновесную концентрацию  $\text{Al}_2\text{Cl}_6$ , если константа равновесия при некоторой температуре равна 1, а исходные концентрации  $\text{AlCl}_3$  и  $\text{Al}_2\text{Cl}_6$  составляли соответственно 2 моль/л и 3 моль/л.

289.



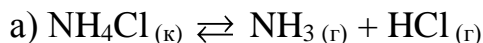
б) Найдите начальные концентрации  $\text{As}$  и  $\text{Cl}_2$ , если известно, что равновесные концентрации  $\text{As}$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{AsCl}_3$  при некоторой температуре равны соответственно 4 моль/л; 3 моль/л; 1 моль/л, а начальная концентрация  $\text{AsCl}_3$  – нулю.

290.



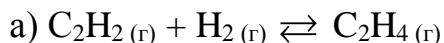
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру начала разложения  $\text{NaHCO}_{3(\text{к})}$ .

291.



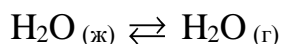
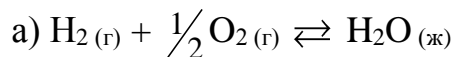
б) Принимая  $\Delta H^\circ_{\text{T}} = \Delta H^\circ_{298}$  и  $\Delta S^\circ_{\text{T}} = \Delta S^\circ_{298}$ , оцените температуру начала разложения  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})}$ .

292.



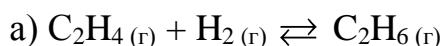
б) Найдите равновесную концентрацию  $C_2H_4$ , если константа равновесия при некоторой температуре равна 10, а исходные концентрации  $C_2H_2$ ;  $H_2$  и  $C_2H_4$  равны соответственно 3 моль/л; 2 моль/л; 0 моль/л.

293.



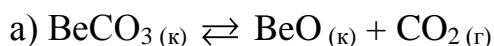
б) Найдите давление насыщенного пара воды при 298 К.

294.



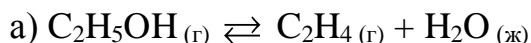
б) Найдите равновесную концентрацию  $C_2H_6$ , если константа равновесия при некоторой температуре равна 10, а исходные концентрации  $C_2H_4$ ,  $H_2$  и  $C_2H_6$  равны соответственно 2 моль/л; 2 моль/л; 1 моль/л.

295.



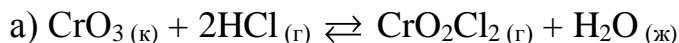
б) Запишите выражение для константы равновесия и проанализируйте влияние изменения температуры, давления, концентраций компонентов на смещение равновесия.

296.



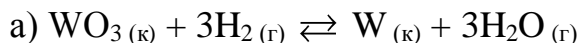
б) Запишите выражение для константы равновесия и проанализируйте влияние изменения температуры и давления на смещение равновесия.

297.



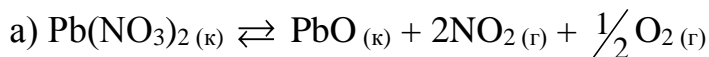
б) Запишите выражение для константы равновесия и проанализируйте влияние изменения температуры и давления, введения инертного газа на смещение равновесия.

298.



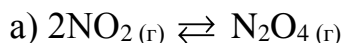
б) Запишите выражение для константы равновесия и проанализируйте влияние температуры и давления на смещение равновесия.

299.



б) Запишите выражение для константы равновесия и проанализируйте влияние изменения температуры, давления и введения инертного газа на смещение равновесия.

300.



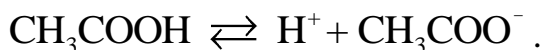
б) Найдите равновесную концентрацию  $\text{N}_2\text{O}_4$ , если константа равновесия при некоторой температуре равна 2, а исходные концентрации  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  составляли соответственно 2 моль/л и 1 моль/л.

## 11. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

### Пример 1

В 1 л 0,1 М раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  растворили 4,48 л (н.у.)  $\text{HCl}$ . Как изменилась при этом степень диссоциации уксусной кислоты? Принять объём конечного раствора равным 1 л.  $K_{\text{дис}} (\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ .

**Решение:**



$$K_{\text{дис}} \approx \alpha^2 c.$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{дис}}}{c}} = \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^{-5}}{0,1}} = 0,0132 = 1,32 \cdot 10^{-2}.$$



$$n(\text{HCl}) = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ моль}.$$

$$c_{\text{м}}(\text{HCl}) = 0,2/1 = 0,2 \text{ моль/л}.$$

Пусть  $x$  (моль/л) – концентрация ионов  $H^+$  за счёт собственной диссоциации уксусной кислоты, тогда:

$$K_{\text{дис}} = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = \frac{x(x+0,2)}{0,1-x} = \frac{0,2x}{0,1} = 2x = 1,75 \cdot 10^{-5}.$$

$$x = 8,75 \cdot 10^{-6}.$$

$$\alpha_1 = \frac{[H^+]}{c} = \frac{8,75 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 8,75 \cdot 10^{-5}.$$

$$\frac{\alpha}{\alpha_1} = \frac{1,32 \cdot 10^{-2}}{8,75 \cdot 10^{-5}} = 151 \text{ раз.}$$

**Ответ:** степень диссоциации уменьшится в 151 раз.

### Пример 2

На сколько единиц измениться рН раствора слабой одноосновной кислоты при его разбавлении в 10 раз?

**Решение:**

$$K_{\text{дис}} = \frac{[H^+]^2}{c}.$$

$$c_2 = \frac{c_1}{10}.$$

$$\frac{[H^+]_1^2}{c_1} = \frac{[H^+]_2^2}{c_2}; \quad \frac{[H^+]_1^2}{c_1} = \frac{10[H^+]_2^2}{c_1}.$$

$$[H^+]_1^2 = 10[H^+]_2^2; \quad [H^+]_1 = \sqrt{10}[H^+]_2.$$

$$\Delta pH = pH_2 - pH_1.$$

$$pH = -\lg[H^+].$$

$$\Delta pH = -\lg[H^+]_2 + \lg[H^+]_1.$$

$$\Delta pH = -\lg[H^+]_2 + \lg(\sqrt{10}[H^+]_2) = -\lg[H^+]_2 + \lg\sqrt{10} + \lg[H^+]_2.$$

$$\Delta pH = \lg\sqrt{10} = \frac{1}{2}.$$

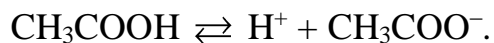
**Ответ:** рН увеличится на 0,5.

### Пример 3

Какой объём 0,5 М раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$  следует прилить к 1 л 0,1 М раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , чтобы рН полученного раствора составил 5? Считать объём полученного раствора равным сумме объёмов сливаемых растворов.

$$K_{\text{дис}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}.$$

**Решение:**



$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Пусть следует прилить  $x$  литров раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

$$K_{\text{дис. к-ты}} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}.$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] \approx c_{\text{соли}}.$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] \approx c_{\text{к-ты}}.$$

$$K_{\text{дис. к-ты}} = [\text{H}^+] \frac{c_{\text{соли}}}{c_{\text{к-ты}}}.$$

$$\frac{c_{\text{соли}}}{c_{\text{к-ты}}} = \frac{K_{\text{дис. к-ты}}}{[\text{H}^+] }.$$

$$\frac{c_{\text{соли}}}{c_{\text{к-ты}}} = \frac{1,75 \cdot 10^{-5}}{10^{-5}} = 1,75.$$

$$c_{\text{соли}} = \frac{0,5x}{1+x}.$$

$$c_{\text{к-ты}} = \frac{0,1}{1+x}.$$

$$\frac{c_{\text{соли}}}{c_{\text{к-ты}}} = \frac{0,5x(1+x)}{(1+x)0,1} = 1,75.$$

$$5x = 1,75.$$

$$x = 0,35 \text{ л} = 350 \text{ мл.}$$

**Ответ:**  $V = 350 \text{ мл.}$

### Задания

301. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , титр которого равен  $0,0025 \text{ г/мл.}$

б) Сколько воды необходимо прибавить к  $100 \text{ мл } 0,01 \text{ М}$  раствора  $\text{HCN}$ , чтобы степень диссоциации синильной кислоты возросла в 4 раза? Как изменится значение  $\text{pH}$  раствора? Константа диссоциации  $\text{HCN}$  равна  $7,9 \cdot 10^{-10}$ .

в) Во сколько раз изменится степень диссоциации  $\text{HCN}$ , если к полученному в задаче б) раствору добавить  $0,1 \text{ г HNO}_3$ ?

302. а) Определите  $\text{pH}$   $0,7 \text{ мас. \%}$  раствора  $\text{KOH}$  ( $\rho = 1,005 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$ ) при  $298 \text{ К}$  равна  $1,4 \cdot 10^{-12}$ . Вычислите степень диссоциации и  $\text{pH}$   $1 \text{ М}$  раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

в) Рассчитайте концентрацию гидропероксид-ионов  $\text{HO}_2^-$  в растворе,  $1 \text{ л}$  которого содержит  $1 \text{ моль H}_2\text{O}_2$  и  $0,001 \text{ моль HCl}$ .

303. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{Cl}^-$  в  $0,03 \text{ М}$  растворе  $\text{BaCl}_2$ .

б) Константы ступенчатой диссоциации сероводородной кислоты  $K_1$  и  $K_2$  равны соответственно  $6 \cdot 10^{-8}$  и  $1 \cdot 10^{-14}$ . Определите концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{HS}^-$  и  $\text{S}^{2-}$  в  $0,05 \text{ М}$  растворе  $\text{H}_2\text{S}$ .

в) К  $0,2 \text{ М}$  раствору  $\text{HCN}$  ( $K_{\text{дис}} = 7,9 \cdot 10^{-10}$ ) добавили такое количество  $\text{KCN}$ , что концентрация соли в растворе стала равна  $0,02 \text{ моль/л}$ . Как изменится при этом степень диссоциации  $\text{HCN}$ ?

304. а) Определите pH 2 мас. % раствора NaOH ( $\rho = 1,021 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  при 298 К равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . Найдите концентрацию, при которой степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  равна 2 %. Вычислите концентрацию ионов  $\text{H}^+$  в этом растворе.

в) Как изменится pH, если к 1 литру раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $\alpha = 0,8 \%$ ) прибавить 100 мл 20 мас. % раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ( $\rho = 1,057 \text{ г/см}^3$ ).

305. а) Какой раствор имеет более щелочную среду: 2 мас. % раствор KOH ( $\rho = 1,016 \text{ г/см}^3$ ) или 1,6 мас. % раствор NaOH ( $\rho = 1,016 \text{ г/см}^3$ )?

б) Степень диссоциации хлорноватистой кислоты в 0,001 М растворе  $\text{HClO}$  равна 0,71 %. Определите константу диссоциации и pH раствора  $\text{HClO}$ .

в) Рассчитайте концентрацию ионов  $\text{ClO}^-$  в растворе, 150 мл которого содержат  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль  $\text{HClO}$  и  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль  $\text{HCl}$ .

306. а) Вычислите концентрацию  $\text{ClO}_4^-$ -ионов в растворе, содержащем 3 г хлорной кислоты в 300 мл раствора.

б) Определите константу диссоциации фтороводородной кислоты и pH раствора, если степень диссоциации  $\text{HF}$  в 0,25 М растворе равна 5,1 %.

в) В какой пропорции необходимо смешать первый ( $\text{HClO}_4$ ) и второй ( $\text{HF}$ ) растворы, чтобы степень диссоциации  $\text{HF}$  уменьшилась в 6 раз? Принять, что объём после смешения равен сумме объёмов смешанных растворов.

307. а) Сколько граммов KOH надо растворить в 1 л воды, чтобы pH стал равен 12?

б) Степень диссоциации бромноватистой кислоты в растворе и pH раствора соответственно равны 0,04 % и 5,3. Определите концентрацию раствора и константу диссоциации  $\text{HBrO}$ .

в) Сколько граммов  $\text{KBrO}$  надо добавить к имеющемуся раствору  $\text{HBrO}$  (объём 1 л), чтобы концентрация  $\text{H}^+$ -ионов уменьшилась в 5 раз?

308. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  в растворе  $\text{NaCl}$ , титр которого равен 0,003 г/мл.



б) Во сколько раз изменится степень диссоциации и на сколько единиц изменится рН, если раствор слабого электролита разбавить в 100 раз?

в) Во сколько раз изменится степень диссоциации слабого электролита, если в раствор добавить соль, имеющую со слабым электролитом одинаковый ион, а концентрации соли и слабого электролита равны? Задачу решите в общем виде.

309. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{NO}_3^-$  в 0,02 М растворе  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ .

б) Константы ступенчатой диссоциации угольной кислоты  $K_1$  и  $K_2$  равны соответственно  $4,5 \cdot 10^{-7}$  и  $4,7 \cdot 10^{-11}$ . Определите концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  в 0,01 М растворе  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

в) К 0,1 М раствору  $\text{HClO}$  ( $K_{\text{дис}} = 5 \cdot 10^{-8}$ ) добавили такое количество  $\text{KClO}$ , что концентрация соли в растворе стала равна 0,005 моль/л. Как изменится при этом степень диссоциации  $\text{HClO}$ ?

310. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{NO}_3^-$  в растворе  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ , титр которого равен 0,008 г/мл.

б) Сколько воды необходимо прибавить к 300 мл 0,0025 М раствора  $\text{H}_2\text{S}$ , чтобы степень диссоциации сероводородной кислоты возросла в 3 раза? Как изменится рН раствора? Константа диссоциации  $\text{H}_2\text{S}$  по первой ступени равна  $6 \cdot 10^{-8}$ , диссоциацией кислоты по второй ступени можно пренебречь.

в) Во сколько раз изменится степень диссоциации, если к полученному в задаче б) раствору добавить 1 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

311. а) Определите рН 0,3 мас. % раствора  $\text{HClO}_4$  ( $\rho = 1,002 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации  $\text{HClO}$  при 298 К равна  $5 \cdot 10^{-8}$ . Вычислите степень диссоциации и рН 0,01 М раствора хлорноватистой кислоты.

в) Рассчитайте концентрацию  $\text{ClO}^-$  ионов в растворе, 1 мл которого содержит  $1 \cdot 10^{-5}$  моль  $\text{HClO}$  и  $1 \cdot 10^{-6}$  моль  $\text{HCl}$ .

312. а) Определите рН 0,2 мас. % раствора  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ( $\rho = 1,002 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации хлорноватистой кислоты при 298 К равна  $5 \cdot 10^{-8}$ . Найдите концентрацию  $\text{HClO}$ , при которой степень диссоциации  $\text{HClO}$  равна 0,2 %. Вычислите pH этого раствора.

в) Как изменится pH, если к 2 л раствора  $\text{HClO}$  ( $\alpha = 0,2 \%$ ) прибавить 1 мл 2 мас. % раствора  $\text{KClO}$  ( $\rho = 1,013 \text{ г/см}^3$ ).

313. а) Какой раствор имеет более кислую среду:

1 мас. % раствор  $\text{HCl}$  ( $\rho = 1,003 \text{ г/см}^3$ ) или

1 мас. % раствор  $\text{HClO}_4$  ( $\rho = 1,005 \text{ г/см}^3$ )?

б) Определите константу диссоциации и степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$ , если pH децимолярного раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  равен 11,13.

в) Рассчитайте концентрацию ионов  $\text{NH}_4^+$  в растворе, 300 мл которого содержат 0,1 моль  $\text{NH}_4\text{OH}$  и 0,1 моль  $\text{KOH}$ .

314. а) Сколько граммов  $\text{NaOH}$  следует растворить в 3 л воды, чтобы pH стал равен 11,5?

б) Степень диссоциации хлорноватистой кислоты в растворе и pH раствора равны соответственно 0,63 % и 5,1. Определите концентрацию раствора и константу диссоциации  $\text{HClO}$ .

в) Сколько граммов  $\text{KClO}$  надо добавить к имеющемуся раствору  $\text{HClO}$  (объём 1л), чтобы концентрация  $\text{H}^+$ -ионов уменьшилась в 7 раз?

315. а) Вычислите концентрацию  $\text{Na}^+$ -ионов в растворе, содержащем 0,8 г едкого натра в 200 мл раствора.

б) Определите константу диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  и pH раствора, если степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  в 0,2 М растворе равна 0,95 %.

в) В какой пропорции необходимо смешать первый ( $\text{NaOH}$ ) и второй ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) растворы, чтобы степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  уменьшилась в 20 раз?

316. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{K}^+$  и  $\text{ClO}_4^-$  в растворе  $\text{KClO}_4$ , титр которого равен 0,012 г/мл.

б) Сколько воды необходимо прибавить к 20 мл 0,1 М раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ , чтобы степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  возросла в 10 раз?

Как изменится значение pH раствора? Константа диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

в) Во сколько раз изменится степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$ , если к полученному в задаче б) раствору добавить 1 г  $\text{NaOH}$ ?

317. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{Ba}^{2+}$  и  $\text{NO}_3^-$  в 0,003 М растворе  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

б) Константы ступенчатой диссоциации фосфористой кислоты  $K_1$  и  $K_2$  равны соответственно  $1,6 \cdot 10^{-3}$  и  $6,3 \cdot 10^{-7}$ . Определите концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_3^{2-}$  в 0,8 М растворе  $\text{H}_3\text{PO}_3$ .

в) К 0,15 М раствору  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K_{\text{дис}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ) добавили такое количество  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , что концентрация соли в растворе стала равной 0,2 моль/л. Определите pH полученного раствора.

318. а) Определите pH 0,2 мас. % раствора  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,001 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации  $\text{HCN}$  при 298 К равна  $7,9 \cdot 10^{-10}$ . Вычислите степень диссоциации и pH 0,1 М раствора  $\text{HCl}$ .

в) Рассчитайте концентрацию цианид-ионов в растворе, 2 л которого содержат 0,1 моль  $\text{HCN}$  и 0,0005 моль  $\text{HCl}$ .

319. а) Вычислите концентрацию ионов  $\text{K}^+$  в 2 мас. % растворе  $\text{KCl}$ . Плотность раствора равна  $1,011 \text{ г/см}^3$ .

б) Определите степень диссоциации угольной кислоты и концентрацию кислоты в водном растворе, если pH раствора равен 4,5, а первая константа диссоциации  $\text{H}_2\text{CO}_3$  равна  $4,5 \cdot 10^{-7}$ . Диссоциацией кислоты по второй ступени можно пренебречь.

в) Сколько граммов  $\text{HNO}_3$  достаточно растворить в 100 мл 0,02 М раствора  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , чтобы степень диссоциации угольной кислоты уменьшилась в 150 раз?

320. а) Определите pH 0,1 мас. % раствора  $\text{HCl}$  ( $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации азотистоводородной кислоты равна  $2,6 \cdot 10^{-5}$ . Определите концентрацию  $\text{HN}_3$ , при которой степень диссоциации  $\text{HN}_3$  равна 1,5 %. Вычислите pH этого раствора.

в) Как изменится pH, если к 1 л раствора  $\text{HN}_3$  ( $\alpha = 0,8 \%$ ) прибавить 100 мл 10 мас. % раствора  $\text{NaN}_3$  ( $\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$ )?

321. а) Какой раствор имеет более кислую реакцию:

0,2 мас. % раствор  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$ ) или

0,2 мас. % раствор  $\text{HClO}_4$  ( $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$ )?

б) Определите константу диссоциации и степень диссоциации бромноватистой кислоты, если pH миллимолярного раствора  $\text{HBrO}$  равен 5,85.

в) Рассчитайте концентрацию ионов  $\text{BrO}^-$  в растворе, 200 мл которого содержат 0,01 моль  $\text{HBrO}$  и 0,005 моль  $\text{HBr}$ .

322. а) Сколько граммов  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  надо растворить в 1 л воды, чтобы pH стал равен 11?

б) Степень диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  в растворе и pH раствора равны соответственно 1,8 % и 11. Определите концентрацию раствора и константу диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

в) Сколько граммов  $\text{NH}_4\text{Cl}$  надо добавить к имеющемуся раствору  $\text{NH}_4\text{OH}$  (объём 1 л), чтобы концентрация  $\text{H}^+$ -ионов увеличилась в 10 раз?

323. а) Вычислите концентрацию  $\text{Cl}^-$ -ионов в растворе, содержащем 0,5 г хлороводорода в 100 л раствора.

б) Определите константу диссоциации бромноватистой кислоты и pH раствора, если степень диссоциации  $\text{HBrO}$  в 0,01 М растворе равна 0,0447 %.

в) В какой пропорции необходимо смешать первый ( $\text{HCl}$ ) и второй ( $\text{HBrO}$ ) растворы, чтобы степень диссоциации  $\text{HBrO}$  уменьшилась в 10 раз?

324. а) Сколько граммов  $\text{HNO}_3$  надо растворить в 200 мл воды, чтобы pH был равен 2,5?

б) Степень диссоциации  $\text{HCN}$  в растворе и pH раствора равны соответственно 0,089 % и 6,05. Определите концентрацию раствора и константу диссоциации синильной кислоты.

в) Сколько граммов NaCN надо добавить к имеющемуся раствору HCN (объём 1 л), чтобы концентрация ионов  $H^+$  уменьшилась в 200 раз?

325. а) Вычислите концентрацию ионов  $K^+$  и  $CO_3^{2-}$  в растворе  $K_2CO_3$  титр которого равен 0,052 г/мл (без учёта гидролиза).

б) Сколько воды необходимо прибавить к 10 мл 0,02 М раствора  $H_2CO_3$ , чтобы степень диссоциации угольной кислоты увеличилась в 2 раза? Как изменится значение pH раствора? Константа диссоциации  $H_2CO_3$  по первой ступени равна  $4,5 \cdot 10^{-7}$  (диссоциацией кислоты по второй ступени можно пренебречь).

в) Во сколько раз изменится степень диссоциации  $H_2CO_3$ , если к полученному в задаче б) раствору добавить 0,001 г  $HNO_3$ ?

326. а) Определите pH 0,1 мас. % раствора HCl ( $\rho = 1,00$  г/см<sup>3</sup>).

б) Константа диссоциации  $NH_4OH$  при 298 К равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . Вычислите степень диссоциации и pH 0,05 М раствора  $NH_4OH$ .

в) Рассчитайте концентрацию ионов аммония в растворе, 0,5 л которого содержат 0,1 моль  $NH_4OH$  и 0,01 моль KOH.

327. а) Вычислите концентрации ионов  $Al^{3+}$  и  $Cl^-$  в 0,2 М растворе  $AlCl_3$ . Пренебречь изменением концентрации  $Al^{3+}$ -ионов за счёт гидролиза соли.

б) Константы ступенчатой диссоциации мышьяковистой кислоты  $K_1$  и  $K_2$  равны соответственно  $6 \cdot 10^{-10}$  и  $1,7 \cdot 10^{-14}$ . Определите концентрации ионов  $H^+$ ,  $H_2AsO_3^-$ ,  $HAsO_3^{2-}$  в 0,05 М растворе  $H_3AsO_3$ .

в) К 0,5 М раствору HF ( $K_{дис} = 6,6 \cdot 10^{-4}$ ) добавили такое количество KF, что концентрация соли в растворе стала равна 0,5 моль/л. Определите pH полученного раствора.

328. а) Вычислите концентрацию ионов  $SO_4^{2-}$  в 2 мас. % растворе  $Na_2SO_4$ . Плотность раствора равна 1,010 г/см<sup>3</sup>.

б) Определите степень диссоциации сероводородной кислоты и концентрацию кислоты в водном растворе, если pH раствора равен 5,3, а

первая константа диссоциации  $\text{H}_2\text{S}$  равна  $6 \cdot 10^{-8}$ . Диссоциацией кислоты по второй ступени можно пренебречь.

в) Сколько граммов  $\text{NaHS}$  достаточно растворить в 750 мл 0,001 М раствора  $\text{H}_2\text{S}$ , чтобы степень диссоциации  $\text{H}_2\text{S}$  уменьшилась в 10 раз?

329. а) Определите pH 0,1 мас. % раствора  $\text{HClO}_4$  ( $\rho = 1,001 \text{ г/см}^3$ ).

б) Константа диссоциации синильной кислоты при 298 К равна  $7,9 \cdot 10^{-10}$ . Найдите концентрацию  $\text{HCN}$ , при которой степень диссоциации  $\text{HCN}$  равна 0,1 %. Вычислите pH этого раствора.

в) Как изменится pH, если к 500 мл раствора  $\text{HCN}$  ( $\alpha = 0,1 \%$ ) прибавить 2 мл 1 мас. % раствора  $\text{KCN}$  ( $\rho = 1,005 \text{ г/см}^3$ )?

330. а) Какой раствор имеет более щелочную среду:

0,02 мас. % раствор  $\text{Sr}(\text{OH})_2$  ( $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$ ) или

0,02 мас. % раствор  $\text{RbOH}$  ( $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$ )?

б) Определите константу диссоциации и степень диссоциации хлорноватистой кислоты, если pH сантимолярного раствора  $\text{HClO}$  равен 4,65.

в) Рассчитайте концентрацию ионов  $\text{ClO}^-$  в растворе, 500 мл которого содержат 0,005 моль  $\text{HClO}$  и 0,0005 моль  $\text{HCl}$ .

## 12. ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ

### Пример 1

Вычислите  $\Delta G^\circ_{298}$  процесса растворения  $\text{PbI}_2$  и растворимость (моль/л, г/л)  $\text{PbI}_2$ , если  $\text{PP}(\text{PbI}_2) = 10^{-8}$  (298 К).

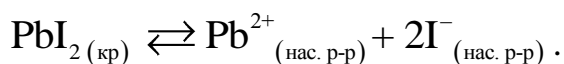
На основе этих данных задачи определите:

1. Сколько граммов  $\text{PbI}_2$  можно растворить в 50 л воды?
2. Сколько литров воды потребуется для растворения 1 г  $\text{PbI}_2$ ?

**Решение:**

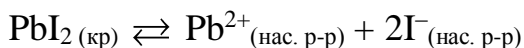
$$\Delta G^\circ_T = -RT \ln \text{PP}.$$

$$\Delta G^\circ_{298} = -8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 298 \ln 10^{-8} = 45,64 \text{ кДж}.$$



$$\text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^{-}]^2.$$

Пусть растворимость  $\text{PbI}_2 = \text{P}$  моль/л, тогда



$$\text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^{-}]^2 = \text{P}(2\text{P})^2 = 4\text{P}^3.$$

$$\text{P} = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{10^{-8}}{4}} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

$$\text{P(г/л)} = \text{P(моль/л)} \cdot \text{M(г/моль)}.$$

$$\text{P(PbI}_2) = 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot 461 = 0,627 \text{ г/л}.$$

1. Сколько граммов  $\text{PbI}_2$  можно растворить в 50 л воды?

$$0,627 \text{ г} \quad - \quad 1 \text{ л},$$

$$x \text{ г} \quad - \quad 50 \text{ л}.$$

$$x = 31,35 \text{ г}.$$

2. Сколько литров воды потребуется для растворения 1 г  $\text{PbI}_2$ ?

$$0,627 \text{ г} \quad - \quad 1 \text{ л},$$

$$1 \text{ г} \quad - \quad x \text{ л}.$$

$$x = 1,59 \text{ л}$$

$$\text{Ответ: } \text{P(PbI}_2) = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л; } \text{P(PbI}_2) = 0,627 \text{ г/л;}$$

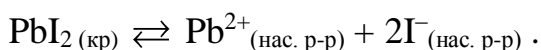
$$m(\text{PbI}_2) = 31,35 \text{ г; } V(\text{H}_2\text{O}) = 1,59 \text{ л}.$$

## Пример 2

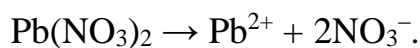
Смешали 1 л 0,01 М раствора  $\text{Pb(NO}_3)_2$  и 3 л 0,1 М раствора  $\text{KI}$ . Выпадет ли осадок  $\text{PbI}_2$ , если при некоторой температуре  $\text{ПР(PbI}_2) = 3,56 \cdot 10^{-9}$ ? Считать объём конечного раствора равным 4 л.

**Решение:**

**Условие выпадение осадка:  $\text{ПК} > \text{ПР}$ .**



$$\text{ПК} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^{-}]^2.$$



С учётом разбавления:

$$c_{\text{м}}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,01/4 = 0,0025 \text{ моль/л.}$$

$$c_{\text{м}}(\text{KI}) = (0,1 \cdot 3)/4 = 0,075 \text{ моль/л.}$$

$$[\text{Pb}^{2+}] = 0,0025 \text{ моль/л (по уравнению диссоциации).}$$

$$[\text{I}^-] = 0,075 \text{ моль/л (по уравнению диссоциации).}$$

$$\text{ПК} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2 = 0,0025 \cdot (0,075)^2 = 1,41 \cdot 10^{-5}.$$

$$\text{По условию: } \text{ПР}(\text{PbI}_2) = 3,56 \cdot 10^{-9}.$$

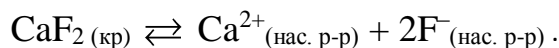
**ПК > ПР – осадок выпадет.**

**Ответ:** ПК > ПР – осадок выпадет.

### Пример 3

По справочным данным определить величину растворимости  $\text{CaF}_2$  в моль/л при 298 К.

**Решение:**



$$\Delta G^{\circ}_{298} = \Delta G^{\circ}_{\text{обр}, 298} (\text{Ca}^{2+}_{(\text{р-р, ст. с})}) + 2\Delta G^{\circ}_{\text{обр}, 298} (\text{F}^{-}_{(\text{р-р, ст. с})}) - \Delta G^{\circ}_{\text{обр}, 298} (\text{CaF}_2 (\text{кр})).$$

Вещество	$\text{Ca}^{2+}_{(\text{р-р, ст. с})}$	$\text{F}^{-}_{(\text{р-р, ст. с})}$	$\text{CaF}_2 (\text{кр})$
$\Delta G^{\circ}_{\text{обр}, 298}$ , кДж/моль	-552,8	-277,7	-1168,5

$$\Delta G^{\circ}_{298} = -552,8 + 2(-277,7) - (-1168,5) = 60,3 \text{ кДж.}$$

$$\Delta G^{\circ}_T = -RT \ln \text{ПР.}$$

$$\text{ПР} = e^{-\frac{\Delta G^{\circ}_T}{RT}} = e^{-\frac{60,3 \cdot 10^3}{8,314 \cdot 298}} = 2,69 \cdot 10^{-11}.$$

$$\text{ПР} = \text{P}(2\text{P})^2 = 4\text{P}^3.$$

$$\text{P} = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{2,69 \cdot 10^{-11}}{4}} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

**Ответ:**  $\text{P} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$



### Задания

331. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{Ag}_2\text{S}$  равно  $1 \cdot 10^{-51}$ . Определите:

- а) растворимость  $\text{Ag}_2\text{S}$  в воде;
- б) растворимость  $\text{Ag}_2\text{S}$  в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{S}$ ;
- в) растворимость  $\text{Ag}_2\text{S}$  в 0,01 М растворе  $\text{AgNO}_3$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Ag}_2\text{S}$ .

332. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  равно  $8 \cdot 10^{-5}$ . Определите:

- а) растворимость  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  в воде,
- б) растворимость  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  в 0,1 М растворе  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;
- в) растворимость  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  в 0,1 М растворе  $\text{AgNO}_3$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ .

333. При 300 К произведение растворимости  $\text{AgCl}$  равно  $1,6 \cdot 10^{-10}$ .  
Определите:

- а) растворимость  $\text{AgCl}$  в воде;
- б)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{AgCl}$ ;
- в) растворимость  $\text{AgCl}$  в 0,01 М растворе  $\text{AgNO}_3$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{AgCl}$ .

334. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{CuS}$  равно  $4 \cdot 10^{-38}$ . Определите:

- а) растворимость  $\text{CuS}$  в воде;
- б) растворимость  $\text{CuS}$  в 0,01 М растворе  $\text{CuSO}_4$ ;
- в) растворимость  $\text{CuS}$  в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{S}$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{CuS}$ .

335. При 300 К произведение растворимости  $\text{Cu}_2\text{S}$  равно  $2,5 \cdot 10^{-50}$ .  
Определите:

- а) растворимость  $\text{Cu}_2\text{S}$  в воде;
- б)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Cu}_2\text{S}$ ;
- в) растворимость  $\text{Cu}_2\text{S}$  в 0,1 М растворе  $\text{Na}_2\text{S}$ ;

г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

336. При 300 К произведение растворимости  $\text{Al}(\text{OH})_3$   $2 \cdot 10^{-33}$ .

Определите:

а) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ;

б) растворимость  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в воде;

в) растворимость  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в 0,001 М растворе  $\text{AlCl}_3$ ;

г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

337. При 300 К растворимость  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в воде равна  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

Определите:

а) произведение растворимости  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ;

б) растворимость  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NiCl}_2$ ;

в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ;

г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ .

338. При 300 К растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  в воде равна  $5 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

Определите:

а) произведение растворимости  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ;

б) растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  в 0,001 М растворе  $\text{FeCl}_2$ ;

в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ;

г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ .

339. При 300 К произведение растворимости  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  равно  $5 \cdot 10^{-38}$ .

Определите:

а) растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в воде;

б) растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в 0,1 М растворе  $\text{FeCl}_3$ ;

в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;

г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

340. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{BaCO}_3$  равно  $8 \cdot 10^{-9}$ .

Определите:

а) растворимость  $\text{BaCO}_3$  в воде;

б) растворимость  $\text{BaCO}_3$  в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;

- в) растворимость  $\text{BaCO}_3$  в 0,01 М растворе  $\text{BaCl}_2$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{BaCO}_3$ .

341. При 300 К в 1 л воды растворяется  $1 \cdot 10^{-6}$  г  $\text{Bi}(\text{OH})_3$ .

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{Bi}(\text{OH})_3$ ;
- б) растворимость  $\text{Bi}(\text{OH})_3$  в 0,1 М растворе  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ ;
- в) в каком количестве воды растворяется 1 моль  $\text{Bi}(\text{OH})_3$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Bi}(\text{OH})_3$ .

342. При 300 К произведение растворимости  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  равно  $5,6 \cdot 10^{-20}$

Определите:

- а) растворимость  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  в воде;
- б) растворимость  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  в 0,001 М растворе  $\text{CuCl}_2$ ;
- в) в каком количестве воды растворяется 1 моль  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

343. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  равно  $3 \cdot 10^{-33}$ .

Определите:

- а) растворимость  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в воде;
- б) растворимость  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в 0,01 М растворе  $\text{CaCl}_2$ ;
- в) растворимость  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в 1 М растворе  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

344. При некоторой температуре в 10 л воды растворяется  $7 \cdot 10^{-2}$  г  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ;
- б) растворимость  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{MgCl}_2$ ;
- в) растворимость  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NaOH}$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

345. При 300 К в 100 л воды растворяется 278 г  $\text{PbCl}_2$ .

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{PbCl}_2$ ;
- б) растворимость  $\text{PbCl}_2$  в 0,01 М растворе  $\text{KCl}$ ;
- в) растворимость  $\text{PbCl}_2$  в 0,01 М растворе  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{PbCl}_2$ .

346. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{CaF}_2$  равно  $4 \cdot 10^{-11}$ .

Определите:

- а) растворимость  $\text{CaF}_2$  в воде;
- б) растворимость  $\text{CaF}_2$  в 0,001 М растворе  $\text{CaCl}_2$ ;
- в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{CaF}_2$ .
- г) растворимость  $\text{CaF}_2$  в 0,001 М растворе  $\text{NaF}$ .

347. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{MgF}_2$  равно  $6 \cdot 10^{-9}$ .

Определите:

- а) растворимость  $\text{MgF}_2$  в воде;
- б) растворимость  $\text{MgF}_2$  в 0,01 М растворе  $\text{MgCl}_2$ ;
- в) растворимость  $\text{MgF}_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NaF}$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{MgF}_2$ .

348. При некоторой температуре произведение растворимости  $\text{PbSO}_4$  равно  $2 \cdot 10^{-8}$ .

Определите:

- а) растворимость  $\text{PbSO}_4$  в воде;
- б) растворимость  $\text{PbSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;
- в) растворимость  $\text{PbSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{PbSO}_4$ .

349. При некоторой температуре растворимость  $\text{PbBr}_2$  равна  $1,2 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{PbBr}_2$ ;
- б) растворимость  $\text{PbBr}_2$  в 0,1 М растворе  $\text{NaBr}$ ;
- в) растворимость  $\text{PbBr}_2$  в 0,1 М растворе  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{PbBr}_2$ .

350. При некоторой температуре растворимость  $\text{CaSO}_4$  равна  $8 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{CaSO}_4$ ;
- б) растворимость  $\text{CaSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- в) растворимость  $\text{CaSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{CaCl}_2$ ;
- г) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{CaSO}_4$ .

351. При 300 К растворимость  $\text{BaSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  равна  $1 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{BaSO}_4$ ;
- б) растворимость  $\text{BaSO}_4$  в 0,01 М растворе  $\text{BaCl}_2$ ;
- в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{BaSO}_4$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{BaSO}_4$ .

352. При 300 К растворимость  $\text{PbI}_2$  в 0,1 М растворе  $\text{NaI}$  равна  $9 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{PbI}_2$ ;
- б) растворимость  $\text{PbI}_2$  в 0,1 М растворе  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;
- в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{PbI}_2$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{PbI}_2$ .

353. При 300 К растворимость  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  в 0,01 М водном растворе  $\text{AgNO}_3$  равна  $8 \cdot 10^{-10}$  г/л.

Определите:

- а) произведение растворимости  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ;
- б) растворимость  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  в 1 М растворе  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;
- в) в каком количестве воды растворяется 1 г  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ .

354. При 300 К произведение растворимости  $\text{Co}(\text{OH})_2$  равно  $2 \cdot 10^{-16}$ .

Определите:

- а) растворимость  $\text{Co}(\text{OH})_2$  в воде;
- б) растворимость  $\text{Co}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{CoCl}_2$ ;
- в) достаточно ли  $10^5$  л воды для растворения 1 г  $\text{Co}(\text{OH})_2$ ;
- г)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{Co}(\text{OH})_2$ .

355. Смешали 1 л 0,001 М раствора  $\text{NaF}$  с 2 л 0,001 М раствора  $\text{CaCl}_2$ .

Считая объём полученного раствора равным 3 л, определите:

- а) образуется ли осадок  $\text{CaF}_2$ ;
- б) растворимость  $\text{CaF}_2$  в воде;
- в) растворимость  $\text{CaF}_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NaF}$ ;
- г) растворимость  $\text{CaF}_2$  в 0,01 М растворе  $\text{CaI}_2$ .

$$\text{PP}(\text{CaF}_2) = 4 \cdot 10^{-11}.$$

356. Смешали равные объёмы 0,01 М раствора  $\text{ZnSO}_4$  и 0,0001 М раствора  $\text{Na}_2\text{S}$ . Считая объём полученного раствора равным сумме объёмов смешиваемых растворов, определите:

- а) образуется ли осадок  $\text{ZnS}$ ;
- б) растворимость  $\text{ZnS}$  в воде;
- в) растворимость  $\text{ZnS}$  в 0,001 М растворе  $\text{ZnCl}_2$ ;
- г) растворимость  $\text{ZnS}$  в 0,001 М растворе  $\text{Na}_2\text{S}$ .

$$\text{PP}(\text{ZnS}) = 8 \cdot 10^{-26}.$$

357. Смешали 2 л 0,001 М раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  и 3 л 0,0001 М раствора  $\text{KI}$ . Считая объём полученного раствора равным 5 л, определите:

- а) образуется ли осадок  $\text{HgI}_2$ ;
  - б) растворимость  $\text{HgI}_2$  в воде;
  - в)  $\Delta G^\circ$  процесса растворения  $\text{HgI}_2$ ;
  - г) растворимость  $\text{HgI}_2$  в 0,001 М растворе  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ .
- $\text{ПР}(\text{HgI}_2) = 4 \cdot 10^{-58}$  при 300 К.

358. Смешали равные объёмы 0,0001 М раствора  $\text{CoCl}_2$  и 0,0001 М раствора  $\text{NaOH}$ . Считая объём полученного раствора равным сумме объёмов смешиваемых растворов, определите:

- а) образуется ли осадок  $\text{Co}(\text{OH})_2$ ;
  - б) растворимость  $\text{Co}(\text{OH})_2$  в воде;
  - в) растворимость  $\text{Co}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{CoCl}_2$ ;
  - г) растворимость  $\text{Co}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NaOH}$ .
- $\text{ПР}(\text{Co}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 10^{-16}$ .

359. Смешали равные объёмы 0,0001 М раствора  $\text{NiCl}_2$  и 0,0001 М раствора  $\text{NaOH}$ . Считая объём полученного раствора равным сумме объёмов смешиваемых растворов, определите:

- а) образуется ли осадок  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ;
  - б) растворимость  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в воде;
  - в) растворимость  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NiCl}_2$ ;
  - г) растворимость  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в 0,01 М растворе  $\text{NaOH}$ .
- $\text{ПР}(\text{Ni}(\text{OH})_2) = 7 \cdot 10^{-14}$ .

360. Смешали равные объёмы 0,001 М раствора  $\text{FeCl}_2$  и 0,0001 М раствора  $\text{NaOH}$ . Считая объём полученного раствора равным сумме объёмов смешиваемых растворов, определите:

- а) образуется ли осадок  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ;
  - б) растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  в воде;
  - в) растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  в 0,001 М растворе  $\text{FeCl}_2$ ;
  - г) растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  в 0,001 М растворе  $\text{NaOH}$ .
- $\text{ПР}(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 4,8 \cdot 10^{-16}$ .

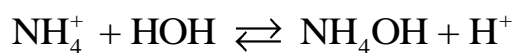
### 13. ГИДРОЛИЗ

#### Пример 1

Вычислите  $K_{\text{гидр}}$ ,  $\alpha_{\text{гидр}}$  и pH для 0,01 М раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  
 $K_{\text{дис}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$ .

**Решение:**

$\text{NH}_4\text{Cl}$  – гидролиз по катиону,  $\text{pH} < 7$ .

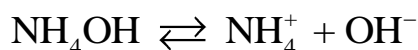


$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

Умножим числитель и знаменатель на концентрацию  $[\text{OH}^-]$ .

$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$  – ионное произведение воды.

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}$$



$$K_{\text{дис. осн}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дис. осн}}}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дис. осн}}} = \frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 5,56 \cdot 10^{-10}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c}$$

$c$  – концентрация гидролизующейся соли в растворе, моль/л.

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{гидр}} \cdot c_{\text{соли}}} = \sqrt{5,56 \cdot 10^{-10} \cdot 0,01} = 2,36 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

$$\text{pH} = -\lg 2,36 \cdot 10^{-6} = 5,63$$

$$[\text{H}^+] = c \cdot \alpha_{\text{гидр}}$$



$$\alpha_{\text{гидр}} = [\text{H}^+]/c$$

$$\alpha_{\text{гидр}} = 2,36 \cdot 10^{-6} / 0,01 = 2,36 \cdot 10^{-4}$$

**Ответ:**  $K_{\text{гидр}} = 5,56 \cdot 10^{-10}$ ,  $\alpha_{\text{гидр}} = 2,36 \cdot 10^{-4}$ ,  $\text{pH} = 5,63$ .

## Пример 2

Определите  $\text{pH}$  0,1 М растворов  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  при 298,15 К, если ступенчатые константы диссоциации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  равны:

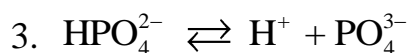
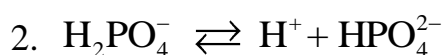
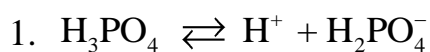
$$K_{\text{дис},1} = 7,11 \cdot 10^{-3};$$

$$K_{\text{дис},2} = 6,34 \cdot 10^{-8};$$

$$K_{\text{дис},3} = 4,40 \cdot 10^{-13}.$$

**Решение:**

Уравнения диссоциации:

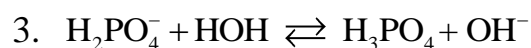
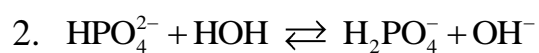
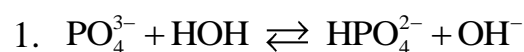


$$K_{\text{дис},1} = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]}$$

$$K_{\text{дис},2} = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

$$K_{\text{дис},3} = \frac{[\text{H}^+][\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

Уравнения гидролиза:



$$K_{\text{гидр},1} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{OH}^-]}{[\text{PO}_4^{3-}]}$$

$$K_{\text{гидр},2} = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{OH}^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

$$K_{\text{гидр},3} = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

$$K_{\text{гидр},1} = \frac{K_{\text{w}}}{K_{\text{дис},3}} = \frac{10^{-14}}{4,40 \cdot 10^{-13}} = 2,27 \cdot 10^{-2}$$

$$K_{\text{гидр},2} = \frac{K_{\text{w}}}{K_{\text{дис},2}} = \frac{10^{-14}}{6,34 \cdot 10^{-8}} = 1,58 \cdot 10^{-7}$$

$$K_{\text{гидр},3} = \frac{K_{\text{w}}}{K_{\text{дис},1}} = \frac{10^{-14}}{7,11 \cdot 10^{-3}} = 1,41 \cdot 10^{-12}$$

### **Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**

$$K_{\text{гидр},1} = 2,27 \cdot 10^{-2};$$

$$K_{\text{гидр},2} = 1,58 \cdot 10^{-7};$$

$$K_{\text{гидр},3} = 1,41 \cdot 10^{-12}.$$

Так как  $K_{\text{гидр},1} > K_{\text{гидр},2}$ , то можно считать, что  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  подвергается гидролизу по первой ступени.

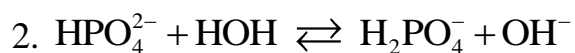
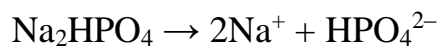
$$K_{\text{гидр},1} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{\text{гидр},1} \cdot c} = \sqrt{2,27 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1} = 4,76 \cdot 10^{-2}$$

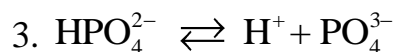
$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 4,76 \cdot 10^{-2} = 1,32$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1,32 = \mathbf{12,68}.$$

### **Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>**



$$K_{\text{гидр},2} = 1,58 \cdot 10^{-7}.$$



$$K_{\text{дис},3} = 4,40 \cdot 10^{-13}$$

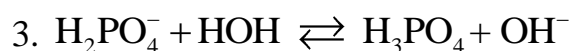
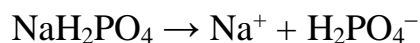
$K_{\text{гидр},2} > K_{\text{дис},3}$  – идёт гидролиз.

$$K_{\text{гидр},2} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c}$$

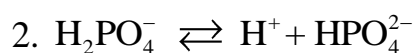
$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{\text{гидр},2} \cdot c} = \sqrt{1,58 \cdot 10^{-7} \cdot 0,1} = 1,26 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 1,26 \cdot 10^{-4} = 3,90$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3,90 = \mathbf{10,1}.$$



$$K_{\text{гидр},3} = 1,41 \cdot 10^{-12}$$



$$K_{\text{дис},2} = 6,34 \cdot 10^{-8}$$

$K_{\text{дис},2} > K_{\text{гидр},3}$  – идёт диссоциация, **pH < 7**.

$$K_{\text{дис},2} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{дис},2} \cdot c} = \sqrt{6,34 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1} = 7,96 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 7,96 \cdot 10^{-5} = \mathbf{4,10}.$$

**Ответ:** pH(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) = 12,68; pH(Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) = 10,1; pH(NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) = 4,10.

### Пример 3

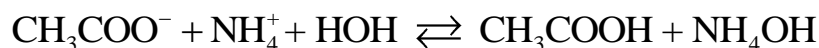
Вычислите  $K_{\text{гидр}}$ ,  $\alpha_{\text{гидр}}$  и pH CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> в водном растворе, если

$$K_{\text{дис}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,80 \cdot 10^{-5},$$

$$K_{\text{дис}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}.$$

**Решение:**

CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> – гидролиз по катиону и по аниону



$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+]}$$

Умножим числитель и знаменатель на ионное произведение воды

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]:$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}][\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+][\text{H}^+][\text{OH}^-]}$$

$$K_{\text{дис. к-ты}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$K_{\text{дис. осн}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_W}{K_{\text{дис. к-ты}} \cdot K_{\text{дис. осн}}}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{10^{-14}}{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,80 \cdot 10^{-5}} = 3,17 \cdot 10^{-5}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+]}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{(c\alpha_{\text{гидр}})^2}{(c - c\alpha_{\text{гидр}})(c - c\alpha_{\text{гидр}})} = \frac{\alpha_{\text{гидр}}^2 c^2}{c^2 (1 - \alpha_{\text{гидр}})^2} = \frac{\alpha_{\text{гидр}}^2}{(1 - \alpha_{\text{гидр}})^2}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{\alpha_{\text{гидр}}^2}{(1 - \alpha_{\text{гидр}})^2}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+]}$$

Умножим числитель и знаменатель на  $[\text{H}^+]$ :

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+][\text{H}^+]}$$

$$K_{\text{дис. к-ты}} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{H}^+]}{K_{\text{дис. к-ты}}} \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$[\text{H}^+] = K_{\text{дис. к-ты}} K_{\text{гидр}} \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$\frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{1}{\alpha_{\text{гидр}}}$$

$$[H^+] = K_{\text{дис. к-ты}} \frac{K_{\text{гидр}}}{\alpha_{\text{гидр}}}$$

$$K_{\text{гидр}} \approx \alpha_{\text{гидр}}^2 \quad (K_{\text{гидр}} = \frac{\alpha_{\text{гидр}}^2}{(1 - \alpha_{\text{гидр}})^2})$$

$$\alpha_{\text{гидр}} \approx \sqrt{K_{\text{гидр}}}$$

$$[H^+] = K_{\text{дис. к-ты}} \frac{K_{\text{гидр}}}{\sqrt{K_{\text{гидр}}}}$$

$$[H^+] = K_{\text{дис. к-ты}} \cdot \sqrt{K_{\text{гидр}}}$$

$$\alpha_{\text{гидр}} = \sqrt{3,17 \cdot 10^{-5}} = 5,63 \cdot 10^{-3}$$

$$[H^+] = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{3,17 \cdot 10^{-5}} = 9,85 \cdot 10^{-8}$$

$$\text{pH} = -\lg[H^+].$$

$$\text{pH} = -\lg 9,85 \cdot 10^{-8} = 7,01.$$

**Ответ:**  $K_{\text{гидр}} = 3,17 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha_{\text{гидр}} = 5,63 \cdot 10^{-3}$ ,  $\text{pH} = 7,01$ .

### Задания

361. А. Вычислите pH раствора, полученного смешением 30 мл 0,01 Н раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  и 10 мл 0,2 Н раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , если константа диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . Считать, что соль диссоциирована нацело.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

гидролиз  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$

$\text{BeCl}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

362. А. Вычислите pH 0,02 Н раствора бензоата натрия  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ , если константа диссоциации  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  равна  $6,3 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{NH}_4\text{Cl}$

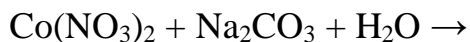
$\text{AlCl}_3 + \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{COO})\downarrow + \dots$

гидролиз  $\text{SbCl}_3$

363. А. Вычислите pH 0,04 М раствора бензоата калия  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOK}$ , если константа диссоциации  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  равна  $6,3 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{HCOONH}_4$



гидролиз  $\text{BiCl}_3$

364. А. Вычислите pH 0,1 Н раствора  $\text{NH}_4\text{CN}$ , если константы диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $\text{HCN}$  равны соответственно  $1,8 \cdot 10^{-5}$  и  $7,2 \cdot 10^{-10}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{CH}_3\text{COOK}$



гидролиз  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$

365. А. Вычислите pH 0,05 М раствора формиата калия  $\text{HCOOK}$ , если константа диссоциации  $\text{HCOOH}$  равна  $1,8 \cdot 10^{-4}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2$



366. А. Вычислите pH 0,01 Н раствора гипохлорита калия, если константа диссоциации  $\text{HClO}$  равна  $5,0 \cdot 10^{-8}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



367. А. Вычислите pH 0,1 М раствора гипохлорита натрия, если константа диссоциации  $\text{HClO}$  равна  $5,0 \cdot 10^{-8}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$



гидролиз  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$

368. А. Вычислите pH 0,1 Н раствора  $C_6H_5COONa$ , если константа диссоциации бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$  равна  $6,3 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $K_2SO_3$

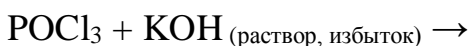


гидролиз  $PCl_5$

369. А. Вычислите pH 0,06 Н раствора  $NH_4I$ , если константа диссоциации  $NH_4OH$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

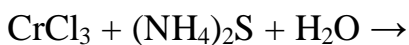
гидролиз  $Na_3PO_4$



370. А. Вычислите pH 0,08 Н раствора  $NH_4Br$ , если константа диссоциации  $NH_4OH$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $K_2CO_3$

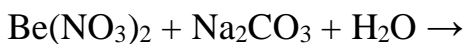


гидролиз  $Cr_2(SO_4)_3$

371. А. Вычислите pH 0,08 М раствора бензоата натрия  $C_6H_5COONa$ , если константа диссоциации бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$  равна  $6,3 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $Na_2CO_3$



гидролиз  $POCl_3$

372. А. Вычислите концентрацию ионов  $H^+$  в 0,1 Н растворе  $NH_4Cl$ , если константа диссоциации  $NH_4OH$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $K_2S$



373. А. Вычислите pH 0,05 М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , если константы ступенчатой диссоциации угольной кислоты соответственно равны:  $K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_2 = 4,8 \cdot 10^{-11}$ . Расчет произвести, учитывая только первую степень гидролиза.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{NaClO}$

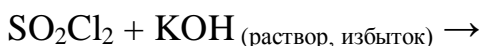
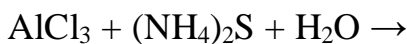


гидролиз  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$

374. А. Вычислите концентрацию ионов  $\text{H}^+$  в 0,05 Н растворе  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , если константа диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

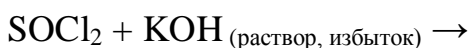
гидролиз  $\text{K}_3\text{PO}_4$



375. А. Степень гидролиза  $\text{NaNO}_2$  в 0,005 Н растворе составляет 0,007 %. Вычислите константу гидролиза соли и pH раствора.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Li}_2\text{S}$



376. А. Вычислите pH 0,05 Н раствора  $\text{NaClO}$ , если константа диссоциации  $\text{HClO}$  равна  $5,0 \cdot 10^{-8}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{KBrO}$



гидролиз  $\text{SOCl}_2$

377. А. Вычислите pH 0,1 М раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , если константы ступенчатой диссоциации ортофосфорной кислоты равны соответственно  $K_1 = 7,11 \cdot 10^{-3}$ ,  $K_2 = 6,34 \cdot 10^{-8}$ ,  $K_3 = 4,40 \cdot 10^{-13}$ . Расчет произвести, учитывая только первую степень гидролиза.



Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

гидролиз  $\text{NiCl}_2$



378. А. Вычислите pH 0,05 М раствора  $\text{K}_3\text{PO}_4$ , если константы ступенчатой диссоциации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  равны соответственно  $K_1 = 7,11 \cdot 10^{-3}$ ,  $K_2 = 6,34 \cdot 10^{-8}$ ,  $K_3 = 4,40 \cdot 10^{-13}$ . Расчет произвести, учитывая только первую степень гидролиза.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Na}_2\text{S}$

гидролиз  $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$

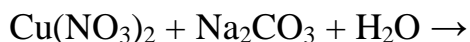


379. А. Вычислите pH 0,05 М раствора  $\text{K}_2\text{SO}_3$ , если константы ступенчатой диссоциации сернистой кислоты равны соответственно  $K_1 = 1,7 \cdot 10^{-2}$ ,  $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ . Расчет произвести, учитывая только первую степень гидролиза.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

гидролиз  $\text{HCOONH}_4$



380. А. Вычислите pH раствора, полученного смешением 10 мл 0,01 Н раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  и 30 мл 0,5 Н раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , если константа диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . Считать, что соль диссоциирована нацело.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

гидролиз  $\text{Na}_2\text{S}$



381. А. Вычислите pH 0,1 М раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , если константы ступенчатой диссоциации сернистой кислоты равны соответственно

$K_1 = 1,7 \cdot 10^{-2}$ ,  $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ . Расчет произвести, учитывая только первую степень гидролиза.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

гидролиз  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

382. А. pH 0,1 М раствора ацетата натрия составляет 8,9. Вычислите константу гидролиза  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , а также степень гидролиза соли в 0,1 М растворе.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{FeCl}_3$

гидролиз  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{COO})\downarrow + \dots$

383. А. pH 0,01 М раствора KCN составляет 10,6. Вычислите константу гидролиза KCN, а также степень гидролиза соли в 0,01 М растворе.

Б. Напишите уравнения реакций:

$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

гидролиз  $\text{CrCl}_3$

гидролиз  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$

384. А. Смешали 150 мл 0,01 Н раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 450 мл 0,1 Н раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Вычислите pH полученного раствора, если константа диссоциации уксусной кислоты равна  $1,75 \cdot 10^{-5}$ . Считать, что соль диссоциирована нацело.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{MnSO}_4$

гидролиз  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$

$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

385. А. Вычислите pH 0,01 Н раствора  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , если константы диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$  равны соответственно  $1,75 \cdot 10^{-5}$  и  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{BaS}$



гидролиз  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

386. А. Вычислите pH 0,1 М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , если константы ступенчатой диссоциации угольной кислоты равны соответственно  $K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_2 = 4,8 \cdot 10^{-11}$ . Расчет произвести, учитывая только первую ступень гидролиза.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{CH}_3\text{COONa}$

гидролиз  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$



387. А. Вычислите pH 0,01 Н раствора  $\text{NaCN}$ , если константа диссоциации  $\text{HCN}$  равна  $7,2 \cdot 10^{-10}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{NaHS}$



гидролиз  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$

388. А. Вычислите pH 0,0001 Н раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , если константа диссоциации уксусной кислоты равна  $1,75 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{NaHSO}_3$

гидролиз  $\text{BaS}$



389. А. В каком соотношении следует смешать 0,1 Н растворы  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , чтобы полученная смесь имела pH = 5. Считать, что соль диссоциирована нацело. Константа диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  равна  $1,75 \cdot 10^{-5}$ .

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{KHCO}_3$

гидролиз  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$

$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

390. А. Вычислите pH раствора, полученного смешением 500 мл 0,01 Н раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 500 мл 0,5 Н раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , если константа диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  равна  $1,75 \cdot 10^{-5}$ . Считать, что соль диссоциирована нацело.

Б. Напишите уравнения реакций:

гидролиз  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

гидролиз  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$

$\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

## 14. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

### Пример

На основе известных вам квантово-химических методов описания химической связи в комплексных соединениях объясните образование химической связи в комплексном ионе  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  и укажите:

- а) тип гибридизации орбиталей центрального атома;
- б) геометрическую форму комплексного иона;
- в) магнитные свойства комплексов;
- г) наличие или отсутствие окраски.

**Решение:**

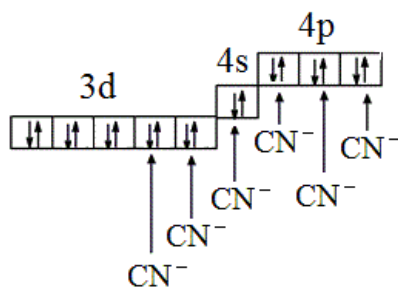
**Метод валентных связей**

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$

$_{26}\text{Fe} \dots 3d^6 4s^2$

$\text{Fe}^{2+} \dots 3d^6$

$\text{CN}^-$  – лиганд сильного поля, способен перевести электроны в спаренное состояние: (P)  $E_{\text{пары}} < E_{\text{св}}$ .



Гибридизация –  $d^2sp^3$  (внутренняя).

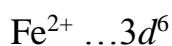
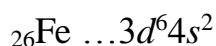
Геометрия – октаэдр.

Диамагнитен – нет неспаренных электронов.

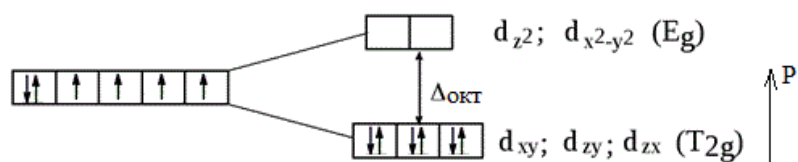
### Теория кристаллического поля (ТКП)



Расщепление  $d$ -уровня в октаэдрическом поле лиганда.



$\text{CN}^-$  – лиганд сильного поля, способен перевести электроны в спаренное состояние:  $P < \Delta_{\text{окт}}$ .



ТКП даёт простое объяснение факту наличия или отсутствия окраски у комплекса. Если возможны электронные переходы между  $T_{2g}$  и  $E_g$  (электронная конфигурация центрального иона от  $d^1$  до  $d^9$ ) – комплексные соединения **окрашены**. Если переходы невозможны ( $d^0$  или  $d^{10}$ ) – **бесцветны**.

Комплекс  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  – окрашен, поскольку возможны переходы между  $T_{2g}$  и  $E_g$ .

## Задания

На основе известных вам квантово-химических методов описания химической связи в комплексных соединениях объясните образование химической связи в указанных ниже комплексных соединениях и укажите:

- а) тип гибридизации орбиталей центрального атома;
- б) геометрическую форму иона или молекулы;
- в) спиновое состояние и распределение электронов по орбиталям;
- г) магнитные свойства комплексов;
- д) наличие или отсутствие окраски.

- |   |  |
|---|--|
| 391. $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ,   | $[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$          |
| 392. $[\text{NiCl}_4]^{2-}$ ,                     | $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$          |
| 393. $[\text{FeF}_6]^{4-}$ ,                      | $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$        |
| 394. $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ ,                 | $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ |
| 395. $[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{3-}$ ,          | $[\text{HgI}_4]^{2-}$                    |
| 396. $[\text{AgCl}_2]^-$ ,                        | $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ |
| 397. $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ,            | $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$        |
| 398. $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ , | $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ |
| 399. $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ,          | $[\text{HgI}_4]^{2-}$                    |
| 400. $[\text{HgS}_2]^{2-}$ ,                      | $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$          |
| 401. $[\text{MnF}_6]^{4-}$ ,                      | $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$           |
| 402. $[\text{FeF}_6]^{3-}$ ,                      | $[\text{CuCl}_2]^-$                      |
| 403. $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ ,                 | $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$        |
| 404. $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,          | $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$        |
| 405. $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ,          | $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$          |
| 406. $[\text{NiF}_4]^{2-}$ ,                      | $[\text{MnCl}_6]^{4-}$                   |
| 407. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,             | $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$          |
| 408. $[\text{Au}(\text{CN})_2]^+$ ,               | $[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$          |
| 409. $[\text{AgI}_2]^-$ ,                         | $[\text{Pd}(\text{CN})_4]^{2-}$          |
| 410. $[\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-}$ ,            | $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$               |
| 411. $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ , | $[\text{Mo}(\text{CO})_6]$               |

412.  $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ ,  $[\text{W}(\text{CO})_6]$   
 413.  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ,  $[\text{Ru}(\text{CO})_5]$   
 414.  $[\text{CoF}_4]^{2-}$ ,  $[\text{Pt}(\text{CN})_4]^{2-}$   
 415.  $[\text{AgBr}_2]^-$ ,  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$   
 416.  $[\text{FeF}_6]^{4-}$ ,  $[\text{AlF}_6]^{3-}$   
 417.  $[\text{Sn}(\text{OH})_3]^-$ ,  $[\text{Os}(\text{CO})_5]$   
 418.  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$   
 419.  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ,  $[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$   
 420.  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ,  $[\text{NiF}_4]^{2-}$

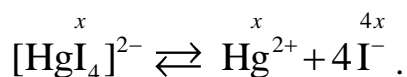
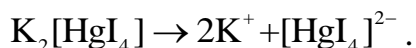
## 15. ДИССОЦИАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### Пример 1

Произойдёт ли выпадение осадка сульфида ртути при сливании равных объёмов 0,001 М раствора  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ , содержащего избыточный KI в количестве 0,1 моль/л и 0,05 М раствора  $\text{K}_2\text{S}$ ?

$$\text{ПР}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}, K_y([\text{HgI}_4]^{2-}) = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

**Решение:**



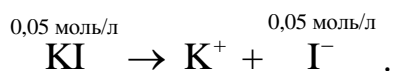
**ПК > ПР – условие выпадения осадка.**

Слили **равные объёмы**, следовательно, все концентрации **уменьшились вдвое**:

$$c_{\text{м}}(\text{K}_2[\text{HgI}_4]) = 0,001/2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

$$c_{\text{м}}(\text{KI}) = 0,1/2 = 0,05 \text{ моль/л.}$$

$$c_{\text{м}}(\text{K}_2\text{S}) = 0,05/2 = 0,025 \text{ моль/л.}$$



$$\text{ПК} = [\text{Hg}^{2+}][\text{S}^{2-}].$$



$$K_y = \frac{[\text{HgI}_4]^{2-}}{[\text{Hg}^{2+}][\text{I}^-]^4}.$$

Пусть равновесная концентрация  $[\text{Hg}^{2+}] = x$  моль/л, тогда:

$$K_y = \frac{5 \cdot 10^{-4} - x}{x(4x + 0,05)^4} = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

$$K_y = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{x(0,05)^4} = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

$$x = 1,21 \cdot 10^{-29} \text{ моль/л} - [\text{Hg}^{2+}].$$

$$\text{ПК} = [\text{Hg}^{2+}][\text{S}^{2-}].$$

$$\text{ПК} = 1,21 \cdot 10^{-29} \cdot 0,025 = 3,025 \cdot 10^{-31}.$$

$$\text{ПР}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}.$$

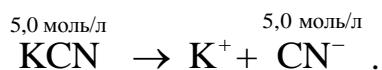
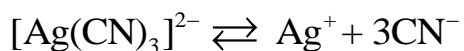
**ПК > ПР – осадок выпадет.**

**Ответ:** ПК > ПР – осадок выпадет.

## Пример 2

Сколько граммов серебра в виде ионов содержится в 2,0 л 0,50 М раствора трицианоаргентата (I) калия, содержащего избыточный цианид калия в количестве 5,0 моль/л? Константа устойчивости комплексного иона равна  $3,6 \cdot 10^{20}$ .

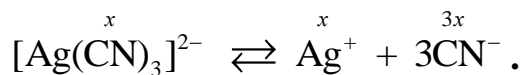
**Решение:**



$$K_y = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-}}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^3}.$$

Пусть равновесная концентрация  $[\text{Ag}^+] = x$  моль/л, тогда:





$$K_y = \frac{0,5 - x}{x(3x + 5,0)^3} = 3,6 \cdot 10^{20}.$$

$$K_y = \frac{0,5}{x \cdot 5,0^3} = 3,6 \cdot 10^{20}.$$

$$K_y = \frac{0,5}{x \cdot 125} = 3,6 \cdot 10^{20}.$$

$x = 1,11 \cdot 10^{-23}$  моль/л (концентрация  $[\text{Ag}^+]$ ).

В 1 л содержится  $1,11 \cdot 10^{-23}$  моль  $[\text{Ag}^+]$ .

В 2 л содержится  $2,22 \cdot 10^{-23}$  моль  $[\text{Ag}^+]$ .

$$m(\text{Ag}^+) = 108 \cdot 2,22 \cdot 10^{-23} = 2,4 \cdot 10^{-21} \text{ г.}$$

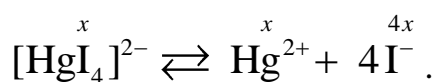
**Ответ:**  $m(\text{Ag}^+) = 2,4 \cdot 10^{-21}$  г.

### Пример 3

Произойдёт ли осаждение сульфида ртути при прибавлении к 1 л 0,5 М раствора  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ , содержащего 5,0 моль/л избыточного  $\text{KI}$ , такого количества моль ионов  $\text{S}^{2-}$ , которое содержится в 3 л насыщенного раствора  $\text{CdS}$ ?

$$\text{PP}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}, \quad \text{PP}(\text{CdS}) = 8,0 \cdot 10^{-27}, \quad K_y([\text{HgI}_4]^{2-}) = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

**Решение:**



$$K_y = \frac{[\text{HgI}_4]^{2-}}{[\text{Hg}^{2+}][\text{I}^-]^4}.$$

Пусть равновесная концентрация  $[\text{Hg}^{2+}] = x$  моль/л, тогда:

$$K_y = \frac{0,5 - x}{x(4x + 5,0)^4} = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

$$K_y = \frac{0,5}{x \cdot 5,0^4} = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

$$K_y = \frac{0,5}{x \cdot 625} = 6,6 \cdot 10^{30}.$$

$$x = 1,21 \cdot 10^{-34} \text{ моль/л} - [\text{Hg}^{2+}].$$

Насыщенный раствор CdS:



$$\text{ПК} = \text{ПР} = [\text{Cd}^{2+}][\text{S}^{2-}] = \text{P}^2.$$

$$\text{P} = \sqrt{\text{ПК}} = \sqrt{8,0 \cdot 10^{-27}} = 8,94 \cdot 10^{-14}.$$

$$\text{P} = 8,94 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}.$$

В 1 л содержится  $8,94 \cdot 10^{-14}$  моль  $[\text{S}^{2-}]$ .

В 3 л содержится  $2,68 \cdot 10^{-13}$  моль  $[\text{S}^{2-}]$ .



**ПК > ПР – условие выпадения осадка.**

$$\text{ПК} = [\text{Hg}^{2+}][\text{S}^{2-}].$$

$$\text{ПК} = 1,21 \cdot 10^{-34} \cdot 2,68 \cdot 10^{-13} = 3,24 \cdot 10^{-47}.$$

$$\text{ПР}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}.$$

**ПК > ПР – осадок выпадет.**

**Ответ:** ПК > ПР – осадок выпадет.

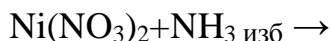
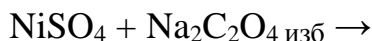
### Задания

421. А. Константа нестойкости иона  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$  составляет  $3,5 \cdot 10^{-14}$ . Сколько граммов серебра содержится в виде ионов в 1 л 0,1 М раствора  $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ , содержащем, кроме того, 25 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



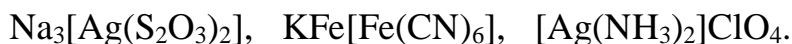
В. Написать уравнения реакций:



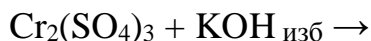
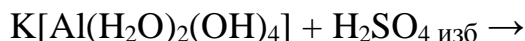
422. А. При какой концентрации ионов  $\text{Cl}^-$  начнётся выпадение осадка  $\text{AgCl}$  из 0,1 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 1 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора.

$$P(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}, \quad K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:

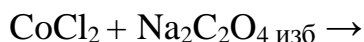
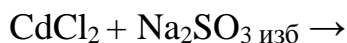


423. А. Константа нестойкости иона  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$  составляет  $1,4 \cdot 10^{-20}$ . Вычислить концентрацию ионов  $\text{Ag}^+$  в 0,05 М растворе  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ , содержащем, кроме того, 0,01 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора.

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



424. А. Константа нестойкости иона  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$  составляет  $7,8 \cdot 10^{-18}$ . Вычислить концентрацию ионов  $\text{Cd}^{2+}$  в 0,1 М растворе  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ , содержащем в избытке 0,1 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора.

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



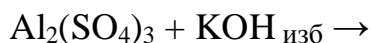
425. А. Произойдёт ли образование осадка  $\text{Ag}_2\text{S}$  после добавления 10 мл насыщенного раствора  $\text{ZnS}$  к 1 л 0,01 М раствора  $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ , содержащего избыточных 0,02 моль  $\text{KCN}$ ?

$$K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-} = 2,8 \cdot 10^{-21}, \quad \text{PP}(\text{Ag}_2\text{S}) = 6,3 \cdot 10^{-50}, \quad \text{PP}(\text{ZnS}) = 1,6 \cdot 10^{-24}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:

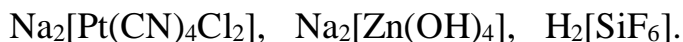


В. Написать уравнения реакций:

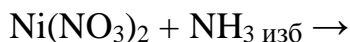
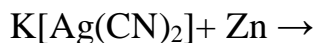


426. А. Константа нестойкости иона  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  составляет  $5,7 \cdot 10^{-8}$ . Какова концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  в 0,08 М растворе  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащем, кроме того, 0,8 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора? Сколько граммов  $\text{NaCl}$  можно добавить к 1 л указанного раствора до начала выпадения осадка  $\text{AgCl}$ ?  $\text{PP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}$ .

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:

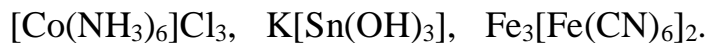


В. Написать уравнения реакций:

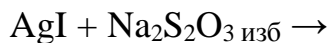
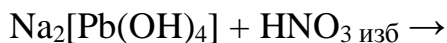


427. А. Выпадет ли осадок  $\text{AgI}$ , если к 1 л 0,1 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 1 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора, добавить  $1 \cdot 10^{-5}$  моль  $\text{KI}$ ?  $\text{PP}(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$ ,  $K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}$ .

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



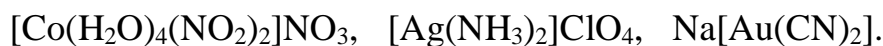
В. Написать уравнения реакций:



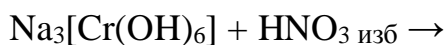
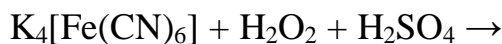
428. А. При какой концентрации ионов  $\text{S}^{2-}$  начнётся выпадение осадка  $\text{CdS}$  из 0,05 М раствора  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ , содержащего 0,1 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора?



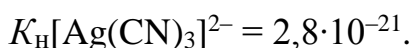
Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



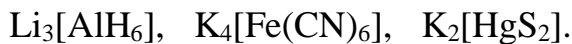
В. Написать уравнения реакций:



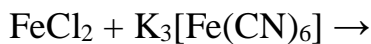
429. А. Какова концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  в 0,05 М растворе  $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ , содержащем, кроме того, 0,05 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора?



Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



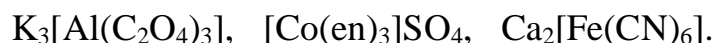
В. Написать уравнения реакций:



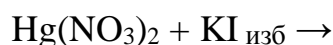
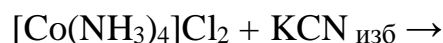
430. А. Произойдёт ли осаждение сульфида ртути при прибавлении к 1 л 0,001 М раствора  $K_2[HgI_4]$ , содержащего 0,05 моль KI, такого количества моль ионов  $S^{2-}$ , которое содержится в 1 л насыщенного раствора CdS?

$$K_H[HgI_4]^{2-} = 1,5 \cdot 10^{-31}, \quad PP(CdS) = 7,9 \cdot 10^{-27}, \quad PP(HgS) = 1,6 \cdot 10^{-52}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



431. А. Произойдёт ли образование осадка иодида серебра, если к 1 л 0,01 М раствора  $K_2[Ag(CN)_3]$ , содержащему избыточных 0,02 моль KCN, добавить  $1 \cdot 10^{-3}$  моль KI?  $PP(AgI) = 8,3 \cdot 10^{-17}$ ,  $K_H[Ag(CN)_3]^{2-} = 2,8 \cdot 10^{-21}$ .

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:

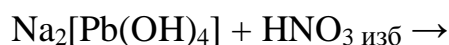


432. А. Сколько граммов серебра содержится в виде ионов в 2 л 0,3 М раствора  $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$ , содержащего, кроме того, 12,5 г  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  в 1 л раствора? Константа нестойкости иона  $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$  составляет  $3,5 \cdot 10^{-14}$ .

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



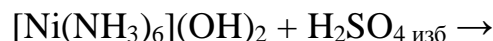
433. А. Сколько граммов RbCl нужно добавить до начала выпадения осадка AgCl к 1 л 0,05 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 1 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора?

$$\text{IP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}, \quad K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



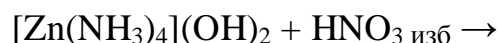
434. А. Сколько граммов KCl нужно добавить к 1 л 0,08 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 0,8 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора, до начала выпадения осадка AgCl?

$$\text{IP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}, \quad K_{\text{y}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 1,75 \cdot 10^7.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



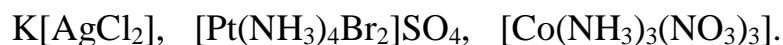
В. Написать уравнения реакций:



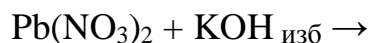
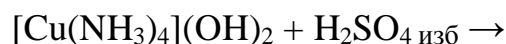
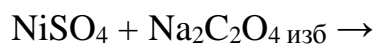
435. А. Какова концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  в 0,2 М растворе  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащем, кроме того, 0,1 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора?

$$K_{\text{y}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 1,75 \cdot 10^7.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



436. А. Выпадет ли осадок AgBr, если к 1 л 0,5 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 2 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора, добавить  $10^{-4}$  моль KBr?

$$\text{PP}(\text{AgBr}) = 5,3 \cdot 10^{-13}, \quad K_y[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 1,75 \cdot 10^7.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



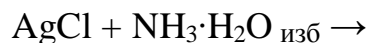
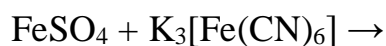
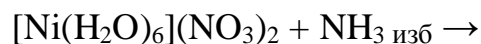
437. А. Выпадет ли осадок AgBr, если к 2 л 0,3 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 1 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора, прибавить 1 л 0,01 Н раствора KBr?

$$\text{PP}(\text{AgBr}) = 5,3 \cdot 10^{-13}, \quad K_y[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 1,75 \cdot 10^7.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



438. А. При какой концентрации ионов  $\text{Cl}^-$  начнётся выпадение AgCl из 0,3 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 1,5 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора?

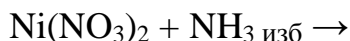
$$\text{PP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}, \quad K_y[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 1,75 \cdot 10^7.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:





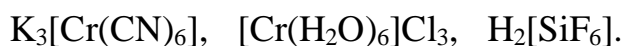
В. Написать уравнения реакций:



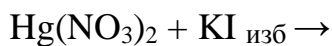
439. А. Какова концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  в 0,1 М растворе  $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ , содержащем в избытке 0,1 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора?

$$K_y[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-} = 3,6 \cdot 10^{-20}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



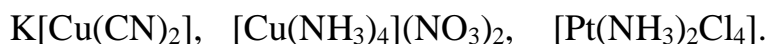
В. Написать уравнения реакций:



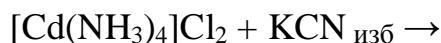
440. А. Какова концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  в 0,3 М растворе  $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ , содержащем, кроме того, 0,15 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора?

$$K_n[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-} = 2,8 \cdot 10^{-21}$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



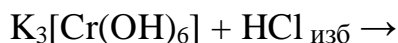
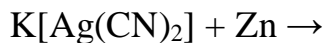
441. А. Выпадет ли осадок сульфида ртути при прибавлении к 1 л 0,02 М раствора  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ , содержащего 0,05 моль  $\text{KI}$ , 0,078 г  $\text{Na}_2\text{S}$ ?

$$\text{IP}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}, K_y[\text{HgI}_4]^{2-} = 6,7 \cdot 10^{-30}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



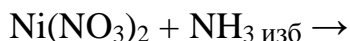
442. А. Произойдёт ли образование осадка иодида серебра, если к 1 л 0,1 М раствора  $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ , содержащего избыточных 0,5 моль KCN, добавить  $10^{-2}$  моль KI?

$$\text{PP}(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}, \quad K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-} = 2,8 \cdot 10^{-21}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



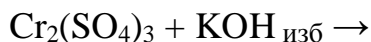
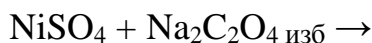
443. А. Произойдёт ли осаждение сульфида ртути при добавлении к 1 л 0,008 М раствора  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ , содержащего 0,1 моль KI, такого количества моль ионов  $\text{S}^{2-}$ , которое содержится в 2 л насыщенного раствора ZnS?

$$K_{\text{H}}[\text{HgI}_4]^{2-} = 1,5 \cdot 10^{-31}, \quad \text{PP}(\text{ZnS}) = 8,0 \cdot 10^{-26}, \quad \text{PP}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



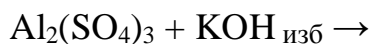
444. А. Произойдёт ли осаждение сульфида ртути при прибавлении к 1 л 0,02 М раствора  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ , содержащего 0,1 моль KI, такого количества моль ионов  $\text{S}^{2-}$ , которое содержится в 1 л насыщенного раствора CdS?

$$K_{\text{H}}[\text{HgI}_4]^{2-} = 1,5 \cdot 10^{-31}, \quad \text{PP}(\text{CdS}) = 7,9 \cdot 10^{-27}, \quad \text{PP}(\text{HgS}) = 1,6 \cdot 10^{-52}.$$

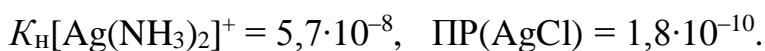
Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



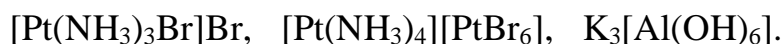
В. Написать уравнения реакций:



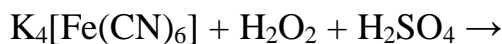
445. А. Сколько моль аммиака должно содержаться в 1 л 0,3 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , чтобы прибавление 0,75 г  $\text{KCl}$  к 1 л раствора не вызвало выпадения осадка хлорида серебра?



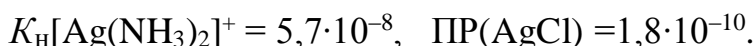
Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



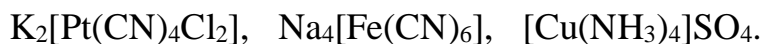
В. Написать уравнения реакций:



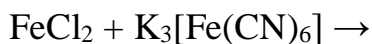
446. А. Сколько моль аммиака должно содержаться в 2 л 0,05 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , чтобы прибавление 2,3 г  $\text{KCl}$  к 1 л раствора не вызвало выпадения осадка хлорида серебра?



Б. Дать название следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



447. А. Сколько моль аммиака должно содержаться в 1 л 0,1 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , чтобы прибавление 1,5 г  $\text{KCl}$  к 1 л раствора не вызвало выпадения осадка хлорида серебра?

$$K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}, \quad \text{ПР}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



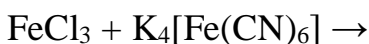
448. А. Выпадет ли осадок  $\text{AgBr}$ , если к 1 л 0,1 М раствора  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ , содержащего, кроме того, 1 моль  $\text{NH}_3$  в 1 л раствора, прибавить  $1 \cdot 10^{-5}$  моль  $\text{KBr}$ ?

$$K_{\text{H}}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}, \quad \text{ПР}(\text{AgBr}) = 5,3 \cdot 10^{-13}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



449. А. При какой концентрации ионов  $\text{S}^{2-}$  начнётся выпадение осадка  $\text{CdS}$  из 0,3 М раствора  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ , содержащего 0,2 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора?

$$K_{\text{H}}[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} = 7,8 \cdot 10^{-18}, \quad \text{ПР}(\text{CdS}) = 7,9 \cdot 10^{-27}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



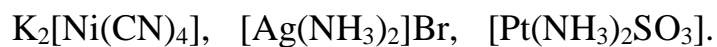
В. Написать уравнения реакций:



450. А. При какой концентрации ионов  $\text{S}^{2-}$  начнётся выпадение осадка  $\text{CdS}$  из 0,2 М раствора  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ , содержащего 0,05 моль  $\text{KCN}$  в 1 л раствора?

$$K_{\text{н}}[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} = 7,8 \cdot 10^{-18}, \quad \text{ПР}(\text{CdS}) = 7,9 \cdot 10^{-27}.$$

Б. Дать названия следующим комплексным соединениям:



В. Написать уравнения реакций:



**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
**ТАБЛИЦЫ ПЛОТНОСТЕЙ РАСТВОРОВ**

Таблица П.1.1

**Плотности водных растворов некоторых электролитов (в г/см<sup>3</sup>)  
при 20 °С**

с, мас. %	NaOH	KOH	NaCl	KCl	HCl	NH <sub>3</sub>
0	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
1	1,010	1,008	1,005	1,004	1,003	0,994
2	1,021	1,016	1,012	1,011	1,008	0,990
3	1,032	1,024	1,020	1,017	1,012	0,984
4	1,043	1,033	1,027	1,024	1,018	0,981
5	1,054	1,041	1,034	1,030	1,023	0,977
6	1,065	1,048	1,041	1,037	1,028	0,973
7	1,076	1,055	1,049	1,043	1,033	0,969
8	1,087	1,064	1,056	1,050	1,038	0,965
9	1,098	1,072	1,063	1,057	1,043	0,961
10	1,109	1,080	1,071	1,063	1,047	0,958
12	1,131	1,099	1,086	1,077	1,057	0,950
14	1,153	1,116	1,101	1,090	1,067	0,943
16	1,175	1,137	1,116	1,104	1,078	0,936
18	1,197	1,154	1,132	1,118	1,088	0,930
20	1,219	1,173	1,148	1,133	1,098	0,923
22	1,241	1,193	1,164	1,147	1,108	0,916
24	1,263	1,217	1,180	1,162	1,119	0,910
26	1,285	1,238	1,197		1,129	0,904
28	1,306	1,260			1,139	0,898
30	1,328	1,285			1,149	0,892
32	1,349	1,307			1,159	
34	1,370	1,331			1,169	
36	1,390	1,355			1,179	
38	1,410	1,382			1,189	
40	1,430	1,408			1,198	

Таблица П.1.2

**Плотности водных растворов азотной, серной и уксусной кислот (в г/см<sup>3</sup>)  
при 20 °С**

$c$ , мас. %	HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COOH	$c$ , мас. %	HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COOH
0	0,998	0,998	0,998	43	1,266	1,329	1,052
1	1,004	1,005	1,000	46	1,285	1,357	1,054
2	1,009	1,012	1,001	49	1,304	1,385	1,057
3	1,015	1,018	1,003	52	1,322	1,415	1,059
4	1,020	1,025	1,004	55	1,339	1,445	1,061
5	1,026	1,032	1,006	58	1,356	1,477	1,063
6	1,031	1,038	1,007	61	1,372	1,509	1,065
7	1,037	1,045	1,008	64	1,387	1,542	1,066
8	1,043	1,052	1,010	67	1,400	1,576	1,068
9	1,049	1,059	1,011	70	1,413	1,611	1,069
10	1,054	1,066	1,013	73	1,426	1,646	1,069
13	1,072	1,087	1,017	76	1,438	1,681	1,070
16	1,090	1,109	1,021	79	1,449	1,716	1,070
19	1,109	1,132	1,025	82	1,459	1,749	1,070
22	1,128	1,155	1,029	85	1,469	1,779	1,069
25	1,147	1,178	1,033	88	1,477	1,802	1,068
28	1,167	1,202	1,036	91	1,485	1,819	1,065
31	1,187	1,227	1,040	94	1,491	1,8312	1,062
34	1,207	1,252	1,043	97	1,497	1,8363	1,057
37	1,227	1,277	1,046	100	1,513	1,8305	1,050
40	1,246	1,303	1,049				

# СПРАВОЧНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Таблица П.2.1

**Термодинамические характеристики образования ( $\Delta H^\circ_{\text{обр}}$ ,  $\Delta G^\circ_{\text{обр}}$ , кДж/моль) и стандартные энтропии ( $S^\circ$ , Дж/(моль·К)) веществ при 298,15 К**

Вещество и состояние	$\Delta H^\circ_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^\circ_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^\circ, 298,15$ Дж/(моль·К)
Ag (к)	0	0	42,55
Ag <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	105,6	77,13	72,6
AgBr (к)	-100,7	-97,2	107,1
AgCl (к)	-127,1	-109,8	96,1
AgCl <sub>2</sub> <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-245,2	-214,8	228,9
AgCN (к)	145,9	156,9	107,2
Ag(CN) <sub>2</sub> <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	269,0	301,7	201,3
AgF (к)	-205,9	-187,9	84
AgF (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	-223,5	-	-
AgF (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	-223,7	-	-
AgF (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-223,7	-	-
AgF (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-225,9	-200,6	58,8
AgI (к)	-61,9	-66,4	115,5
Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-111,2	-17,6	246
AgNO <sub>3</sub> (к)	-124,5	-33,6	140,9
AgNO <sub>3</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	-103,7	-	-
AgNO <sub>3</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-101,7	-	-
AgNO <sub>3</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-101,8	-34,5	219,8
Ag <sub>2</sub> O (к)	-31,1	-11,3	121,0
Ag <sub>2</sub> S (к)	-32,8	-40,8	144,0
Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-1296,2	-1033,2	98,9
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	-717,2	-619,6	199,8
Al (г)	329,1	288,5	164,4
Al (к)	0	0	28,34
Al <sup>3+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-529,7	-490	-301
Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> (к)	-209	-196	89,0
AlCl (г)	-45,9	-72,1	227,9
AlCl <sub>3</sub> (г)	-585	-571	313,8
AlCl <sub>3</sub> (к)	-704,2	-628,6	109,3
AlCl <sub>3</sub> ( p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-1035,4	-	-
AlCl <sub>3</sub> ( p-p; 10000 H <sub>2</sub> O)	-1036,6	-	-
AlCl <sub>3</sub> ( p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-1031,0	-883,8	-132
AlCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O (к)	-2691,6	-2261,3	318,0
Al <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> (г)	-1293	-1209	444,3



Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^\circ_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^\circ_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^\circ, 298,15$ Дж/(моль·К)
$\text{Al}_2\text{Cl}_6$ (к)	–1408,3	–1257,2	218,6
$\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ (ж)	–151	–24,8	209,6
$\text{AlF}$ (г)	–263,3	–288,7	215,01
$\text{AlF}_3$ (г)	–1210,8	–1194,3	277,0
$\text{AlF}_3$ (к)	–1510,4	–1431,1	66,5
$\text{AlF}_6^{3-}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–2518	–2275	24
$\text{AlH}_3$ (к)	–11,4	46	30,0
$\text{AlI}_3$ (к)	–307,9	–304,1	190
$\text{AlBr}_3$ (к)	–513,88	–490,60	180,25
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (к)	–2850,1	–2203,5	468
$\text{AlO}_2^-$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–934,9	–832,1	–46
$\text{Al}(\text{OH})_3$ (аморф.)	–1276	–	–
$\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–1506,5	–1306,6	90
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (к)	–1675,7	–1582,3	50,9
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (аморф)	–1602	–	–
$\text{Al}_2\text{S}_3$ (к)	–724	–	–
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (к)	–3441,8	–3100,9	239,2
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (p-p; 55 $\text{H}_2\text{O}$ )	–3771,6	–	–
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (p-p; 100 $\text{H}_2\text{O}$ )	–3780,1	–	–
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (p-p; 800 $\text{H}_2\text{O}$ )	–3786,6	–	–
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–3792,4	–3217,1	–548
$\text{As}$ (г)	288,7	247,4	174,1
$\text{As}$ (к)	0	0	35,61
$\text{AsCl}_3$ (г)	–271,1	–258,1	326,2
$\text{AsCl}_3$ (ж)	–315,5	–268,4	212,5
$\text{AsF}_3$ (ж)	–956,9	–909,6	181,2
$\text{AsH}_3$ (г)	66,4	68,9	222,97
$\text{AsI}_3$ (к)	–64,9	–65,8	213,0
$\text{AsO}_4^{3-}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–890,1	–648,9	–167,28
$\text{As}_4\text{O}_6$ (к)	–1334,7	–1176,4	233
$\text{As}_2\text{O}_5$ (к)	–926,4	–783,8	105,4
$\text{As}_2\text{S}_3$ (к)	–159,0	–158,0	164
$\text{HAsO}_4^{2-}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–908,3	–715,6	–5
$\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–911,5	–755,6	119
$\text{H}_3\text{AsO}_4$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–908,6	–768,2	171
$\text{Au}$ (к)	0	0	47,4
$\text{AuBr}_3$ (к)	–54	–18,0	155
$\text{AuCl}$ (к)	–36,4	–14,6	85,9
$\text{AuCl}_3$ (к)	–118	–54	164

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
$\text{AuCl}_4^- (\text{p-p; } \infty \text{ H}_2\text{O, гип. недис.})$	–322,0	–235,6	268,3
$\text{AuF}_3 (\text{к})$	–431,4	-	-
$\text{Au}(\text{OH})_3 (\text{к})$	–477,8	–349,8	121
$\text{Au}_2\text{O}_3 (\text{к})$	–13,0	78,7	-
$\text{B} (\text{г})$	561,6	517,6	153,33
$\text{B}_2 (\text{г})$	845,2	788,6	201,79
$\text{B} (\text{к})$	0	0	5,86
$\text{BBr}_3 (\text{ж})$	–239,3	–237,5	228
$\text{B}(\text{CH}_3)_3 (\text{г})$	–124	–36,2	315,0
$\text{BCl}_3 (\text{г})$	–403,8	–388,7	289,5
$\text{BCl}_3 (\text{ж})$	–427,1	–387,1	206
$\text{BF}_3 (\text{г})$	–1136,9	–1120,3	254,3
$\text{BF}_4^- (\text{p-p; } \infty \text{ H}_2\text{O})$	–1572	–1482	176
$\text{BH}_3 (\text{г})$	92	96	187,7
$\text{BN} (\text{к})$	–252,6	–226,8	14,8
$\text{B}(\text{OH})_3 (\text{к})$	–1094,2	–968,8	88,7
$\text{BO}_4^- (\text{p-p; } \infty \text{ H}_2\text{O, гип. недис.})$	–1344,1	–1152,9	101
$\text{B}_2\text{H}_6 (\text{г})$	38	90	232
$\text{B}_2\text{O}_3 (\text{к})$	–1272,9	–1193,8	54,0
$\text{B}_2\text{O}_3 (\text{аморф.})$	–1254,0	-	-
$\text{HBO}_2 (\text{к})$	–803,8	–736,1	49
$\text{Ba} (\text{г})$	179	147	170,13
$\text{Ba} (\text{к})$	0	0	62,5
$\text{Ba}^{2+} (\text{p-p; } \infty \text{ H}_2\text{O})$	–524,0	–546,8	8,4
$\text{BaCO}_3 (\text{к})$	–1211	–1132,2	112,1
$\text{BaCl}_2 (\text{к})$	–844,0	–795,7	123,7
$\text{BaCl}_2 (\text{p-p; } 50 \text{ H}_2\text{O})$	–855,7	-	-
$\text{BaCl}_2 (\text{p-p; } 100 \text{ H}_2\text{O})$	–855,8	-	-
$\text{BaCl}_2 (\text{p-p; } 1000 \text{ H}_2\text{O})$	–856,7	-	-
$\text{BaCl}_2 (\text{p-p; } \infty \text{ H}_2\text{O})$	–858,2	–809,3	121,4
$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} (\text{к})$	–1446,4	–1282,9	203,3
$\text{BaCrO}_4 (\text{к})$	–1428,8	–1332	172,01
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 (\text{к})$	–978,6	–783,2	213,8
$\text{BaH}_2 (\text{к})$	–190,1	–151,3	63
$\text{BaO} (\text{к})$	–548	–520	72,0
$\text{BaO}_2 (\text{к})$	–623	-	-
$\text{Ba}(\text{OH})_2 (\text{к})$	–941	–855	109
$\text{Ba}(\text{OH})_2 (\text{p-p; } 400 \text{ H}_2\text{O})$	–984,5	-	-
$\text{Ba}(\text{OH})_2 (\text{p-p; } \infty \text{ H}_2\text{O})$	–984,1	–861,4	–13,4

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
BaS (к)	–456	–451	78,4
BaSO <sub>4</sub> (к)	–1458,9	–1347,9	132,2
BaSiO <sub>3</sub> (к)	–1617	–1534	109,6
Be (г)	324	286	136,16
Be (к)	0	0	9,50
Be <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–377,4	–375,7	–127
BeCO <sub>3</sub> (к)	–1046	–965	52
BeCl <sub>2</sub> (к)	–496,2	–449,5	75,8
BeF <sub>2</sub> (к)	–1027,3	–979,9	53,3
BeH <sub>2</sub> (г)	126	115	174,6
BeO (к)	–609,2	–579,9	13,77
Be(OH) <sub>2</sub> (к)	–905,8	–816,5	45,56
BeSO <sub>4</sub> (к)	–1201,2	–1089,8	77,9
BeSO <sub>4</sub> (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–1273,9	-	-
BeSO <sub>4</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–1278,2	-	-
BeSO <sub>4</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–1279,8	-	-
BeSO <sub>4</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–1283,9	-	-
BeSO <sub>4</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–1288,4	–1121,4	–109
Be <sub>2</sub> C (к)	–117,2	-	-
Be <sub>3</sub> N <sub>2</sub> (к)	–587,9	–532,5	34,3
Bi (к)	0	0	56,9
Bi <sup>3+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	81,0	91,8	175
BiCl <sub>3</sub> (г)	–263,0	–252,6	356,5
BiCl <sub>3</sub> (к)	–378,7	–313,1	172
BiI <sub>4</sub> <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-	–211,8	-
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (к)	–155,6	–152,9	200
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–577,8	–497,3	151,5
BiOCl (к)	–371,1	–321,0	103
Bi(OH) <sub>3</sub> (к)	–712,1	-	-
Br (г)	111,84	82,38	174,9
Br <sub>2</sub> (г)	30,91	3,13	245,37
Br <sub>2</sub> (ж)	0	0	152,2
Br <sup>–</sup> (г)	–218,87	–238,66	163,38
Br <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–121,4	–104,1	83,3
BrF (г)	–42,39	–57,71	228,9
BrF <sub>3</sub> (г)	–255,6	–229,5	292,5
BrF <sub>5</sub> (г)	–428,9	–350,3	-
BrO <sub>3</sub> <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–82,8	1,9	164,8
HBr (г)	–36,3	–53,3	198,59

## Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
HBr (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	-118,7	-	-
HBr (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	-119,9	-	-
HBr (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	-120,3	-	-
HBr (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-121,1	-	-
HBr (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-121,4	-104,1	83,3
C (г)	715,1	669,7	157,99
C (к, алмаз)	1,83	2,83	2,37
C (к, графит)	0	0	5,74
CCl <sub>4</sub> (г)	-102,9	-60,7	309,9
CCl <sub>4</sub> (ж)	-135,4	-64,6	214,4
CF <sub>4</sub> (г)	-933,0	-888,4	261,37
CHBr <sub>3</sub> (г)	42	32,5	330,7
CHCl <sub>3</sub> (г)	-101,3	-68,6	295,9
CHF <sub>3</sub> (г)	-698,7	-664,3	259,57
CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (г)	-445,6	-418,1	246,6
CH <sub>3</sub> OH (г)	-202,0	-163,3	239,7
CH <sub>3</sub> OH (ж)	-239,45	-167,1	126,6
CH <sub>4</sub> (г)	-74,81	-50,82	186,31
CN <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	150,6	171,6	96,4
CNO <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-145,90	-96,07	101,13
CNS <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	74,27	89,96	146,05
CO (г)	-110,52	-137,14	197,54
CO <sub>2</sub> (г)	-393,51	-394,38	213,67
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-676,64	-527,6	-56
COCl <sub>2</sub> (г)	-221	-207	284
COS (г)	-141,70	-168,94	231,53
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (г)	226,0	208,5	200,83
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (г)	52,5	68,3	219,3
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (г)	-84,7	-33,0	229,5
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (г)	-234,6	-168,1	282,4
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (ж)	-276,9	-174,2	161,0
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (ж)	49,03	124,5	172,8
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> (ж) (циклогексан)	-156,23	26,65	204,39
HCN (г)	134,7	124,3	201,71
HCN (г)	134,7	124,3	201,71
HNCS (г)	127,61	112,89	248,03
COOH <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-426,2	-351,5	91
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-485,64	-369,37	87,58
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-824,25	-674,86	51,04

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
$\text{HC}_2\text{O}_4^-$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–818,18	–688,47	117,03
$\text{HCOOH}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–426,2	–373,0	163
$\text{HCO}_3^-$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–691,3	–586,6	93
$\text{H}_2\text{CO}_3$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип. недис.)	–699,0	–623,3	190
$\text{CS}_2$ (г)	116,7	66,55	237,8
$\text{CS}_2$ (ж)	88,70	64,41	151,04
Ca (к)	0	0	41,6(63)
$\text{Ca}^{2+}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–543,1	–552,8	56,5
$\text{CaC}_2$ (к)	–60	–65	70,0
$\text{CaCl}_2$ (к)	–795,9	–749,4	108,4
$\text{CaCl}_2$ (p-p; 20 $\text{H}_2\text{O}$ )	–870,3	-	-
$\text{CaCl}_2$ (p-p; 50 $\text{H}_2\text{O}$ )	–873,2	-	-
$\text{CaCl}_2$ (p-p; 100 $\text{H}_2\text{O}$ )	–874,1	-	-
$\text{CaCl}_2$ (p-p; 1000 $\text{H}_2\text{O}$ )	–875,7	-	-
$\text{CaCl}_2$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–877,3	–815,3	169,5
$\text{CaCO}_3$ (к)	–1206,8	–1128,4	91,7
$\text{CaF}_2$ (к)	–1220,9	–1168,5	68,5
$\text{Ca(OH)}_2$ (к)	–985,1	–897,1	83,4
$\text{CaHPO}_4$ (к)	–1808,6	–1675,4	111,4
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (к)	–2397,46	–2148,60	189,45
$\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2$ (к)	–3114,6	–2811,8	189,5
$\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (к)	–3408,29	–3057,00	259,83
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (к)	–4120,8	–3885,0	236,0
$\text{Ca(NO}_3)_2$ (к)	–938,8	–743,5	193,3
CaO (к)	–635,1	–603,5	38,1
CaS (к)	–476,98	–471,93	56,61
$\text{CaSO}_4$ (к)	–1436,3	–1323,9	106,7
$\text{Ca}_3\text{N}_2$ (к)	–431,8	-	-
Cd (к)	0	0	51,76
$\text{Cd}^{2+}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–75,3	–77,7	–71
$\text{CdCl}_2$ (к)	–390,8	–343,2	115,3
$\text{CdO}$ (к)	–259,0	–229,3	54,8
$\text{CdSO}_4$ (к)	–934,41	–823,88	123,05
$\text{CdS}$ (к)	–157	–153,2	71,1
Ce (к)	0	0	71,5
$\text{Ce}^{3+}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–700,8	–675,4	–209,6
$\text{Ce}^{4+}$ (p-p; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–538,1	–506,7	–295
Cl (г)	121,31	105,33	165,08

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
Cl <sup>-</sup> (г)	-233,62	-239,85	153,25
Cl <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-167,1	-131,26	56,5
Cl <sub>2</sub> (г)	0	0	222,98
ClO <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-110,0	-36,6	33
ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-66,53	17,12	101,25
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-95,6	-0,2	164,4
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-123,6	-3,4	183,7
HCl (г)	-92,31	-95,30	186,79
HCl (р-р; 20 H <sub>2</sub> O)	-163,7	-	-
HCl (р-р; 50 H <sub>2</sub> O)	-165,3	-	-
HCl (р-р; 100 H <sub>2</sub> O)	-165,8	-	-
HCl (р-р; 1000 H <sub>2</sub> O)	-166,7	-	-
HCl (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-167,1	-131,26	56,5
HClO <sub>4</sub> (ж)	-34,9	84,0	188,3
ClO <sub>2</sub> (г)	104,60	122,34	257,02
Cl <sub>2</sub> O (г)	75,73	93,40	266,23
Co (к)	0	0	30,04
Co <sup>2+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-56,6	-53,6	-110
Co <sup>3+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	94	130	285
CoCl <sub>2</sub> (к)	-310,0	-267,3	109,7
Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> <sup>2+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис)	-	-239,6	-
Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> <sup>3+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис)	-594,5	-221	332
CoO (к)	-238,9	-215,1	52,7
CoSO <sub>4</sub> (к)	-867,76	-760,83	113,39
Cr (к)	0	0	23,6(64)
Cr <sup>2+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-138,91	-183,26	41,87
Cr <sup>3+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-236,0	-223,1	215,5
CrCl <sub>3</sub> (к)	-570	-501	124,7
CrCl <sub>3</sub> (р-р; 300 H <sub>2</sub> O)	-720	-	-
CrCl <sub>3</sub> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-737,3	-616,9	385,0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1140,6	-1059,0	81,2
CrO <sub>3</sub> (к)	-590	-513	73,2
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-882	-729	54
CrO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (г)	-528,9	-492,5	330
Cr(OH) <sub>3</sub> (к., свежесажд.)	-1013	-867	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-1491	-1305	270
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (к)	-1807	-	-
Cs (г)	76,9	49,9	175,49
Cs (к)	0	0	85,23

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
Cs <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–258,07	–291,6	132,2
CsBr (к)	–405,5	–391,1	113,0
CsCl (к)	–442,44	–414,0	101,17
CsF (к)	–553,5	–525,7	93,01
CsI (к)	–346,5	–340,2	122,2
CsOH (к)	–416,6	–372	103
Cs <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	–1444,3	–1325,0	211,9
Cu (к)	0	0	33,1
Cu <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	72,8	50,0	–44
Cu <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	66,9(94)	65,6(56)	–93
CuCl (к)	–137,3	–120,1	87
CuCl <sub>2</sub> (к)	–205,85	–161,71	108,07
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–151,04	–63,1	–263,59
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–36,86	15,76	17,90
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–140,21	–30,50	117,74
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–244,01	–73,18	204,24
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–346,4	–111,5	281
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>5</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–448,23	–134,64	309,47
Cu <sub>2</sub> O (к)	–173,2	–150,6	92,9
CuO (к)	–162,0	–134,3	42,63
CuS (к)	–53,14	–53,58	66,53
Cu <sub>2</sub> S (к)	–79,50	–86,27	120,92
CuSO <sub>4</sub> (к)	–770,9	–661,79	109,2
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O (к)	–2279,4	–1880	300
CuSO <sub>4</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–837,5	–	–
CuSO <sub>4</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–837,9	–	–
CuSO <sub>4</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–839,4	–	–
CuSO <sub>4</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–844,1	–680,1	–75
F (г)	79,38	62,30	158,64
F <sup>–</sup> (г)	–259,68	–266,61	145,47
F <sub>2</sub> (г)	0	0	202,7
F <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–331,5	–277,7	–13,8
HF <sub>2</sub> <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–660,65	–581,52	67,78
HF (г)	–273,30	–275,41	173,67
Fe (к)	0	0	27,15
Fe <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–87,1	–78,9	–131
Fe <sup>3+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–46,4	–4,5	–309
Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	457,7	696,0	98
Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>3–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	564,0	731,7	269

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
FeCl <sub>2</sub> (к)	–341,7	–303,4	118
FeCl <sub>2</sub> (p-p; 350 H <sub>2</sub> O)	–416,6	-	-
FeCl <sub>2</sub> (p-p; 5000 H <sub>2</sub> O)	–423,4	-	-
FeCl <sub>2</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–421,3	–341,4	–18
FeCl <sub>3</sub> (к)	–399,4	-	-
FeCl <sub>3</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–531,8	-	-
FeCl <sub>3</sub> (p-p; 20000 H <sub>2</sub> O)	–528,0	-	-
FeCl <sub>3</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–547,7	–398,3	–140
FeCO <sub>3</sub> (к)	–738,15	–665,09	95,40
Fe(CO) <sub>5</sub> (ж)	–764	–695	338
FeO (к)	–265	–244	60,8
Fe(OH) <sub>2</sub> (к)	–562	–479,7	88
Fe(OH) <sub>3</sub> (к)	–827	–699,6	105
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–822	–740	87
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (к)	–1117,13	–1014,17	146,19
FeSO <sub>4</sub> (к)	–927,59	–819,77	107,53
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (к)	–2580	–2253	283
FeS (к)	–100,42	–100,78	60,29
FeS <sub>2</sub> (к)	–177,40	–166,05	52,93
Ga (к)	0	0	41,09
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–1089,10	–998,24	84,98
Ge (к)	0	0	31,13
GeCl <sub>4</sub> (г)	–504,6	–466,0	347,7
GeH <sub>4</sub> (г)	90,8	113,2	217,1
GeO <sub>2</sub> (к)	–580,2	–521,6	39,7
H (г)	217,98	203,27	114,60
H <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	0	0	0
H <sup>+</sup> (г)	1536,21	1517,00	108,84
H <sup>–</sup> (г)	139,03	132,26	108,85
H <sub>2</sub> (г)	0	0	130,52
Hg (ж)	0	0	75,9
Hg (г)	61,3	31,8	174,85
Hg <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	173,5	164,7	25
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	171,8	153,6	82
HgCl <sub>2</sub> (к)	–228,24	–180,90	140,02
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (к)	–265,06	–210,81	192,76
HgBr <sub>2</sub> (к)	–169,45	–152,22	170,31
Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub> (к)	–207,07	–181,35	217,70
HgI <sub>2</sub> (к)	–105,44	–103,05	184,05



Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
HgO (к, красн.)	–90,88	–58,65	70,3
HgO (к, желт.)	–90,46	–58,52	71,3
HgS (к)	–59,0	–51,42	82,42
Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	–744,7	–627,51	200,71
I (г)	106,76	70,21	180,67
I <sub>2</sub> (г)	62,43	19,37	260,6
I <sub>2</sub> (к)	0	0	116,1
I <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–55,2	–51,67	111
I <sub>3</sub> <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–51,46	–51,42	239,32
I <sup>–</sup> (г)	–195,02	–221,92	169,15
IO <sub>3</sub> <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–233,9	–141,5	120,9
HI (г)	26,57	1,78	206,48
HI (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–54,2	–	–
HI (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–54,5	–	–
HI (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–54,9	–	–
HI (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–55,2	–51,67	111
In (к)	0	0	57,82
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–925,92	–831,98	107,95
In <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (к)	–2725,50	–2385,87	302,08
K (г)	88,9	60,4	160,23
K (к)	0	0	64,68
K <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–252,25	–282,52	100,9
K[AlH <sub>4</sub> ] (к)	–170,7	–	–
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (к)	–2465,00	–2235	204,50
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O (к)	–6063,2	–5143,1	687
K[BF <sub>4</sub> ] (к)	–1884	–1782,1	134
KBr (к)	–393,5	–380,1	95,9
KBrO <sub>3</sub> (к)	–376,1	–287,0	149,2
KCN (к)	–113,4	–101,9	127,8
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	–1150,18	–1064,87	155,52
KCl (к)	–436,56	–408,6	82,55
KCl (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–420,46	–	–
KCl (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–419,50	–	–
KCl (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–419,15	–	–
KCl (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–419,07	–	–
KCl (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–419,35	–413,78	157,4
KClO <sub>3</sub> (к)	–389,1	–287,5	142,97
KClO <sub>4</sub> (к)	–427,2	–297,4	151,04
KF (к)	–566,1	–536,4	66,5

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
KF 2H <sub>2</sub> O (к)	–1162,3	–1020,1	155,0
KH (к)	–57,82	–34,0	50
KHF <sub>2</sub> (к)	–925,9	–857,8	104,3
KI (к)	–327,74	–322,76	106,06
KMnO <sub>4</sub> (к)	–833,9	–734,0	171,7
KNO <sub>3</sub> (к)	–494,5	–394,6	132,9
KOH (к)	–424,67	–378,9	78,9
KOH (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–481,11	-	-
KOH (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–481,44	-	-
KOH (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–481,55	-	-
KOH (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–481,92	-	-
KOH (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–482,29	–439,84	90
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> (к)	–1407,9	–1299,8	200
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (к)	–2062	–1882	291
K <sub>2</sub> O (к)	–362	–322	96
KO <sub>2</sub> (к)	–283	–238	117
KO <sub>3</sub> (к)	–261	–181	105
K <sub>2</sub> S (к)	–387	–373	113
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	–1439,3	–1321,3	175,6
K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] (к)	–253,6	–131,5	420,9
K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] (к)	–600,4	–458,6	419,1
La (к)	0	0	56,90
LaCl <sub>3</sub> (к)	–1070,68	–997,07	144,35
Li (г)	159,3	126,7	138,67
Li (к)	0	0	29,1
Li <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–278,45	–292,3	10,5
Li[AlH <sub>4</sub> ] (к)	–107,1	–35,6	78,7
LiBr (к)	–351,0	–341,7	74,01
LiCl (к)	–408,4	–384,1	59,29
LiH (к)	–90,67	–68,7	20,6
LiNO <sub>3</sub> (к)	–483,2	–380,5	88
LiOH (к)	–484,9	–439,0	42,8
Li <sub>2</sub> O (к)	–597,9	–561,2	37,61
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	–1216,00	–1132,67	90,16
Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	–1435,86	–1321,28	114,00
Mg (к)	0	0	32,7
Mg <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–468,1	–457,3	–133,9
MgCl <sub>2</sub> (к)	–644,8	–595,3	89,54
MgO (к)	–601,5	–569,3	27,07

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
Mg(OH) <sub>2</sub> (к)	–924,7	–833,7	63,2
MgCO <sub>3</sub> (к)	–1095,85	–1012,15	65,10
MgSO <sub>4</sub> (к)	–1287,4	–1173,2	91,5
MgSO <sub>4</sub> *6H <sub>2</sub> O (к)	–3089,50	–2635,10	348,10
MgSO <sub>4</sub> (p-p; 25 H <sub>2</sub> O)	–1372,1	-	-
MgSO <sub>4</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–1373,1	-	-
MgSO <sub>4</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–1373,8	-	-
MgSO <sub>4</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–1375,8	-	-
MgSO <sub>4</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–1379,1	–1203,0	–115,9
Mn (к)	0	0	32,0
Mn <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–220,2	–231,0	–62
MnO (к)	–385,1	–363,34	61,5
MnO <sub>2</sub> (к)	–521,5	–466,7	53,1
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–957,72	–879,91	110,46
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (к)	–1387,60	–1282,91	154,81
MnO <sub>4</sub> <sup>–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–538,1	–445,3	196
MnO <sub>4</sub> <sup>2–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-	–499,2	-
MnCO <sub>3</sub> (к)	–881,66	–811,40	109,54
MnCl <sub>2</sub> (к)	–481,16	–440,41	118,24
MnS (к)	–214,35	–219,36	80,75
MnSO <sub>4</sub> (к)	–1066,8	–959,0	112,5
MnSO <sub>4</sub> (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–1120,6	-	-
MnSO <sub>4</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–1123,1	-	-
MnSO <sub>4</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–1123,7	-	-
MnSO <sub>4</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–1125,9	-	-
MnSO <sub>4</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–1131,2	–976,7	–44
Mo (к)	0	0	28,62
MoO <sub>2</sub> (к)	–589,1	–533,2	46,28
MoO <sub>3</sub> (к)	–745,2	–668,1	77,7
MoO <sub>4</sub> <sup>2–</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–997,9	–838,9	36
N (г)	472,71	455,59	153,19
N <sub>2</sub> (г)	0	0	191,5
NH <sub>2</sub> OH (г)	–50,9	–3,62	235,6
NH <sub>3</sub> (г)	–46,2	–16,71	192,6
NH <sub>3</sub> (ж)	–69,87	-	-
NH <sub>3</sub> (p-p; 1 H <sub>2</sub> O)	–75,44	-	-
NH <sub>3</sub> (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–80,10	-	-
NH <sub>3</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–80,23	-	-
NH <sub>3</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–80,28	-	-

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
NH <sub>3</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-80,28	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-132,3	-79,5	114,3
NH <sub>4</sub> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (κ)	-2353,50	-2039,80	216,31
NH <sub>4</sub> Cl (κ)	-314,2	-203,2	95,81
NH <sub>4</sub> Cl (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	-299,0	-	-
NH <sub>4</sub> Cl (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	-298,9	-	-
NH <sub>4</sub> Cl (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	-298,9	-	-
NH <sub>4</sub> Cl (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-299,1	-	-
NH <sub>4</sub> Cl (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-299,4	-210,8	170,8
NH <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> (κ)	-256,1		
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (κ)	-365,43	-183,83	151,04
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (κ)	-1180,31	-901,53	220,08
NH <sub>4</sub> OH (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-366,2	-264,0	181,7
NO (г)	90,2	86,6	210,6
NOCl (г)	52,59	66,37	263,50
NO <sub>2</sub> (г)	33,5	51,55	240,2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-104,6	-37,1	139,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-207,4	-111,6	147,2
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (г)	95,3	159,1	238,5
N <sub>2</sub> O (г)	82,01	104,12	219,86
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (г)	9,6	98,4	303,8
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (ж)	-19,0	97,9	209,2
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (κ)	-42,7	114,1	178,2
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (г)	13,30	117,14	355,65
HNO <sub>3</sub> (ж)	-173,00	-79,90	156,16
HNO <sub>3</sub> (г)	-133,91	-73,78	266,78
HNO <sub>3</sub> (p-p; 1 H <sub>2</sub> O)	-187,7	-	-
HNO <sub>3</sub> (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	-206,7	-	-
HNO <sub>3</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	-206,9	-	-
HNO <sub>3</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	-206,9	-	-
HNO <sub>3</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-207,1	-	-
HNO <sub>3</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-207,4	-111,6	147,2
Na (κ)	0	0	51,30
Na <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-240,41	-262,12	58,9
NaH (κ)	-56,44	-33,6	40,0
NaAlO <sub>2</sub> (κ)	-1133,03	-1069,20	70,29
Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> (κ)	-3309,54	-3158,53	283,49
NaBr (κ)	-361,2	-349,1	86,94
NaC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> (κ)	-710,40	-608,96	123,10

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
NaCl (к)	–411,41	–384,4	72,13
NaF (к)	–572,8	–542,6	51,17
NaI (к)	–288,06	–284,84	98,6
NaNO <sub>3</sub> (к)	–466,70	–365,97	116,50
NaOH (к)	–495,93	–379,8	64,43
NaOH (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–470,53	-	-
NaOH (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–470,17	-	-
NaOH (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–469,98	-	-
NaOH (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–470,10	-	-
NaOH (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–470,45	–419,44	48,0
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (к)	–3289	–3094	189,5
NaHCO <sub>3</sub> (к)	–949,08	–851,1	101,3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	–1129,43	–1045,7	135,0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O (к)	–4077	–3906	2172
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (к)	–1924,64	–1811,31	224,68
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (к)	–1544,90	–1394,24	127,57
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (к)	–1754,86	–1615,25	150,60
Na <sub>2</sub> S (к)	–374,47	–358,13	79,50
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (к)	–1095,0	–1006,7	146,02
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	–1389,5	–1271,7	149,62
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O (к)	–4329,6	–3648,9	591,87
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	–1117,13	–1043	225
Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> (к)	–2849,72	–2696,29	214,64
Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> (к)	–2849,72	–2696,29	214,64
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (к)	–1561,43	–1467,50	113,76
Na <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> (к)	–2106,64	–1976,07	195,81
Na <sub>2</sub> O (к)	–414,84	–376,1	75,3
Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (к)	–512,5	–449,0	94,6
Ni (к)	0	0	29,9
Ni <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–53,1	–45,6	–126
Ni(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис)	–638	–253	356
Ni(OH) <sub>2</sub> (к)	–543,5	–458,4	80
Ni(OH) <sub>3</sub> (к)	–670,3	–540,0	96
NiO (к)	–239,74	–211,60	37,99
NiCl <sub>2</sub> (к)	–304,18	–258,03	98,07
NiSO <sub>4</sub> (к)	–873,49	–763,76	103,85
NiS (к)	–79,50	–76,87	52,97
O (г)	249,2	231,8	160,94
O <sub>2</sub> (г)	0	0	205,04

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
O <sub>3</sub> (г)	142,2	162,7	238,8
OH <sup>-</sup> (г)	-134,5	-129,4	171,4
OH <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-230,04	-157,32	-10,9
H <sub>2</sub> O (к)	-291,85	-	39,33
H <sub>2</sub> O (г)	-241,82	-228,61	188,72
H <sub>2</sub> O (ж)	-285,83	-237,25	70,08
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ж)	-187,78	-120,38	109,5
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (г)	-135,88	-105,74	234,41
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (р-р; 1 H <sub>2</sub> O)	-189,87	-	-
P (г)	316,5	280,1	163,08
P (к, белый)	0	0	41,09
P (к, красный)	-17,4	-11,9	22,8
PCl <sub>3</sub> (г)	-279,5	-260,45	311,71
PCl <sub>3</sub> (ж)	-311,7	-274,49	218,49
PCl <sub>5</sub> (к)	-445,89	-318,36	170,80
PCl <sub>5</sub> (г)	-366,9	-297,1	364,4
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ж)	-1097	-1023	142
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	-1507,2	-1371,7	140,3
P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (к)	-1640	-	-
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (к)	-2984,03	-2698	228,86
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (г)	-2894,49	-2657,46	394,55
PH <sub>3</sub> (г)	5,4	13,4	210,2
HPO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-969,01	-811,70	16,81
H <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-969,43	-830,81	79,50
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-1272	-1012,6	-221
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-1286,2	-1083,2	-34
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-1289,9	-1124,3	91,6
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-1281,8	-1136,5	160
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-1272	-1012,6	221
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (к)	-1279,05	-1119,20	110,50
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ж)	-1266,90	-1134,00	200,83
Pb (к)	0	0	64,8
Pb <sup>2+</sup> (р-р; ∞ H <sub>2</sub> O)	-0,9	-24,4	-13
PbCl <sub>2</sub> (к)	-359,82	-314,56	135,98
PbCl <sub>2</sub> (г)	-173,64	-182,02	315,89
PbBr <sub>2</sub> (к)	-282,42	-265,94	161,75
PbI <sub>2</sub> (к)	-175,23	-173,56	175,35
PbCO <sub>3</sub> (к)	-699,56	-625,87	130,96
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (к)	-451,7	-256,9	218

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	-425,2	-	-
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	-417,6	-	-
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-415,7	-247,6	307
PbO (к, желт.)	-217,61	-188,20	68,70
PbO (к, красн.)	-219,3	-189,10	66,1
PbO <sub>2</sub> (к)	-276,6	-218	71,9
Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (к)	-723,41	-606,17	211,29
PbS (к)	-100	-99	91,2
PbS (г)	122,34	76,25	251,33
PbSO <sub>4</sub> (к)	-920,48	-813,67	148,57
Pt (к)	0	0	41,55
PtCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-669,44	-485,31	223,43
PtCl <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-500,82	-354,01	125,64
PtCl <sub>2</sub> (к)	-106,69	-93,35	219,79
PtCl <sub>4</sub> (к)	-229,28	-163,80	267,88
Ra (к)	0	0	71,2
Ra <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-529,69	-555,99	28,87
Rb (г)	80,9	53,1	169,98
Rb (к)	0	0	76,73
Rb <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-251,04	-283,5	120,5
RbBr (к)	-394,6	-381,8	110,0
RbCl (к)	-435,2	-407,4	95,2
RbF (к)	-555,8	-525,9	77,8
RbI (к)	-331,9	-327,1	118,8
RbOH (к)	-418,7	-373,3	92
Rb <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	-1437,1	-1318,4	197,5
S (к, монокл.)	0,377	0,188	32,6
S (к, ромб.)	0	0	31,9
S (г)	278,81	238,31	167,75
S <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	32,6	85,4	-15
HS <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-17,57	12,15	62,76
SOCl <sub>2</sub> (г)	-212,8	-198,0	307,94
SO <sub>2</sub> (г)	-296,90	-300,21	248,07
SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (г)	-363,2	-318,9	311,3
SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (ж)	-394,13	-321,49	216,31
SO <sub>3</sub> (г)	-395,8	-371,2	256,7
SO <sub>3</sub> (ж)	-439,0	-	-
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-641,0	-486,8	-47,3
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	-627,98	-527,32	132,38

Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
$\text{SO}_4^{2-}$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–911,0	–745,7	18,0
$\text{HSO}_4^-$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ , гип.недисс)	–889,2	–757,0	129
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–665	–516,7	3,7
$\text{H}_2\text{S}$ (г)	–20,9	–33,8	205,69
$\text{H}_2\text{S}_2$ (г)	15,3	–4,5	260,7
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (ж)	–814,2	–690,3	156,9
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (р-р; 20 $\text{H}_2\text{O}$ )	–885,2	-	-
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (р-р; 50 $\text{H}_2\text{O}$ )	–887,2	-	-
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (р-р; 100 $\text{H}_2\text{O}$ )	–887,8	-	-
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (р-р; 1000 $\text{H}_2\text{O}$ )	–892,5	-	-
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–911,0	–745,7	18,0
$\text{Sb}$ (к)	0	0	45,7
$\text{SbCl}_3$ (к)	–381,16	–322,45	183,26
$\text{SbCl}_3$ (г)	–312,0	–299,5	338,5
$\text{SbCl}_5$ (г)	–388,8	–328,7	402
$\text{SbCl}_5$ (ж)	–437,2	–345,4	295
$\text{SbH}_3$ (г)	145,1	147,6	233,0
$\text{Sb}_2\text{O}_3$ (к)	–715,46	–636,06	132,63
$\text{Sb}_2\text{O}_5$ (к)	–1007,51	–864,74	125,10
$\text{Sb}_4\text{O}_6$ (к)	–1417,12	–1263,10	282,00
$\text{Sb}_2\text{S}_3$ (черн.)	–157,74	–156,08	181,59
$\text{Se}$ (к)	0	0	42,13
$\text{Se}$ (стекл.)	5,4	2,66	51,5
$\text{SeO}_3^{2-}$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–507,5	–363,6	–2,5
$\text{SeO}_4^{2-}$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–599,6	–444,5	62,7
$\text{H}_2\text{Se}$ (г)	33	19,7	218,8
$\text{Si}$ (к)	0	0	18,82
$\text{SiC}$ (к)	–63	–60	16,61
$\text{SiCl}_4$ (г)	–657,5	–617,6	331,0
$\text{SiCl}_4$ (ж)	–687,8	–620,75	239,7
$\text{SiF}_4$ (г)	–1614,94	–1572,66	282,38
$\text{SiH}_4$ (г)	34,73	57,18	204,56
$\text{SiF}_6^{2-}$ (р-р; $\infty \text{H}_2\text{O}$ )	–2397	–2209	127
$\text{SiO}_2$ (к, $\alpha$ -кварц)	–910,94	–856,67	41,84
$\text{SiO}_2$ (к, $\alpha$ -кristобалит)	–908,3	–854,2	42,68
$\text{SiO}_2$ (к, $\alpha$ -тридимит)	–905,4	–851,6	43,51
$\text{SiO}_2$ (стекл.)	–903,49	–850,71	46,86
$\text{Sn}$ (к, белое)	0	0	51,5



Продолжение табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр., 298,15}}$ кДж/моль	$S^{\circ}_{\text{, 298,15}}$ Дж/(моль·К)
Sn (к, серое)	–2,092	0,126	44,1
Sn <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–10,5	–27,2	–22,7
SnCl <sub>2</sub> (к)	–331,01	–288,40	131,80
SnCl <sub>2</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–344,7	–289,7	90,3
SnCl <sub>4</sub> (ж)	–528,86	–457,74	258,99
SnCl <sub>4</sub> (г)	–489,11	–449,55	364,84
SnO (к)	–285,98	–256,88	56,48
SnO (г)	20,85	–2,39	232,01
SnO <sub>2</sub> (к)	–580,8	–519,9	52,30
SnH <sub>4</sub> (г)	162,8	187,8	228,7
Sr (к)	0	0	55,7
Sr <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–551,5	–563,9	–33
Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (к)	–984,1	–785,0	194,6
SrO (к)	–590,5	–559,8	55,2
Sr(OH) <sub>2</sub> (к)	–965	–876	94
SrSO <sub>4</sub> (к)	–1459,0	–1346,9	121,81
Te (к)	0	0	49,5
TeO <sub>2</sub> (к)	–321,7	–264,6	59
TeCl <sub>4</sub> (к)	–323,84	–236,00	200,83
TeF <sub>6</sub> (г)	–1369,00	–1273,11	335,89
H <sub>2</sub> Te (г)	99,7	85,2	228,8
Th (к)	0	0	53,39
ThO <sub>2</sub> (к)	–1226,75	–1169,15	65,23
Ti (к)	0	0	30,63
TiCl <sub>2</sub> (к)	–516	–467	87
TiCl <sub>3</sub> (к)	–720	–653	140
TiCl <sub>4</sub> (ж)	–804	–737	252,40
TiCl <sub>4</sub> (г)	–763,16	–726,85	354,80
TiO <sub>2</sub> (к, рутил)	–943,9	–888,6	50,33
TiO <sub>2</sub> (к, анатаз)	–933,03	–877,65	49,92
Tl (к)	0	0	64,18
TlCl (к)	–204,18	–184,98	111,29
TlCl (г)	–68,41	–92,38	256,06
Tl <sub>2</sub> O (к)	–167,36	–138,57	134,31
Tl <sup>+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	5,52	–32,43	126,20
Tl <sup>3+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	201,25	214,76	–176,92
U (к)	0	0	50,2
UCl <sub>3</sub> (к)	–867	–800	159,1
UO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (к)	–1243,5	–1145,8	150,5

## Окончание табл. П.2.1

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}, 298,15}$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (к)	–1637,20	–1541,06	135,56
UO <sub>2</sub> (к)	–1085,0	–1031,9	77,03
UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (к)	–1348	–1114,76	–276,33
V (к)	0	0	28,9
VCl <sub>2</sub> (к)	–461	–415	97,1
VCl <sub>3</sub> (к)	–581,2	–511,9	131,0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	–1552	–1421	131,0
W (к)	0	0	32,7
WCl <sub>6</sub> (к)	–598,3	–469,0	230
WO <sub>2</sub> (к)	–589,5	–533,7	50,5
WO <sub>3</sub> (к)	–842,7	–763,8	75,90
WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–1073,2	–931,4	97,5
WS <sub>2</sub> (к)	–200,4	–192,8	71
Zn (к)	0	0	41,63
Zn <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–153,64	–147,16	–110,62
ZnCl <sub>2</sub> (к)	–415,1	–369,4	111,5
ZnCl <sub>2</sub> (г)	–265,68	–269,24	276,56
ZnCO <sub>3</sub> (к)	–812,53	–730,66	80,33
ZnCl <sub>2</sub> (p-p; 20 H <sub>2</sub> O)	–462,7	-	-
ZnCl <sub>2</sub> (p-p; 50 H <sub>2</sub> O)	–471,2	-	-
ZnCl <sub>2</sub> (p-p; 100 H <sub>2</sub> O)	–477,6	-	-
ZnCl <sub>2</sub> (p-p; 1000 H <sub>2</sub> O)	–485,1	-	-
ZnCl <sub>2</sub> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O)	–487,8	–409,7	-
Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–537,0	–304,6	298
Zn(CN) <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	–332,1	–427,2	259,3
ZnO (к)	–350,6	–320,7	43,51
Zn(OH) <sub>2</sub> (к)	–645,43	–555,92	77,0
Zn(OH) <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (p-p; ∞ H <sub>2</sub> O, гип. недис.)	-	–860,8	-
ZnS (к)	–205,4	–200,7	57,7
ZnSO <sub>4</sub> (к)	–981,4	–870,12	110,54
Zr (к)	0	0	38,99
ZrCl <sub>4</sub> (к)	–979,8	–889,3	181
ZrCl <sub>4</sub> (г)	–869,31	–834,50	368,19
Zr(OH) <sub>4</sub> (к)	–1661	-	-
ZrO <sub>2</sub> (к)	–1100,6	–1042,8	50,4

**Термодинамические характеристики образования ( $\Delta H^\circ_{\text{обр}}$ ,  $\Delta G^\circ_{\text{обр}}$ , кДж/моль) и стандартные энтропии ( $S^\circ$ , Дж/(моль·К)) веществ при 298,15 К**

**Органические соединения**

**Углеводороды**

Вещество и состояние	$\Delta H^\circ_{\text{обр.}}, 298,15$ кДж/моль	$\Delta G^\circ_{\text{обр.}}, 298,15$ кДж/моль	$S^\circ, 298,15$ Дж/(моль·К)
CH <sub>4</sub> (г.) метан	–74,85	–50,85	186,27
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (г.) ацетилен	226,75	209,21	200,82
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (г.) этилен	52,30	68,14	219,45
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (г.) этан	–84,67	–32,93	229,49
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> (г.) пропadiен (аллен)	192,13	202,36	243,93
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (г.) пропен	20,41	62,70	266,94
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (г.) циклопропан	53,30	104,38	237,44
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (г.) пропан	–103,85	–23,53	269,91
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> (г.) 1-бутен	–0,13	71,26	305,60
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> (г.) 2-бутен, <i>цис</i> -	–6,99	65,82	300,83
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> (г.) 2-бутен, <i>транс</i> -	–11,17	62,94	296,48
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> (г.) 2-метилпропен	–16,90	58,07	293,59
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> (г.) циклобутан	26,65	110,03	265,39
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (г.) бутан	–126,15	–17,19	310,12
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (г.) 2-метилпропан (изобутан)	–134,52	–20,95	294,64
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> (ж.) цикlopентан	–105,97	36,22	204,40
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> (г.) цикlopентан	–77,24	38,57	292,88
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (г.) пентан	–173,33	–9,66	262,85
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (г.) пентан	–146,44	–8,44	348,95
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (ж.) 2-метилбутан (изопентан)	–179,28	–14,86	260,37
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (г.) 2-метилбутан (изопентан)	–154,47	–14,87	343,59
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (ж.) бензол	49,03	124,38	173,26
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (г.) бензол	82,93	129,68	269,20
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> циклогексан	–156,23	26,60	204,35
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> (г.) циклогексан	–123,14	31,70	298,24
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (ж.) гексан	–198,82	–4,41	296,02
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (г.) гексан	–167,19	–0,32	388,40
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (ж.) толуол	12,01	113,77	220,96
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (г.) толуол	50,00	122,03	320,66

**Термодинамические характеристики образования ( $\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}}$ ,  $\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}}$ , кДж/моль) и стандартные энтропии ( $S^{\circ}$ , Дж/(моль·К)) веществ при 298,15 К**

**Кислородсодержащие соединения**

Вещество и состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр.}}, 298,15$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр.}}, 298,15$ кДж/моль	$S^{\circ}, 298,15$ Дж/(моль·К)
CH <sub>2</sub> O (г.) формальдегид	–115,90	–109,94	218,78
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ж.) муравьиная кислота	–424,76	–361,74	128,95
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (г.) муравьиная кислота	–378,80	–351,51	248,77
CH <sub>4</sub> O (ж.) метанол	–238,57	–166,27	126,78
CH <sub>4</sub> O (г.) метанол	–201,00	–162,38	239,76
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (кр.) щавелевая кислота	–829,94	–701,73	120,08
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> (ж.) уксусная кислота	–484,09	–389,36	159,83
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> (г.) уксусная кислота	–434,84	–376,68	282,50
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O (ж.) этанол	–276,98	–174,15	160,67
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O (г.) этанол	–234,80	–167,96	281,38
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O (г.) диметиловый эфир	–184,05	–112,94	267,06
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> (ж.) этиленгликоль	–454,90	–323,49	167,32
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> (г.) этиленгликоль	–389,32	–304,49	323,55
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O (ж.) ацетон	–248,11	–155,42	200,41
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O (г.) ацетон	–217,57	–153,05	294,93
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O (ж.) 1-пропанол	–304,55	–170,70	192,88
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O (г.) 1-пропанол	–257,53	–163,01	324,80
<i>изо</i> -C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O (ж.) 2-пропанол	–318,70	–181,01	180,00
<i>изо</i> -C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O (г.) 2-пропанол	–272,59	–173,63	309,91
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> (ж.) глицерин	–668,60	–477,07	204,47
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O (ж.) бутанол	–325,56	–160,88	225,73
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O (г.) бутанол	–274,43	–150,73	363,17
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O (ж.) диэтиловый эфир	–279,49	–123,05	253,13
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O (г.) диэтиловый эфир	–252,21	–122,39	342,67
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O (ж.) амиловый спирт	–357,94	–161,30	254,80
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O (г.) амиловый спирт	–302,38	–149,79	402,54
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O (кр.) фенол	–164,85	–50,21	144,01
C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> (кр.) бензойная кислота	–385,14	–245,24	167,57
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O (ж.) бензиловый спирт	–161,00	–27,40	216,70
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (кр.) сахароза	–2222,12	–1544,70	360,2

## Стандартные электродные потенциалы

Окисленная форма/ Восстановленная форма	$E^\circ$ , В	Окисленная форма/ Восстановленная форма	$E^\circ$ , В
$\text{Li}^+/\text{Li}$	-3,05	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-/\text{Au}, \text{CN}^-$	-0,76
$\text{N}_2/\text{NH}_2\text{OH}$	-3,04	$\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$	-0,76
$\text{Rb}^+/\text{Rb}$	-2,93	$\text{SO}_4^{2-}/\text{S}$	-0,75
$\text{K}^+/\text{K}$	-2,92	$\text{N}_2/\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-0,74
$\text{Ba}^{2+}/\text{Ba}$	-2,90	$\text{FeO}(\text{OH})/\text{Fe}(\text{OH})_2$	-0,67
$\text{Ca}^{2+}/\text{Ca}$	-2,86	$\text{SO}_4^{2-}/\text{S}^{2-}$	-0,67
$\text{Na}^+/\text{Na}$	-2,71	$\text{SO}_3^{2-}/\text{S}$	-0,66
$\text{Mg}(\text{OH})_2/\text{Mg}$	-2,69	$\text{SO}_3^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	-0,58
$[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}/\text{Be}$	-2,52	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0,47
$\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}$	-2,37	$\text{NO}_2^-/\text{NO}$	-0,45
$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-/\text{Al}$	-2,34	$\text{S}/\text{S}^{2-}$	-0,44
$\text{H}_2, \text{Ca}^{2+}/\text{CaH}_2$	-2,16	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$	-0,44
$\text{Sc}^{3+}/\text{Sc}$	-2,08	$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-/\text{Ag}, \text{CN}^-$	-0,43
$\text{N}_2/\text{NH}_3\text{OH}^+$	-1,87	$\text{H}^+/\text{H}_2$	-0,42
$\text{Be}^{2+}/\text{Be}$	-1,85	$\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{2+}$	-0,41
$\text{Al}^{3+}/\text{Al}$	-1,70	$\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}$	-0,40
$\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2$	-1,50	$\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}(\text{PH}_2\text{O}_2)$	-0,39
$\text{Al}(\text{OH})_3/\text{Al}$	-1,49	$\text{Bi}(\text{OH})_3/\text{Bi}$	-0,38
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}/\text{Zn}$	-1,26	$\text{H}_3\text{PO}_4/\text{P}$	-0,38
$\text{Cr}(\text{OH})_3/\text{Cr}(\text{OH})_2$	-1,18	$\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}$	-0,37
$\text{N}_2/\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-1,12	$\text{Co}^{2+}/\text{Co}$	-0,28
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}/\text{Zn}, \text{NH}_3$	-1,03	$\text{N}_2/\text{N}_2\text{H}_5^+$	-0,23
$[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}/[\text{Sn}(\text{OH})_3]^-$	-0,96	$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$	-0,23
$\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_3^{2-}$	-0,93	$[\text{SnCl}_3]^-/\text{Sn}, \text{Cl}^-$	-0,20
$[\text{Sn}(\text{OH})_3]^-/\text{Sn}$	-0,90	$\text{CrO}_4^{2-}/[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$	-0,17
$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$	-0,83	$\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}$	-0,14

Продолжение табл. П.3

Окисленная форма/ Восстановленная форма	$E^\circ$ , В	Окисленная форма/ Восстановленная форма	$E^\circ$ , В
$O_2/H_2O_2$	-0,13	$SO_4^{2-}/H_2S$	+0,31
$Pb^{2+}/Pb$	-0,13	$Bi^{3+}/Bi$	+0,32
$[Cu(NH_3)_2]^+/Cu, NH_3$	-0,12	$SO_4^{2-}, Fe^{3+}/FeS$	+0,33
$NO_3^-/NH_3 \cdot H_2O$	-0,12	$Cu^{2+}/Cu$	+0,34
$SnO_2/Sn$	-0,12	$SO_4^{2-}/S$	+0,35
$SO_4^{2-}/SO_3^{2-}$	-0,10	$NaBiO_3/Bi(OH)_3, Na^+$	+0,37
$O_2/HO_2^-$	-0,08	$SO_2/S_2O_3^{2-}$	+0,39
$[Cu(NH_3)_4]^{2+}/Cu, NH_3$	-0,07	$SO_4^{2-}, Cu^{2+}/CuS$	+0,42
$[HgI_4]^{2-}/Hg, I^-$	-0,04	$BrO^-/Br_2$	+0,43
$H^+/H_2$	<b>0,00</b>	$SO_2/S$	+0,45
$NO_3^-/NO_2^-$	+0,01	$Cu_2O/Cu$	+0,47
$S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$	+0,02	$HSO_3^-/S$	+0,48
$S/H_2S$	+0,14	$ClO^-/Cl_2$	+0,48
$[SnCl_6]^{2-}/[SnCl_3]^-$	+0,14	$ClO_3^-/ClO^-$	+0,48
$SO_4^{2-}/S^{2-}$	+0,15	$ClO_3^-/Cl_2$	+0,48
$Sn^{4+}/Sn^{2+}$	+0,15	$Cu^{2+}, Cl^-/[CuCl_2]^-$	+0,49
$SO_4^{2-}/SO_2$	+0,16	$S_2O_3^{2-}/S$	+0,51
$NO_2^-/N_2O$	+0,16	$BrO_3^-/Br_2$	+0,52
$MnO(OH)/Mn(OH)_2$	+0,17	$[I(I)_2]/I^-$	+0,54
$CH_3CHO/C_2H_5OH$	+0,19	$I_2/I^-$	+0,54
$CoO(OH)/Co(OH)_2$	+0,19	$Cu^{2+}, Cl^-/CuCl$	+0,55
$PbO_2/[Pb(OH)_3]^-$	+0,19	$MnO_4^-/MnO_4^{2-}$	+0,56
$At_2/At^-$	+0,20	$SO_3^{2-}/S$	+0,58
$IO_3^-/I_2$	+0,20	$MnO_4^-/MnO_2$	+0,59
$Cu^{2+}/Cu_2O$	+0,21	$Cu^{2+}, Br^-/CuBr$	+0,66
$IO_3^-/I^-$	+0,25	$HgCl_2/Hg_2Cl_2, Cl^-$	+0,66
$Hg_2Cl_2/Hg, Cl^-$	+0,27	$Cu^{2+}, I^-/[CuI_2]^-$	+0,69
$N_2/NH_4^+$	+0,27	$O_2/H_2O_2$	+0,69
$SO_4^{2-}/S_2O_3^{2-}$	+0,28	$Fe^{3+}/Fe^{2+}$	+0,77

Окончание табл. П.3

Окисленная форма/ Восстановленная форма	$E^\circ$ , В	Окисленная форма/ Восстановленная форма	$E^\circ$ , В
$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2$	+0,77	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$	+1,33
$\text{NiO}(\text{OH})/\text{Ni}(\text{OH})_2$	+0,78	$\text{Cl}_2/\text{Cl}^-$	+1,36
$\text{Ag}^+/\text{Ag}$	+0,80	$\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$	+1,38
$\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}$	+0,85	$\text{Au}^{3+}/\text{Au}$	+1,42
$\text{Cu}^{2+}, \text{I}^-/\text{CuI}$	+0,86	$\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}$	+1,46
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	+0,88	$\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2$	+1,47
$\text{HO}_2^-/\text{OH}^-$	+0,88	$\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2$	+1,51
$\text{NO}_3^-/\text{HNO}_2$	+0,93	$\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$	+1,53
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{OH}^-$	+0,94	$\text{HBrO}/\text{Br}_2$	+1,57
$\text{NO}_3^-/\text{NO}$	+0,96	$\text{HClO}/\text{Cl}_2$	+1,63
$\text{Br}_2/\text{Br}^-$	+1,07	$\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_2$	+1,73
$\text{IO}_3^-/\text{I}^-$	+1,08	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	+1,76
$\text{Cu}^{2+}, \text{CN}^-/[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$	+1,11	$\text{NaBiO}_3/\text{Bi}^{3+}, \text{Na}^+$	+1,81
$\text{ClO}_4^-/\text{ClO}_3^-$	+1,19	$\text{S}_2\text{O}_6(\text{O}_2)^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$	+1,96
$\text{IO}_3^-/\text{I}_2$	+1,19	$\text{ClO}^-/\text{Cl}_2$	+2,14
$\text{NO}_2^-/\text{NO}$	+1,20	$(\text{Pb}_2^{\text{II}}\text{Pb}^{\text{IV}})\text{O}_4/\text{Pb}^{2+}$	+2,16
$\text{Na}_2\text{O}_2/\text{OH}^-, \text{Na}^+$	+1,20	$\text{NiO}(\text{OH})/\text{Ni}^{2+}$	+2,25
$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	+1,23	$\text{Na}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}, \text{Na}^+$	+2,86
$\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$	+1,24	$\text{F}_2/\text{F}^-$	+2,87
$\text{Tl}^{3+}/\text{Tl}^+$	+1,28	$\text{F}_2/\text{HF}$	+3,02

Учебное издание

АРТЕМКИНА Ирина Михайловна  
АРТЕМКИНА Юлия Михайловна  
ДУПАЛ Алексей Ярославович  
КОЖЕВНИКОВА Светлана Валерьевна  
СВИРИДЕНКОВА Наталья Васильевна  
СОЛОВЬЕВ Сергей Николаевич  
ЩЕРБАКОВ Владимир Васильевич

**ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ДОМАШНЯЯ РАБОТА  
ПО ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ  
В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ**

Редактор Е. В. Копасова

Подписано в печать 22.07.2022 г. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 7,5. Тираж 100 экз.

Заказ

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева  
Издательский центр.

Адрес университета и издательского центра:  
125047 Москва, Миусская пл., 9.