

39  
X 46

10.06.11

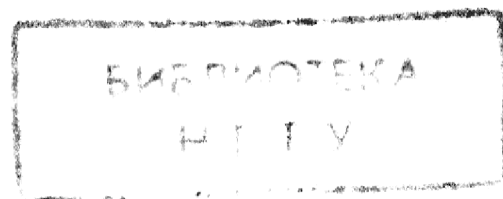
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

*Кафедра "Общая и неорганическая химия"*

**ХИМИЯ**

**Методические указания, контрольные задания по курсу общей химии  
для студентов-заочников нехимических специальностей**

Часть 1



Нижний Новгород  
2011

Составители: Ю.М. Тюрин, А.Д.Самсонова, Т.В. Сазонтьева,  
О.Н.Ковалева, Ю.В. Батгалова

УДК 54 (07)

54

408m

X 46

ХИМИЯ: М

Химия. Ч.1.

по курсу общей химии  
специальностей /НГТУ  
и др. Н.Новгород, 2011.

для студентов  
им.Р.Е.Алексеев  
36 с.

2011

0-00

Методическ  
примеры решен

оретическое введение,  
ьных работ

Нау

Ред:

408m

Печат

снб

аз 324.

Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева.

Типография НГТУ. 603950, Н.Новгород, ул. Минина, 24.

©Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е.Алексеева, 2011

## Общие методические указания

Химия является не только общетехнической, но и общеобразовательной наукой. Современный инженер любой отрасли хозяйства должен уметь использовать в своей работе достижения химии и активно участвовать в разработке новых материалов и конструкций, формулируя специалистам химикам определенные технические задачи. Задача химической подготовки современного инженера должна заключаться в создании у него химического мышления, помогающего решать вопросы качества и надежности, а также многообразные частные физико-химические проблемы.

Изучение курса химии помогает студенту в освоении специальных дисциплин, служит основой для решения проблем физико-химического направления. Важной составной частью процесса изучения курса химии является лабораторный практикум, развивающий у студентов навыки экспериментирования, исследовательский подход к изучению химии, логическое химическое мышление.

Основной вид учебных занятий студентов-заочников - самостоятельная работа над учебным материалом. По курсу химии она складывается из следующих элементов: изучение материала по учебникам и учебным пособиям; выполнение контрольных заданий; выполнение лабораторного практикума; сдача зачета по лабораторному практикуму; сдача экзамена по всему курсу.

**Работа с книгой.** Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе.

Изучение отдельных глав книги целесообразно проводить в два этапа. При первом чтении создается общее представление о содержании главы и выясняются ее трудные места. При повторном изучении темы усваиваются сущность вопроса, теоретические положения, их приложения, математические зависимости, уравнения химических реакций. Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач.

**Лекции.** Перед изучением курса «Химия» студентам читаются установочные лекции по основным разделам.

**Консультации.** В помощь студентам при изучении дисциплины проводятся плановые консультации. Если у студента возникают затруднения при изучении курса, ему следует обращаться в университет к преподавателю, рецензирующему контрольные работы, или за устной консультацией - к преподавателю университета или УПК.

**Контрольные задания.** В процессе изучения курса химии студент должен выполнить два контрольных задания. К выполнению контрольной работы можно приступать только тогда, когда будет изучена определенная часть курса и разобраны решения примеров типовых задач, приведенных в каждом разделе.

Решения задач и ответы на теоретические вопросы должны коротко, но четко обоснованы. При решении задач нужно приводить весь ход решения и математические преобразования.

Каждая контрольная работа должна быть аккуратно оформлена; для замечаний рецензента надо оставлять достаточно широкие поля; писать четко и ясно; номера и условия задач переписывать в том порядке, в каком они указаны в задании. Работы должны быть датированы, подписаны студентом и представлены в институт на рецензирование.

Если контрольная работа не зачтена, ее нужно выполнить второй раз в соответствии с указаниями рецензента и выслать на повторное рецензирование. Исправления следует выполнять в конце тетради, а не в рецензированном тексте.

**Лабораторные работы.** Для глубокого изучения курса химии как науки, основанной на эксперименте, необходимо выполнить лабораторные работы. Студенты, обучающиеся в Н.Новгороде или УПК, выполняют лабораторный практикум параллельно с изучением курса, остальные - в период лабораторно-экзаменационной сессии.

**Зачет.** Выполнив лабораторный практикум, студенты сдают зачет. Во время сдачи зачета необходимо уметь изложить ход работы, объяснить результаты выполненных опытов и выводы из них, уметь составлять уравнения реакций.

**Экзамен.** К сдаче экзамена допускаются студенты, которые выполнили контрольные задания и сдали зачет по лабораторному практикуму. Студенты, сдающие экзамен, предъявляют экзаменатору зачетную книжку и зачетные контрольные работы.

## Программа

### Контрольные задания

Каждый студент выполняет вариант контрольных заданий, обозначенный двумя последними цифрами номера студенческого билета (шифра). Например, номер студенческого билета 3038524, две последние цифры - 24, им соответствует вариант контрольного задания 24.

### Контрольное задание 1

#### 1. Энергетика химических процессов

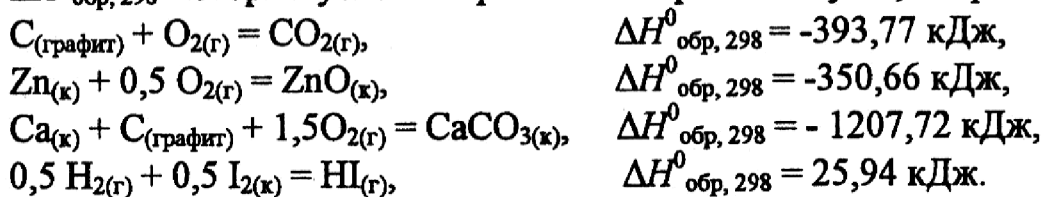
**Пример 1.** Выпишите из таблицы  $\Delta H^{\circ}_{\text{обр}, 298}$  (энтальпия образования) следующих веществ:  $\text{CO}_{2(\text{г})}$ ,  $\text{ZnO}_{(\text{к})}$ ,  $\text{CaCO}_{3(\text{к})}$ ,  $\text{HCl}_{(\text{г})}$ . Напишите термохимические уравнения, соответствующие данным величинам.

**Решение:** Стандартная теплота или энтальпия образования  $\Delta H^{\circ}_{\text{обр}, 298}$  - это тепловой эффект реакции образования 1 моля сложного вещества из простых веществ, взятых в наиболее устойчивых состояниях при  $T=298 \text{ К}$  и  $p=101325 \text{ Па}$ .



Таким образом, при написании термохимического уравнения следует учитывать:

1)  $\Delta H^0_{обр, 298}$  относится к 1 моль образующегося вещества (продукта реакции); 2) вещество (продукт реакции) образуется из простых веществ, взятых в их наиболее устойчивом состоянии при стандартных условиях,  $\Delta H^0_{обр, 298}$  которых условно принимается равным нулю, например:



**Пример 2.** Пользуясь  $\Delta H^0_{обр, 298}$  реагентов, рассчитать тепловой эффект реакции ( $\Delta H^0_{х.р.}$ )  $3H_{2(г)} + C_2H_{2(г)} = 2CH_{4(г)}$ . Определить, к какому типу (экзотермическая или эндотермическая реакция) она относится.

Решение: выпишем из табл.2 соответствующие значения  $\Delta H^0_{обр, 298}$  реагентов (кДж/моль):

реагент	$H_{2(г)}$	$C_2H_{2(г)}$	$CH_{4(г)}$
$\Delta H^0_{обр, 298}$ , кДж/моль	0	226,17	-74,85

По 1 следствию из закона Гесса:

$$\Delta H^0_{х.р.} = \sum \Delta H^0_{обр, 298(пр-тов)} - \sum \Delta H^0_{обр, 298(исх.в-в)}$$

для данной реакции, с учетом стехиометрических коэффициентов в уравнении перед каждым из реагентов

$$\begin{aligned} \Delta H^0_{х.р.} &= 2 \Delta H^0_{обр, 298} (CH_4) - [3 \Delta H^0_{обр, 298}(H_2) + \Delta H^0_{обр, 298}(C_2H_2)] = \\ &= 2(-74,85) - [3 \times 0 + 226,17] = -376,46 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Если  $\Delta H^0_{х.р.} < 0$ , то реакция экзотермическая, т.е. идет с выделением тепла, если  $\Delta H^0_{х.р.} > 0$ , то реакция эндотермическая т.е. в ходе реакции тепло поглощается.

Так как в данной реакции  $\Delta H^0_{х.р.} < 0$ , следовательно, реакция является экзотермической, т.е. выделяется тепло в количестве эквивалентном изменению энтальпии.

**Пример 3.** Пользуясь  $\Delta H^0_{обр, 298}$  реагентов, рассчитать  $\Delta H^0_{х.р.}$  реакции  $3CO_{(г)} + Fe_2O_{3(к)} = 3CO_{2(г)} + 2Fe_{(к)}$ .

Сколько тепла выделится, если в результате реакции образуется: а) 1 кг железа; б)  $2,24 \text{ м}^3 CO_2$ ?

Решение: Пользуясь табл.2, выпишите соответствующие значения  $\Delta H^0_{обр, 298}$  реагентов (кДж/моль):

Реагент	$CO_{(г)}$	$Fe_2O_{3(к)}$	$CO_{2(г)}$	$Fe_{(к)}$
$\Delta H^0_{обр, 298}$ , кДж/моль	-110,60	-822,70	-393,77	0

Для данной реакции по 1-ому следствию из закона Гесса:

$$\Delta H_{\text{х.р.}}^0 = [3\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{CO}_2) + 2\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{Fe})] - [3\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{CO}) + \Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{Fe}_2\text{O}_3)] =$$

$$= [3(-393,77) + 2 \cdot 0] - [3(-110,0) + (-822,70)] = -26,81 \text{ кДж.}$$

Тепловой эффект реакции относится к строго определенному количеству вещества. Так, в данном случае при выделении 26,81 кДж тепла в реакции участвуют следующие количества 1) молей; 2) граммов реагентов; 3) литров или м<sup>3</sup>:

	3CO <sub>(г)</sub>	+	Fe <sub>2</sub> O <sub>3(к)</sub>	=	3CO <sub>2(г)</sub>	+	2Fe <sub>(к)</sub>
1	3 моль		1 моль		3 моль		2 моль
2	3·28 г		160 г		3·44 г		2·56 г
3	3·22,4л 3·22,4·10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>				3·22,4л 3·22,4·10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>		

Для ответа на поставленные в задаче вопросы составляем пропорции:

а) если выделяется 26,81 кДж тепла, образуется 2,56 г Fe  
 $x$  кДж 1000 г Fe

$$x = \frac{1000 \cdot 26,81}{2 \cdot 56} = 239,4 \text{ кДж.}$$

б) при образовании 3·22,4·10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup> выделяется 26,81 кДж тепла  
 $x$  кДж 2,24 м<sup>3</sup>

$$x = \frac{2,24 \cdot 26,81}{3 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}} = 893,7 \text{ кДж}$$

**Пример 4.** При сгорании 3,6 г магния выделилось 90,3 кДж тепла. Определить  $\Delta H_{\text{обр,298}}^0 \text{MgO}$ .

**Решение:**  $\Delta H_{\text{обр,298}}^0 (\text{MgO})$  отвечает тепловой эффект реакции образования 1 моль MgO:  $\text{Mg}_{(к)} + 0,5 \text{O}_{2(г)} = \text{MgO}_{(к)}$ .

$$3,6 \text{ г магния составляют } 0,15 \text{ моль } \nu = \frac{m}{M} = \frac{3,6 \text{ г}}{24 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль.}$$

Составляем пропорцию:

при сгорании 0,15 моль магния выделяется 90,3 кДж тепла  
 $x$  кДж 1 моль

$$x = \frac{1 \cdot 90,3}{0,15} = 602 \text{ кДж.}$$

Так как в реакции выделяется тепло, следовательно,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 = -602 \text{ кДж}$ .

По 1-му следствию из закона Гесса

$$\Delta H_{\text{х.р.}}^0 = \sum \Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{пр-тов}) - \sum \Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{исх. в-в}).$$

То есть для данной реакции, с учетом стехиометрических коэффициентов, в уравнении

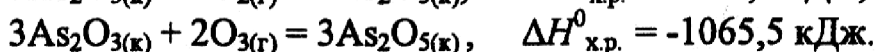
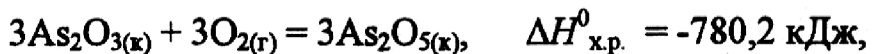
$$\Delta H_{\text{х.р.}}^0 = \Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{MgO}) - [\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{Mg}) + 0,5\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{O}_2)]$$

Из этого уравнения определяем  $\Delta H_{\text{обр,298}}^0 \text{MgO}$ :

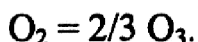
$$\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{MgO}) = \Delta H_{\text{х.р.}}^0 + [\Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{Mg}) + 0,5 \Delta H_{\text{обр,298}}^0(\text{O}_2)] =$$

$$= -602 + [0 + 0,5 \cdot 0] = -602 \text{ кДж/моль.}$$

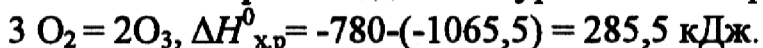
**Пример 5.** Рассчитать тепловой эффект реакции превращения 1 моль кислорода O<sub>2</sub> в озон O<sub>3</sub>, исходя из следующих термодимических данных:



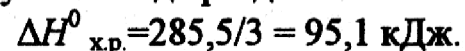
**Решение:** Реакция превращения 1 моль кислорода в озон описывается уравнением



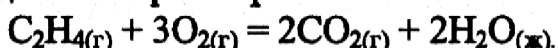
Вычитая из первого заданного уравнения второе, получаем



Для реакции превращения 1-го моля кислорода в озон полученный результат надо разделить на 3:  $\text{O}_2 = 2/3 \text{O}_3$ ,



**Пример 6.** Пользуясь  $\Delta H^0_{\text{сгор. 298}}$  определить, какое количество тепла выделится при сгорании 10 л этилена по реакции:



Реакция горения – это реакция окисления вещества кислородом. В основном, в таких реакциях участвуют теплоносители ( $\text{C}_{\text{графит}}$ ,  $\text{H}_2$ , органические соединения). Продукты сгорания органических веществ – это  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ .

Стандартная энтальпия сгорания  $\Delta H^0_{\text{сгор.298}}$  – это тепловой эффект реакции сгорания 1 моль вещества.  $\Delta H^0_{\text{сгор.298}}(\text{C}_2\text{H}_4) = -1410,97 \text{ кДж}$  (табл. 1). В нашем случае в реакции участвует 1 моль  $\text{C}_2\text{H}_4$ , следовательно, в реакции выделяется 1410,97 кДж.

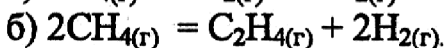
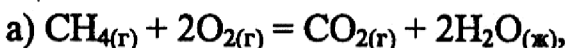
$$10 \text{ л } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ содержат } \nu = \frac{V}{V_{\text{м}}} = \frac{10}{22,4} = 0,45 \text{ моль}.$$

Составляем пропорцию:

при сгорании 1 моль этилена выделяется 1410,97 кДж тепла  
0,45 моль x кДж

$$x = \frac{0,45 \cdot 1410,97}{1} = 635 \text{ кДж}.$$

**Пример 7.** На основании табличных значений  $\Delta G^0_{\text{обр.298}}$  определить при стандартных условиях возможность самопроизвольного протекания реакций:



**Решение:** Критерием самопроизвольного протекания реакции является изменение энергии Гиббса реакции. В стандартных условиях:

$$\Delta G^0_{\text{х.р.}} = (\sum \Delta G^0_{\text{обр.298}})_{\text{пр-тов}} - (\sum \Delta G^0_{\text{обр.298}})_{\text{исх.в-в}}.$$

Для реакции а) с учетом коэффициентов веществ в уравнении  $\Delta G^0_{\text{х.р.}} = [\Delta G^0_{\text{обр.298}}(\text{CO}_2) + 2\Delta G^0_{\text{обр.298}}(\text{H}_2\text{O})] - [\Delta G^0_{\text{обр.298}}(\text{CH}_4) + 2\Delta G^0_{\text{обр.298}}(\text{O}_2)] = [(-394,6) + 2(-237,4)] - [(-50,85) + 2(0)] = -818,55 \text{ кДж}$ ; поскольку  $\Delta G^0_{\text{х.р.}} < 0$ , то данная реакция в стандартных условиях может протекать самопроизвольно в прямом направлении.

Для реакции б) с учетом коэффициентов в уравнении для каждого вещества

$$\Delta G_{\text{х.р}}^0 = [\Delta G_{\text{обр},298}^0(\text{C}_2\text{H}_4) + 2\Delta G_{\text{обр},298}^0(\text{H}_2)] - 2\Delta G_{\text{обр},298}^0(\text{CH}_4) =$$

$$= [52,28 + 2(0)] - 2(-74,86) = 202 \text{ кДж.}$$

Поскольку  $\Delta G_{\text{х.р}}^0 > 0$ , то данная реакция в стандартных условиях может протекать самопроизвольно в обратном направлении.

### Пример 8.

Для реакции  $\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})} = \text{CO}_{2(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})}$  определите знак изменения энтропии.

Энтропия ( $S_{298}^0$ ) – это термодинамическая функция состояния, является мерой неупорядоченности системы. Энтропия увеличивается: 1) с ростом температуры; 2) при переходе от твердого состояния к жидкому и от жидкого к газообразному состоянию; 3) в процессах расширения, например, газа; 4) в процессах растворения; 5) в химических реакциях, протекающих с увеличением объема. Наоборот, все процессы, связанные с увеличением упорядоченности (охлаждение, отвердевание, конденсация, сжатие, кристаллизация из растворов, химическая реакция, протекающая с уменьшением объема) сопровождаются уменьшением энтропии. Увеличение или уменьшения объема связано с количеством моль газа. Если в результате реакции увеличивается число моль газообразных веществ, т.е. увеличивается объем, следовательно, и энтропия возрастает ( $\Delta S_{\text{х.р}}^0 > 0$ ), если происходит уменьшение числа моль газа, то  $\Delta S_{\text{х.р}}^0 < 0$ .

В данной реакции в исходных веществах газы отсутствуют, а в продуктах образуется  $(1 + 2) = 3$  моль газа, т.е.  $\Delta n_{\text{газа}} = 3 - 0 = 3$  моль.  $\Delta n_{\text{газа}} > 0$ , следовательно,  $\Delta S_{\text{х.р}}^0 > 0$ . Таким образом, в ходе реакции идет увеличение энтропии системы.

### Задачи

1. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H_{\text{обр},298}^0(\text{NH}_3)$ . Сколько тепла выделится, если в результате реакции образуется 2 моль  $\text{NH}_3$ ?
2. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H_{\text{обр},298}^0(\text{H}_2\text{O})$ . Сколько тепла выделится при образовании 1 кг  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ?
3. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H_{\text{обр},298}^0(\text{CH}_3\text{OH})$ . Сколько тепла выделится, если прореагирует 1 г водорода?
4. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H_{\text{обр},298}^0(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ . Сколько хрома окислилось, если в результате реакции выделилось 11,4 кДж тепла?
5. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H_{\text{обр},298}^0(\text{CH}_3\text{COOH})$ . Сколько грамм и м<sup>3</sup> (н.у.) кислорода пошло на окисление, если выделилось 87,38 кДж тепла?
6. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H_{\text{сгор},298}^0(\text{C}_6\text{H}_6)$ . Сколько тепла выделится, если в реакции участвуют 8 г кислорода?

7. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H^0_{обр,298}(\text{CuSO}_4)$ . Сколько тепла выделится, если образуется 16 г сульфата меди?
8. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H^0_{обр,298}(\text{SO}_3)$ . Сколько тепла выделится, если расходуется 6,4 г серы?
9. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H^0_{обр,298}(\text{FeO})$ . Сколько тепла выделится, если образуется 144 г оксида железа?
10. Напишите термохимическое уравнение, соответствующее табличному значению  $\Delta H^0_{обр,298}(\text{KOH})$ . Сколько тепла выделится, если образуется 2,8 г гидроксида калия?
11. На основании табличных данных  $\Delta H^0_{обр,298}$  реагентов рассчитать тепловой эффект реакции  $2 \text{C}(\text{графит}) + \text{H}_2(\text{г}) = \text{C}_2\text{H}_2(\text{г})$ . Определить, к какому типу (экзо- или эндотермическая) она относится.
12. Пользуясь  $\Delta H^0_{обр,298}$  реагентов, рассчитать тепловой эффект реакции  $3 \text{C}_2\text{H}_4(\text{г}) = 2\text{CH}_4(\text{г}) + 2 \text{C}_2\text{H}_2(\text{г})$ .
13. Найти  $\Delta H^0_{х.р.}$ , пользуясь табличными значениями  $\Delta H^0_{обр,298}$  для реакции  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) = \text{C}_2\text{H}_4(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ .
14. Пользуясь табличными значениями  $\Delta H^0_{сгор,298}$ , определить тепловой эффект реакции  $6 \text{C}(\text{графит}) + 3 \text{H}_2(\text{г}) = \text{C}_6\text{H}_6(\text{ж})$ . Экзо- или эндотермическая это реакция?
15. Рассчитать тепловой эффект реакции  $\text{C}(\text{графит}) + 2\text{H}_2(\text{г}) = \text{CH}_4(\text{г})$  на основании табличных значений  $\Delta H^0_{сгор,298}$  реагентов. С выделением или поглощением тепла протекает данная реакция?
16. Рассчитать количество выделенного тепла, если в процессе алюмотермии, описываемом уравнением  $2 \text{Al}(\text{к}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) = \text{Al}_2\text{O}_3(\text{к}) + 2\text{Fe}(\text{к})$ , прореагировало 2,7 кг алюминия. Необходимые данные взять из таблицы 1.
17. В основе работы медноокисного гальванического элемента лежит суммарная реакция  $\text{Zn}(\text{к}) + \text{CuO}(\text{к}) = \text{ZnO}(\text{к}) + \text{Cu}(\text{к})$ . Сколько тепла выделится или поглотится, если в реакции участвуют 32,5 г цинка?
18. Определить  $\Delta H^0_{х.р.}$  для реакции  $2 \text{HCl}(\text{г}) + \text{Ca}(\text{к}) = \text{CaCl}_2(\text{к}) + \text{H}_2(\text{г})$ , пользуясь  $\Delta H^0_{обр,298}$  реагентов. Сколько молей HCl вступило в реакцию, если выделилось 171,75 кДж тепла?
19. Уравнение суммарной реакции, протекающей при получении железа в доменной печи:  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 1,5 \text{C}(\text{кокс}) = 1,5 \text{CO}_2(\text{г}) + 2 \text{Fe}(\text{к})$ . Найти тепловой эффект реакции, пользуясь табличными значениями  $\Delta H^0_{обр,298}$ . Сколько тепла затрачивается на получение 10 кг железа?
20. Пользуясь табличными значениями  $\Delta H^0_{обр,298}$  реагентов, найти тепловой эффект реакции  $2 \text{Al}(\text{к}) + \text{Cr}_2\text{O}_3(\text{к}) = \text{Al}_2\text{O}_3(\text{к}) + 2\text{Cr}(\text{к})$ . Сколько тепла выделилось при образовании 1 г хрома?
21. Сколько тепла поглотится по реакции  $\text{ZnO}(\text{к}) + \text{C}(\text{графит}) = \text{Zn}(\text{к}) + \text{CO}(\text{г})$ , если образуется 1 т цинка?

22. Моноксид углерода  $\text{CO}$  используют для получения железа из руды по реакции:  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + 3 \text{CO}_{(\text{г})} = 2 \text{Fe}_{(\text{к})} + 3 \text{CO}_{2(\text{г})}$ ,  $\Delta H^0_{\text{х.р.}} = -27,43$  кДж. Сколько  $\text{м}^3$   $\text{CO}$  необходимо для получения 1 кг железа, какое количество теплоты при этом выделится?

23.  $\Delta H^0_{\text{сгор,298}}$  метана  $\text{CH}_4$  составляет  $-890,31$  кДж/моль. Почему метан представляет собой лучшее топливо, чем водяной газ ( $\text{CO} + \text{H}_2$ )? Горение водяного газа описывается уравнением  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} = \text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ? Ответ дать на основании расчета.

24. Пользуясь табличными данными  $\Delta H^0_{\text{обр,298}}$ , рассчитать тепловой эффект реакции получения водяного газа  $\text{C}_{(\text{графит})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} = \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})}$ . Экзо- или эндотермическая данная реакция?

25. Вычислить  $\Delta H^0_{\text{сгор,298}}$  этилена ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) на основании энтальпии образования реагентов, учитывая, что продуктами реакции являются  $\text{CO}_{2(\text{г})}$  и  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . Какое количество тепла выделится при горении 1 л этилена?

26. Какое количество теплоты выделится при сгорании 1 л  $\text{H}_2\text{S}$  по реакции  $2\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})} + 3 \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} + 2 \text{SO}_{2(\text{г})}$ ?

27. Найти  $\Delta H^0_{\text{сгор,298}}$  алмаза, если  $\Delta H^0_{\text{сгор,298}}$  графита =  $-393,5$  кДж/моль, а энтальпия фазового перехода  $\text{C}_{(\text{графит})} \rightarrow \text{C}_{(\text{алмаз})}$   $\Delta H^0_{\text{ф.п.}} = -1,88$  кДж/моль.

28. На основании термохимического расчета  $\Delta H^0_{\text{х.р.}}$  определите экзо- или эндотермической является реакция  $3 \text{SiO}_{2(\text{к})} + 4 \text{Al}_{(\text{к})} = 2 \text{Al}_2\text{O}_{3(\text{к})} + 3 \text{Si}_{(\text{к})}$ .

29. Какое количество теплоты, потребуется на разложение 10 кг карбоната натрия по реакции  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{к})} = \text{Na}_2\text{O}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ ?

30. Вычислить энтальпию образования  $\text{HCl}_{(\text{г})}$ , если при взаимодействии 1,12 л водорода с хлором выделяется 9,24 кДж тепла.

31. Вычислить энтальпию образования  $\text{CO}_{2(\text{г})}$ , если известно, что при полном сгорании 1 г углерода выделяется 32,8 кДж тепла.

32. Вычислить энтальпию образования  $\text{FeO}$ , если при взаимодействии 5,6 г железа с кислородом выделяется 26,5 кДж тепла.

33. Какое количество теплоты выделится при переходе 1 кг красного фосфора в черный по реакции  $\text{P}_{(\text{красный})} \rightarrow \text{P}_{(\text{черный})}$ ?

$\Delta H^0_{\text{обр,298}(\text{Pкрасный})} = -18,41$  кДж/моль,  $\Delta H^0_{\text{обр,298}(\text{Pчерный})} = -43,2$  кДж/моль?

34. При образовании 1 г  $\text{CCl}_4$  из простых веществ выделяется 0,67 кДж теплоты. Вычислите  $(\Delta H^0_{\text{обр,298}})\text{CCl}_4$ .

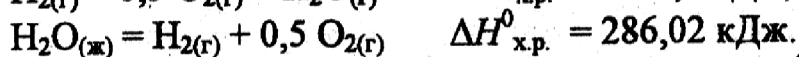
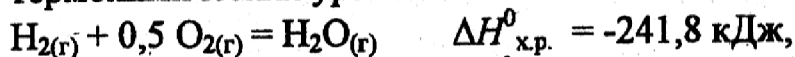
35. При окисления 10,8 г серебра выделилось 1,58 кДж тепла. Найти  $\Delta H^0_{\text{обр,298}}(\text{Ag}_2\text{O})$ .

36. Пользуясь табличными значениями  $\Delta H^0_{\text{обр,298}}$ , найти  $\Delta H^0_{\text{х.р.}}$  для реакции  $3\text{Fe}_{(\text{к})} + 4 \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + 4 \text{H}_{2(\text{г})}$ . Определите, к какому типу (экзо- или эндотермическая реакция) она относится.

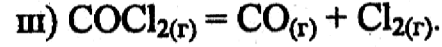
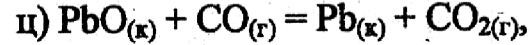
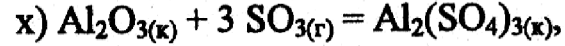
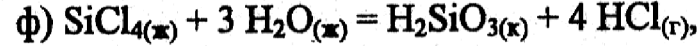
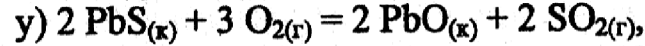
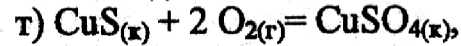
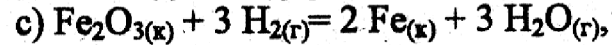
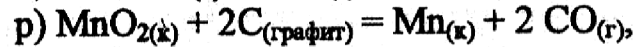
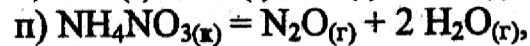
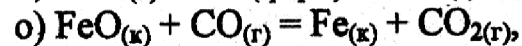
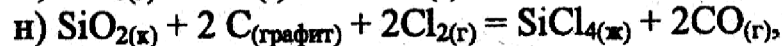
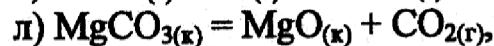
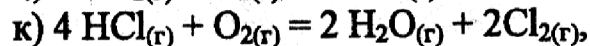
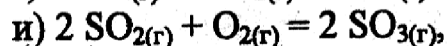
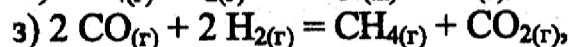
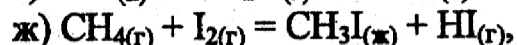
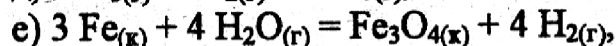
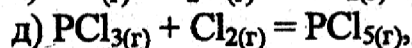
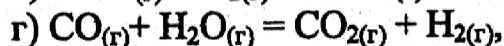
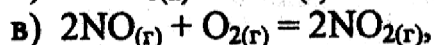
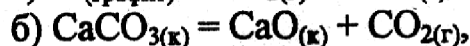
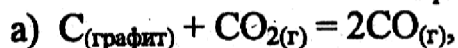
37. На окисление некоторого количества алюминия пошло 10 л кислорода. При этом выделилось 490 кДж тепла. Определить  $\Delta H^0_{\text{обр,298}}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ .

38. При окислении 10 г кальция выделилось 158,8 кДж тепла. Определить  $\Delta H^0_{\text{обр,298}}(\text{CaO})$ .

39. Вычислить  $\Delta H^0_{298}$  перехода  $\text{H}_2\text{O}_{(ж)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(г)}$ , на основании следующих термохимических уравнений:



40. На основании табличных значений  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  реагентов определить возможность самопроизвольного протекания реакции при стандартных условиях. Укажите знак  $\Delta S^0_{\text{х.р.}}$ . Ответ обоснуйте.



## 2. Химическая кинетика и равновесие

**Пример 1.** Реакция протекает по уравнению  $\text{N}_{2(г)} + 3 \text{H}_{2(г)} = 2 \text{NH}_{3(г)}$ . Начальные концентрации веществ (моль/л):  $[\text{N}_2] = 6$ ;  $[\text{H}_2] = 11,2$ ;  $[\text{NH}_3] = 0$ . Рассчитать константу равновесия реакции  $K_c$ , если к моменту равновесия прореагировало 40% исходного количества азота. Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

**Решение:** В начальный момент времени в реакционной смеси присутствуют только азот и водород в начальных концентрациях. В процессе реакции их концентрации убывают, а концентрация аммиака увеличивается. После установления равновесия (когда скорости прямой и обратной реакций равны) в равновесной смеси присутствуют азот, водород и аммиак.



По условию задачи к моменту равновесия прореагировало 40% исходного количества азота:  $C_{\text{пр}} = \frac{6 \cdot 40}{100} = 2,4$  моль/л.

Сравнивая стехиометрические коэффициенты реакции, видим, что водорода расходуется в 3 раза больше, чем азота, т.е.  $3 \times 2,4 = 7,2$  моль/л. Зная начальные концентрации веществ и количество их, вступившее в реакцию, можно найти равновесные концентрации:

$$C_{\text{равн}} = C_{\text{исх}} - C_{\text{прореаг}}, \text{ т.е.}$$

$$C_{\text{N}_2} = 6,0 - 2,4 = 3,6 \text{ моль/л}; C_{\text{H}_2} = 11,2 - 7,2 = 4,0 \text{ моль/л.}$$

Равновесную концентрацию  $\text{NH}_3$  находим из соотношения стехиометрических коэффициентов реакции. По реакции видим, что аммиака образуется в 2 раза больше, чем расходуется азота. Следовательно, равновесная концентрация аммиака.

$$C_{\text{NH}_3} = 2,4 \times 2 = 4,8 \text{ моль/л.}$$

Наглядно эти рассуждения можно представить в виде схемы:

	$\text{N}_2$	+	$3\text{H}_2$	$\rightleftharpoons$	$2\text{NH}_3$
$C_{\text{нач}}, \text{ моль/л}$	6		11,2 моль/л		-
$C_{\text{израсход}}, \text{ моль/л}$	40%=2,4		$\nu_{\text{N}_2} : \nu_{\text{H}_2} = 1 : 3$ $2,4 \cdot 3 = 7,2$		-
$C_{\text{равн}}, \text{ моль/л}$	$6 - 2,4 = 3,6$		$11,2 - 7,2 = 4$		$\nu_{\text{N}_2} : \nu_{\text{NH}_3} = 1 : 2$ $2,4 \cdot 2 = 4,8$

С помощью этой схемы можно рассчитать как равновесные, так и исходные концентрации.

Для нахождения константы равновесия, надо записать ее математическое выражение. Данная реакция является гомогенной, так как протекает в одной фазе (в системе присутствуют только газы), следовательно,  $K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$ .

Подставив в математическое выражение константы значения равновесных концентраций веществ, определим  $K_c = \frac{4,8^2}{3,6 \cdot 4^3} = 0,1$ .

Математическое выражение константы равновесия в условиях  $P, T = \text{const}$

$$K_p = \frac{P_{\text{NH}_3}^2}{P_{\text{N}_2} \times P_{\text{H}_2}^3},$$

где  $P$  - равновесные парциальные давления реагентов, указанных в нижнем индексе.

Для реакции  $aA + bB + \dots = dD + qQ + \dots$  связь  $K_p$  и  $K_c$  устанавливается с использованием закона Клапейрона-Менделеева:  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ , где  $\Delta n$  - разность сумм стехиометрических коэффициентов продуктов реакции и исходных веществ, находящихся в газообразном состоянии, т.е.  $\Delta n = (d + q + \dots) - (a + b + \dots)$ .



В нашем случае  $\Delta n = 2 - (1+3) = -2$  и, следовательно,  $K_p = K_c(RT)^{-2}$ , т.е.  $K_p$  и  $K_c$  численно не совпадают.

**Пример 2.** Реакция протекает по уравнению  $H_{2(g)} + I_{2(g)} = 2HI_{(g)}$ . Определить исходные концентрации водорода и иода, если равновесные концентрации (моль/л):  $[H_2] = 1$ ;  $[I_2] = 2$ ;  $[HI] = 10$ . Установить взаимосвязь  $K_p$  и  $K_c$ .

**Решение:** Исходная концентрация каждого вещества равна сумме количества прореагировавшего вещества и его равновесной концентрации:

$$C_{\text{исх}} = C_{\text{равн}} + C_{\text{прореаг.}}$$

Количества прореагировавших водорода и иода определяем из уравнения реакции, согласно которому, для образования 2 моль необходимо израсходовать по 1 моль водорода и иода. Следовательно, для образования 10 моль HI к моменту равновесия прореагировало по 5 моль  $H_2$  и  $I_2$ . Таким образом,

$$C_{\text{исх}}(H_2) = 5 + 1 = 6 \text{ моль/л};$$

$$C_{\text{исх}}(I_2) = 5 + 2 = 7 \text{ моль/л}.$$

Взаимосвязь  $K_p$  и  $K_c$  устанавливается согласно уравнению  $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$ ,  $\Delta n = 2 - (1+1) = 0$  и, следовательно,  $K_p = K_c(RT)^0 = K_c$ .

**Пример 3.** Для реакции  $C_{(\text{графит})} + CO_{2(g)} = 2CO_{(g)}$  рассчитать константу равновесия, если исходная концентрация  $CO_2$  равна 2,4 моль/л, а к моменту равновесия его прореагировало 60%. В сторону расходования или в сторону образования CO сдвигается равновесие при уменьшении давления?

**Решение:**

Данная реакция является гетерогенным процессом, и с учетом того, что концентрация твердой фазы  $C_{(\text{графит})}$  - это постоянная величина (условно принимается за 1), математическое выражение константы равновесия записывается в виде  $K_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]}$ .

В процессе реакции изменяется концентрация только  $CO_2$ . По условию задачи к моменту равновесия прореагировало 60% исходного количества углекислого газа:  $C_{\text{вр}} = \frac{2,4 \cdot 60}{100} = 1,44$  моль/л, следовательно, равновесная концентрация  $CO_2$ :  $C_{\text{CO}_2}^{\text{равн}} = C_{\text{исх}} - C_{\text{прореаг}} = 2,4 - 1,44 = 0,96$  моль/л.

Сравнивая стехиометрические коэффициенты реакции, видим, что CO образуется в 2 раза больше, чем расходуется  $CO_2$ , т.е.  $2 \times 1,44 = 2,88$  моль/л.

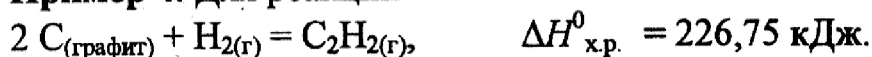
Подставив в математическое выражение константы значения равновесных концентраций веществ, определим  $K_c = \frac{2,88^2}{0,96} = 8,64$ .

Для определения направления смещения равновесия используют принцип Ле Шателье: если на систему, находящуюся в равновесии, оказано

внешнее воздействие (изменены температура, давление и др.), то происходит сдвиг равновесия в том направлении, которое ослабляет эффект этого воздействия. Сдвиг равновесия приводит к изменению равновесного состава.

В данном примере нужно проанализировать сдвиг равновесия при изменении давления. Смещение равновесия путем изменения давления существенно только в системах с участием газов и пренебрежимо мало для конденсированных (жидких и твердых) систем. При повышении давления (увеличения числа моль газа в единице объема) равновесие смещается в сторону уменьшения числа моль газов и уменьшения числа моль газов в единице объема. Наоборот, при уменьшении давления равновесие сдвигается в сторону увеличения числа моль газов (при постоянном объеме – в сторону увеличения давления). Таким образом, в нашей системе равновесие при уменьшении давления сдвигается в направлении образования CO за счет реакции CO<sub>2</sub> с графитом, т.к. в данной реакции число моль газа увеличивается ( $\Delta n = 2 - 1 = 1$ ).

**Пример 4.** Для реакции



1. Написать математическое выражение константы равновесия  $K_c$ .
2. Указать, как влияет на концентрацию ацетилена в равновесной смеси:
  - а) повышение температуры; б) увеличение давления ( $T = \text{const}$ );
  - в) увеличение весового количества графита; г) введение катализатора.

**Решение:**

1. Реакция синтеза ацетилена является гетерогенным процессом и протекает на границе раздела твердой и газообразной фазы. Концентрация твердой фазы – графита является постоянной величиной, и константа равновесия данной реакции представляет собой отношение равновесных концентраций ацетилена и водорода:  $K_c = \frac{[\text{C}_2\text{H}_2]}{[\text{H}_2]}$ .

2. Качественно направление смещения равновесия при изменении одного из условий равновесия определяется принципом Ле Шателье (см. пример 3):

- а) данная реакция является эндотермическим процессом ( $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 > 0$ ), подвод тепла извне компенсируется его поглощением в эндотермическом процессе, и равновесие смещается в направлении протекания прямой реакции, что приведет к увеличению концентрации ацетилена в равновесной смеси;
- б) увеличение давления приводит к увеличению молярной концентрации газообразных веществ (водорода и ацетилена), таким образом, концентрация ацетилена возрастает, хотя смещения равновесия не происходит, так как протекание данной реакции не сопровождается изменением числа моль газов  $\Delta n = 0$ ;
- в) данная система является гетерогенной; константа равновесия  $K_c$  не включает в себя твердую фазу, поэтому весовое количество графита не влияет на величину концентрации ацетилена;

г) введение катализатора сокращает время достижения равновесия, но не влияет на его смещение. Следовательно, равновесная концентрация ацетилена в присутствии катализатора остается постоянной.

**Пример 5.** Для реакции  $\text{Ag}_2\text{O}_{(к)} = 2\text{Ag}_{(к)} + 0,5\text{O}_{2(г)}$ ,  $\Delta H^0_{\text{х.р}} = 31,15$  кДж.

1. Написать математические выражения для  $K_c$  и  $K_p$  и сравнить, совпадают ли они численно?

2. В сторону расходования или образования кислорода сдвигается равновесие при: а) уменьшении давления; изменится ли при этом концентрация кислорода; б) увеличение температуры; изменится ли при этом концентрация кислорода в) увеличение весового количества  $\text{Ag}_2\text{O}$ ?

**Решение:**

1. Так как реакция гетерогенная, то константа равновесия не включает в себя концентрации и давление твердых фаз:  $K_c = [\text{O}_2]^{0,5}$ ,  $K_p = P_{\text{O}_2}^{0,5}$ ,  
 $K_p = K_c(RT)^{\Delta n} = K_c(RT)^{0,5}$ .

2. а) по принципу Ле Шателье (см. примеры 3 и 4) равновесие сместится при уменьшении давления в сторону разложения  $\text{Ag}_2\text{O}_{(к)}$  и образования кислорода, однако, так как  $K_c = \text{const}$  при  $T = \text{const}$  и не зависит от общего давления, концентрация кислорода останется прежней из-за возрастания общего объема системы при уменьшении давления;

б) ввиду эндотермичности процесса, равновесие с ростом температуры сдвинется в сторону разложения оксида серебра и накопления кислорода в системе.  $K_c$  эндотермических реакций с ростом температуры возрастает, поэтому равновесная концентрация кислорода также возрастает;

в) так как концентрация оксида серебра не входит в выражение константы равновесия, то увеличение весового его количества на равновесие не влияет.

### Задачи

41. Равновесие в гетерогенной системе  $\text{C}_{(\text{графит})} + 2\text{Cl}_{2(г)} = \text{CCl}_{4(г)}$  установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ (моль/л):  $[\text{Cl}_2] = 0,8$ ,  $[\text{CCl}_4] = 0,3$ . Рассчитать начальную концентрацию хлора. В каком направлении сместится равновесие в данной системе при увеличении давления?

42. Равновесие в гомогенной системе  $\text{N}_{2(г)} + 3\text{H}_{2(г)} = 2\text{NH}_{3(г)}$  установилось при следующих концентрациях (моль/л):  $[\text{N}_2] = 11$ ;  $[\text{H}_2] = 2$ ;  $[\text{NH}_3] = 3$ . Вычислить константу равновесия ( $K_c$ ) и исходные концентрации азота и водорода. В каком направлении сместится равновесие данной реакции при увеличении давления?

43. Равновесие в гомогенной системе  $4\text{HCl}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{H}_2\text{O}_{(г)} + 2\text{Cl}_{2(г)}$  установилось при следующих концентрациях (моль/л):  $[\text{HCl}] = 0,25$ ;  $[\text{O}_2] = 0,3$ ;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,2$ ;  $[\text{Cl}_2] = 0,2$ . Вычислить константу равновесия ( $K_c$ ) и исходные концентрации  $\text{HCl}$  и  $\text{O}_2$ . В каком направлении сместится

равновесие в данной системе при уменьшении общего давления?

44. Константа равновесия реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} = 2\text{HI}_{(\text{г})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} = 51,8$  кДж,  $K_c =$

50. Равновесные концентрации водорода и иода (моль/л) соответственно составляют 1 и 6. Рассчитать начальные концентрации водорода и иода. Какие факторы будут способствовать увеличению равновесной концентрации продукта реакции?

45. Для реакции  $2\text{NO}_{2(\text{г})} = 2\text{NO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$  рассчитать исходную концентрацию  $\text{NO}_2$  и константу равновесия ( $K_c$ ), если равновесие установилось при следующих концентрациях (моль/л):  $[\text{NO}_2] = 0,2$ ;  $[\text{NO}] = 0,6$ ;  $[\text{O}_2] = 0,3$ . В каком направлении сместится равновесие в данной реакции при увеличении давления в системе? Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

46. Равновесие в гетерогенной системе  $\text{C}_{(\text{графит})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = 2 \text{CO}_{(\text{г})}$  установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ (моль/л):  $[\text{CO}_2] = 0,6$ ,  $[\text{CO}] = 0,4$ . Вычислить исходную концентрацию  $\text{CO}_2$  и константу равновесия  $K_c$ . Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

47. Константа равновесия реакции  $\text{C}_{(\text{графит})} + 2 \text{H}_{2(\text{г})} = \text{CH}_{4(\text{г})}$  при некоторой температуре  $K_c = 21,3$ . Рассчитать исходную концентрацию водорода, если равновесная концентрация метана равна 0,1 моль/л. В каком направлении сместится равновесие в данной системе при уменьшении давления?

48. Исходные концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{Cl}_2$ , участвующих в реакции  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} = \text{COCl}_{2(\text{г})}$ , равны 1 моль/л. Рассчитать равновесные концентрации реагирующих веществ, если к моменту равновесия прореагировало 60% первоначального количества  $\text{CO}$ . Записать математическое выражение для  $K_p$  и  $K_c$  и определить, совпадают ли они численно.

49. Разложение метана протекает по уравнению:  $2\text{CH}_{4(\text{г})} = \text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$ . Рассчитайте исходную концентрацию метана, если равновесие установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ (моль/л):  $[\text{CH}_4] = 0,2$ ;  $[\text{H}_2] = 0,3$ ;  $[\text{C}_2\text{H}_2] = 0,1$ . В каком направлении сместится равновесие в данной реакции при уменьшении объема системы? Записать математическое выражение для  $K_p$  и  $K_c$  и определить, совпадают ли они численно.

50. Дано уравнение реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} = 2 \text{HI}_{(\text{г})}$ . Сколько  $\text{HI}$  образуется к моменту равновесия из 2 моль  $\text{H}_2$  и 1 моль  $\text{I}_2$ , если  $K_c = 50$ . В каком направлении сместится равновесие при увеличении давления в системе? Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

51. Разложение диоксида азота протекает по реакции  $2\text{NO}_{2(\text{г})} = 2 \text{NO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$ . Вычислить равновесные концентрации реагирующих веществ, если исходная концентрация  $\text{NO}_2$  равна 4 моль/л, а к моменту равновесия прореагировало 60% от его первоначального количества. В каком направлении сместится равновесие в данной реакции при увеличении давления в системе? Записать математическое выражение для  $K_p$  и  $K_c$  и определить, совпадают ли они численно.

52. Рассчитать константу равновесия ( $K_c$ ) реакции  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} = 2NH_{3(r)}$ , если исходные концентрации  $N_2$  и  $H_2$  соответственно равны 0,4 и 2,24 моль/л и к моменту равновесия прореагировало 20% исходного количества азота. Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

53. Рассчитать  $K_c$  реакции  $N_2O_{4(r)} = 2 NO_{2(r)}$ , если начальная концентрация  $N_2O_4$  составляла 0,08 моль/л, а к моменту равновесия прореагировало 50%  $N_2O_4$ . Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

54. Константа равновесия ( $K_c$ ) реакции:  $CO_{2(r)} + H_{2(r)} = CO_{(r)} + H_2O_{(r)}$  при некоторой температуре равна 1. Определить равновесные концентрации реагирующих веществ, если исходные концентрации  $CO_2$  и  $H_2$  составляли соответственно 1 и 5 моль/л. Влияет ли изменение давления на смещение равновесия реакции? Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

55. Рассчитать  $K_c$  реакции  $2SO_{2(r)} + O_{2(r)} = 2SO_{3(r)}$ , если начальные концентрации  $SO_2$  и  $O_2$  (моль/л) соответственно равны 2 и 4 и к моменту равновесия прореагировало 25% исходного количества  $SO_2$ . Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

56. Рассчитать  $K_c$  реакции  $CO_{(r)} + Cl_{2(r)} = COCl_{2(r)}$ , если из 2 моль  $CO$  и 2 моль  $Cl_2$  образовалось к моменту равновесия 0,45 моль  $COCl_2$ . В каком направлении сместится равновесие в данной реакции при уменьшении объема системы? Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

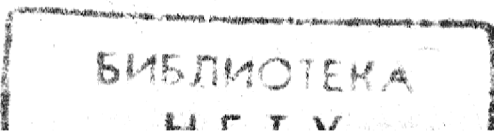
57. Рассчитать  $K_c$  реакции  $2H_{2(r)} + S_{2(r)} = 2 H_2S_{(r)}$ , если исходные концентрации  $H_2$  и  $S_2$  составляют соответственно 4 и 3 моль/л и к моменту равновесия прореагировало 70% исходного количества  $H_2$ . Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

58. Для реакции  $H_{2(r)} + Br_{2(r)} = 2 HBr_{(r)}$  константа равновесия при некоторой температуре  $K_c=1$ . Определить равновесные концентрации реагентов, если исходная смесь состояла из 3 молей водорода и 1 моля брома (общий объем системы 1 л). Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

59. Рассчитать константу равновесия ( $K_c$ ) для реакции  $PCl_{5(r)} = PCl_{3(r)} + Cl_{2(r)}$ , если к моменту равновесия прореагировало 54%  $PCl_5$ , исходная концентрация которого составляла 2 моль/л. Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

60. При некоторой температуре равновесие в системе  $2NO_{2(r)} = 2NO_{(r)} + O_{2(r)}$  установилось при следующих концентрациях:  $[NO_2] = 0,06$  моль/л;  $[NO] = 0,24$  моль/л;  $[O_2] = 0,12$  моль/л. Найти константу равновесия ( $K_c$ ) реакции и исходную концентрацию  $NO_2$ . Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

61. Константа равновесия ( $K_c$ ) реакции  $FeO_{(к)} + CO_{(r)} = Fe_{(к)} + CO_{2(r)}$  при





некоторой температуре равна 0,5. Найти равновесные концентрации CO и CO<sub>2</sub>, если исходная концентрация CO составляла 0,8 моль/л. Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

62. Рассчитать равновесные концентрации веществ и константу равновесия  $K_c$  для реакции  $C_2H_6(g) = C_2H_4(g) + H_2(g)$ , если исходная концентрация этана составляла 2 моль/л и к моменту равновесия прореагировало 50% исходного количества. Записать математическое выражение  $K_p$  и определить, совпадают ли  $K_p$  и  $K_c$  численно.

63. Для реакции  $2Fe_{(к)} + 3H_2O_{(г)} = Fe_2O_{3(к)} + 3H_{2(г)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = 35,4$  кДж.

1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;

2) указать, как влияют на концентрацию водорода в равновесной смеси: а) увеличение давления; б) увеличение концентрации водяного пара?

64. Для реакции  $CaCO_{3(к)} = CO_{2(г)} + CaO_{(к)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = 277,4$  кДж

1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;

2) указать, как влияют на концентрацию диоксида углерода в равновесной смеси: а) увеличение температуры; б) уменьшение давления?

65. Для реакции  $4HCl_{(г)} + O_{2(г)} = 2H_2O_{(г)} + 2Cl_{2(г)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = -88$  кДж

1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;

2) указать, в каком направлении сместится равновесие при: а) увеличении давления; б) увеличении концентрации водяного пара; в) введении катализатора?

66. Для реакции  $Ag_2O_{(к)} = 2Ag_{(к)} + 0,5O_{2(г)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = 31,15$  кДж

1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;

2) в сторону расщепления или образования кислорода сдвигается равновесие при: а) уменьшении давления; б) увеличении температуры; в) увеличении весового количества Ag<sub>2</sub>O?

67. Для реакции  $Fe_2O_{3(к)} + 3H_{2(г)} = 2Fe_{(к)} + 3H_2O_{(г)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = -35,4$  кДж

1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;

2) указать, как влияют на концентрацию водяного пара в равновесной смеси: а) повышение температуры; б) увеличение концентрации водорода; в) введение катализатора.

68. Для реакции  $C_{(графит)} + CO_{2(г)} = 2CO_{(г)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = 172,6$  кДж

1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;

2) указать, как влияет на концентрацию оксида углерода (IV); а) повышение давления; б) увеличение весового количества графита; в) увеличение концентрации оксида углерода (II).

69. Для реакции  $C_{(графит)} + 2H_{2(г)} = CH_{4(г)}$ ,  $\Delta H^0_{х.р.} = -74,86$  кДж

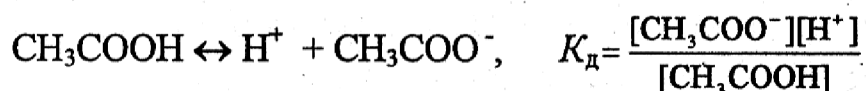
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) указать, как влияет на концентрацию метана в равновесной смеси: а) повышение температуры; б) увеличение концентрации водорода; в) введение катализатора.
70. Для реакции  $C_{(\text{графит})} + O_{2(\text{г})} = CO_{2(\text{г})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 = -393,8 \text{ кДж}$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) указать, в каком направлении смещается равновесие в системе при: а) нагревании; б) увеличении весового количества графита; в) увеличении концентрации кислорода.
71. Для реакции синтеза аммиака  $N_{2(\text{г})} + 3H_{2(\text{г})} = 2NH_{3(\text{г})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 = -92,4 \text{ кДж}$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) в сторону расщепления или образования аммиака смещается равновесие при: а) увеличении давления; б) увеличении концентрации водорода; в) введении катализатора.
72. Для реакции  $2N_2O_{(\text{г})} = 2N_{2(\text{г})} + O_{2(\text{г})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 < 0$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) в сторону расщепления или образования кислорода смещается равновесие при: а) увеличении температуры; б) уменьшении общего объема смеси; в) увеличении концентрации азота.
73. Для реакции  $CaO_{(\text{к})} + 3C_{(\text{графит})} = CaC_{2(\text{к})} + CO_{(\text{г})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 < 0$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) в сторону расщепления или образования CO смещается равновесие при: а) введении катализатора; б) увеличении давления; в) понижении температуры.
74. Для реакции  $BaO_{(\text{к})} + CO_{2(\text{г})} = BaCO_{3(\text{тв})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 < 0$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) в сторону расщепления или образования углекислого газа смещается равновесие при: а) увеличении давления; б) повышении температуры.
75. Для реакции  $Fe_{(\text{к})} + 0,5 O_{2(\text{г})} = FeO_{(\text{к})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 < 0$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) в сторону расщепления или образования кислорода смещается равновесие при: а) увеличении общего объема системы; б) понижении температуры.
76. Для реакции  $SO_2Cl_{2(\text{г})} = SO_{2(\text{г})} + Cl_{2(\text{г})}$ ,  $\Delta H_{\text{х.р.}}^0 > 0$
- 1) написать математические выражения константы равновесия  $K_p$  и  $K_c$  и установить взаимосвязь между ними;
- 2) в сторону расщепления или образования хлора смещается равновесие при: а) увеличении концентрации диоксида серы; б) увеличении

температуры; в) введении катализатора.

### 3. Равновесие в растворах электролитов

Электролиты – химические вещества и системы, в которых прохождение электрического тока осуществляется за счет движения ионов. Такие проводники относятся к проводникам второго рода. Наличие свободных ионов объясняется явлением диссоциации (ионизации) – распадом молекул на ионы: а) при образовании растворов под действием полярных молекул растворителя (электролитическая диссоциация); б) при образовании расплавов в результате термического распада (термическая диссоциация). В зависимости от степени электролитической диссоциации  $\alpha = n/N$ , (где  $n$  – число распавшихся молекул,  $N$  – исходное число растворенных молекул) электролиты подразделяются на сильные ( $\alpha \approx 1$ ), слабые ( $\alpha < 0,03$ ) и средней силы ( $0,03 < \alpha < 0,3$ ). Степень диссоциации зависит от концентрации электролита (чем больше концентрация, тем меньше степень диссоциации).

Обратимый процесс диссоциации слабых электролитов характеризуется константой диссоциации  $K_d$ . Например, для слабой уксусной кислоты, процесс диссоциации которой идет в соответствии с уравнением



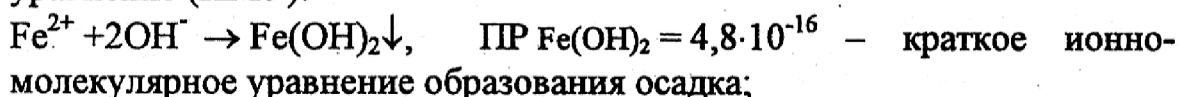
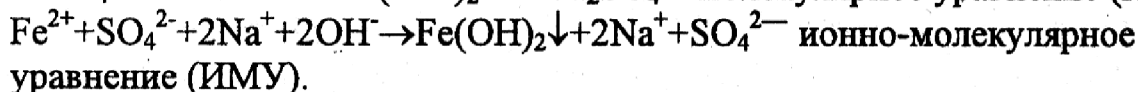
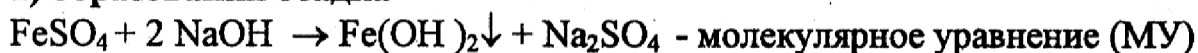
В зависимости от величины  $K_d$  электролиты подразделяются на сильные ( $K_d > 10^{-3}$ ) и слабые ( $K_d < 10^{-3}$ ).  $K_d$  зависит только от природы электролита и температуры и является табличной величиной.

Для слабых электролитов бинарного типа (распадаются на один катион и один анион) взаимосвязь между исходной концентрацией растворенного вещества (молярностью раствора  $-C_m$ ), степенью и константой диссоциации выражается законом разведения Оствальда:  $K_d = \alpha^2 C_m$ .

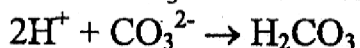
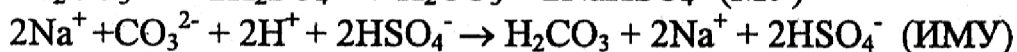
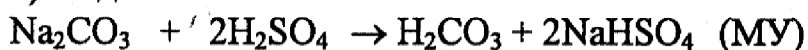
#### 3.1 Реакции ионного обмена

Для растворов электролитов наиболее характерны реакции ионного обмена. Обязательным условием протекания таких реакций практически до конца является удаление из раствора тех или иных ионов в следствие:

##### 1) образования осадка

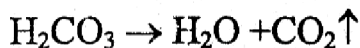


##### 2) выделение газа



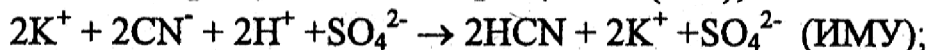


Угольная кислота является нестойкой, поэтому она разлагается:

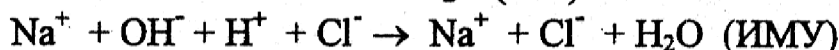
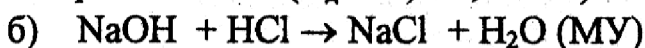


$2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$  - ионно-молекулярное уравнение образования летучего соединения и слабого электролита  $\text{H}_2\text{O}$ .

### 3) образование малодиссоциирующих веществ

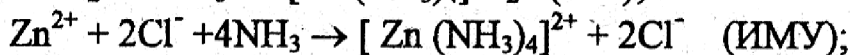
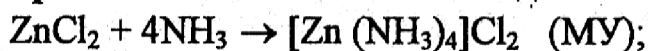


$\text{CN}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCN}$  - ионно-молекулярное уравнение образования слабого электролита  $\text{HCN}$  ( $K_{\text{дHCN}} = 7,8 \cdot 10^{-10}$ ).



$\text{OH}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  ионно-молекулярное уравнение образования слабого электролита  $\text{H}_2\text{O}$ , для которой  $K_{\text{дH}_2\text{O}} = 1,8 \cdot 10^{-16}$ .

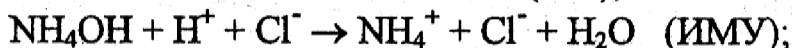
### 4) образование комплексных соединений



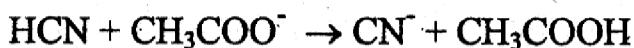
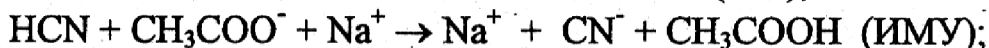
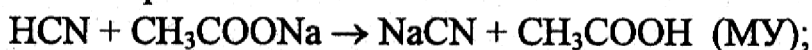
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  - ионно-молекулярное уравнение образования комплексного катиона.

Встречаются процессы, при которых слабые электролиты или малорастворимые соединения входят в число исходных веществ и продуктов реакции. Равновесие в этом случае смещается:

а) в сторону образования веществ, имеющих наименьшую константу диссоциации:

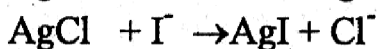
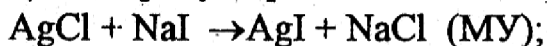


$K_{\text{дNH}_4\text{OH}} = 1,8 \cdot 10^{-5} < K_{\text{дH}_2\text{O}} = 1,8 \cdot 10^{-16}$ , следовательно, равновесие сдвинуто в сторону образования молекул воды, т.е. реакция протекает в прямом направлении.



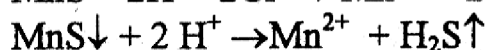
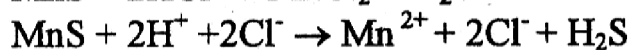
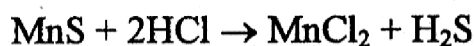
$K_{\text{дHCN}} = 7,9 \cdot 10^{-10} < K_{\text{дCH}_3\text{COOH}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ , следовательно, равновесие сдвинуто в сторону образования  $\text{HCN}$ , т.е. реакция практически не протекает.

б) в сторону образования менее растворимого вещества:



$\text{ПРАgCl} = 1,78 \cdot 10^{-10} > \text{ПРАgI} = 8,3 \cdot 10^{-17}$ , следовательно, равновесие сдвинуто в сторону образования менее растворимого соединения  $\text{AgI}$ .

Могут встречаться процессы, в уравнениях которых есть и малорастворимое соединение, и слабый электролит:



$$P_{\text{MnS}} = 2,5 \cdot 10^{-10}; [\text{S}^{2-}] = \sqrt{2,5 \times 10^{-10}} = 1,58 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$K_{\text{д}} \text{H}_2\text{S} = K_1 \cdot K_2 = 6 \cdot 10^{-8} \times 1 \cdot 10^{-14} = 6 \cdot 10^{-22}; [\text{S}^{2-}] = \sqrt{\frac{K_1 K_2}{4}} = 0,54 \cdot 10^{-7}$$

Связывание ионов  $\text{S}^{2-}$  в молекулы  $\text{H}_2\text{S}$  происходит полнее, чем в  $\text{MnS}$ , поэтому реакция протекает в прямом направлении.

### Задачи

77. Будут ли протекать реакции между растворами следующих электролитов:

1)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; 2)  $\text{KNO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ; 3)  $\text{CdSO}_4$  и  $\text{NaOH}$ ? Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения возможных реакций.

78. С помощью молекулярных и ионно-молекулярных уравнений ответить на вопрос: при смешении растворов каких солей можно получить в осадке карбонат кальция?

79. Будут ли протекать реакции между растворами следующих электролитов:  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и  $\text{HNO}_3$ ; 2)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{KOH}$ ; 3)  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{NaOH}$ ? Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения возможных реакций.

80. С помощью молекулярных и ионно-молекулярных уравнений ответить на вопрос: растворы каких солей надо смешать для получения в осадке сульфата бария?

81. Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций между растворами следующих электролитов:

1) сульфита натрия и серной кислоты; 2) хлорида цинка и гидроксида натрия; 3) карбоната калия и соляной кислоты.

82. Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций: 1) растворения сульфида железа (II) в соляной кислоте; 2) взаимодействия сульфата кадмия и гидроксида натрия; 3) растворения гидроксида алюминия в избытке раствора щелочи.

83. Можно ли приготовить раствор, содержащий одновременно следующие пары веществ: 1)  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{NaNO}_3$ ; 2)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; 3)  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{NaCl}$ ? Ответ обосновать с помощью молекулярных и ионно-молекулярных уравнений.

84. Смешивают попарно растворы: 1)  $\text{NaOH}$  и  $\text{HNO}_3$ ; 2)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; 3)  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{KOH}$ . В каких случаях протекают реакции? Составить их молекулярные и ионно-молекулярные уравнения.

85. Написать уравнения реакций между растворами следующих электролитов: 1)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; 2)  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ; 3)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и  $\text{KOH}$  (избыток).

86. Будут ли протекать реакции между растворами следующих электролитов:

1)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{BaCl}_2$ ; 2)  $\text{NaHCO}_3$  и  $\text{NaOH}$ ; 3)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{KOH}$ ? Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения возможных реакций.

87. Смешивают попарно растворы следующих электролитов: 1)  $\text{NaOH}$  и  $\text{HCl}$ ; 2)  $\text{K}_2\text{SO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; 3)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Какие из реакций протекают практически до конца? Составить молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций.

88. Составить молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций, происходящих в растворах между: 1) сероводородом и сульфатом никеля (II); 2) гидрокарбонатом и гидроксидом калия; 3) хлоридом аммония и гидроксидом калия.

89. Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций нейтрализации:

1)  $\text{HCl}$  +  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; 2)  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  +  $\text{HNO}_3$ ; 3)  $\text{H}_2\text{S}$  +  $\text{NaOH}$ . Указать, какие из этих реакций протекают обратимо.

90. Написать молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций, протекающих в растворах между: 1)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; 2)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{KOH}$ ; 3)  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  и  $\text{AgNO}_3$ . Указать в каждом случае соединение, образование которого вызывает смещение равновесия.

91. Составить молекулярные уравнения к следующим ионно-молекулярным уравнениям:

1) $\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ ;	2) $\text{H}^+ + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$ ;
3) $2\text{Ag}^+ + \text{SO}_4^{2-} = \text{Ag}_2\text{SO}_4$ ;	4) $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3$ ;
5) $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_4\text{OH}$ ;	6) $2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ;
7) $\text{Sn}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Sn}(\text{OH})_2$ ;	8) $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$
9) $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3$ ;	10) $\text{ZnS} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{S} + \text{Zn}^{2+}$ ;
11) $\text{H}^+ + \text{NO}_2^- = \text{HNO}_2$ ;	12) $\text{Sn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- = [\text{Sn}(\text{OH})_4]^{2-}$
13) $\text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cd}(\text{OH})_2$ ;	14) $\text{CuS} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{S} + \text{Cu}^{2+}$ ;
15) $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}$ ;	16) $2\text{H}^+ + \text{S}^{2-} = \text{H}_2\text{S}$ ;
17) $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{CO}_3$ ;	18) $2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} = \text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ;
19) $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;	20) $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ = \text{CH}_3\text{COOH}$ ;
21) $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ;	22) $\text{Ni}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{NiS}$ ;
23) $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;	24) $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Mg}(\text{OH})_2$ ;
25) $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4$ ;	26) $\text{HNO}_2 + \text{OH}^- = \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ ;
27) $\text{Pb}^{2+} + 2\text{Cl}^- = \text{PbCl}_2$ ;	28) $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3$ ;
29) $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- = [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ ;	30) $2\text{H}^+ + \text{Zn}(\text{OH})_2 = \text{Zn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ .

### 3.2 Ионное произведение воды. Водородный показатель

Вода хотя и весьма незначительно, но все же диссоциирует на ионы:



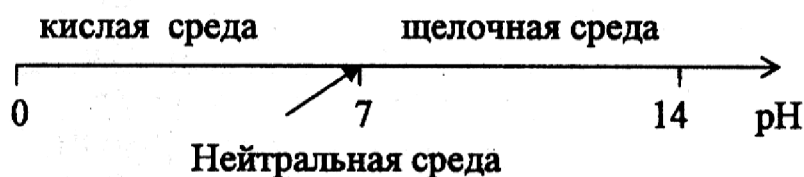
Следовательно, вода является типичным амфотерным электролитом, т.е. она может действовать в равной степени и как кислота, и как основание.

Установлено, что константа диссоциации воды равна  $K_d = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = 1,8 \cdot 10^{-16}$ .

Судя по значению этой величины, вода является очень слабым электролитом. Произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов, которое при данной температуре является постоянной величиной, называется ионным произведением воды, его обозначают  $K_w$ . При  $25^\circ C$   $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$ . Для процесса  $H^+_{(p)} + OH^-_{(p)} \leftrightarrow H_2O_{(p)}$ ,  $\Delta H^0_{298} = -56 \text{ кДж/моль}$ ; обратный процесс - диссоциация воды - является эндотермическим процессом. Таким образом, в соответствии с принципом Ле-Шателье, температура будет оказывать влияние на  $K_w$ .

Для характеристики кислотности раствора используют водородный показатель (рН).  $pH = -\lg[H^+]$ , где  $[H^+]$  - концентрация ионов водорода в моль/л. Так как  $K_w \neq 0$ , то и не может быть водного раствора, в котором концентрация  $H^+$  или  $OH^-$  равнялась бы нулю. Следовательно, в любом водном растворе присутствуют совместно ионы  $H^+$  и  $OH^-$ . Для нейтральной среды  $[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$  моль/л, следовательно,  $pH = 7$ . В кислой среде  $[H^+] > 10^{-7}$  моль/л, т.е.  $0 < pH < 7$ , в щелочной среде  $[OH^-] > 10^{-7}$  моль/л, т.е.  $7 < pH \leq 14$ .

#### Шкала рН для ст.у.



**Пример 1.** Рассчитать рН 0,01 М раствора NaOH.

**Решение:** NaOH является сильным электролитом ( $\alpha=1$ ), тогда с учетом полной диссоциации  $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$ , концентрация гидроксид-ионов составит  $[OH^-] = 0,01$  моль/л. Исходя из ионного произведения воды  $K_w = [H^+][OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$  определяем концентрацию ионов водорода  $[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0,01} = 10^{-12}$  (моль/л), затем водородный показатель  $pH = -\lg[H^+] = -\lg 10^{-12} = 12$ .

**Пример 2.** Определить молярность раствора  $HNO_3$ , если концентрация гидроксид-ионов в нем составляет  $[OH^-] = 10^{-11}$  моль/л.

**Решение:**  $HNO_3$  - сильный электролит ( $\alpha=1$ ), тогда с учетом полной диссоциации азотной кислоты, протекающей по уравнению



молярность раствора ( $C_m$ , моль/л) численно равна концентрации ионов водорода, которую определяем исходя из ионного произведения воды

$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14}$ :  $[\text{H}^+] = K_w/[\text{OH}^-] = 10^{-14}/10^{-11} = 0,001$  моль/л.  
Молярность раствора равна 0,001 моль/л.

**Пример 3.** Вычислить концентрацию ионов водорода и степень диссоциации 0,02М раствора  $\text{HNO}_2$ . Константа диссоциации  $K_d = 5 \cdot 10^{-4}$ .

**Решение:** Азотистая кислота – слабый электролит ( $K_d = 5 \cdot 10^{-4}$ ), процесс диссоциации можно выразить следующим уравнением:  $\text{HNO}_2 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$ .

Напишем математическое выражение константы диссоциации

$K_d = \frac{[\text{H}^+][\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]}$ . Обозначим  $[\text{H}^+] = x$  моль/л. Из уравнения диссоциации

(согласно стехиометрическим коэффициентам) следует, что  $[\text{H}^+] = [\text{NO}_2^-] = x$ .

Концентрация недиссоциированной кислоты  $[\text{HNO}_2] = (0,02 - x)$  моль/л.

Подставим данные значения в выражение константы диссоциации

$$K_d = \frac{x \cdot x}{0,02 - x} = 5 \cdot 10^{-4},$$

приведем данное уравнение к виду  $x^2 + 0,0005x - 0,0001 = 0$  и решим относительно  $x$ :  $x_1 = 2,9 \cdot 10^{-3}$  моль/л,  $x_2 = -3,4 \cdot 10^{-3}$  моль/л.  $x_2$ , имея отрицательное значение, не удовлетворяет решению. Следовательно,  $[\text{H}^+] = x = 2,9 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Зная концентрацию ионов водорода, можно определить степень диссоциации  $\alpha = [\text{H}^+]/C_m = 2,9 \cdot 10^{-3}/0,02 = 0,145$  или в процентах  $\alpha = 0,145 \times 100\% = 14,5\%$ .

**Пример 4.** Определить pH 0,2 М раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ).

**Решение:** Диссоциация слабого электролита  $\text{NH}_4\text{OH}$  протекает по уравнению  $\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ . Напишем математическое выражение

константы диссоциации  $K_d = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$ . Обозначим  $[\text{OH}^-] = x$ . Из

уравнения диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  следует, что  $[\text{OH}^-] = [\text{NH}_4^+] = x$  моль/л.

Концентрация недиссоциированного гидроксида аммония  $[\text{NH}_4\text{OH}] = (0,2 - x)$  моль/л.

Подставляя эти величины в выражение константы диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$  и, пренебрегая  $x$  в знаменателе из-за его малого значения, находим  $[\text{OH}^-] = x = \sqrt{1,8 \times 10^{-5} \times 0,2} = 1,9 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Из ионного

произведения воды определяем  $[\text{H}^+] = 10^{-14}/1,9 \cdot 10^{-3} = 5,3 \cdot 10^{-12}$ . Затем находим водородный показатель  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(5,3 \cdot 10^{-12}) = 11,28$ .

**Пример 5.** Определить молярность и концентрацию гидроксид-ионов ( $[\text{OH}^-]$ ) (моль/л) раствора  $\text{HCN}$ , для которого  $\text{pH} = 5,1$ ,  $K_d = 7,9 \cdot 10^{-10}$ .

**Решение:** Исходя из значения  $\text{pH} = 5,1$ , по формуле  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$  находим концентрацию ионов водорода:  $[\text{H}^+] = 8 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Затем из ионного

произведения воды  $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14}$  определяем концентрацию гидроксид-ионов водорода  $[\text{OH}^-] = K_w/[\text{H}^+] = 10^{-14}/8 \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-9}$  (моль/л).

Диссоциация HCN кислоты протекает по уравнению  $\text{HCN} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$ ;  
т.к.  $\nu_{\text{H}^+} : \nu_{\text{CN}^-} = 1:1$ , концентрации ионов  $[\text{H}^+] = [\text{CN}^-] = 8 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

Исходя из математического выражения константы диссоциации  
$$K_d = \frac{[\text{H}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]}$$
 или  $7,9 \cdot 10^{-10} = \frac{8 \cdot 10^{-6} \times 8 \cdot 10^{-6}}{[\text{HCN}] - 8 \cdot 10^{-6}}$ , определяем молярность раствора  
HCN:  $[\text{HCN}] = 0,01$  моль/л.

### Задачи

92. Рассчитать pH 0,001 М раствора NaOH, если  $\alpha=1$ .
93. Рассчитать pH 0,18 М раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ , если  $K_d = 1,8 \times 10^{-5}$ .
94. Как изменится pH чистой воды, если к 1 л ее прибавить 0,01 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?
95. Определить pH и концентрацию гидроксид-ионов (моль/л) в 0,1 М растворе HCl.
96. Определить степень диссоциации уксусной кислоты  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , pH которого равен 5.  $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ .
97. Как изменится pH чистой воды, если к 1 л ее добавить 0,001 моль NaOH?
98. Вычислить молярность раствора щелочи, pH которого равен 12.
99. Определить pH 0,01 М раствора HCN,  $K_d = 7,9 \cdot 10^{-10}$ .
100. Определить молярную концентрацию и pH раствора HCl, если концентрация гидроксид-ионов равна  $10^{-14}$  моль/л.
101. Какова концентрация гидроксид-ионов в растворах, pH которых 9, 7, 4? Какую реакцию среды имеют эти растворы?
102. Концентрация гидроксид-ионов в растворе KOH равна  $10^{-2}$  моль/л. Определить pH и молярность данного раствора.
103. Определить pH и концентрацию гидроксид-ионов (моль/л) 0,1М  $\text{H}_2\text{S}$  раствора, учитывая только первую ступень диссоциации, для которой  $K_d = 6 \cdot 10^{-8}$ .
104. Определить молярность и pH раствора HCN, если концентрация гидроксид-ионов в нем составляет  $10^{-9}$  моль/л.  $K_d = 7,9 \cdot 10^{-10}$ .
105. Определить pH и концентрацию гидроксид-ионов (моль/л) 0,1М раствора  $\text{HNO}_2$ , для которой  $K_d = 5 \cdot 10^{-4}$ .
106. Рассчитать молярность раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ , pH которого равен 11.  
 $K_d \text{ NH}_4\text{OH} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ .
107. Чему равен pH растворов сильных электролитов ( $\alpha=1$ ) KCl, HCl, KOH, концентрация которых равна 0,01М?
108. Определить молярность и концентрацию гидроксид-ионов (моль/л) раствора  $\text{HNO}_2$ , pH которого равен 4.  $K_d \text{ HNO}_2 = 5 \cdot 10^{-4}$ .
109. pH раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  равен 3. Рассчитать молярность раствора и концентрацию гидроксид-ионов в данном растворе.
110. В каком из растворов, 0,01 М NaOH или 0,01 М  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ), щелочность среды больше? Ответ подтвердите расчетом pH.

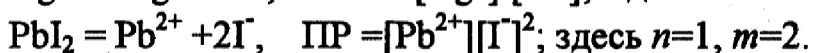
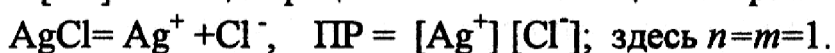


### 3.3 Растворимость и произведение растворимости

Вещества, в зависимости от своей природы, обладают различной растворимостью в воде. Труднорастворимые электролиты образуют насыщенные растворы очень маленьких концентраций, поэтому можно считать, что степень их диссоциации достигает единицы. Таким образом, насыщенный раствор труднорастворимого электролита представляет собой систему, состоящую из раствора, находящегося в равновесии с осадком растворенного вещества:



Для описания этой гетерогенной реакции используют константу равновесия, называемую произведением растворимости  $ПР = [K^{+m}]^n [A^{-n}]^m$ , где  $[K^{+m}]$  и  $[A^{-n}]$  – концентрации ионов в насыщенном растворе (моль/л). Например:



ПР зависит от природы растворенного вещества и температуры. ПР является табличной величиной. Зная ПР, можно:

1) вычислить концентрацию насыщенного раствора вещества. Для уравнения (1) взаимосвязь концентрации насыщенного раствора труднорастворимого вещества ( $C_m$ , моль/л) с величиной ПР определяется следующим уравнением:

$$C_m = \sqrt[n+m]{\frac{ПР}{n^n m^m}}, \quad \text{где } n \text{ и } m \text{ – стехиометрические коэффициенты в ур. (1);}$$

2) определить растворимость ( $S$ ) вещества в моль/л и грамм на 100 г воды (величина  $S$ , приводимая в справочной литературе). Растворимость вещества ( $S$  моль/л) численно равна концентрации насыщенного раствора;

3) оценить возможность выпадения вещества в осадок. Для этого надо подставить в выражение ПР активности (концентрации) ионов и сравнить полученное значение со справочным. Если произведение неравновесных концентраций ионов превысит величину ПР, то образуется осадок. Если произведение концентраций ионов меньше величины ПР, то осадок не образуется.

**Пример 1.** Молярная концентрация насыщенного раствора  $Mg(OH)_2$  равна  $1,1 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Записать выражение и вычислить величину ПР.

**Решение:** В насыщенном растворе  $Mg(OH)_2$  устанавливается равновесие:  $Mg(OH)_2(\text{осадок}) \rightleftharpoons Mg^{2+}(\text{р}) + 2OH^-(\text{р})$ , для которого выражение ПР имеет вид  $ПР = [Mg^{2+}][OH^-]^2$ . Зная концентрации ионов, можно найти численное значение ПР. При полной диссоциации  $Mg(OH)_2$  концентрация насыщенного раствора  $[Mg(OH)_2] = [Mg^{2+}] = 1/2[OH^-]$ , следовательно,  $[Mg^{2+}] = 1,1 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $[OH^-] = 2[Mg^{2+}] = 2,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Следовательно,  $ПР = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot (2,2 \cdot 10^{-4})^2 = 5,3 \cdot 10^{-12}$ .

**Пример 2.** Вычислить растворимость в моль/л и ПР хромата серебра (I) ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ), если в 500мл воды растворяется 0,011 г соли.

**Решение:** Растворимость  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  в моль/л численно равна молярной концентрации насыщенного раствора. Для определения молярной концентрации насыщенного раствора  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  воспользуемся формулой

$C_m = \frac{m}{MV}$ , где  $m$ - масса растворенного вещества (г),  $M$ - молярная масса (г/моль),  $V$  - объем раствора (л),  $M(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)=332$  г/моль.

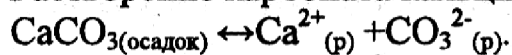
$$C_m = \frac{0,011}{332 \times (0,5)} = 9,48 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Растворение  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  протекает по уравнению  $\text{Ag}_2\text{CrO}_{4(\text{тв})} \leftrightarrow 2\text{Ag}^+_{(\text{р})} + \text{CrO}_4^{2-}_{(\text{р})}$ . Запишем выражение ПР= $[\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}]$ , где  $[\text{CrO}_4^{2-}] = 1/2[\text{Ag}^+] = [\text{Ag}_2\text{CrO}_4] = 9,48 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Таким образом, ПР =  $(18,96 \cdot 10^{-5})^2 (9,48 \cdot 10^{-5}) = 3,4 \cdot 10^{-12}$ .

**Пример 3.** Можно ли приготовить растворы  $\text{CaCO}_3$  с концентрациями 0,01 и 0,00001 моль/л, если ПР ( $\text{CaCO}_3$ ) =  $4,8 \cdot 10^{-9}$ ?

**Решение:** Зная величину ПР, можно установить, выпадает ли осадок или идет полное растворение вещества. Если произведение концентраций ионов в данном растворе  $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] > \text{ПР}$ , то образуется осадок, если же  $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] < \text{ПР}$ , то происходит полное растворение.

Растворение карбоната кальция протекает по реакции



В первом случае  $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 0,01 \cdot 0,01 = 10^{-4} > 4,8 \cdot 10^{-9}$ , такой раствор приготовить нельзя из-за выпадения части  $\text{CaCO}_3$  в осадок.

Во втором случае  $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = (10^{-5}) \times (10^{-5}) = 10^{-10} < 4,8 \cdot 10^{-9}$ , такой раствор приготовить можно -  $\text{CaCO}_3$  полностью переходит в раствор.

**Пример 4.** Произведение растворимости дихлорида свинца  $\text{PbCl}_2$  равно  $1,7 \cdot 10^{-5}$ . Вычислить растворимость соли в моль/л и г/л.

**Решение:** В насыщенном растворе  $\text{PbCl}_2$  устанавливается гетерогенное равновесие осадок-раствор:  $\text{PbCl}_{2(\text{х})} \leftrightarrow \text{Pb}^{2+}_{(\text{р})} + 2\text{Cl}^-_{(\text{р})}$ .

Обозначим растворимость  $\text{PbCl}_2$  через  $S$  моль/л. Тогда в насыщенном растворе данной соли концентрация ионов составит  $[\text{Pb}^{2+}] = S$  моль/л,  $[\text{Cl}^-] = 2S$  моль/л. Отсюда  $\text{ПР}_{\text{PbCl}_2} = [\text{Pb}^{2+}][\text{Cl}^-]^2 = S(2S)^2 = 4S^3$ . Находим

растворимость  $S = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1,7 \cdot 10^{-5}}{4}} = 1,6 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Молярная масса  $\text{PbCl}_2$

равна  $M=278$  г/моль и, следовательно, растворимость  $\text{PbCl}_2$  выраженная в г/л, составит  $1,6 \cdot 10^{-2} \times 278 = 4,45$  г/л.

**Пример 5.** Смешаны равные объемы 0,02 М растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Образуется ли осадок сульфата кальция, если  $\text{ПР}_{\text{CaSO}_4} = 6,1 \cdot 10^{-5}$ ?

**Решение:** Осадок малорастворимого соединения выпадает в том случае, если произведение концентраций ионов в данном растворе превышает произведение растворимости. Рассчитаем произведение концентраций ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в данном растворе. При смешении равных объемов электролитов



общий объем раствора возрастает в 2 раза, а концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  уменьшается вдвое по сравнению с исходными. Таким образом,  $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = 0,01$  моль/л. Произведение концентраций  $[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 0,0001$ . Найденное значение произведения концентраций больше произведения растворимости, что соответствует условию выпадения осадка.

**Пример 6.** Можно ли приготовить раствор  $\text{PbF}_2$  с концентрацией  $C_1=0,01$  моль/л и концентрацией  $C_2=0,001$  моль/л? Ответ дать на основании ПР.

**Решение:** Зная величину ПР, можно рассчитать концентрацию насыщенного раствора соли и, сравнив ее с предлагаемыми концентрациями, сделать вывод о возможности или невозможности приготовления растворов. Растворение фторида свинца протекает по реакции  $\text{PbF}_{2(\text{к})} \leftrightarrow \text{Pb}^{2+}_{(\text{р})} + 2 \text{F}^{-}_{(\text{р})}$ . Табличное значение  $\text{ПР}_{\text{PbF}_2} = 2,7 \cdot 10^{-8}$ . В данном уравнении стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции  $n=1$  и  $m=2$ , тогда

$$C_{\text{м}} = \sqrt[n+m]{\frac{\text{ПР}}{n^n m^m}} = \sqrt[1+2]{\frac{2,7 \times 10^{-8}}{1^1 \times 2^2}} = 0,002 \text{ моль/л.}$$

Сравним  $C_{\text{м}}$  с указанными в условии задачи концентрациями:

- 1)  $C_1=0,01$  моль/л  $> C_{\text{м}}=0,002$  моль/л - такой раствор приготовить нельзя, т.к. будет выпадать осадок;
- 2)  $C_1=0,001$  моль/л  $< C_{\text{м}}=0,002$  моль/л - такой раствор приготовить можно.

### Задачи

111. Определить растворимость в моль/л и г/л следующих труднорастворимых соединений:

№№п/п	Соединение	ПР
1	$\text{BaSO}_4$	$1,1 \times 10^{-10}$
2	$\text{PbI}_2$	$1,1 \times 10^{-9}$
3	$\text{MgF}_2$	$6,5 \times 10^{-9}$
4	$\text{AgBr}$	$5,3 \times 10^{-13}$
5	$\text{BaCO}_3$	$4,0 \times 10^{-10}$
6	$\text{PbCrO}_4$	$1,8 \times 10^{-14}$
7	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$8 \times 10^{-16}$
8	$\text{Cu}_2\text{S}$	$2,5 \times 10^{-48}$
9	$\text{CuI}$	$1,1 \times 10^{-12}$
10	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$1,2 \times 10^{-17}$

№№п/п	Соединение	ПР
11	MgCO <sub>3</sub>	2,1×10 <sup>-5</sup>
12	SrSO <sub>4</sub>	3,2×10 <sup>-7</sup>
13	Fe(OH) <sub>3</sub>	6,3×10 <sup>-38</sup>
14	CaF <sub>2</sub>	4,0×10 <sup>-11</sup>
15	Al(OH) <sub>3</sub>	1,0×10 <sup>-32</sup>
16	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	1,1×10 <sup>-12</sup>
17	Cu(OH) <sub>2</sub>	2,2×10 <sup>-20</sup>
18	ZnCO <sub>3</sub>	1,5×10 <sup>-11</sup>
19	Fe(OH) <sub>2</sub>	8,0×10 <sup>-16</sup>
20	MnS	2,5×10 <sup>-10</sup>
21	PbBr <sub>2</sub>	9,1×10 <sup>-6</sup>
22	Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,0×10 <sup>-20</sup>
23	α-NiS	3,2×10 <sup>-19</sup>
24	Cr(OH) <sub>3</sub>	6,3×10 <sup>-31</sup>
25	FeCO <sub>3</sub>	3,5×10 <sup>-11</sup>
26	AuCl	2,0×10 <sup>-13</sup>
27	CuS	6,3×10 <sup>-36</sup>
28	Co(OH) <sub>2</sub>	1,6×10 <sup>-15</sup>
29	SrCO <sub>3</sub>	1,1×10 <sup>-10</sup>
30	α-ZnS	1,6×10 <sup>-24</sup>

112. Образуется ли осадок труднорастворимого соединения при смешивании равных объемов растворов следующих электролитов указанной концентрации:

№ № п/п	Растворы	Концентрация, моль/л	ПР
1	AgNO <sub>3</sub> + NaCl	0,004	AgCl: 1,78×10 <sup>-10</sup>
2	CaCl <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,01	CaSO <sub>4</sub> : 2,5×10 <sup>-5</sup>
3	AgNO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> S	0,0001	Ag <sub>2</sub> S: 2,0×10 <sup>-50</sup>
4	MgCl <sub>2</sub> + KOH	0,002	Mg(OH) <sub>2</sub> : 6,0×10 <sup>-10</sup>
5	CuSO <sub>4</sub> + NaOH	0,005	Cu(OH) <sub>2</sub> : 2,2×10 <sup>-20</sup>
6	AlCl <sub>3</sub> + KOH	0,0002	Al(OH) <sub>3</sub> : 1,0×10 <sup>-32</sup>
7	CaCl <sub>2</sub> + NaF	0,001	CaF <sub>2</sub> : 4,0×10 <sup>-11</sup>
8	BaCl <sub>2</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,004	BaSO <sub>4</sub> : 1,1×10 <sup>-10</sup>
9	NiSO <sub>4</sub> + Na <sub>2</sub> S	0,0002	α-NiS: 3,2×10 <sup>-19</sup>
10	CaCl <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,001	CaCO <sub>3</sub> : 3,8×10 <sup>-9</sup>

113. Можно ли приготовить растворы следующих электролитов с указанными концентрациями (моль/л)? Ответ дать на основании ПР.

№№ п/п	Электролит	$C_1$ , моль/л	$C_2$ , моль/л	ПР
1	BaCO <sub>3</sub>	0,001	$2 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-10}$
2	PbCl <sub>2</sub>	0,01	$5 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-5}$
3	AgCl	0,01	$1 \times 10^{-7}$	$1,78 \times 10^{-10}$
4	CaF <sub>2</sub>	0,05	$5 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-11}$
5	SrSO <sub>4</sub>	0,01	$1 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-7}$
6	MgCO <sub>3</sub>	0,2	$4 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-5}$
7	PbI <sub>2</sub>	0,01	$1 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-9}$
8	Cu <sub>2</sub> S	0,0001	$1 \times 10^{-10}$	$2,5 \times 10^{-48}$
9	Ag <sub>2</sub> S	0,01	$4 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-50}$
10	Cu(OH) <sub>2</sub>	0,5	$4 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-20}$

114. Для труднорастворимых соединений записать выражение ПР и вычислить его значение, зная концентрацию (моль/л) одного из ионов в его насыщенном растворе:

- |   |   |
|---|---|
| 1) MgCO <sub>3</sub> , [Mg <sup>2+</sup> ] = $1,41 \cdot 10^{-2}$             | 2) Ag <sub>2</sub> S, [S <sup>2-</sup> ] = $1,71 \cdot 10^{-17}$    |
| 3) SnS, [S <sup>2-</sup> ] = $1 \cdot 10^{-14}$                               | 4) BaF <sub>2</sub> , [Ba <sup>2+</sup> ] = $1,03 \cdot 10^{-2}$    |
| 5) CaCO <sub>3</sub> , [CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ] = $6,6 \cdot 10^{-5}$ | 6) PbCl <sub>2</sub> , [Cl <sup>-</sup> ] = $5,04 \cdot 10^{-2}$    |
| 7) PbSO <sub>4</sub> , [Pb <sup>2+</sup> ] = $1,26 \cdot 10^{-4}$             | 8) Cu(OH) <sub>2</sub> , [Cu <sup>2+</sup> ] = $2,8 \cdot 10^{-7}$  |
| 9) CaF <sub>2</sub> , [F <sup>-</sup> ] = $6,84 \cdot 10^{-4}$                | 10) Fe(OH) <sub>2</sub> , [OH <sup>-</sup> ] = $1,86 \cdot 10^{-5}$ |

Термодинамические константы некоторых веществ

Таблица 1

Вещество	Состояние	$\Delta H^\circ_{\text{гор}, 298}$ кДж/моль	$\Delta H^\circ_{\text{обр}, 298}$ кДж/моль	$\Delta G^\circ_{\text{обр}, 298}$ кДж/моль
Ag	к		0	0
Ag <sub>2</sub> O	к		-31,2	-11,3
Al	к		0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к		-1676,8	-1583,3
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	к		-34441,1	-3102,9
C	графит	-393,5	0	0
CO	г		-110,6	-137,2
CO <sub>2</sub>	г		-393,51	-394,6
COCl <sub>2</sub>	г		-220,3	-266,9
CCl <sub>4</sub>	ж		-135,44	-64,7

Продолжение табл. 1

Вещество	Сос- тояние	$\Delta H^{\circ}_{гор,298}$ кДж/моль	$\Delta H^{\circ}_{обр,298}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{обр,298}$ кДж/моль
CCl <sub>4</sub>	г		-102,93	-60,63
CH <sub>4</sub>	г	-890,31	-74,86	-50,85
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	-1299,63	226,75	209,21
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	-1410,97	52,28	68,12
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	г	-3301,59	82,93	129,68
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	ж	-3267,7	49,04	124,38
CH <sub>3</sub> OH	ж	-726,64	-238,7	-166,31
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	ж	-1366,91	-276,9	-174,3
CH <sub>3</sub> COOH	ж	-873,79	-484,9	-389,36
CH <sub>3</sub> I	ж			-9,637
Ca	к		0	0
CaCO <sub>3</sub>	к		-1207,7	-1129,6
CaCl <sub>2</sub>	к		-796,3	-748,9
CaO	к		-635,0	-603,0
Cl <sub>2</sub>	г		0	0
HCl	г		-92,4	-94,5
Cr	к		0	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к		-1141,3	-1059,7
Cu	к		0	0
CuO	к		-162,1	-129,5
CuS	к		-53,2	-53,6
CuSO <sub>4</sub>	к		-771,4	-662,2
Fe	к		0	0
FeO	к		-265,0	-244,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к		-822,7	-740,8
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	к		-1117,9	-1014,8
H <sub>2</sub>	г	-285,85	0	0
I <sub>2</sub>	г		62,3	19,2
I <sub>2</sub>	к		0	0
HI	г		26,57	1,78
K	к		0	0
KOH	к		-425,8	-380,2
KOH	раствор		-477,3	-440,5
Mg	к		0	0
MgCO <sub>3</sub>	к		-881,7	-811,4
MgO	к		-385,1	-363,3
Mn	к		0	0
MnO <sub>2</sub>	к		-521,5	-466,7
N <sub>2</sub>	г		0	0
NH <sub>3</sub>	г		-46,19	-16,7
NH <sub>4</sub> Cl	к		-314,4	-204,3
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	к		-365,4	-183,9
NO	г		90,31	80,6
NO <sub>2</sub>	г		33,0	51,2
N <sub>2</sub> O	г		82,1	104,5
Na	к		0	0

Окончание табл.1

Вещество	Состояние	$\Delta H^{\circ}_{\text{гор},298}$ кДж/моль	$\Delta H^{\circ}_{\text{обр},298}$ кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{\text{обр},298}$ кДж/моль
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	к		-1137,5	-1047,5
Na <sub>2</sub> O	к		-510,8	-376,1
O <sub>2</sub>	г		0	0
H <sub>2</sub> O	г		-241,98	-228,8
H <sub>2</sub> O	ж		-286,0	-237,4
PCl <sub>3</sub>	г		-287,02	-260,5
PCl <sub>5</sub>	г		-374,89	-305,4
Pb	к		0	0
PbO	к		-219,4	-186,2
PbS	к		-100,4	-98,8
S монокл.	к		0,38	0,188
S ромб.	к		0	0
SO <sub>2</sub>	г		-297,2	-300,41
SO <sub>3</sub>	г		-376,2	-370,0
H <sub>2</sub> S	г		-20,1	-33
Si	к		0	0
SiCl <sub>4</sub>	к		-644,8	-598,3
SiO <sub>2</sub>	к		-911,6	-857,2
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	к		-1189,1	-1019,1
Zn	к		0	0
ZnO	к		-350,8	-320,88

## Варианты домашних заданий

№№ варианта	№№ задач								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	40а	41	63	77	91(1)	92	111(1)	112(1)
2	2	40б	42	64	78	91(2)	93	111(2)	112(2)
3	3	40в	43	65	79	91(3)	94	111(3)	114(10)
4	4	40г	44	66	80	91(4)	95	111(4)	112(4)
5	5	40д	45	67	81	91(5)	96	111(5)	112(5)
6	6	40е	46	68	82	91(6)	97	111(6)	112(6)
7	7	40ж	47	69	83	91(7)	98	111(7)	112(7)
8	8	40з	48	70	84	91(8)	99	111(8)	112(8)
9	9	40и	49	71	85	91(9)	100	111(9)	112(9)
10	10	40к	50	72	86	91(10)	101	111(10)	112(10)
11	11	40л	51	73	87	91(11)	102	111(11)	113(1)
12	12	40м	52	74	88	91(12)	103	111(12)	113(2)
13	13	40н	53	75	81	91(13)	104	111(13)	113(3)
14	14	40о	54	76	89	91(14)	105	111(14)	113(4)
15	15	40п	55	63	79	91(15)	106	111(15)	113(5)
16	16	40р	56	64	80	91(16)	107	111(16)	114(6)
17	17	40с	57	65	81	91(17)	108	111(17)	113(7)
18	18	40т	58	66	82	91(18)	109	111(18)	113(8)
19	19	40у	59	67	83	91(19)	110	111(19)	113(9)
20	20	40ф	60	68	84	91(20)	92	111(20)	113(10)
21	21	40х	61	69	85	91(21)	93	111(21)	112(1)
22	22	40ц	62	70	86	91(22)	94	111(22)	112(2)
23	23	40ч	41	71	87	91(23)	95	111(23)	112(3)
24	24	40ш	42	72	88	91(24)	96	111(24)	112(4)
25	25	40а	43	73	89	91(25)	97	111(25)	114(3)
26	26	40б	44	74	90	91(26)	98	111(26)	112(6)
27	27	40в	45	75	77	91(27)	99	111(27)	112(7)
28	28	40г	46	76	79	91(28)	100	111(28)	112(8)
29	29	40д	47	63	80	91(29)	101	111(29)	112(9)
30	30	40е	48	64	81	91(30)	102	111(30)	112(10)
31	31	40ж	49	65	82	91(1)	103	111(1)	113(1)
32	32	40з	50	66	83	91(2)	104	111(2)	113(2)
33	33	40и	51	67	84	91(3)	105	111(3)	113(3)
34	34	40к	52	68	85	91(4)	106	111(4)	113(4)
35	35	40л	53	69	86	91(5)	107	111(5)	113(5)
36	36	40м	54	70	87	91(6)	108	111(6)	113(6)
37	37	40н	55	71	89	91(7)	109	111(7)	113(7)
38	38	40о	56	72	90	91(8)	110	111(8)	114(8)
39	39	49п	57	73	78	91(9)	92	111(9)	113(9)
40	1	40р	58	74	77	91(10)	93	111(10)	113(10)
41	2	40с	59	75	78	91(11)	94	111(11)	112(8)
42	3	40т	60	76	79	91(12)	95	111(12)	112(1)
43	4	40у	61	63	81	91(13)	96	111(13)	112(3)
44	5	40ф	62	64	82	91(14)	97	111(14)	112(4)
45	6	40х	41	65	83	91(15)	98	111(15)	112(5)

№№ варианта	№№ задач								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	7	40ц	42	66	84	91(16)	99	111(16)	112(6)
47	8	40ч	43	67	85	91(17)	100	111(17)	112(7)
48	9	40ш	44	68	86	91(18)	101	111(18)	114(4)
49	10	40а	45	69	87	91(19)	102	111(19)	112(9)
50	11	40б	46	70	88	91(20)	103	111(20)	112(10)
51	12	40в	47	71	89	91(21)	104	111(21)	113(1)
52	13	40г	48	72	90	91(22)	105	111(22)	113(4)
53	14	40д	49	73	77	91(23)	106	111(23)	113(3)
54	15	40е	50	74	78	91(24)	107	111(24)	113(4)
55	16	40ж	51	75	79	91(25)	108	111(25)	113(5)
56	17	40з	52	76	80	91(26)	109	111(26)	113(6)
57	18	40и	53	63	82	91(27)	110	111(27)	113(7)
58	19	40к	54	64	83	91(28)	92	111(28)	113(8)
59	20	40л	55	65	84	91(29)	93	111(29)	113(9)
60	21	40м	56	66	85	91(30)	94	111(30)	113(10)
61	22	40н	57	67	86	91(1)	95	111(1)	114(1)
62	23	40о	58	68	87	91(2)	96	111(2)	112(3)
63	24	40п	59	69	88	91(3)	97	111(3)	112(4)
64	25	40р	60	70	89	91(4)	98	111(4)	112(5)
65	26	40с	61	71	90	91(5)	99	111(5)	112(6)
66	27	40т	62	72	77	91(6)	100	111(6)	112(7)
67	28	40у	41	73	78	91(7)	101	111(7)	112(8)
68	29	40ф	42	74	79	91(8)	102	111(8)	112(9)
69	30	40х	43	75	80	91(9)	103	111(9)	112(10)
70	31	40ц	44	76	81	91(10)	104	111(10)	114(5)
71	32	40ч	45	63	83	91(11)	105	111(11)	113(2)
72	33	40ш	46	64	84	91(12)	106	111(12)	113(3)
73	34	40а	47	65	85	91(13)	107	111(13)	113(4)
74	35	40б	48	66	86	91(14)	108	111(14)	113(5)
75	36	40в	49	67	87	91(15)	109	111(15)	113(6)
76	37	40г	50	68	88	91(16)	110	111(16)	113(7)
77	38	40д	51	69	89	91(17)	92	111(17)	113(8)
78	39	40е	52	70	90	91(18)	93	111(18)	113(9)
79	1	40ж	53	71	77	91(19)	94	111(19)	113(10)
80	2	40з	54	72	78	91(20)	95	111(20)	113(1)
81	3	40и	55	73	79	91(21)	96	111(21)	112(3)
82	4	40к	56	74	80	91(22)	97	111(22)	112(4)
83	5	40л	57	75	81	91(23)	98	111(23)	112(5)
84	6	40м	58	76	82	91(24)	99	111(24)	114(2)
85	7	40н	59	63	84	91(25)	100	111(25)	112(7)
86	8	40о	60	64	85	91(26)	101	111(26)	112(8)
87	9	40п	61	65	86	91(27)	102	111(27)	112(9)
88	10	40р	62	66	87	91(28)	103	111(28)	112(10)
89	11	40с	41	67	88	91(29)	104	111(29)	112(1)
90	12	40т	42	68	89	91(30)	105	111(30)	112(2)
91	13	40у	43	69	90	91(1)	106	111(1)	113(3)
92	14	40ф	44	70	77	91(2)	107	111(2)	114(3)

8/3

№№ варианта	№№ задач								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
93	15	40х	45	71	78	91(3)	108	111(3)	113(5)
94	16	40ц	46	72	79	91(4)	109	111(4)	113(6)
95	17	40ч	47	73	80	91(5)	110	111(5)	114(7)
96	18	40ш	48	74	81	91(6)	92	111(6)	113(8)
97	19	40а	49	75	82	91(7)	93	111(7)	113(9)
98	20	40б	50	76	83	91(8)	94	111(8)	114(9)
99	21	40в	51	63	84	91(9)	95	111(9)	113(4)
100	22	40г	52	64	78	91(10)	96	111(10)	113(2)