

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

О. С. Зайцев

# ХИМИЯ

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ И СБОРНИК ЗАДАЧ



МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

 **юрайт**  
издательство

[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

УМО ВО рекомендует



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

**О. С. Зайцев**

# ХИМИЯ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ И СБОРНИК ЗАДАЧ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом высшего образования  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по естественно–научным направлениям*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе [biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)**

**Москва ■ Юрайт ■ 2022**

УДК 54(075.8)

ББК 24я73

317

**Автор:**

**Зайцев Олег Серафимович** — профессор, доктор педагогических наук, кандидат химических наук, профессор кафедры общей химии химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

**Зайцев, О. С.**

317 Химия. Лабораторный практикум и сборник задач : учеб. пособие для академического бакалавриата / О. С. Зайцев. — М. : Издательство Юрайт, 2022. — 202 с. — (Высшее образование). — Текст непосредственный.

ISBN 978-5-9916-4106-7

При изучении химии большое значение имеет лабораторный практикум, так как в процессе лабораторных занятий складываются навыки проведения химического эксперимента, проверяются и закрепляются теоретические знания.

Данное издание является дополнением к учебнику «Химия» того же автора. Оно содержит задачи и лабораторные работы, а также таблицы термодинамических характеристик, констант и других параметров многих веществ.

УДК 54(075.8)

ББК 24я73

## Оглавление

<b>Предисловие .....</b>	<b>5</b>
<b>Правила работы в химической лаборатории .....</b>	<b>7</b>
<b>Подготовка к лабораторному занятию и его выполнению .....</b>	<b>9</b>
 <b>Глава 1. Реакция и вещество .....</b>	 <b>11</b>
1.1. Практические задания .....	11
1.2. Лабораторные исследования .....	22
 <b>Глава 2. Термодинамика химических реакций .....</b>	 <b>29</b>
2.1. Практические задания .....	29
2.2. Лабораторные исследования .....	39
 <b>Глава 3. Кинетика химических реакций .....</b>	 <b>46</b>
3.1. Практические задания .....	46
3.2. Лабораторные исследования .....	54
 <b>Глава 4. Вода и растворы .....</b>	 <b>64</b>
4.1. Практические задания .....	64
4.2. Лабораторные исследования .....	70
 <b>Глава 5. Среда растворов .....</b>	 <b>86</b>
5.1. Практические задания .....	86
5.2. Лабораторные исследования .....	92
 <b>Глава 6. Окислительно-восстановительные реакции .....</b>	 <b>99</b>
6.1. Практические задания .....	99
6.2. Лабораторные исследования .....	112
 <b>Глава 7. Реакции с участием комплексных соединений .....</b>	 <b>119</b>
7.1. Практические задания .....	119
7.2. Лабораторные исследования .....	125
 <b>Глава 8. Дисперсное состояние вещества .....</b>	 <b>135</b>
8.1. Практические задания .....	135
8.2. Лабораторные исследования .....	138
 <b>Глава 9. Кристаллы .....</b>	 <b>145</b>
9.1. Практические задания .....	145
9.2. Лабораторные исследования .....	146

<b>Глава 10. Физико-химические константы.....</b>	<b>150</b>
10.1. Термодинамические характеристики веществ .....	150
10.2. Стандартные электродные потенциалы реакций .....	166
10.3. Произведения растворимости (при 25°С) .....	168
10.4. Константы диссоциации электролитов в водных растворах при 25°С и ионной силе, равной нулю .....	170
10.5. Константы нестойкости комплексных ионов .....	174
10.6. Физико-химические постоянные и единицы измерения .....	176
10.7. Некоторые сведения по астрономии, чтобы понять, где мы живем .....	181
<b>Глава 11. Немного об исторических событиях в химии.....</b>	<b>186</b>
11.1. Герман Иванович Гесс .....	186
11.2. Воздухоплавание Д. И. Менделеева .....	191
11.3. Сванте Аррениус .....	194
<b>Литература .....</b>	<b>199</b>
<b>Приложение.....</b>	<b>200</b>

## Предисловие

Данное пособие завершает курс «Химия» того же автора.

Оно содержит задачи и лабораторные работы, распределенные по темам в соответствии с оглавлением учебника «Химия», а также дополнительные материалы.

Пособие предназначено для студентов естественно-научных и инженерных специальностей и направлений высших учебных заведений, а также учащихся старших классов средней школы, интересующихся химией и близкими к ней науками.

Основное внимание в практикуме уделено вопросам термодинамики и кинетики химических реакций.

В пособии указаны различные химические постоянные для их использования при решении заданий. Также пособие содержит краткие исторические сведения о великих химиках Г. И. Гессе, Д. И. Менделееве и С. Аррениусе.

Выполнение лабораторных работ рассчитано не на работу студента по строгой инструкции, а в некоторой степени на обдумывание возможности получения желаемого результата, поиска ответов на вопросы «Почему?», «Зачем?» и др. Решение этой проблемы часто бывает затруднено в связи с низким уровнем химической подготовки и отсутствием навыков творческого мышления. Предварительная («домашняя») подготовка обязательна. На одно занятие отводится четыре часа вместе с написанием краткого отчета. В зависимости от достигаемых студентами успехов могут предлагаться опыты различной трудности и мыслительной активности. Студентам разрешается работать небольшими группами по 2–4 человека с непрерывным обсуждением хода работы, что развивает научные речь и общение.

После усвоения материала данного практикума студент должен:

**знать**

- методы решения химических задач;
- методы качественного и количественного химического анализа;

**уметь**

- составлять химические формулы веществ, уравнения химических реакций и производить расчеты по ним;
- характеризовать свойства веществ в газообразном, жидком и твердом состоянии;

- пользоваться периодической таблицей химических элементов при расчетах;
- определять тепловой эффект процессов, возможность протекания химических реакций;
- рассчитывать константу равновесия для обратимых процессов;
- решать задачи на способы выражения состава растворов;
- определять направленность реакций в растворах электролитов;
- расставлять коэффициенты в окислительно-восстановительных реакциях;
- вычислять электродный потенциал металла в растворе соли разной концентрации;
- определять заряды комплексообразователя, лигандов и комплексного иона, координационное число комплексообразователя;
- проводить очистку веществ в лабораторных условиях;

***владеть***

- практическими основами химической науки;
- основными способами получения и анализа химических свойств оксидов, оснований, кислот и солей;
- способом составления электронных и графических формул атомов и определения значений квантовых чисел;
- способом экспериментального определения теплового эффекта реакции;
- способами решения задач по химической термодинамике и химической кинетике;
- способом экспериментального определения влияния концентрации, температуры реагирующих веществ на скорость химической реакции и смещение химического равновесия;
- представлениями о природе и свойствах молекулярных и ионных растворов;
- навыками проведения качественных опытов, раскрывающих окислительные и восстановительные свойства отдельных веществ;
- навыками проведения электролиза растворов некоторых электролитов;
- навыками проведения опытов по изучению химических свойств металлов и их соединений;
- навыками проведения экспериментов по изучению реакций образования комплексных соединений и исследованию их свойств;
- методами выделения и очистки веществ, определения их состава.

## Правила работы в химической лаборатории

Эти правила вам следует перечитывать перед началом каждого лабораторного занятия!

1. Работать разрешается в **халате**. Обязательно нужно иметь небольшое полотенце.

2. Категорически запрещается в лаборатории принимать какую-либо пищу, есть конфеты, фрукты, жевать жевательную резинку и курить. Мобильные телефоны должны быть отключены.

3. На рабочем месте не должно быть сумок, портфелей и других не относящихся к эксперименту вещей.

4. Помещение должно быть хорошо проветрено.

5. Нельзя громко разговаривать и хохотать.

6. Никаких шуток! Например, за попытку вылить из пробирки или стаканчика прозрачную жидкость, похожую на воду, «за шиворот» студент отстраняется от работы и удаляется из лаборатории.

7. Категорически запрещается из пробирок, стаканчиков, колбочек или мерных цилиндров удалять остатки жидкости встряхиванием — капля раствора может попасть в лицо соседа или на его одежду. Следите, чтобы другие студенты так не поступали.

8. Запрещается уносить склянки с реактивами из вытяжных шкафов и лабораторных шкафов.

9. Не путайте пробки и капельные пипетки от склянок с реактивами.

10. Следите, чтобы газ не поступал в незажженную горелку.

11. Если вы обожглись горячим раствором, пламенем горелки, электроплиткой и т.п., немедленно подставьте обожженное место кожи *под струю холодной воды*. То же самое следует сделать, если на кожу попал раствор кислоты или гидроксида натрия. Сразу позвоните преподавателя или лаборанта.

12. Присоединять электрические приборы к электрической сети можно только при отключенном выключателе. В случае поражения электрическим током и невозможности оторвать руку от контакта громко позвоните кого-нибудь на помощь, чтобы подоспевший человек ударом книгой или другим не проводящим ток предметом, но не своей рукой отделил руку от контакта. Если человек потерял сознание, следует его положить на стулья, сделать искусственное дыхание «изо рта в рот» и немедленно вызвать врача.



13. Если в рот попал какой-либо реактив, сразу же промойте рот водой. Если вы проглотили раствор, выпейте как можно больше воды, чтобы разбавить раствор, и обратитесь к преподавателю.

14. Прочитайте инструкцию по технике безопасности при работе в химической лаборатории и распишитесь в специальной ведомости, что вы ознакомлены с правилами работы и обязуетесь их соблюдать.

## **Подготовка к лабораторному занятию и его выполнению**

За несколько дней до занятия ознакомьтесь с содержанием предстоящей лабораторной работы и в журнале (тетради) составьте план работы. Также преподаватель проверит решение задач домашнего задания. Без выполнения этой предварительной работы преподаватель не допустит вас к выполнению лабораторного задания.

Содержание лабораторного опыта может не совпадать с тем, что изучалось на лекции или семинарском занятии. Поэтому самостоятельная подготовка к лабораторной работе обязательна!

На первой странице лабораторного журнала запишите ваше имя и имя преподавателя. Предварительно в каждой работе сделайте следующие записи.

1. Напишите дату и название работы.
2. Сформулируйте цель опыта.
3. Напишите краткое теоретическое введение с объяснением формул.
4. Составьте план выполнения эксперимента.
5. Нарисуйте схему прибора с указанием требующихся и образующихся веществ.
6. Подготовьте таблицы с ожидаемыми результатами и графиками.
7. Сформулируйте ожидаемые выводы.

При выполнении опыта записывайте в журнале все получаемые результаты. Пользоваться черновиками не разрешается! Вся работа и отчет должны быть завершены во время лабораторного занятия.

В конце занятия вам следует убрать свое рабочее место и показать преподавателю рабочий журнал. Если отчет по работе написан правильно, преподаватель распишется в вашем журнале и в практикантской книжке, и после нескольких вопросов и ваших правильных ответов работа будет считаться выполненной. Если преподаватель найдет ошибки в отчете или будет не удовлетворен ответами, вам придется сдавать работу на следующем занятии или в дополнительное время.

Разрешается выполнять эксперимент небольшой группой (два-три студента), распределив между собой обязанности. Это позво-

лит успеть выполнить сложные эксперименты в отведенное время. Однако самое главное — работая небольшой группой, вы будете обсуждать ход выполнения работы и полученные результаты и усвоите навыки *научной речи* и *общения* между собой. Желательно, чтобы один из вас поочередно был руководителем работы. Отчет в журнале должен быть составлен индивидуально.

## Глава 1

# РЕАКЦИЯ И ВЕЩЕСТВО

### 1.1. Практические задания

1. Случайно ли, что 1 моль атомов водорода имеет массу 1 г?
2. Рассчитайте массу одного атома следующих элементов:
  - а) титан;
  - б) хром;
  - в) марганец;
  - г) железо;
  - д) золото.

Эта задача не имеет практического значения, но поможет представить, сколь малы атомы и молекулы.

3. Рассчитайте объем, который приходится на одну молекулу вещества в газовом состоянии (эта задача также не имеет практического значения):

- а) водород;
- б) гелий;
- в) кислород;
- г) неон;
- д) хлор.

4. Рассчитайте объем, приходящийся на один атом железа в кристалле, если плотность железа равна  $7,9 \text{ г/см}^3$ . Оцените межъядерное расстояние в кристаллической решетке железа и радиус атома железа в кристаллическом состоянии.

5. Во сколько раз изменится объем газа при его нагревании и изменении давления:

- а) от  $0$  до  $80^\circ\text{C}$  и от  $700$  до  $760 \text{ мм рт. ст.}$ ;
- б) от  $5$  до  $85^\circ\text{C}$  и от  $1013,25$  до  $1050 \text{ Па}$ ;
- в) от  $10$  до  $90^\circ\text{C}$  и от  $900$  до  $1035,25 \text{ Па}$ ;
- г) от  $20$  до  $95^\circ\text{C}$  и от  $710 \text{ мм рт. ст.}$  до  $1 \text{ атм}$ ;
- д) от  $30$  до  $100^\circ\text{C}$  и от  $1013,25 \text{ Па}$  до  $780 \text{ мм рт. ст.}$

6. Шар объемом  $5 \text{ л}$  при давлении  $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и температуре  $27^\circ\text{C}$  поднят в верхние слои атмосферы, где давление  $1 \cdot 10^3 \text{ Па}$  и температура  $23^\circ\text{C}$ . Вычислите объем шара в этих условиях (шар имеет легко растяжимую оболочку, не влияющую на давление).

7. Каким станет давление в автомобильной шине при повышении температуры от 20 до 50°C, если при 20°C оно было равно 2 атм?

8. По данным 1970 г. (автоматическая межпланетная станция «Венера-7»), на поверхности Венеры давление составляет  $1 \cdot 10^7$  Па и температура близка к 500°C. Представьте себе, что сосуд объемом 1 л наполнен на поверхности Венеры ее газовой атмосферой, герметически закрыт и доставлен на Землю. Вычислите объем газа при земных условиях.

9. Самая низкая из наблюдавшихся на земном шаре температур была -89°C, самая высокая — +58°C. При нормальном давлении (101 325 Па) сосуд наполнили воздухом при самой низкой температуре, герметично закрыли и перенесли в помещение с комнатной температурой (+20°C). То же самое проделали и с воздухом при +58°C. Какое давление установится в каждом сосуде? Каковы объемы воздуха, выпущенного из сосудов, при этих условиях?

*Примечание.* Сообщалось, что самая высокая температура воздуха, отмеченная на Земле, составляла +136°C в Ливийской пустыне 13 сентября 1922 г. Можно ли верить этим данным?

10. Масса 1 л азота при температуре 0°C и давлении  $1,0133 \cdot 10^5$  Па равна 1,2505 г. Вычислите молярную массу азота.

11. Масса 1 л воздуха равна 1,29 г (н.у.). Какова молярная масса воздуха?

12. Объясните формулу расчета средней молярной массы воздуха, предполагая, что в воздухе содержится по массе 24% кислорода и 76% азота:

$$M_{\text{воздух}} = (24 \cdot 32 + 76 \cdot 28) / 100 = 29 \text{ г/моль.}$$

13. Плотность газообразного озона 2,18 г/л. Каков состав молекул озона?

14. Во сколько раз углекислый газ легче или тяжелее воздуха?

15. Смешали следующие объемы (л) соответственно водорода и кислорода:

а) 80 и 20;

б) 60 и 40;

в) 40 и 60;

г) 20 и 80;

д) 10 и 90.

Сколько воды (в литрах и граммах) образовалось в результате реакции? Какой газ и в каком количестве остался после реакции? Каков объем смеси веществ после реакции?

16. Как электролизом определить заряд электрона?

17. Определите металл и его молярную массу, исходя из следующих данных: 1) при сжигании в кислороде 3,35 г металла получено 4,26 г оксида; 2) при прокаливании в хлоре из 4,02 г металла получено 8,87 г хлорида; 3) при электролизе раствора соли током силой

0,78 А за 96 мин 43 с выделилось 1,376 г металла; 4) удельная теплоемкость металла равна 0,444 Дж/(К·г).

**18.** Как следует обработать — при высокой или низкой температуре, при высоком или низком давлении (какого вещества?) — следующие кристаллы соединений переменного состава, чтобы в кристаллической решетке было больше или меньше атомов указанного элемента:

Кристалл	Желаемый результат
а) FeO (вюстит)	а-1) больше атомов кислорода
	а-2) меньше атомов кислорода
	а-3) больше атомов железа
	а-4) меньше атомов железа
б) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (магнетит)	б-1) больше атомов кислорода
	б-2) меньше атомов кислорода
	б-3) больше атомов железа
	б-4) меньше атомов железа
в) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (гематит)	в-1) больше атомов кислорода
	в-2) меньше атомов кислорода
	в-3) больше атомов железа
	в-4) меньше атомов железа
г) FeS (троилит)	г-1) больше атомов серы
	г-2) меньше атомов серы
	г-3) больше атомов железа
	г-4) меньше атомов железа
д) FeS <sub>2</sub> (пирит)	д-1) больше атомов серы
	д-2) меньше атомов серы
	д-3) больше атомов железа
	д-4) меньше атомов железа
е) NaCl (галит)	е-1) больше атомов хлора
	е-2) меньше атомов хлора
	е-3) больше атомов натрия
	е-4) меньше атомов натрия

**19.** Шар опоясали по экватору веревкой, веревку разрезали, вставили кусок длиной в 1 м и расположили веревку в виде окружности вокруг шара в плоскости его экватора. Пройдет ли в образовавшийся зазор между веревкой и шаром один из следующих предметов:

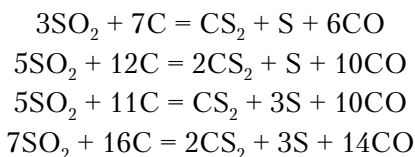
- апельсин;
- футбольный мяч;
- сфера, заполненная 1 моль жидкой воды;
- сфера, заполненная 1 моль газа при н.у.;
- сжатые в кулак пальцы руки,

если в качестве шара взять:

- 1) электрон (радиус  $1 \cdot 10^{-15}$  см =  $1 \cdot 10^{-8}$  нм);
- 2) протон или нейтрон (радиус  $1 \cdot 10^{-6}$  нм);
- 3) атом водорода (радиус 0,046 нм);
- 4) шар из 1 моль свинца (плотность 11,3 г/см<sup>3</sup>);
- 5) шар из 1 моль жидкой воды;
- 6) планету Земля (радиус 6371 км);
- 7) Солнце (радиус 695 000 км);
- 8) Солнечную систему (радиус 10 млрд км).

*Примечание.* Расчет по известным вам математическим формулам обязателен! Вы получите удивительные результаты!

**20.** Имеется немало реакций, у которых, несмотря на одинаковые исходные вещества и продукты, стехиометрические коэффициенты уравнений различны, например:



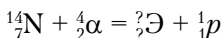
Приходилось ли вам встречаться с подобным явлением? Попробуйте объяснить.

**21.** Высказано положение, что любая реакция, если ее уравнение составлено правильно, может проходить. Вы согласны с этим?

**22.** Мог бы существовать наш мир без нейтрона? Зачем природе нужен нейтрон? Приведите как можно больше различных соображений.

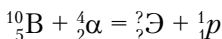
**23.** Астронавты получили информацию о возможной встрече с другим космическим кораблем. Как им узнать, из вещества или антивещества состоит приближающийся космический корабль?

**24.** При облучении азота  $\alpha$ -частицами образуются ядра элемента Э и протон:



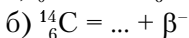
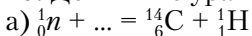
Определите элемент Э или его изотоп. Напишите, как вы пришли к ответу.

**25.** При облучении бора  $\alpha$ -частицами образуются ядра элемента Э и протон:



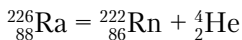
Назовите элемент Э и напишите объяснение ответа.

**26.** Допишите уравнения реакций образования и распада  ${}^{14}\text{C}$ :



Какое значение имеют эти реакции?

27. Напишите сокращенное уравнение ядерной реакции



28. Напишите полное уравнение ядерной реакции  $^{70}\text{Zn}(p, n)^{70}\text{Ga}$ .

29. Почему от точечного источника света или очень удаленного (например, от Солнца) контур тени какого-либо предмета не имеет резких очертаний?

30. Стекло состоит из атомов кремния, кислорода и др. Стекло прозрачно для солнечного света. Это означает, что фотоны проходят через него свободно и не поглощаются веществом стекла. Как же фотон проходит через огромное скопление атомов, как ему удастся не сталкиваться с атомами, а обгибать их? Как фотон находит путь через вещество стекла без взаимодействия с ним? Почему в стекле сохраняется прямолинейность распространения света?

31. Попробуйте теннисный или пинг-понговый мячик несколько раз бросить на дорогу, покрытую камнями, пусть даже мелкими. Ваш мячик будет каждый раз отлетать в разные стороны под разными углами. Теперь представьте себе вместо мячика фотон, летящий к зеркальной поверхности. Фотон меньше атомов вещества поверхности зеркала. Эта поверхность не идеально ровная. Атомы образуют на поверхности структуру с выступами и впадинами. Если фотоны будут падать на разные участки такой поверхности, то они будут от нее отражаться под разными углами, и тогда отраженное изображение будет размазанным, не четким. Как же отдельные фотоны луча света выбирают одинаковые участки поверхности, чтобы опять же всем вместе отразиться от зеркала под одним углом?

32. Два фотона посланы навстречу друг другу со скоростью света 300 000 км/с. Какова их скорость по отношению друг к другу?

33. Человек включенным фонариком, направленным в небо, послал луч света круговым движением руки. Какова будет скорость перемещения светового пятна на воображаемом экране, удаленном на почти бесконечно большое расстояние от фонарика? Предположите, что фотоны проникли через столь большое расстояние Вселенной.

34. Может ли свободный электрон излучать или поглощать энергию?

35. Составьте диаграммы распределения электронов по энергетическим уровням и подуровням атомов, предскажите их возможные валентные состояния и приведите примеры, отвечающие соединениям:

- а) углерод, кремний, титан;
- б) азот, фосфор, ванадий;
- в) кислород, сера, хром;
- г) фтор, хлор, марганец;



- д) аргон, скандий, марганец;
- е) титан, хром, железо;
- ж) железо, медь, цинк;
- з) германий, селен, криптон;
- и) рубидий, ниобий, молибден;
- к) серебро, иод, цезий.

**36.** Сравните строение атомов и свойства пар элементов:

- а) С и Si; б) N и P; в) O и S; г) Na и K; д) Mg и Ca;
- е) C и N; ж) O и N; з) Mg и K; и) Si и P; к) P и S;
- л) P и O; м) Mg и Al; н) Al и Si; о) S и Cl; п) Cl и I;
- р) I и Br; с) Mg и Fe; т) Po и Pt.

Для этого определите числа протонов и нейтронов в ядрах этих атомов. Нарисуйте диаграммы распределения электронов по энергетическим уровням и подуровням. Каковы свойства простых веществ? Предскажите возможные валентности элементов и приведите как можно больше формул соединений, в которых данный элемент проявляет предсказанную валентность. Знаете ли вы соединения, в которых эти элементы проявляют другие валентности? Обсудите роль сравниваемых элементов в природе, жизнедеятельности, промышленности и в быту.

**37.** Посмотрите на периодические таблицы, напечатанные на форзацах этой книги, и на таблицы, напечатанные в других учебниках. Найдите как можно больше различий в этих таблицах. Попытайтесь объяснить причины этих различий.

**38.** Из шести спичек и пластилина соберите четыре равносторонних треугольника, длина сторон которых равна длине спички. Как называется полученная фигура? Какое отношение к химии имеет это вопрос? (Психологи иногда предлагают эту задачу-головоломку для диагностики и оценки творческих способностей человека.)

**39.** Почему молекула  $\text{SF}_6$  существует, а молекула  $\text{SH}_6$  не существует (крайне неустойчива)?

**40.** Почему соединение  $\text{TiCl}_4$  существует, а соединение  $\text{TiH}_4$  не существует (крайне неустойчиво)?

**41.** Почему формулу хлорида аммония записывают в виде  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , а не  $\text{NH}_3 \cdot \text{HCl}$ ? Почему формулу гидроксида аммония записывают как  $\text{NH}_4\text{OH}$  (в водном растворе аммиака таких молекул 2–3%), но считается более правильной формула  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ? Существует ли соединение  $\text{NH}_3 \cdot \text{NaCl}$ , или  $\text{NNaH}_3\text{Cl}$ ? Возможно ли существование соединения  $\text{NH}_4\text{H}$ , или  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2$ , или  $\text{NH}_5$  (это было бы топливо с очень высокой теплотворной способностью)?

**42.** Почему при взбалтывании бутылки с газированной водой давление в ней сильно повышается? Это легко наблюдать с пластмассовой бутылкой. Почему после взбалтывания шампанское фонтаном вырывается из бутылки?

**43.** Почему фтороводородная кислота HF слабее хлороводородной HCl? Правильнее говорить, что в водном растворе фтороводородной кислоты концентрация ионов  $H^+$  меньше, чем концентрация этих же ионов в растворе хлороводородной кислоты. Почему?

**44.** Ниже приведены названия, формулы и температуры кипения некоторых веществ:

Название	Формула	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Ацетон	$\text{CH}_3\text{COCH}_3$	58
Спирт	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78
Вода	$\text{H}_2\text{O}$	100
Олеиновая кислота	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	270
Глицерин	$\text{CH}_2\text{OHCHONHCH}_2\text{OH}$	290

У какого из перечисленных веществ в жидком состоянии наиболее сильная водородная связь?

**45.** Когда готовится пища в кипящем масле и в масло попадает капля воды, из масла выбрасывается фонтанчик из пара кипящей воды с маслом. Какое вещество кипит при более высокой температуре и почему?

**46.** Объясните, какой металл и почему экономически выгоднее использовать в качестве материала проводов для передачи электроэнергии — медь или алюминий.

**47.** Перечислите известные вам типы химической связи и укажите их отличительные особенности.

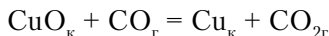
**48.** Масса покоя фотона (квант света) равна нулю. Фотоны существуют только в движении, и их невозможно остановить, чтобы измерить их массу. В вакууме скорость фотона равна скорости света. Двигаясь, фотоны имеют энергию, зависящую от частоты света. Согласно уравнению  $E = mc^2$  фотоны должны иметь массу, равную  $m = E/c^2$ . Масса фотона проявляется в том, что свет изменяет свою прямолинейность в магнитном поле, притягиваясь к источнику гравитации. Солнце может отклонить фотон на 1 см при длине пробега в 1 км. Под действием падающего на кристалл света происходит освобождение электронов из электронных оболочек атомов, что также указывает на существование массы фотона. Если бы масса покоя кванта не была равна нулю, то, двигаясь со скоростью света, он обладал бы бесконечно большой массой. Итак, фотон имеет или не имеет массу? Предложите свои соображения по этому вопросу.

**49.** Когда вы смотрите на Солнце, вы видите четкую окружность. Солнце состоит из ядер легких элементов. Что заставило атомы Вселенной собраться вместе, а не сохраняться в равномерно рассеянном состоянии?

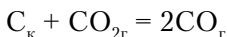
**50.** Рядом с Солнцем расположили стержень, так чтобы его середина была ближе всего к поверхности круглого шара. Солнце

притягивает стержень, Как изменится форма стержня в неоднородном магнитном поле? Он изогнется своими концами в сторону Солнца или от него?

**51.** Если над нагретым оксидом меди  $\text{CuO}$  пропустить монооксид углерода (угарный газ)  $\text{CO}$ , проходит реакция



При пропуске образовавшегося диоксида углерода через слой раскаленного углерода снова образуется  $\text{CO}$  по реакции



Объем образовавшегося  $\text{CO}$  становится в два раза больше. Если снова осуществить эти реакции, объем возрастет в четыре раза и т.д. Предложите другие реакции «химического умножения».

**52.** Почему газообразный диоксид азота  $\text{NO}_2$  ни при каких давлениях не подчиняется закону  $V \sim 1/p$ ? Предложите другие газы с подобным поведением.

**53.** Вычислите, сколько азота содержится в 1 кг следующих соединений:

а)  $\text{KNO}_3$ ; б)  $\text{NaNO}_3$ ; в)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; г)  $\text{CaCN}_2$ ; д)  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

С какой целью вам предложена эта задача?

**54.** Для определения содержания  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в железном купоросе приготавливают раствор исходного вещества, окисляют ионы  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  азотной кислотой, осаждают гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , прокаливают его и превращают в  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Вычислите массу  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в исходной навеске, если масса образовавшегося триоксида железа составляла 0,503 г. Почему не прокаливают сразу исходное вещество?

**55.** Проба газа содержит озон  $\text{O}_3$ . При разложении озона объем газа увеличился на 1%. Каково содержание озона в исходном газе?

**56.** Что тяжелее, атом водорода или нейтрон?

**57.** Почему атомные массы элементов — нецелые числа?

**58.** Рассчитайте скорость движения светового зайчика, отраженного на экран, который расположен в 10 км от зеркала, вращающегося с частотой 100 000 об/с.

**59.** При взаимодействии 0,563 г металла с водой выделилось 348,9 мл водорода при температуре  $+24^\circ\text{C}$  и давлении  $9,943 \cdot 10^4$  Па. При окислении 1,830 г этого металла кислородом образовалось 2,560 г оксида. При нагревании полученного оксида в атмосфере диоксида углерода масса вещества увеличилась на 2,009 г. При нагревании 0,980 г металла в атмосфере влажного диоксида углерода масса вещества стала равной 3,963 г. Удельная теплоемкость металла равна 0,647 Дж/(К·г). Назовите этот металл.

**60.** Проведите мысленный эксперимент: на полупрозрачное зеркало под углом посылается один фотон. На каком экране он будет зарегистрирован — расположенном за зеркалом в направлении дви-

жения фотона или на экране, расположенном в направлении отражения фотона от зеркала?

**61.** В сторону какого электрода отклонится пламя свечи в электрическом поле?

**62.** Имеется 22,4 л азота. Объем газа делится на 10 частей и т.д. Сколько раз можно повторять десятикратное уменьшение объема при условии сохранения первоначальных химических и физических свойств?

**63.** Молекулу дисероводорода  $\text{H}_2\text{S}_2$  можно записать двумя фор-

мулами:  $\text{H}-\text{S}-\text{S}-\text{H}$  и  $\text{S}=\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{S}}}$ . Какой формуле и почему вы отдадите предпочтение?

**64.** Почему при обычных условиях атом хлора не существует, а ион  $\text{Cl}^-$  в водном растворе существует?

**65.** Почему молекула  $\text{C}(\text{OH})_4$  или  $\text{H}_4\text{CO}_4$  не существует, хотя связь  $\text{C}-\text{OH}$  очень распространена в природе и энергетически выгодна?

**66.** В молекуле  $\text{O}_2$  имеется два непарных электрона. Почему не образуется молекула  $\text{O}_4$ ?

**67.** Энергия связи в молекуле  $\text{C}_2$  равна 602 кДж, а в молекуле  $\text{O}_2$  — 494 кДж. Почему молекула  $\text{C}_2$  не существует в атмосфере Земли, хотя она намного прочнее?

**68.** Межъядерное расстояние  $\text{C}-\text{H}$  в молекуле  $\text{CH}_4$  равно 0,1093 нм, а расстояние  $\text{C}-\text{D}$  в молекуле  $\text{CD}_4$  равно 1,089. Почему расстояние  $\text{C}-\text{D}$  меньше?

**69.** Парамагнетизм газообразного  $\text{NO}_2$  сильно уменьшается с понижением температуры при одновременном ослаблении окраски. Объясните это явление.

**70.** Приведите возможные доказательства того, что вещество с формулой  $\text{ЭO}_2$  является пероксидом или диоксидом.

**71.** Объясните, почему соли обычно прочнее соответствующих кислот, например  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{HNO}_2$  и  $\text{KNO}_2$ .

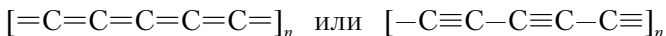
**72.** Почему молекула  $\text{HD}$  термически более устойчива, чем молекулы  $\text{H}_2$  и  $\text{D}_2$ ?

**73.** Почему при взаимодействии  $\text{NO}_2$  с водой образуется не кислота, а смесь азотистой и азотной кислот?

**74.** Д. И. Менделеев в «Основах химии» писал, что атомы элементов соединяются с тем большим количеством атомов кислорода, чем менее удерживают атомы водорода. Приведите примеры и объясните утверждение Д. И. Менделеева.

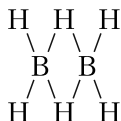
**75.** В молекулах  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$  валентные орбитали атомов  $\text{C}$ ,  $\text{N}$  и  $\text{O}$  находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации, однако углы между связями не равны: в  $\text{CH}_4$  —  $109^\circ$ , в  $\text{NH}_3$  —  $107^\circ$  и в  $\text{H}_2\text{O}$  —  $105^\circ$ . Как это объяснить? То же самое обсудите с ионами  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

**76.** Искусственно получен линейный полимер углерода — карбин. Связи в нем можно изобразить двумя способами:

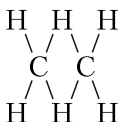


Какая модель более предпочтительна? Какие сведения вам нужны для ответа?

**77.** В молекуле  $B_2H_6$  связь между атомами бора осуществляется через атомы водорода:



Почему такая же связь в молекуле  $C_2H_6$



невозможна?

**78.** Почему отрыв одного электрона от молекулы  $F_2$  приводит к повышению энергии связи между атомами, а отрыв электрона от молекулы  $N_2$  — к ее понижению?

**79.** Объясните, почему при отрыве электрона от молекулы фтора происходит значительное упрочнение связи по сравнению с отрывом электрона от молекулы кислорода.

**80.** Для перевода молекулы кислорода из нормального триплетного состояния с двумя непарными электронами в синглетное состояние с двумя парными электронами требуется значительная затрата энергии (97 кДж/моль). Несмотря на наличие парных электронов, синглетный кислород способен участвовать во многих реакциях, в которых обычный кислород не участвует. Например, синглетный кислород реагирует с этиленом:



Обсудите причины протекания подобных реакций.

**81.** Объясните, почему отрыв одного электрона от молекулы  $CO$  приводит к ослаблению связи, а от молекулы  $NO$  — к ее упрочнению.

**82.** Почему молекула  $CH_5$  не существует, а ион  $CH_5^+$  существует?

**83.** Перечислите возможные причины того, что уравнение  $pV = nRT$  приближенно описывает поведение реальных газов.

**84.** Можно ли превратить идеальный газ в жидкость и кристалл?

**85.** Почему объем газа при температуре, близкой к температуре кипения, всегда несколько меньше вычисленного?

86. Почему устойчивость гидратов  $\text{Э} \cdot 5,76$  повышается в ряду  $\text{Ag} - \text{Kr} - \text{Xe}$ ?

87. У какого соединения — этанола  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  или этантиола  $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$  — выше температура кипения и почему?

88. Какова причина того, что пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  кипит при значительно более высокой температуре ( $150^\circ\text{C}$ ) по сравнению с водой, хотя их температуры плавления близки ( $0$  и  $-0,46^\circ\text{C}$ )?

89. Этанол кипит при  $78^\circ\text{C}$ . Почему температура кипения этантиола  $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$  ниже ( $37^\circ\text{C}$ )?

90. Почему в растворе фтороводородной кислоты содержание ионов водорода значительно ниже, чем в растворе хлороводородной кислоты той же концентрации?

91. В научной литературе сообщалось о существовании литиевой связи, близкой по природе к водородной связи. Предскажите возможные соединения с литиевой связью.

92. Почему молекулы  $\text{BH}_3$  димеризуются, а молекулы  $\text{CH}_4$  неспособны к димеризации?

93. Атмосферное давление в зависимости от высоты над уровнем моря показано ниже:

Высота, км	Давление		
	мм рт. ст.	атм	Па
0	760	1,00	101 325
1	674	0,89	90 000
2	596	0,78	79 000
3	526	0,69	70 000
4	462	0,61	62 000
5	405	0,53	54 000
6	354	0,47	48 000
7	308	0,41	42 000
8	267	0,35	35 000
9	232	0,31	31 000
10	200	0,26	26 000
11	171	0,23	23 000
12	150	0,20	20 000

Представьте эти данные в виде кривой зависимости давления от высоты. Попробуйте выразить зависимость уравнением. Оцените атмосферное давление:

а) на вершине Останкинской телебашни в Москве (1967, Н. В. Никитин), которая имеет высоту около 570 м;

б) на высоте 3350 м, на которую поднялся на воздушном шаре Д. И. Менделеев 9 августа 1887 г. для наблюдения солнечного затмения и изучения верхних слоев атмосферы (см. параграф 11.2);

в) на высоте западной вершины кавказского Эльбруса — 5642 м;  
г) на вершине Джомолунгмы (Джомолунгма (Эверест) — высочайшая вершина на Земле в Гималаях на границе Непала и Китая, имеет высоту 8846,1 м, впервые была покорена 29 мая 1953 г. шерпом Н. Тенцингом и новозеландцем Э. Хиллари).

Дополнительные вопросы. Можно или нельзя совершать подъем на Джомолунгму без кислородных аппаратов? Почему? Зачем баллоны для подводного плавания заряжают смесью кислорода и гелия?

94. Почему солнечный свет, проходящий сквозь оконное стекло, не вызывает загара?

95. Какого цвета солнечный свет поглощают листья растений?

96. Вы смотрите на траву через красное стекло. Каков цвет у травы?

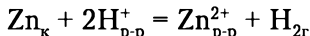
## 1.2. Лабораторные исследования

### Лабораторная работа 1.

#### Определение мольной массы элемента

##### 1. Определение мольной массы цинка.

Цель работы — определение мольной массы цинка заданного элемента по объему выделившегося водорода. Цинк реагирует с ионами водорода кислоты по уравнению



Напишите уравнение реакции цинка с гидроксид-ионами в растворе гидроксида натрия.

Для выполнения эксперимента вам понадобятся следующие реактивы:

1) кусочек цинковой фольги точно известной массы (примерно 0,5 г) — обычно фольгу не требуется взвешивать, ее масса написана на ней;

2) около 5 мл раствора соляной кислоты (20—30%) или раствора гидроксида натрия (10%).

Почему не пользуются растворами серной или азотной кислоты?

Понадобится следующее оборудование:

- 1) бюретка на 50 (или 100) мл;
- 2) уравнильный сосуд (той же вместимости);
- 3) двухколенная пробирка (пробирка Оствальда);
- 4) пробки со стеклянными трубками и резиновой трубкой длиной 10—15 см для соединения двухколенной пробирки с бюреткой;
- 5) резиновая трубка длиной 60—80 см для соединения бюретки с уравнильным сосудом;

6) химический стакан вместимостью 100—250 мл с горячей водой для нагревания реакционной смеси.

Выполнять эксперимент можно группой в 2–3 человека.

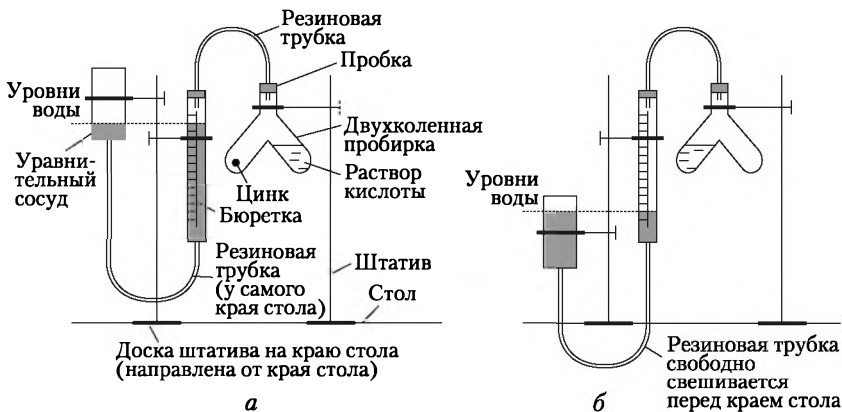
Определение объема выделившегося водорода проводится прибором, изображенным на рис. 1.1.

*Примечание.* Если в лаборатории нет двухколенной пробирки, возьмите обычную пробирку, налейте в нее через воронку раствор кислоты, стараясь не намочить края пробирки, и укрепите ее наклонно в лапке штатива так, чтобы край жидкости располагался не ближе 3–4 см от открытого конца пробирки. Осторожно положите на сухую стенку пробирки смятую в комок фольгу и вставьте в пробирку пробку с присоединенной к ней резиновой трубкой. Когда вы повернете пробирку вертикально, металл соскользнет в раствор и реакция начнется.

Соберите прибор, как показано на рис. 1.1, *а*. Прибор крепится в штативе, который устанавливается плитой внутрь на краю стола так, чтобы соединительная резиновая трубка свободно свисала вниз, а не лежала на столе, иначе в трубке могут остаться воздушные промежутки или трубка перегнется и не будет пропускать жидкость.

При закреплении стеклянных частей в лапке штатива обратите внимание, чтобы внутренние поверхности лапок были покрыты эластичным материалом, иначе при затягивании винта стекло треснет. Если лапка не имеет эластичного покрытия, оденьте на стекло кусок резинового шланга длиной 3–4 см, разрезанный вдоль (можно воспользоваться несколькими слоями бумаги), и в этом месте зажмите лапку.

Не соединяя бюретку с двухколенной пробиркой, налейте через уравнильный сосуд воду так, чтобы в нем уровень воды был немного выше нижней части, а в бюретке — на несколько деле-





ний ниже нулевой отметки. При соблюдении этого условия после окончания опыта уровни воды в сосуде и бюретке будут располагаться, как показано на рис. 1.1, б, и излишек воды не перельется через край уравнительного сосуда.

Для удобства и точности отсчетов бюретку и уравнительный сосуд расположите как можно ближе друг к другу и так, чтобы нулевое деление бюретки было на уровне глаз.

В одно из колен двухколенной пробирки поместите смятый в комочек кусочек фольги, не забыв записать массу металла, отмеченную на фольге. Если вам предлагается самому отвесить нужную массу металла, рассчитайте массу, требующуюся для заполнения газом  $3/4$  объема бюретки.

Можно пользоваться 20–30%-ным раствором соляной кислоты (почему не серной или азотной?) или 10%-ным раствором гидроксида натрия. Рассчитайте объем (мл) раствора кислоты или гидроксида натрия, который необходим для растворения навески металла, принимая плотность раствора равной 1 г/мл (для более точного расчета воспользуйтесь таблицей зависимости плотности раствора от концентрации).

Возьмите объем раствора, в два раза больший рассчитанного, чтобы скорость реакции была достаточно высокой и реакция прошла полнее.

Под тягой отмерьте маленьким мерным цилиндром (на 10 мл) требуемый объем кислоты и перелейте его в другое колено. Хотя вы будете работать с разбавленным раствором кислоты, будьте осторожны и следите, чтобы кислота и особенно раствор гидроксида натрия не попали на кожу рук или одежду.

В пробирку и бюретку плотно вставьте пробки с продетыми через них стеклянными трубками. Проверьте, чтобы в резиновой трубке не было воздуха — несколько раз сожмите пальцами руки трубку и выдавите пузырьки.

Прежде чем начинать опыт, убедитесь в герметичности всех соединений. Для этого опустите уравнительный сосуд с водой вниз на 10–15 см. После понижения уровня воды в бюретке (почему?) он не должен перемещаться 2–3 мин, а при возвращении сосуда на прежнее место должен подняться в исходное положение. Если уровень воды перемещается при опущенном уравнительном сосуде, то прибор «течет», и следует устранить неполадки.

Приведите давление в приборе к атмосферному, т.е. расположите уровни воды в нем в одной горизонтальной плоскости (на одинаковой высоте).

До начала реакции запишите положение нижнего края мениска в бюретке (совсем не обязательно, чтобы он находился точно на нулевой отметке!). На глаз самое маленькое деление шкалы бюретки можно разделить на 3–4 части, поэтому отсчет следует проводить

с точностью 0,02–0,03 мл. Можно пользоваться увеличительным стеклом.

Поверните двухколенную пробирку так, чтобы раствор перелился в колено с металлом. Во время реакции постоянно смещайте уравнивательный сосуд, чтобы уровни воды в нем и в бюретке находились в одной горизонтальной плоскости.

Ускорить реакцию можно, опустив колено пробирки с раствором в стакан с горячей водой. Ускоряет реакцию также кристаллик медного купороса, предварительно опущенный в колено пробирки с цинком (образуются микрогальванические элементы).

Когда уровень воды перестанет смещаться, опыт можно прекратить. Пробирку выньте из стакана с горячей водой и подождите, пока ее температура не сравняется с комнатной (5–10 мин). Давление приведите к атмосферному и запишите показание на шкале бюретки. Вычислите объем выделившегося водорода при условиях проведения опыта (температура и атмосферное давление в лаборатории).

Учтите, что водород, собранный над водой, содержит водяной пар, поэтому общее давление в бюретке, равное атмосферному, суммируется из давлений водорода и водяного пара, т.е.

$$p_{\text{H}_2} = p_{\text{атм}} - p_{\text{H}_2\text{O}}.$$

Давление водяного пара над водой:

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{H}_2\text{O}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{H}_2\text{O}}, \text{Па}$
15	1705	25	3167
18	2063	28	3779
21	2486	30	4241

По данным таблицы определите давление водяного пара при температуре эксперимента, воспользовавшись интерполяцией. Рассчитайте объем выделившегося водорода при нормальных условиях.

Напишите уравнение реакции. Основываясь на том, что 1 моль цинка выделяет один моль водорода  $\text{H}_2$ , т.е. 22,4 л (н.у.) водорода, определите мольную массу цинка. Сравните ее с табличным значением. Обсудите причины расхождений. Укажите операции эксперимента, которые вносят наибольшие погрешности в значение мольной массы, и предложите способы их понижения.

Определение мольных масс элементов при помощи мольной массы водорода требует знания валентности элемента и учета, что водород представляет собой двухатомную молекулу. Проверить правильность определения мольной массы элемента и его валентности можно последовательным помещением элемента в соответствующие клетки периодической таблицы, при этом мольные мас-

сы умножаются или делятся на небольшие целые числа. Если свойства элемента совпадают со свойствами элемента в данном месте таблицы Д. И. Менделеева, то изучаемому элементу отдается это место и находятся его молярная масса и валентность.

Желательно провести опыт еще два раза и рассчитать среднее значение молярной массы цинка. Соберите результаты других групп и рассчитайте среднее значение молярной массы металла.

Рассчитайте относительную ошибку (погрешность) эксперимента. Разность теоретической (табличной) молярной массы и экспериментальной средней молярной массы разделите на теоретическую молярную массу. Частное от деления умножьте на 100%:

$$\text{Относительная ошибка} = \frac{\text{Теоретическая молярная масса} - \text{Экспериментальная средняя молярная масса}}{\text{Теоретическая молярная масса}} \cdot 100\%$$

Обсудите результаты эксперимента. Желательно, чтобы происходило групповое обсуждение подготовки и выполнения эксперимента. Особенно важно обсуждение полученных результатов.

Работа считается выполненной, если в конце занятия студент показывает преподавателю рабочую тетрадь, в которой понятным почерком записаны:

- 1) подготовка к опыту;
- 2) рисунки прибора;
- 3) результаты опыта;
- 4) выводы.

Еще раз просмотрев полностью убранное рабочее место и тщательно отмытые от реактивов оборудование и стеклянную посуду, преподаватель подписывает в тетради и в практикантской книжке выполнение работы.

На следующем занятии или в дополнительное время преподаватель проверяет исправленные недостатки, кратко спрашивает основные теоретические положения проведенного исследования и выставляет оценку в тетради и практикантской книжке.

Преподаватель предупреждает студентов, что практикантская книжка после сдачи зачета остается у преподавателя и показывается экзаменатору, влияя на оценку экзамена.

**2. Определение молярной массы алюминия.** Опыт проводится, как описано в п. 1 (используется алюминиевая фольга).

**3. Определение молярной массы железа.** Опыт проводится, как описано в п. 1 (используется железная фольга).

**4. Определение молярной массы олова.** Опыт проводится, как описано в п. 1 (используется оловянная фольга).

**5. Определение молярной массы металла, который предложит преподаватель.** Опыт проводится, как это описано в п. 1.

## **Лабораторная работа 2.**

### **Сравнение свойств магния и алюминия**

Помните — один элемент отличается от следующего в периодической таблице тем, что в ядре его атома находится на один протон больше, а в электронной оболочке — на один электрон больше.

Нарисуйте диаграммы распределения электронов по энергетическим уровням и подуровням атомов магния и алюминия. Предскажите валентные состояния этих элементов и опишите их химические свойства (уравнения реакций).

Маленькие кусочки магния и алюминия поместите в пробирки с растворами хлороводородной (соляной) кислоты и гидроксида натрия, взяв по 1–2 мл 1 М или 0,1 М растворов. Напишите уравнения реакций.

Растворы из пробирок перелейте в другие пробирки и прилейте к ним раствор гидроксида натрия NaOH до образования осадков. Каков состав осадков? Если осадки не образуются из-за низкой концентрации образовавшихся солей, воспользуйтесь приготовленными в лаборатории растворами солей.

В две другие пробирки налейте по 1–2 мл растворов хлоридов магния  $MgCl_2$  и алюминия  $AlCl_3$  или их сульфатов  $MgSO_4$  и  $Al_2(SO_4)_3$ . Прилейте к растворам немного раствора гидроксида натрия NaOH до образования осадков гидроксидов магния  $Mg(OH)_2$  и алюминия  $Al(OH)_3$ . Напишите уравнения реакций.

Каждый из осадков разделите на две части и подействуйте на них растворами серной или соляной кислоты (0,1 М) и растворами гидроксида натрия. Напишите уравнения реакций. Сформулируйте выводы о свойствах элементов и их соединений.

## **Лабораторная работа 3.**

### **Сравнение свойств сероводорода и хлороводорода**

Сравните свойства двух элементов, отличающихся тем, что в ядре одного атома находится на один протон больше и в электронной оболочке — на один электрон больше. Нарисуйте диаграммы распределения электронов по энергетическим уровням и подуровням атомов серы и хлора. Предскажите валентные состояния этих элементов и попытайтесь предсказать их свойства.

Проведите опыты по сравнению свойств сероводорода и хлороводорода.

1. В несколько маленьких пробирок налейте по 0,5–1 мл раствора сероводорода  $H_2S$  (сероводородной воды), в другие пробирки налейте столько же раствора соляной кислоты HCl. Желательно, чтобы растворы были одинаковой концентрации (0,1 М). Положите в пробирки с растворами сероводорода и соляной кислоты по маленькому кусочку цинка. Опишите свои наблюдения. Если про-

ходит реакция, составьте ее уравнение. Наблюдается ли различие в свойствах сероводорода и хлороводорода? Каковы причины?

2. Положите в пробирки с растворами сероводорода и соляной кислоты по несколько крупинок карбоната натрия (соды)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или прилейте несколько капель раствора соды. Напишите уравнение реакции.

3. Испытайте растворы сероводорода и соляной кислоты индикаторами (раствор лакмуса, лакмусовая бумажка, растворы фенолфталеина или метилоранжа). Сформулируйте выводы о кислотных свойствах сероводорода и хлороводорода. Какая кислота сильнее?

4. Сравните окислительно-восстановительные способности сероводорода и хлорид-иона в их водных растворах. К 1–2 мл сернистой кислоты или сульфита натрия прилейте столько же сероводородной кислоты. Что наблюдается? Какова валентность серы в этих соединениях? Как валентность может измениться в окислительно-восстановительной реакции? Какое устойчивое вещество может образоваться из сероводорода и сернистой кислоты? Напишите уравнение реакции.

5. Испытайте действие 0,1 М раствора соляной кислоты на раствор сероводорода. Что вы наблюдаете? Сформулируйте выводы.

#### **Лабораторная работа 4.**

##### **Сравнение прочности водородной связи**

1. На металлическую или керамическую пластинку поместите рядом по капле воды и растительного масла. Нагрейте пластинку. Какое вещество быстрее закипит и испарится? У какого вещества более прочная водородная связь?

2. Тот же опыт проведите с водой и глицерином. У какого вещества более прочная водородная связь?

## Глава 2

# ТЕРМОДИНАМИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

### 2.1. Практические задания

Термодинамические характеристики веществ приведены в условии задач и в гл. 10 данного Практикума.

Чтобы не сделать грубейших ошибок в расчетах, всегда имейте в виду, что в справочных таблицах энтальпия выражена в кДж/моль, а энтропия — в Дж/(К·моль).

1. Для нагревания  $m$  грамм вещества от  $t_1$  до  $t_2$  °С потребовалось  $Q$  кДж теплоты. Рассчитайте молярную теплоемкость вещества, молярная масса которого равна  $M$  г/моль:

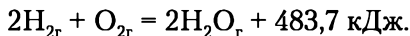
Вариант	$m$ , г	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$Q$ , кДж	$M$ , г/моль
а	11	19	69	101	60
б	13	21	71	105	70
в	15	23	73	110	80
г	17	25	75	115	90
д	19	27	77	120	100

#### 2. Тепловой эффект реакции



Чему равна энтальпия образования хлороводорода?

#### 3. Тепловой эффект реакции



Чему равна энтальпия образования воды?

#### 4. Тепловой эффект реакции



Чему равна энтальпия образования аммиака?

5. В смеси, полученной смешением водорода и хлора, прошла реакция и выделилось  $Q$  кДж теплоты. Рассчитайте энтальпию образования газообразного хлороводорода или энтальпию реакции (н.у.). Предварительно определите, какое вещество было взято

в недостатке или избытке для прохождения реакции по уравнению (зачем?).

Вариант	Объем водорода, л	Объем хлора, л	$Q$ , кДж
а	22,4	22,4	184,6
б	2,24	2,24	18,4
в	2,24	4,48	18,4
г	8,50	2,24	18,4
д	9,30	4,48	36,9

6. В смеси, полученной смешением кислорода и водорода, прошла реакция, образовалась газообразная вода и выделилось  $Q$  кДж теплоты. Рассчитайте энтальпию образования или энтальпию реакции (н.у.). Предварительно определите, какое вещество было взято в недостатке или избытке для прохождения реакции по уравнению (зачем?).

Вариант	Объем кислорода, л	Объем водорода, л	$Q$ , кДж
а	28,0	17,3	302,1
б	37,3	21,1	402,8
в	20,4	15,9	219,7
г	18,7	16,1	201,4
д	29,9	14,0	302,1
е	40,2	18,7	402,8
ж	24,9	10,2	219,7
з	21,2	9,3	201,4

7. В смеси, полученной смешением азота и водорода, прошла реакция, образовался аммиак и выделилось  $Q$  кДж теплоты. Рассчитайте энтальпию образования или энтальпию реакции (н.у.). Предварительно определите, какое вещество было взято в недостатке или избытке для прохождения реакции по уравнению (зачем?).

Вариант	Объем азота, л	Объем водорода, л	$Q$ , кДж
а	5,6	18,3	23,1
б	2,8	10,4	11,6
в	1,86	6,0	7,7
г	3,73	15,0	15,4
д	20	16,8	23,1
е	5,0	8,4	11,6
ж	5,5	5,6	7,7
з	6,0	11,2	15,4

8. В смеси, полученной смешением диоксида серы и кислорода, прошла реакция, образовался триоксид серы (газ) и выделилось

$Q$  кДж теплоты. Рассчитайте энтальпию реакции (н.у.). Предварительно определите, какое вещество было взято в недостатке или избытке для прохождения реакции по уравнению (зачем?).

Вариант	Объем $\text{SO}_2$ , л	Объем кислорода, л	$Q$ , кДж
а	11,2	11,2	49,5
б	7,47	10,0	33,0
в	5,6	4,6	24,7
г	4,48	7,1	19,8
д	11,2	5,6	49,5
е	9,3	3,73	33,0
ж	8,4	2,8	24,7
з	8,3	2,24	19,8

9. В смеси, полученной смешением монооксида углерода и кислорода, прошла реакция, образовался диоксид углерода и выделилось  $Q$  кДж теплоты. Рассчитайте энтальпию реакции (н.у.). Предварительно определите, какое вещество было взято в недостатке или избытке для прохождения реакции по уравнению (зачем?).

Вариант	Объем $\text{CO}$ , л	Объем кислорода, л	$Q$ , кДж
а	34,5	19,4	435,4
б	21,3	15,6	269,5
в	16,6	10,8	209,6
г	14,4	10,5	182,6
д	37,7	17,2	435,4
е	28,1	10,7	269,5
ж	20,3	8,3	209,6
з	18,8	7,2	182,6

10. В смеси, полученной смешением метана и кислорода, прошла реакция, образовался диоксид углерода и выделилось  $Q$  кДж теплоты. Рассчитайте энтальпию реакции (н.у.). Предварительно определите, какое вещество было взято в недостатке или избытке для прохождения реакции по уравнению (зачем?).

Вариант	Объем $\text{CH}_4$ , л	Объем кислорода, л	$Q$ , кДж
а	7,47	18,9	136,2
б	8,96	21,0	163,4
в	12,8	32,0	233,5
г	14,9	35,1	272,4
д	10,1	14,9	136,2
е	12,3	17,9	163,4
ж	18,2	25,6	233,5
з	24,3	29,9	272,4



11. При сжигании в кислороде 1 г железа выделилось 7,36 кДж теплоты. Чему равна теплота и энтальпия образования оксида  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (гематит)?

12. При сгорании 2,24 л (н.у.) СО выделилось 28,3 кДж теплоты. Энтальпия образования из простых веществ углекислого газа  $\text{CO}_2$  равна  $\Delta H_{\text{обр}} = -395,4$  кДж/моль. Вычислите энтальпию образования СО, которую непосредственно определить не удастся из-за образования при сгорании углерода смеси углекислого и угарного газов.

13. Городской житель потребляет за месяц около  $10 \text{ м}^3$  газа. Подсчитайте количество теплоты, образующейся за один день при сгорании метана в кухонной плите, если в городе проживает 1 000 000 жителей. Пусть выделяющаяся теплота сосредоточивается в прямоугольнике с длиной стороны 10 км и высотой 100 м. Насколько поднимется температура воздуха, если теплоемкость воздуха равна  $0,24 \text{ кал}/(\text{г} \cdot \text{град})$ , или  $7,0 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{град})$ , или  $29,29 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$ . Энтальпии образования метана, углекислого газа, жидкой и газообразной воды равны соответственно  $-74,8$ ,  $-393,5$ ,  $-285,8$ ,  $-241,7$  кДж/моль.

14. Сообщалось, что одним из многочисленных критериев определения стоимости изделия может служить изобарный потенциал образования вещества, из которого сделано изделие. Пусть два одинаковых изделия изготовлены из двух различных веществ. Какое изделие будет дешевле: то, которое изготовлено из вещества с меньшим значением изобарного потенциала или с большим?

15. Вы знаете о роли водки в экономике страны. Можно ли получить этиловый спирт  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  из простых веществ — водорода, кислорода и углерода (угля)? Если окажется, что процесс возможен, объясните, почему его не используют в технологии. Почему спирт — очень дешевый продукт, а водка, изготавливаемая из него по сути дела разбавлением водой, очень дорога?

16. Можно ли получить при стандартных условиях из простых веществ следующие вещества? Ответ обсудите для изолированных и открытых систем.

Вариант	Вещество	Формула, состояние	$\Delta H$ , кДж/моль	$S$ , Дж/(К·моль)
1	Сульфат аммония	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_{4\text{к}}$	-1181,0	220,0
2	Метиловый спирт	$\text{CH}_3\text{OH}_\text{г}$	-202,0	239,7
3	Этиловый спирт	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_\text{г}$	-234,6	282,4
4	—//—	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_\text{ж}$	-276,9	161,0
5	Ацетальдегид	$\text{CH}_3\text{CHO}_\text{г}$	-166,5	263,6
6	Уксусная кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}_\text{г}$	-431,8	282,4
7	—//—	$\text{CH}_3\text{COOH}_\text{ж}$	-484,1	159,8
8	Этилацетат	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_{5\text{ж}}$	-479,0	258,0
9	Ацетон	$\text{CH}_3\text{COCH}_{3\text{ж}}$	-248,0	126,0

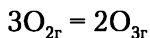
Вариант	Вещество	Формула, состояние	$\Delta H$ , кДж/моль	$S$ , Дж/(К·моль)
10	Этиловый эфир	$C_2H_5OC_2H_5_{ж}$	-276,9	251,0
11	Глюкоза	$C_6H_{12}O_{6к}$	-1274,4	212,2
12	Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11к}$	-2222,1	360,2
13	Мочевина, карбамид	$CO(NH_2)_{2к}$	-332,7	104,6
14	Бензальдегид	$C_6H_5CHO_{ж}$	87,0	221,0
15	Бензойная кислота	$C_6H_5COOH_{к}$	-385,0	168,0
16	Глицин	$NH_2CH_2COOH_{к}$	-532,6	103,5
17	Этиленгликоль	$CH_2OHCH_2OH_{г}$	-389,3	323,5
18	—//—	$CH_2OHCH_2OH_{ж}$	-454,9	166,9
19	Глицерин	$CH_2OHCH_2OHCH_2OH_{ж}$	-668,6	204,4
20	Молочная кислота	$CH_3CH_2COOH_{к}$	-674,4	192,0
21	Виноградная кислота	$CH_3COCOCH_2COOH_{ж}$	-584,5	179,4
22	Салициловая кислота	$HOC_6H_4COOH_{к}$	-585,3	178,2
23	Пальмитиновая кислота	$C_{15}H_{31}COOH_{к}$	-888,3	452,4
24	Тиомочевина	$H_2NCSNH_{2к}$	-90,0	115,9
25	Толуол	$C_6H_5CH_{3г}$	50,0	320,7
26	—//—	$C_6H_5CH_{3ж}$	12,0	21,0
27	Фенол	$C_6H_5OH_{к}$	-165,0	144,0
28	Формамид	$HCONH_{2г}$	-186,2	248,4
29	Щавелевая кислота	$COOHCOOH_{к}$	-822,0	110,0
30	Янтарная кислота	$COOH(CH_2)_2COOH_{к}$	-940,9	175,7
31	Азотная кислота	$HNO_{3ж}$	-174,0	156,9
32	Ацетамид	$CH_3CONH_{2к}$	-317,0	115,0
33	Нитрат аммония	$NH_4^+NO_3^-$	-366,0	151,0
34	Анилин	$C_6H_5NH_{2ж}$	31,1	191,3

Термодинамические характеристики водорода, кислорода, азота, углерода, серы и других веществ смотрите в гл. 10.

17. Напишите уравнение реакции с одним из веществ, перечисленных в задаче 16 или в гл. 10 с термодинамическими данными веществ (преподаватель укажет вам номер вещества). Рассчитайте изменения энтальпии, энтропии и изобарного потенциала. Обратите внимание на стехиометрические коэффициенты уравнения. Если вы изучили связь между изобарным потенциалом и константой

равновесия, определите эту константу. Не забудьте, что концентрации воды в разбавленных растворах и кристаллических веществах не входят в константу равновесия. По принципу Ле Шателье обсудите возможности смещения равновесия при изменении условий реакционной системы. Если вы знакомы с открытыми системами, предскажите возможность реакции при вычисленном положительном изобарном потенциале.

**18.** Проведите термодинамический анализ реакции образования озона из кислорода

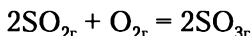


Каковы знаки энтальпии озона, энтропии и изобарного потенциала реакции образования озона? Возможна ли эта реакция при стандартных условиях? Устойчив ли озон при обычных условиях? Как изменяется устойчивость озона при повышении температуры? При какой температуре — более высокой или более низкой — следует получать озон из кислорода? Свяжите термодинамические характеристики озона с его химическими свойствами. Обсудите строение молекулы озона.

Почему эта реакция имеет важное значение для природы и человека? Какова роль для человека озона в верхних и нижних слоях атмосферы? Что вы знаете об озоновых дырах в верхних слоях атмосферы? К каким глобальным последствиям может привести снижение содержания озона в верхних слоях атмосферы? Вреден или полезен озон, содержащийся во вдыхаемом воздухе? Каковы источники озона в нижнем слое атмосферы? Где используется озон?

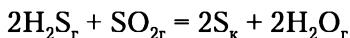
Заметим, что реакция по этому уравнению не проходит, а совершается через ряд последовательных стадий. Попробуйте предложить промежуточные вещества и стадии этой реакции.

**19.** Возможна ли при стандартных условиях реакция



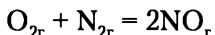
Кислотные дожди вызываются присутствием серной и азотной кислот. Серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$  образуется при взаимодействии с водой триоксида серы  $\text{SO}_3$ , который получается при окислении диоксида серы (сернистого газа) кислородом воздуха. Диоксид серы выбрасывается в воздух двигателями автомобилей при использовании некачественного бензина, а также при сжигании на тепловых станциях угля и нефти, содержащих соединения серы.

**20.** Возможна ли при стандартных условиях реакция



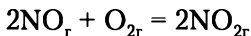
Реакция интересна тем, что два вредных вещества взаимно уничтожают свою ядовитость. Так можно бороться с двумя вредными выбросами одного производства.

**21.** Оксиды азота выбрасываются в воздух двигателями автомобилей. Может ли образовываться при стандартных условиях монооксид азота по реакции



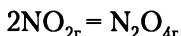
Каково влияние температуры и давления на равновесие этой реакции? Оксид NO раздражает нервную систему человека и соединяется с гемоглобином, препятствуя переносу им кислорода.

**22.** Оксид азота NO на воздухе реагирует с кислородом:



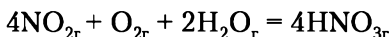
Возможна ли эта реакция при стандартных условиях? Каково влияние температуры и давления на равновесие этой реакции? Диоксид азота — удушливый газ красно-коричневой окраски. Грязно-коричневый цвет фотохимического смога городов (аэрозоль из дыма, тумана и пыли) объясняют наличием диоксида азота NO<sub>2</sub>. Как объяснить окраску этого газа?

**23.** Молекула NO<sub>2</sub> имеет непарный электрон, благодаря чему она димеризуется с образованием бесцветного N<sub>2</sub>O<sub>4г</sub>. Возможна ли при стандартных условиях реакция



Каково влияние температуры и давления на равновесие этой реакции? Завод по производству азотной кислоты выбрасывает в атмосферу оксид азота NO<sub>2</sub>. Когда (зимой или летом) окраска выбрасываемого из трубы дыма будет более интенсивной красно-коричневой?

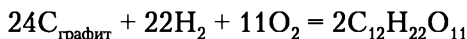
**24.** Оксид азота NO<sub>2</sub> окисляется во влажной атмосфере до азотной кислоты, что является одной из причин образования кислотных дождей:



Может ли азотная кислота образоваться при стандартных условиях по этой реакции? Каково влияние температуры и давления на равновесие этой реакции?

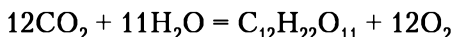
**25.** Проведите расчеты, связанные с реакциями образования сахарозы C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>, и сформулируйте выводы.

Можно ли получить при стандартных условиях сахарозу из простых веществ по реакции



В какой системе (изолированной или открытой) эта реакция возможна?

Можно ли получить при стандартных условиях сахарозу из углекислого газа и воды:



В какой системе (изолированной или открытой) эта реакция возможна? При каких условиях проходит эта реакция?

Качественно сравните обе реакции по энергиям связи веществ, участвующих в реакции (энергии связи больше или меньше, связи прочнее или слабее).

Сравните обе реакции по их энтропиям. За счет чего образуются вещества с большим порядком и меньшей энтропией?

Обсудите возможность получения сахарозы такими, наверное, неосуществимыми путями, как с использованием метана, монооксида углерода и других веществ.

**26.** Почему газовые баллоны наполняют бутаном или пропаном, а не природным газом (метаном) или другими углеводородами?

**27.** Проведите анализ преимуществ (экономичность, удобство) использования в качестве топлива следующих газов: а) метан; б) этан; в) этилен; г) ацетилен; д) пропан; е) бутан. Вам следует найти в справочной литературе энтальпию образования, энтропию, температуры плавления и кипения, плотность жидкости и другие, по вашему мнению, нужные для работы данные. Это задание в целом выполняется небольшой группой. Каждый занимается одним вариантом задачи, затем ответы объединяются, и группа формулирует выводы. Это задание также может служить темой реферата.

**28.** Почему для сварки металлов используют ацетилен, а не другие газы?

**29.** Определите возможность прохождения реакции



при 25 и 50°C. Стандартные (298 K) энтальпии, кДж/моль, и энтропии, Дж/(K·моль), веществ приведены ниже. Каково влияние температуры на реакцию?

Вариант	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} A$	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} B$	$\Delta H_{\text{обр}}^{\circ} B$	$S_A^{\circ}$	$S_B^{\circ}$	$S_B^{\circ}$
а	400	350	2000	200	210	520
б	450	400	1500	250	200	500
в	500	450	3000	300	250	550
г	550	500	1000	350	300	600
д	600	550	4000	400	350	650

**30.** Одна стенка сосуда с водородом и азотом нагревается, другая — охлаждается. Через некоторое время в сосуде устанавливается постоянная температура, точнее, постоянный градиент температуры. Концентрация водорода повышается у горячей стенки, а концентрация азота — у холодной стенки. Приведите любые, но научные объяснения такого разделения смеси газов. В каком случае порядок в системе выше: когда стенки сосуда находятся при одной и той же температуре или при различных?

**31.** В фокусе двух параболических зеркал, расположенных друг напротив друга, помещены свеча и термометр. Излучение свечи фокусируется на термометре, и его температура становится выше по сравнению с температурой комнаты. Если свечу заменить куском льда, термометр покажет температуру ниже температуры комнаты. Может ли так же, как и теплота, передаваться на расстояние излучение холода? Можно ли говорить «излучение холодного тела»?

**32.** Если вы согласны, что Вселенная — вечный двигатель, то почему ее отдельные части (машины, двигатели, приспособления, приборы и т.п.) не могут быть вечным двигателем?

**33.** Постарайтесь объяснить, почему ячейки Бенара, если их рассматривать сверху, представляют собой шестиугольники. Почему не треугольники, квадраты или другие фигуры?

**34.** Зачем растения выделяют кислород? Что это им дает? Кроме того, они ведь дышат кислородом! Вдумайтесь — растения одновременно и потребляют, и выделяют кислород! Где же здесь привычная нам целесообразность?

**35.** Температура тела человека равна  $36,7^{\circ}\text{C}$ . Сможет ли постоянно жить человек при одной из следующих температур:  $35$ ,  $36,7$  или  $37^{\circ}\text{C}$ ? Как вы считаете, чем может закончиться такой эксперимент: животное (или человека) на долгое время помещают в среду с температурой, равной температуре организма (пища и вода даются в необходимых количествах)?

**36.** В городах происходит скопление людей и создаются технические, художественные и интеллектуальные ценности. Города получают вещества, газ, электроэнергию и одновременно выбрасывают массу отходов и загрязняют окружающую среду. Рассмотрите систему «город — окружающая среда» с точки зрения создания порядка и беспорядка. Почему города возникают и существуют? Почему некоторые города и цивилизации перестают существовать?

**37.** Раньше я с семьей много путешествовал. Для стоянки мы выбирали тихое место, удаленное от лагерей других путешественников, ставили палатку, разводили бензиновый примус, слушали шорохи ветра и песни птиц. Но всегда рядом с нами останавливался автолюбитель с кричащими детьми, хлопаньем дверей, примитивными песнями из кричащего и скрипящего радиоприемника. Через некоторое время вокруг собиралась шумная компания таких же путешественников. Нам приходилось собирать свои вещи и отъезжать подальше. Покинутый лагерь разрастался, а вокруг нас на новом месте возникал новый. Кругом было множество мест для стоянок, но люди всегда стремились создать компактную структуру для проживания. Почему? Попробуйте описать этот примитивный социальный процесс (так возникали города!) в аспекте представлений неравновесных процессов. Что можно принять за флуктуацию, бифуркацию и диссипативную структуру?

**38.** Представьте себе, что вы идете по полю по тропинке среди колющейся ржи в тихую безоблачную погоду и ни о чем не думаете. Вам все известно и понятно. Вдруг неожиданно тропинка раздваивается. По какой тропе следует двигаться дальше? Возникает проблема, заставляющая вас думать и искать необходимую информацию. Вы открываете карту, достаете GPS-навигатор, расспрашиваете встречающих людей. Вы создаете новое знание. Новое знание — это упорядоченное новое духовное образование. Опишите рождение нового знания с точки зрения представлений открытых систем.

**39.** Вы видели, как светится луч Солнца в даже очень чистом воздухе комнаты? В воздухе беспорядочно носится огромное количество пылинок, которые отражают и поглощают падающий на них свет, что мы и видим глазом. Казалось бы, это беспорядочное распределение пылинок может существовать неопределенно долго, но тем не менее постоянно наблюдается слой крупных пылинок, а в углу комнаты образуются комки пыли из самопроизвольно объединившихся мельчайших частиц. Опишите происходящее явление в соответствии с представлениями открытых систем и самоорганизации. Что происходит с пылинкой при поглощении одного или нескольких квантов света?

**40.** При каких условиях проходит реакция с положительным значением изобарного потенциала?

**41.** Предположим, вы рассчитали по уравнению изобарный потенциал реакции и получили, что он равен нулю. Что это означает?

**42.** Могут ли проходить реакции, у которых изменения энтальпии или энтропии равны нулю?

**43.** Рассчитайте молярную теплоемкость вещества с молярной массой  $M$ , если при нагревании  $m$  г вещества от  $t_1$  до  $t_2$  °C потребовалось  $Q$  кДж теплоты:

Вариант	$m$ , г	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$Q$ , кДж	$M$ , г/моль
а	19	40	10,2	2,3	150
б	18	50	11,3	3,5	200
в	21	55	12,5	4,1	250
г	23	60	12,8	4,9	300
д	25	62	13,1	5,4	350

**44.** В двух свето-, тепло- и звуконепроницаемых ящиках находятся: в одном — горящая свеча, в другом — кошка (мышь или другое теплокровное животное). Как узнать, в каком ящике что (кто) находится? Тепловые эффекты объектов одинаковы.

**45.** Почему человечество опасается последствий попадания на Землю вирусов из космического пространства и из исследовательских лабораторий?

**46.** И. Пригожин высказал мысль: «Мы можем общаться только с мирами, имеющими такое же направление времени». По-



чему? Представьте себе, что на Землю прилетел инопланетянин из мира с противоположным направлением времени. Как вы с ним будете общаться?

47. И. Пригожин в своей книге «Порядок из хаоса» замечает, что, не будь И. С. Баха, у нас не было бы «Страстей по Матфею», а теория относительности рано или поздно была бы создана и без А. Эйнштейна. Попробуйте проникнуть в эту замечательную мысль (ее высказал не сам Пригожин) и объяснить причину высказанного о творчестве Баха и Эйнштейна.

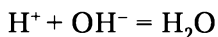
## 2.2. Лабораторные исследования

### Лабораторная работа 1.

#### Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации

Эту работу можно выполнять небольшой группой студентов (до четырех). Один студент размешивает жидкость мешалкой, если она не приводится в действие мотором, другой следит за секундомером и отмечает время отсчетов температуры, третий (с увеличительным стеклом) считывает показания термометра, которые записывает четвертый студент.

В эксперименте определяют изменение энтальпии при нейтрализации кислоты гидроксидом натрия. В водном растворе эти вещества, кроме воды, ведут себя как сильные электролиты, и уравнение реакции в сокращенном молекулярно-ионном виде записывается так:



Эксперимент можно выполнять с использованием различного оборудования — от обычных стаканов до калориметра с электрическим нагревателем.

Для измерения количества теплоты, выделяемой или поглощаемой в химической реакции или при прохождении физико-химического или биологического процесса, используются калориметры. Предложено много моделей калориметров для определения энтальпии реакции в растворе, поэтому приводится общее описание опыта. На рис. 2.1 приведена в общем виде схема калориметра.

Простейший калориметр состоит из двух стеклянных тонкостенных химических стаканов вместимостью 150–200 мл, вставляющихся один в другой с зазором между стенками 5–10 мм. Очень удобны стаканчики из пористой пластмассы (пенопласта), используемые для пищевых продуктов. На дно большого внешнего стакана положите теплоизолирующую прокладку (бумага, поролон, кусок пробки и т.п.) толщиной 4–6 мм.

В большой стакан вставьте малый, а между стенками расположите теплоизолирующие прокладки, чтобы стаканы не соприкасались.



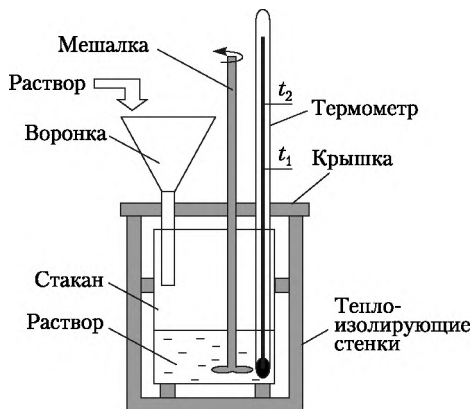


Рис. 2.1. Схема калориметра

лись. Стаканы закройте картонными или пенопластовыми крышками с отверстиями для воронки, термометра и проволоочной мешалки. На кончик термометра наденьте маленький кусочек резиновой трубки, чтобы термометр не касался дна стакана и его стенок. Вам потребуется обычный или электронный термометр для измерения температур в интервале  $+15...+30^{\circ}\text{C}$  с ценой деления, желательно,  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Объемы растворов зависят от вместимости внутреннего сосуда. Ниже приведены объемы растворов для стакана вместимостью 100–150 мл. Приготовьте 1 М раствор соляной кислоты и 5 М раствор гидроксида натрия. (Почему используется раствор гидроксида натрия столь высокой концентрации?) Отмерьте цилиндром 90 мл 1 М раствора соляной кислоты и вылейте во внутренний калориметрический сосуд. Закройте калориметр крышкой, в которую вставьте термометр, воронку и мешалку. Проверьте, как двигается мешалка, опущен ли термометр до дна стакана. В другой мерный цилиндр налейте 10 мл 5 М раствора гидроксида натрия. Подождите 5–10 мин, пока температуры растворов не сравняются.

Отметьте температуру раствора кислоты. Деление термометра ценой в  $0,1^{\circ}\text{C}$  на глаз или через увеличительное стекло разделите на 3–5 частей и запишите температуру с точностью до сотых долей градуса. Через воронку влейте раствор гидроксида в раствор кислоты и следите за столбиком термометра. Снимать показания термометра следует каждые 15 или 30 с. Начинайте отсчеты за 2–3 мин до сливания растворов и продолжайте еще 2–3 мин после достижения максимальной температуры. Постройте график «температура — время», по которому сможете определить изменение температуры вследствие выделения теплоты при реакции.

Рассчитайте тепловой эффект реакции. Объем раствора после сливания кислоты и щелочи стал равным 100 мл. Повышение тем-

пературы  $\Delta t$ , произошедшее за счет выделения теплоты нейтрализации, вы знаете. Теплоемкость раствора примите равной теплоемкости воды (1 калория — это количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 мл (г) воды на  $1^\circ\text{C}$  при обычных условиях,  $1 \text{ кал} = 4,184 \text{ Дж}$ ).

Рассчитав количество выделившейся теплоты, определите, к какому количеству образовавшейся воды оно относится. Напишите уравнение реакции. Вычислите количества (моль) кислоты и щелочи, внесенных в калориметрический стакан. Какое вещество было взято в избытке, какое в недостатке? По количеству какого вещества рассчитывается тепловой эффект в реакции нейтрализации?

Пересчитайте тепловой эффект реакции на 1 моль воды. Это и будет теплота нейтрализации. Чему равно изменение энтальпии в реакции нейтрализации? Перепишите уравнение реакции в противоположном направлении. Что показывает полученное уравнение? Каково изменение энтальпии в этой реакции?

Это было описание самого простого опыта, в котором не учитываются значительные поправки на теплообмен калориметра с окружением. Для приближения открытой системы к изолированной в качестве калориметрического сосуда можно воспользоваться сосудом Дьюара (бытовым термосом вместимостью 200–300 мл), представляющим собой стеклянный сосуд с двойными стенками, покрытыми изнутри тончайшим отражающим тепловое излучение зеркальным металлическим слоем с вакуумом между стенками.

Для повышения точности результатов калориметрического эксперимента его начинают с установления температурного хода калориметра в начальном периоде опыта. Для этого в течение нескольких минут до сливания растворов снимают каждые 30 с показания термометра, находящегося в жидкости калориметра. Желательно данные сразу наносить на график, используя горизонтальную ось для времени, а вертикальную — для температуры. Можно рекомендовать следующие масштабы осей: время — 1 мин на 1 см, температура —  $1^\circ\text{C}$  на 5 см.

Если в начале опыта температура изменяется равномерно или остается почти постоянной, то при перемешивании жидкости влейте через воронку вторую жидкость в калориметр. С этого момента начинается главный период опыта, во время которого из-за теплового эффекта реакции происходит резкое изменение температуры. Записывайте показания термометра каждые 15 с и сразу же наносите данные на график. По окончании реакции наступает конечный период эксперимента, при котором температурный ход калориметра становится снова равномерным. Продолжайте измерения температуры еще 5 мин.

Так как при проведении опыта теплота реакции частично тратится на нагревание сосуда, термометра, мешалки и т.п., следует

рассчитать поправки на потери теплоты реакции. Для этого определяют тепловое число калориметра — вводят в калориметр известное количество теплоты и по тому, насколько оно соответствует известному, вносят поправку на измеренный тепловой эффект реакции. Тепловое число калориметра может быть определено внесением в раствор навески кристаллического хлорида калия, теплота растворения которого в воде известна (тепловой эффект растворения 1 моль  $KCl$  в 1000 мл воды равен 17,3 кДж/моль).

Другой способ определения теплового числа калориметра состоит в том, что раствор нагревают, пропуская определенное количество электричества. Для этого в калориметр помещают нагреватель — согнутую кольцом стеклянную трубку с длинным вертикальным концом. В кольцевую часть трубки помещают нагревательную спираль (нихром, сопротивление — около 80 Ом, напряжение постоянного тока — 12–24 В) в изоляции, а подвод тока осуществляют проводниками в вертикальной части трубки нагревателя. Внутри нагревателя для повышения скорости отдачи теплоты наливают вазелин, глицерин или машинное масло.

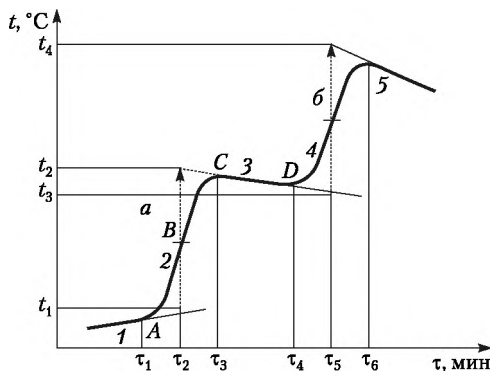
Тепловое число калориметра определяют сразу же после конечного периода эксперимента, который служит начальным периодом определения теплового числа калориметра. Включите постоянный (не переменный!) ток и секундомер и пропускайте ток в течение точно измеренного интервала времени (4–5 мин). Одновременно записывайте температуру раствора. Отключите ток и продолжайте записывать температуру — это будет конечный период определения теплового числа калориметра.

Типичный график эксперимента приведен на рис. 2.2. При расчете теплового эффекта реакции теплообмен калориметра учитывается следующим образом. Линию 1, изображающую температурный ход в начальном периоде, продолжите вправо, а линию 3, изображающую температурный ход в конечный период, продолжите влево. Интервал времени от  $\tau_1$  до  $\tau_3$  разделите пополам и из точки  $\tau_2$  проведите перпендикуляр до пересечения с первой продолженной линией и далее до второй. Отрезок  $AB$  показывает изменение температуры  $\Delta t$  при проведении калориметрического опыта. Таким образом, изменение температуры определяют графически:  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Точно так же находят изменение температуры  $\Delta t' = t_4 - t_3$  при определении теплового числа калориметра (отрезок  $CD$ ).

Количество теплоты  $q_{эл}$ , введенное в калориметр электрическим током, рассчитывают по формуле

$$q_{эл} = (U^2/r)\Delta t,$$

где  $U$  — измеренное (по возможности более точно) напряжение, В, постоянного тока, подаваемого на нагреватель;  $r$  — сопротивление нагревателя, Ом;  $\Delta t$  — время пропускания тока, с.



**Рис. 2.2. График изменения температуры раствора калориметра от времени для реакции с выделением теплоты:**

1 — начальный период опыта (температурный ход калориметра); 2 — главный период опыта; 3 — конечный период опыта и начальный период определения теплового значения калориметра; 4 — главный период определения теплового значения калориметра; 5 — конечный период определения теплового значения калориметра. Стрелка *a* — повышение температуры раствора при прохождении реакции с выделением теплоты; стрелка *б* — повышение температуры из-за введения в калориметр строго известного количества теплоты при определении теплового значения калориметра;  $t_1$  и  $t_2$  — температуры начала и конца главного периода опыта, вычисленные по графику;  $t_3$  и  $t_4$  — температуры начала и конца определения теплового значения калориметра

Рассчитаем то количество теплоты, которое соответствует повышению температуры калориметра на один градус. Для этого разделим  $q_{эл}$  на число градусов, соответствующее длине отрезка *CD* (определяется по графику):  $\Delta t' = t_4 - t_3$ . Это и будет тепловое число калориметра,  $\lambda$ :

$$\lambda = q_{эл} / \Delta t' = U^2 \Delta \tau / (r \Delta t').$$

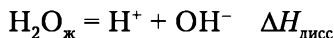
Умножив повышение температуры калориметрического опыта  $\Delta t = t_2 - t_1$  на тепловое число калориметра  $\lambda$ , получаем то количество теплоты, которое было произведено химической реакцией, —  $q$ :

$$q = \lambda \Delta t = U^2 \Delta \tau \Delta t / (r \Delta t').$$

Теперь следует узнать, какое вещество — кислота или основание — были взяты в недостатке. Для опыта было взято 250 мл 0,1 М раствора соляной кислоты (т.е.  $0,1 \cdot 250 / 1000 = 0,025$  моль HCl) и 10 мл 5 М раствора гидроксида натрия (т.е.  $5 \cdot 10 / 1000 = 0,05$  моль NaOH). Таким образом, соляная кислота была взята в недостатке.

В реакции участвовало 0,025 моля ионов водорода, что привело к образованию того же количества воды. Чтобы получить энтальпию нейтрализации с образованием 1 моля воды, полученное значение  $q$  следует умножить на 40 ( $1 / 0,025$ ). Каков знак энтальпии нейтрализации?

Рассчитайте энтальпии диссоциации воды на ионы водорода и гидроксид-ионы:



Эксперимент желательно выполнить, взяв различные варианты растворов, чтобы затем сравнить результаты разных групп.

### Лабораторная работа 2.

#### Опыты с растворами различных кислот и оснований

Студенты выполняют опыты с растворами различных кислот и оснований, как описано в работе 1, и, сравнивая результаты, объясняют, почему результаты экспериментов с различными кислотами и основаниями различаются, делают выводы о природе реагирующих веществ.

1. Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации азотной кислоты.

2. Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации серной кислоты.

3. Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации уксусной кислоты.

4. Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации гидроксида калия.

5. Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации гидроксида аммония.

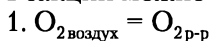
6. Калориметрическое измерение энтальпии реакции нейтрализации кислоты и основания, предлагаемых преподавателем

### Лабораторная работа 3.

#### Химическая реакция в открытой системе

В колбу емкостью 250 мл налейте 50 мл 2 %-ного раствора глюкозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  и 50 мл 2 %-ного раствора гидроксида натрия  $\text{NaOH}$ , добавьте несколько капель индикатора метиленового синего. Колбу плотно закройте резиновой пробкой. В другой колбе приготовьте точно такой же раствор, но колбу пробкой не закрывайте. После перемешивания растворов взбалтыванием они приобретает синюю окраску. Через некоторое время окраска исчезает, и бесцветный раствор после взбалтывания снова становится синим. Так может продолжаться несколько раз. В какой колбе реакция быстро прекратится и взбалтывание не приведет к изменению окраски?

Реакции можно представить следующими схемами:



2. Метиленовый синий (желтоватая окраска раствора) +  $\text{O}_{2\text{р-р}} \rightarrow$  метиленовый синий · кислород (синяя окраска раствора).

3. Метиленовый синий · кислород (синяя окраска раствора) + глюкоза → глюконовая кислота + метиленовый синий (желтоватая окраска раствора).

Докажите, что реакции по этой схеме возможны в открытой системе. Как создать стационарные условия в этой реакционной системе?

#### **Лабораторная работа 4.**

#### **Образование структур при нагревании жидкости**

Этот эксперимент покажет, что в неравновесных условиях в открытой системе градиенты температуры и гравитации приводят к самоорганизации и образованию структуры жидкости. Так как подобные структуры очень чувствительны к условиям их проведения, ячейки жидкости могут не образоваться или удержатся короткое время. Если вам удастся увидеть упорядоченные структуры, объясните, какими силами (химическая связь) образовались структуры. Почему лучше использовать минеральное масло, а не воду? Какие силы (химические) ответственны за образование структур? В какой жидкости — воде или минеральном масле — водородные связи сильнее?

1. На небольшую сковородку налейте масло слоем 0,5 см. В масло насыпьте мелкие алюминиевые опилки или алюминиевую пудру, порошки мела или талька. Перемешиванием равномерно распределите их по всей жидкости. Сковородку поместите на кристаллизатор (кастрюлю) с водой, так чтобы дно находилось в воде. Кристаллизатор поставьте на электрическую плитку и медленно нагревайте воду. При достижении некоторого критического градиента температуры в масле возникают вертикальные потоки и образуются ячейки Бенара.

2. Было бы интересным провести такое исследование, которое позволило бы определить, от каких факторов зависит размер ячейки.

3. Тот же опыт можно попытаться осуществить с водой. На электроплитку положите белую кафельную пластинку и на нее поставьте широкий стеклянный стакан, в который тонким слоем налейте воду. Добавьте в воду алюминиевую пудру или порошок мела или талька. Начните медленно нагревать воду и сверху наблюдайте за слоем воды в стакане.

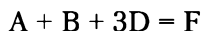
## Глава 3

# КИНЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

### 3.1. Практические задания

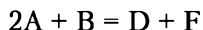
1. Увеличение концентрации вещества в два раза приводит к возрастанию скорости реакции в четыре раза. Каков порядок реакции по этому веществу?

2. При изучении скорости реакции в растворе



было обнаружено, что скорость реакции при увеличении концентрации вещества А в три раза не изменяется, не зависит от концентрации вещества В и возрастает в четыре раза при увеличении концентрации вещества D в два раза. Выведите кинетическое уравнение реакции. Укажите частные порядки реакции по компонентам и общий порядок реакции. Предскажите, как изменится скорость реакции при разбавлении раствора в два раза.

3. При изучении реакции



было обнаружено, что время  $t$  прохождения реакции зависит от концентраций  $C$  реагирующих веществ:

Вариант	$C_A$ , моль/л	$C_B$ , моль/л	$t$ , с
а	0,1	0,1	19
б	0,2	0,1	21
в	0,1	0,2	19
г	0,2	0,2	10

Выведите кинетическое уравнение реакции и рассчитайте время прохождения реакции при концентрациях веществ по 0,3 моль/л.

4. Рассчитайте, как изменится скорость газовых реакций при увеличении концентрации каждого реагирующего вещества в два раза, при увеличении общего давления в два и три раза:

Вариант	Реакция	Формула
а	$2\text{N}_2\text{O}_5 = 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$	$v = kC_{\text{N}_2\text{O}_5}$
б	$2\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$	$v = kC_{\text{N}_2\text{O}}^2$
в	$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$	$v = kC_{\text{NO}}^2 C_{\text{O}_2}$
г	$2\text{NO}_2 + 4\text{H}_2 = 4\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$	$v = kC_{\text{NO}_2}^2 C_{\text{H}_2}^4$
д	$2\text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_4$	$v = kC_{\text{NO}_2}^2$
е	$2\text{NO} + 2\text{H}_2 = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$v = kC_{\text{NO}}^2 C_{\text{H}_2}^2$

Обратите внимание, что в этом списке задач подобраны реакции с участием оксидов азота. Эти реакции интересны теоретически и важны для природных процессов, так как они протекают в земной атмосфере. Оксиды азота выбрасываются в атмосферу из двигателей автомобилей и самолетов, заводами по производству азотной кислоты, азотных удобрений и некоторых пластмасс. Избыток азотных удобрений в почве приводит к увеличению концентрации оксидов азота в атмосфере. Оксиды азота, проникая в верхние слои атмосферы, реагируют с озоном, уменьшая его концентрацию. Оксиды азота в нижних слоях атмосферы опасны для природы и человека.

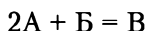
5. Определите изменение скорости простых (элементарных) газовых реакций при увеличении давления: 1) в 2 и 2) в 2,5 раза:

Вариант	Уравнение реакции	Вариант	Уравнение реакции
а	$\text{H}_2 + \text{OH} = \text{H}_2\text{O} + \text{H}$	д	$\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2$
б	$2\text{NO} + \text{Cl}_2 = 2\text{NOCl}$	е	$\text{O}_2 + \text{H} = \text{OH} + \text{O}$
в	$\text{H} + \text{Cl} = \text{HCl}$	ж	$\text{Cl}_2 + \text{H} = \text{HCl} + \text{Cl}$
г	$\text{NO} + \text{O} = \text{NO}_2$	з	$\text{H}_2 + \text{O} = \text{OH} + \text{H}$

6. При увеличении концентрации вещества в  $x$  раз скорость реакции возросла в  $y$  раз. Каков порядок реакции? Как изменится скорость реакции, если концентрацию вещества увеличить в 3,5 раза?

Вариант	$x$	$y$	Вариант	$x$	$y$
а	1,3	2,4	г	0,8	1,3
б	2,4	3,1	д	3,2	1,9
в	1,7	2,5	е	4,5	1,2

7. Рассчитайте частный порядок по веществу А в реакции



если при увеличении концентрации вещества А в  $y$  раз скорость реакции изменилась в  $v$  раз. Напишите кинетическое уравнение реакции. Концентрацию вещества В примите постоянной.

Как изменится скорость реакции при увеличении концентрации вещества А в два раза?



Вариант	$C_A$	$\gamma$	Вариант	$C_A$	$\gamma$
а	1,6	2,3	е	3,2	2,1
б	4,2	0,4	ж	1,1	1,7
в	2,7	0,5	з	4,9	3,3
г	5,1	7,6	и	1,1	2,5
д	1,9	3,1	к	1,7	2,3

8. Рассчитайте частные порядки по веществам А и Б в водном растворе для реакции



если при изменении концентрации (моль/л) по отдельности вещества А от  $C_{A1}$  до  $C_{A2}$  и вещества Б от  $C_{B1}$  до  $C_{B2}$  скорость реакции  $v$  изменилась соответственно в указанное число раз:

Вариант	$C_{A1}$	$C_{A2}$	$v_{A2}/v_{A1}$	$C_{B1}$	$C_{B2}$	$v_{B2}/v_{B1}$
а	0,021	0,033	5,1	0,044	0,031	5,1
б	0,034	0,081	0,1	0,019	0,045	9,4
в	0,052	0,094	9,1	0,094	0,081	7,5
г	0,081	0,049	7,6	0,026	0,061	4,4
д	0,044	0,082	3,1	0,009	0,049	0,1
е	0,019	0,061	0,4	0,051	0,091	4,4
ж	0,026	0,045	3,3	0,045	0,052	1,5
з	0,009	0,021	2,5	0,049	0,082	1,9
и	0,011	0,051	2,3	0,086	0,054	5,1

Напишите кинетическое уравнение реакции. Как изменится скорость реакции при увеличении концентрации каждого вещества в два раза? Если предположить, что реакция проходит в газовой фазе, как изменится скорость реакции при увеличении общего давления в два раза?

9. Как изменится скорость реакции между водородом и кислородом на катализаторе (кристаллическом оксиде кадмия), которая описывается кинетическим уравнением

$$v = k p H_2^{0,4} \cdot p O_2^{0,3},$$

при увеличении давления каждого компонента в два раза?

10. Разложение некоторого вещества протекает по реакции первого порядка с периодом полураспада (полураспада)  $\tau_{1/2}$ . Начальное количество вещества —  $m$  г (кг). Рассчитайте, сколько вещества останется через время  $t$ , если:

Вариант	$\tau_{1/2}$	$m$	$t$	Вариант	$\tau_{1/2}$	$m$	$t$
а	11 дн	4 г	2 мес	е	25 лет	14 кг	3 мес
б	12 дн	6 г	3 ч	ж	27 лет	16 кг	2 века
в	14 дн	8 г	4 года	з	29 лет	19 кг	4 тысячелетия
г	18 дн	8 г	6 лет	и	300 лет	22 кг	2 мес
д	21 год	11 кг	6 дн	к	400 лет	26 кг	10 мес

**11.** Радиоактивность природных вод в основном вызвана присутствием в них естественных радиоактивных изотопов калия, радона, радия, урана и некоторых искусственных, образовавшихся при ядерных взрывах и авариях. Их периоды полураспада  $\tau_{1/2}$  составляют:

Вариант	Изотоп	$\tau_{1/2}$	Вариант	Изотоп	$\tau_{1/2}$
а	$^{40}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9$ лет	г	$^{226}\text{Ra}$	1600 лет
б	$^{222}\text{Rn}$	3,8 сут	д	$^{90}\text{Sr}$	28,7 года
в	$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет	е	$^{137}\text{Cs}$	30,2 года

Как изменится содержание каждого вещества (нуклида) в образце воды через указанное ниже число лет (для каждого варианта): 1) 1 год; 2) 100 лет; 3)  $10^3$  лет; 4)  $10^5$  лет?

Какие изотопы наиболее опасны для человека? Распределите их названия в порядке понижения опасности по вариантам от а до е. Расскажите о последствиях для человека действия каждого изотопа.

Почему особенно опасны зараженные цезием-137 овощи, ягоды и грибы?

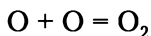
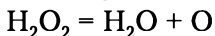
**12.** Обнаруженные археологами останки мамонта показали 0,80 распадов в минуту в расчете на 1 г углерода (смесь  $^{14}_6\text{C}$  и  $^{12}_6\text{C}$ ). Углерод, полученный из живого растения, показывает 15,3 распада в минуту. Рассчитайте, сколько времени мамонт пролежал в почве, если период полураспада  $^{14}_6\text{C}$  составляет 5570 лет.

**13.** В 1991 г. в Альпах во льду альпинистами на высоте 3000 м был найден замерзший человек, которого назвали Эцци Семилаунский (Эцци — местное тирольское название отрога Альп, Семилаун — название ледника). Предполагают, что это было тело альпийского пастуха, который замерз в горной расщелине. Исследования, проведенные радиоуглеродным методом в нескольких европейских лабораториях, показали, что в пересчете на 1 г углерода в останках происходит от 8,3 до 9,2 распадов  $^{14}_6\text{C}$  в минуту. Известно, что 1 г углерода (смесь  $^{14}_6\text{C}$  и  $^{12}_6\text{C}$ ), свежевыделенный из живого организма, испускает 16  $\beta$ -частиц (электронов) в 1 мин и период полураспада изотопа составляет 5570 лет. Когда этот человек погиб во льдах Альп? В расчете примите число распадов останков равным 8,8.

**14.** При исследовании вина было обнаружено, что его активность по тритию составляет 0,1 активности природной воды. Период полураспада трития равен 12,26 лет. Каков возраст вина?

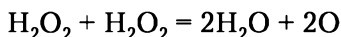
**15.** Период биологического полураспада некоторого лекарства в организме человека равен 32 ч. Человек принял 20 мг препарата. Сколько препарата осталось в организме через: а) 10 часов; б) 1 сутки; в) 1 месяц; г) 50 лет?

**16.** Можно предположить, что разложение пероксида водорода проходит по двум последовательным реакциям:



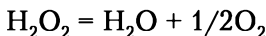
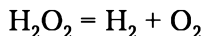
Общая скорость реакции описывается кинетическим уравнением реакции первого порядка. Какая стадия должна считаться лимитирующей (медленной) стадией? Напишите кинетическое уравнение процесса.

Также можно предположить, что реакция разложения пероксида водорода проходит благодаря столкновениям молекул пероксида, т.е. по стадиям



Почему этот механизм реакции разложения пероксида водорода сомнителен?

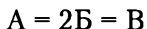
17. Реакция разложения пероксида водорода может быть выражена уравнениями



Вычислите термодинамические характеристики этих реакций и сделайте вывод о возможности их прохождения. Какая из этих параллельных реакций будет определять скорость реакции? Исходные данные:

Вещество	$\Delta H_{\text{обр, 298}}$ , кДж/моль	$S_{298}$ , Дж/(К·моль)
$\text{H}_{2\text{г}}$	0	130,5
$\text{O}_{2\text{г}}$	0	205,0
$\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$	-285,8	70,1
$\text{H}_2\text{O}_{2\text{ж}}$	-187,8	109,5

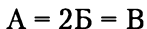
18. В последовательной реакции, состоящей из двух стадий,



энергия активации реакции  $\text{A} = 2\text{B}$  больше энергии активации реакции  $\text{B} = \text{B}$ .

Укажите лимитирующую стадию. Какая реакция определяет порядок реакции в целом? Каков порядок этой реакции?

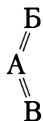
19. В последовательной реакции



энергия активации реакции  $\text{A} = 2\text{B}$  меньше энергии активации  $\text{B} = \text{B}$ .

Укажите лимитирующую стадию. Какая реакция определяет порядок реакции в целом? Каков порядок этой реакции?

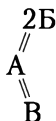
20. В параллельной реакции



энергия активации реакции  $\text{А} = \text{Б}$  намного выше энергии активации реакции  $\text{А} = \text{В}$ .

Какое вещество образуется в большем количестве по истечении некоторого времени? Какая реакция будет определять порядок реакции в целом? Каков будет порядок этой реакции?

21. В параллельной реакции



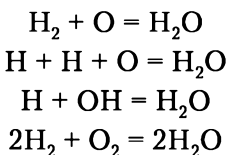
энергия активации реакции  $\text{А} = 2\text{Б}$  намного выше энергии активации реакции  $\text{А} = \text{В}$ . Какое вещество образуется в большем количестве по истечении некоторого времени? Какая реакция будет определять порядок реакции в целом? Каков будет порядок этой реакции?

22. Типичным примером цепной реакции может служить взрывоподобное взаимодействие хлора с водородом, начинающееся при освещении смеси водорода и хлора. Предскажите, с какой молекулы, водорода или хлора, начинается реакция зарождения цепи в смеси водорода и хлора, если энергии (энтальпии) их связи равны: для  $\text{H}_2$   $\Delta H_{\text{св}} = 432$  кДж/моль; для  $\text{Cl}_2$   $\Delta H_{\text{св}} = 243$  кДж/моль.

Напишите уравнения реакций продолжения цепи. Почему среди реакций не обнаружены реакция между атомами водорода и хлора и реакция между молекулами водорода и хлора?

23. Почему при введении в смесь водорода и хлора ничтожно малого количества паров натрия начинается зарождение цепи и процесс протекает взрывоподобно?

24. Почему среди многочисленных реакций процесса образования воды из простых веществ не обнаружены реакции



25. Стеклянная трубка с одного конца закрыта ватным тампоном, смоченным раствором аммиака, а с другого конца — тампоном, смоченным раствором соляной кислоты (водный раствор хлороводорода  $\text{HCl}$ ). Предскажите, на каком расстоянии (относительно) от одного из концов трубки на стенке образуется кольцо осевших кристалликов хлорида аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

26. При температуре  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) реакция протекает за время  $\tau_1$ , при температуре  $t_2$  — за время  $\tau_2$ . Вычислите: 1) энергию активации реакции; 2) время прохождения реакции при температуре  $t_3$ :

Вариант	$t_1, ^{\circ}\text{C}$	$\tau_1$	$t_2, ^{\circ}\text{C}$	$\tau_2$	$t_3, ^{\circ}\text{C}$
а	10	30 с	25	15 с	15
б	5	2 ч	25	50 мин	10
в	25	1 сут	40	15 ч	30
г	30	55 мин	15	1 ч 40 мин	20
д	55	1 ч	20	1 ч 25 мин	40
е	10	35 с	25	10 с	15
ж	15	3 ч	30	1 ч 15 мин	20
з	40	2 сут	25	3 сут 10 ч	30
и	30	1,5 ч	15	4 ч	20
к	20	2 ч	35	55 мин	25

27. При повышении температуры на  $20^{\circ}\text{C}$  скорость реакции возросла в 6,9 раза. Вычислите энергию активации при средней температуре  $300\text{ K}$ .

28. Подумайте, когда и как вы могли бы рассчитать энергию активации своей сердечной мышцы.

29. Ниже приведены вязкости ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ) некоторых жидкостей (растворителей) при двух температурах:

Вариант	Вещество	$0^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C}$
а	Вода $\text{H}_2\text{O}$	0,179	0,101
б	Бензол $\text{C}_6\text{H}_6$	0,091	0,065
в	Этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	0,178	0,119
г	Глицерин $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	1210	150

Рассчитайте энергию активации вязкого течения жидкостей и вязкость при некоторой промежуточной температуре, например  $15^{\circ}\text{C}$  (интерполяция), и при какой-либо более высокой  $t > 20^{\circ}\text{C}$  и низкой температуре  $t < 0^{\circ}\text{C}$  (экстраполяция).

В чем состоит причина столь сильного различия жидкостей по их вязкости? Почему при повышении температуры вязкость жидкостей понижается? Одинаково ли влияние температуры на вязкость различных жидкостей? Можно ли пользоваться чистым глицерином в качестве антифриза?

30. На этикетке консервированного обеда написано: «Сроки хранения: при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  — 12 месяцев, при  $-6^{\circ}\text{C}$  — 5 суток, при  $+5^{\circ}\text{C}$  — 24 часа». Как вы считаете, эти числа получены научным исследованием или на основе опытных данных? Рассчитайте срок хранения консервированного обеда при  $-10^{\circ}\text{C}$ .

**31.** На упаковке пельменей указаны сроки хранения: при температуре не выше  $-15^{\circ}\text{C}$  — не дольше 180 сут, при температуре не выше  $5^{\circ}\text{C}$  — не более 48 ч. Рассчитайте с использованием уравнения Аррениуса срок хранения при температуре  $10^{\circ}\text{C}$ .

**32.** При температуре  $17^{\circ}\text{C}$  сердце лягушки совершает 30 сокращений за 1 мин, а при  $27^{\circ}\text{C}$  — 60 сокращений за 1 мин. Вычислите энергию активации сокращения сердечной мышцы лягушки. Какова частота сокращений сердца лягушки при:

- а)  $15^{\circ}\text{C}$  (экстраполяция);
- б)  $20^{\circ}\text{C}$  (интерполяция);
- в)  $25^{\circ}\text{C}$  (интерполяция);
- г)  $30^{\circ}\text{C}$  (экстраполяция)?

**33.** Денатурация (изменение структуры) некоторого вируса является процессом первого порядка с энергией активации  $630 \text{ кДж/моль}$ . Период полураспада вируса при температуре  $30^{\circ}\text{C}$  равен 5 ч. Вычислите период полураспада при температуре  $34^{\circ}\text{C}$ .

**34<sup>1</sup>.** Вычислите константу равновесия по известному значению изобарного потенциала при стандартной температуре и при  $200^{\circ}\text{C}$ :

Вариант	$\Delta G_{298}^{\circ}$ , кДж	Вариант	$\Delta G_{298}^{\circ}$ , кДж
а	-10 000	д	10
б	-1000	е	100
в	-100	ж	1000
г	-10	з	10 000

Каково изменение константы равновесия при изменении величины изобарного потенциала в 10 раз?

**35.** Воспользовавшись величинами  $\Delta H_{\text{обр}, 298}^{\circ}$  и  $S_{\text{обр}}^{\circ}$  веществ в реакционной системе, рассчитайте  $\Delta H_{\text{р-ции}}^{\circ}$ ,  $\Delta S_{\text{р-ции}}^{\circ}$ ,  $\Delta G_{\text{р-ции}}^{\circ}$  и константу равновесия при стандартной температуре и при  $200^{\circ}\text{C}$ . Термодинамические данные веществ приведены в гл. 10. Составьте уравнение реакции, не забудьте о стехиометрических коэффициентах и единицах измерения! Все вещества газообразны. Как влияет изменение температуры и давления на смещение равновесия и константу равновесия?

Вариант	Вещества	Вариант	Вещества
а	$\text{O}_2, \text{O}_3$	е	$\text{SO}_2, \text{SO}_3, \text{O}_2$
б	$\text{H}_2\text{S}, \text{SO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_2$	ж	$\text{H}_2, \text{HCl}, \text{Cl}_2$
в	$\text{CO}, \text{CO}_2, \text{O}_2$	з	$\text{S}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{SO}_2, \text{H}_2\text{O}$
г	$\text{NH}_3, \text{H}_2\text{O}, \text{NO}, \text{O}_2$	и	$\text{O}_3, \text{H}_2\text{S}, \text{SO}_2, \text{H}_2\text{O}$
д	$\text{H}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_2$	к	$\text{O}_2, \text{H}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{H}_2\text{O}$

<sup>1</sup> Эта и следующая задачи относятся к термодинамическому изучению реакций, но так как константа равновесия выводилась кинетическим методом, задачи помещены в эту главу.

36. При концентрации  $C_1$  одного из компонентов химической реакции она прошла до некоторого состояния за время  $t_1$  и при концентрации  $C_2$  — до того же состояния за время  $t_2$ . Рассчитайте порядок реакции по этому компоненту. Точно так же предложите порядок реакции по второму компоненту.

37. При температуре  $t_1^\circ\text{C}$  реакция прошла до некоторого состояния за время  $\tau_1$  и при  $t_2^\circ\text{C}$  — до того же состояния за время  $\tau_2$ . Какова энергия активации реакции?

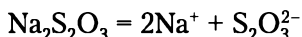
38. Воспользовавшись результатами задач 36 и 37, составьте уравнение зависимости скорости реакции от концентрации компонентов и от температуры.

## 3.2. Лабораторные исследования

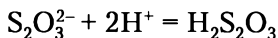
### Лабораторная работа 1.

#### Зависимость скорости разложения тиосульфат-иона от концентраций реагирующих веществ

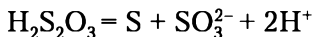
Зависимость скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ и определение порядка реакции можно изучить на примере разложения тиосульфат-иона  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  в кислотной среде. При растворении в воде тиосульфата натрия (гипосульфита) соль разлагается на ионы натрия и тиосульфат-ионы:



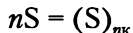
В кислотной среде (в раствор добавляется серная кислота) тиосульфат-ионы переходят в слабую тиосерную (дисерную) кислоту:



Тиосерная кислота неустойчива и распадается на серу и сульфит-ион  $\text{SO}_3^{2-}$ :



Образовавшиеся атомы серы объединяются в кристаллические зародыши, из которых постепенно образуется суспензия серы (которая скрывает черную полоску на стенке пробирки), и далее выпадает ее осадок:



Три последовательные реакции протекают с различными скоростями. Первая реакция проходит очень быстро, вторая — медленно, и еще медленнее протекает третья реакция. Третья реакция — это лимитирующая стадия общего процесса образования суспензии серы. Скорость этой стадии зависит от концентрации серы в растворе, которая определяется концентрацией тиосерной кислоты, зависящей от концентраций ионов водорода и тиосульфат-ионов. Таким

образом, в данном эксперименте определяется зависимость скорости образования суспензии серы от концентрации этих ионов.

Составьте уравнения окисления и восстановления рассмотренных реакций.

Мы будем изучать скорость разложения слабой тиосерной кислоты  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , определяя ее по количеству образовавшейся серы, которая придаст раствору мутность и непрозрачность. Скорость разложения тиосерной кислоты зависит от ее концентрации в растворе, которая связана с концентрациями тиосульфат-иона  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  и иона водорода  $\text{H}^+$ . Установление зависимости скорости разложения тиосерной кислоты от концентрации ионов  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  и  $\text{H}^+$  — это цель настоящего исследования.

Скорость реакции экспериментально определяют по времени помутнения раствора вследствие образования мельчайших частиц кристаллической серы. Для этого можно воспользоваться следующим приемом: на наружную стенку пробирки наносится масляной краской черная вертикальная полоска.

При проведении опытов, если смотреть на полоску через раствор, ее изображение исчезает из-за помутнения раствора от образовавшихся частиц серы. Отмечая время, в течение которого сквозь непрерывно мутнеющий раствор становится невозможно разглядеть полоску, получаем сведения о скорости реакции разложения тиосерной кислоты и ее зависимости от концентраций иона водорода и тиосульфат-иона.

Вместо пробирок можно взять маленькие стаканчики, колбочки и даже аптечные пузырьки, но ниже мы будем обсуждать эксперимент, предполагая, что работаем с пробирками.

Для эксперимента желательно подобрать две пробирки одинаковой длины и таких размеров, чтобы пробирка меньшего диаметра свободно входила в другую пробирку. Это нужно для того, чтобы после выливания раствора из меньшей пробирки в раствор в большей пробирке можно было бы вставить меньшую пробирку в большую для перемешивания раствора (но так, чтобы раствор не выталкивался наружу из внешней пробирки). Помните: черная полоска нанесена на наружную стенку большей пробирки.

Приготовьте по 50 мл 0,2 М растворов тиосульфата натрия и серной кислоты. Рассчитайте, как приготовить такие растворы (формула кристаллического тиосульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).

Воспользовавшись пипеткой или маленьким мерным цилиндром, налейте в пробирку с полоской 4 мл приготовленного раствора тиосульфата натрия. В меньшую пробирку другой чистой пипеткой или цилиндром — столько же приготовленного раствора серной кислоты. Поставьте пробирки в штатив для пробирок и подождите 3–4 мин, чтобы в растворах установилась одинаковая комнатная температура.



Затем в большую пробирку к раствору тиосульфата натрия прилейте раствор серной кислоты из меньшей пробирки и сразу вставьте эту пробирку в большую, чтобы перемешать растворы (если вам не удалось подобрать двух таких пробирок, перемешайте раствор стеклянной палочкой).

После перемешивания растворов включите секундомер или отметьте время начала реакции по показаниям секундной стрелки часов. Непрерывно смотрите сквозь раствор на полоску и, когда она перестанет просматриваться через мутный раствор, отметьте это время. В этот момент реакция еще не закончится, а пройдет только до определенного предела, который мы отмечаем, чтобы судить о скорости реакции.

Тщательно промойте пробирки. Следует удалить со стенки пробирки остатки серы, которые ускоряют процесс и приведут к неправильным результатам.

Далее повторите опыт с постоянной концентрацией серной кислоты и изменяющейся концентрацией раствора тиосульфата натрия. Уменьшите концентрацию тиосульфата натрия в два раза. Для этого в большую пробирку налейте пипеткой 2 мл приготовленного раньше 0,2 М раствора тиосульфата натрия и 2 мл дистиллированной воды. Далее поступайте, как было сказано выше. Определите и запишите время прохождения реакции.

Снова повторите опыт, но с концентрацией тиосульфата натрия, в три раза меньшей начальной (возьмите ~1,33 мл раствора тиосульфата и ~2,67 мл воды). Желательно провести опыты с концентрациями тиосульфата в четыре и пять раз меньше начальной.

Составьте таблицу, в которую внесите все полученные данные. Пример таблицы:

№	Концентрация раствора тиосульфата натрия, моль/л	Концентрация раствора серной кислоты, моль/л	Время $t$ , с	Относительная скорость $1/t$ , с <sup>-1</sup>
1	0,2	0,2		
2	0,1	0,2		
3	0,067	0,2		
4	0,05	0,2		
5	0,04	0,2		

Постройте график зависимости времени реакции от концентрации тиосульфат-иона (тиосульфата натрия). Постройте графики «концентрация — время» и «относительная скорость — время». Рассчитайте порядок реакции по тиосульфат-иону.

Повторите эксперимент, сохраняя концентрацию тиосульфата натрия постоянной и изменяя концентрацию серной кислоты. Эта часть эксперимента (и обработка ее результатов) проводится точно так же, как и предыдущая.

На основании найденных порядков по тиосульфат-иону и иону водорода напишите кинетическое уравнение реакции. Имейте в виду, что порядки реакции могут быть дробными числами! Предскажите, как изменится скорость реакции при разбавлении раствора в 2,5 раза.

## **Лабораторная работа 2.** **Зависимость скорости реакции от температуры**

Зависимость скорости реакции от температуры изучают на примере разложения тиосерной кислоты точно так же, как при изучении зависимости скорости той же реакции от концентраций реагирующих веществ. Отличие состоит в том, что при постоянных концентрациях реагирующих веществ изменяется температура раствора.

Если в лаборатории нет специального прибора для поддержания постоянной температуры, называемого термостатом, можно воспользоваться сосудом, в который налита вода с известной температурой. Возьмите кристаллизатор или любой стеклянный сосуд с не слишком низкими стенками (8—10 см). Придумайте приспособление, которое не позволит пробиркам падать и переворачиваться, когда их опускают в воду. В этот сосуд налейте воду комнатной температуры. Будем считать, что температура воды сохраняется в течение опыта постоянной, т.е. сосуд с водой будет играть роль термостата. В воду следует поместить термометр. Можно воспользоваться даже обычным термометром для измерения температуры воздуха.

Налейте в пробирки по 4 мл 0,1 М растворов тиосульфата натрия и серной кислоты. Поместите пробирки в воду термостата, через 3—4 мин измерьте и запишите температуру воды. Будем считать, что растворы в пробирках имеют температуру воды термостата. Быстро вылейте раствор малой пробирки в пробирку с полоской, перемешайте растворы и начните отсчет времени. Отметьте время «исчезновения» полоски. Промойте пробирки и налейте в них те же растворы.

Заранее нагрейте в колбе воду почти до кипения и медленно и осторожно при энергичном перемешивании приливайте горячую воду в сосуд с водой, пока температура воды не достигнет температуры, примерно на 10°C выше комнатной. Поместите в эту теплую воду пробирки с растворами на 5—7 мин. Измерьте еще раз температуру воды, слейте растворы пробирок, перемешайте их и определите время «исчезновения» полоски.

Во сколько раз быстрее прошла реакция при повышении температуры на 10°C? Попадает ли это число в интервал значений изменения скорости реакции в соответствии с правилом Вант-Гоффа?

Повысьте температуру еще примерно на 10°C. По термометру установите ее с погрешностью 0,1°C и определите время прохожде-

ния реакции при новой температуре. Повысьте температуру еще на то же число градусов.

Составьте таблицу с результатами эксперимента. Постройте графики зависимостей «время реакции — температура» и «скорость реакции (обратное время) — температура». Определите продолжительность прохождения реакции при некоторых промежуточных температурах.

Рассчитайте энергию активации этой реакции в разных температурных интервалах. Зависит ли энергия активации от температуры?

Объедините уравнения зависимости скорости реакции от концентраций ионов и от температуры в одно уравнение.

### **Лабораторная работа 3.**

#### **Каталитический распад тиосульфат-иона**

Реакция разложения тиосульфат-иона  $S_2O_3^{2-}$  в кислотном растворе ускоряется при введении сульфата меди. Воспользуйтесь 1 М раствором сульфата меди. Сначала определите время прохождения реакции («исчезновения» полоски на пробирке) при концентрациях веществ в растворе тиосульфата натрия и серной кислоты, при которых реакция проходит не слишком быстро, например при концентрациях 0,1 М.

Затем проведите при той же температуре опыт, но добавив в раствор 1 каплю раствора сульфата меди и перемешав раствор. Повторите опыты с добавлением 2, 3, 4 или 5 капель раствора сульфата меди. Составьте таблицу с результатами опыта. Постройте график «время реакции — число капель». Можно ли по полученным данным определить порядок реакции по сульфату меди? Составьте уравнения реакций окисления и восстановления.

1. Проведите небольшое научное исследование, цель которого заключается в том, чтобы узнать, какой ион ускоряет реакцию — ион меди или сульфат-ион.

2. Интересно было бы узнать, какие другие ионы ускоряют реакцию распада тиосульфат-иона.

### **Лабораторная работа 4.**

#### **Каталитическое горение сахарозы**

Попытайтесь поджечь кусок сахара спичкой или пламенем газовой горелки. Вряд ли вам это удастся сделать. Насыпьте на поджигаемую поверхность сахара щепотку пепла от сигареты и снова подожгите сахар. Он загорится и будет гореть слабым синеватым пламенем. Напишите уравнение реакции (сахар в основном состоит из сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ). Каковы уравнения реакций окисления и восстановления?

Горение объясняют тем, что в пепле содержится некоторое вещество, катализирующее реакцию кислорода с расплавленным са-

харом. Предполагают, что это ионы лития. Этот эксперимент может служить одним из многочисленных доказательств огромного вреда курения для организма. (Будет ли гореть сахарная пудра?)

1. Предположение о ионах лития следует проверить. Самостоятельно составьте программу исследования. Какие другие вещества ускоряют горение сахара?

### **Лабораторная работа 5. Автокаталитическая реакция**

Налейте в две пробирки по 5–10 мл 1 М раствора щавелевой кислоты  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  и подкислите 2–3 мл разбавленной серной кислоты. В одну пробирку прилейте около 5 мл 0,1 М раствора перманганата калия. В другую пробирку прилейте столько же раствора перманганата калия и 2–3 мл 0,1 М раствора соли марганца ( $\text{MnCl}_2$  или  $\text{MnSO}_4$ ). Объясните различие в скоростях реакций. Составьте уравнения реакций окисления, восстановления и общей. Какие вещества образуются из ионов  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  и  $\text{MnO}_4^-$ ?

### **Лабораторная работа 6. Колебательные реакции**

Опыт очень капризен, и его обычно показывают на лекции, но попытайтесь провести в лаборатории. Мы советуем нескольким интересующимся химией студентам тщательно подготовиться к эксперименту, заранее проверить, будет ли реакция проходить, и затем показать ее группе.

**1. Первый вариант опыта** — реакция с малоновой кислотой  $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ , пероксидом водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , иодат-ионами  $\text{IO}_3^-$ , ионами марганца  $\text{Mn}^{2+}$  в качестве катализатора и в присутствии крахмала и серной кислоты.

Приготовьте следующие растворы.

Раствор 1. В мерный цилиндр налейте 16 мл 30%-ного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  и добавьте дистиллированную воду до объема 40 мл.

Раствор 2. В стакане растворите в воде при нагревании 0,1 г крахмала, 0,6 г малоновой кислоты и 0,14 г  $\text{MnSO}_4$  и долейте воды до 40 мл. (Зачем используется крахмал?)

Раствор 3. В колбу на 250 мл влейте 40 мл воды и 0,5 мл концентрированной серной кислоты (плотность 1,84 г/мл) и внесите в раствор 1,7 г  $\text{KIO}_3$ .

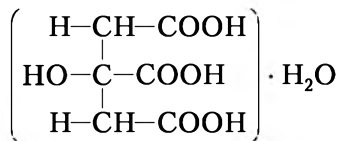
Быстро в колбу с раствором 3 влейте при перемешивании растворы 1 и 2. Через несколько секунд раствор окрашивается в желтый цвет, затем окраска переходит в темно-синюю, после чего раствор обесцвечивается и затем желтеет и т.д. Если вы отольете часть раствора в плоскую чашку (чашку Петри), то будет наблюдаться периодическое изменение цвета в различных местах чашки. Пери-

од колебаний зависит от концентрации растворов и температуры. Реакцию иногда не удается провести<sup>1</sup>.

Составьте уравнения реакций окисления, восстановления и общей.

**2. Второй вариант опыта** проводится с лимонной кислотой  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ , окислителем броматом калия  $KBrO_3$  и солями церия(IV) в качестве катализатора.

Формула лимонной кислоты:



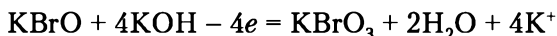
В 10 мл горячей воды растворите 4 г лимонной кислоты и внесите в раствор 1,7 г бромата калия  $KBrO_3$ . После полного растворения соли в этот раствор прилейте раствор соли церия и перемешайте. Должна появиться светло-желтая окраска, которая через 15–40 с сменится на темно-коричневую, затем снова на светло-желтую и т.д. Такое изменение может продолжаться 2–5 мин (в зависимости от температуры), после чего раствор мутнеет, начинается выделение пузырьков углекислого газа, и реакция затухает.

Можно воспользоваться другим рецептом: 2 г лимонной кислоты растворите в 6 мл воды, в раствор внесите 0,2 г бромата калия  $KBrO_3$  и 0,7 мл концентрированной серной кислоты. В 3 мл воды растворите 0,04 г перманганата калия  $KMnO_4$  и слейте оба раствора.

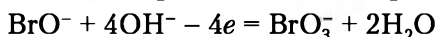
Для получения солей церия (всего 0,03–0,05 г) возьмите два кремня для зажигалок и растворите их в 10–12 мл разбавленной (1:2) серной кислоты. Состав кремня: 66% церия, 8% лантана, 25% железа, по 0,5% меди и магния.

Если в раствор добавить фенантролин железа, бесцветный раствор, содержащий  $Ce^{3+}$ , приобретет красную окраску, а желтый раствор с ионами  $Ce^{4+}$  станет синим. Ускоряют реакцию также ионы марганца.

Бромат калия  $KBrO_3$  можно получить электролизом (электроды — нержавеющая сталь) при температуре 50–70°C раствора бромида калия 450 г на 1 л раствора. Сначала при электролизе образуются гидроксид калия (точнее, ионы  $K^+$  и  $OH^-$ ) и бром  $Br_2$ , которые далее претерпевают следующие взаимодействия:



Уравнения в сокращенном виде:



<sup>1</sup> Подробнее см. в журнале «Химия в школе» (1984. № 9. С. 56–57).

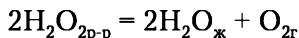
Выпавшие кристаллы  $\text{KBrO}_3$  отфильтровывают и промывают дистиллированной водой (для получения более чистого препарата соль перекристаллизовывают). Получается около 350 г бромата калия. Рассчитайте количество бромата калия, которое потребуется для приготовления раствора в соответствии с вместимостью имеющегося электролизера. Обращаться с броматом калия следует очень осторожно — он вызывает воспламенение некоторых органических веществ.

### Лабораторная работа 7.

#### Каталитическое разложение пероксида водорода

Цль данного опыта — изучить скорость разложения пероксида водорода в водном растворе и доказать, что эта реакция проходит как реакция первого порядка. Обработка результатов эксперимента применима для реакций первого порядка, часто встречающихся в природе.

Пероксид водорода неустойчив и самопроизвольно распадается:



Реакция ускоряется многими веществами, например диоксидом марганца, перманганатом калия, дихроматом калия и др.

В эксперименте используется прибор для измерения объема выделяющегося газа (см. рис. 1.1). Напомним, что прибор состоит из бюретки на 50—100 мл, двухколенной пробирки, трубки или делительной воронки, служащей уравнильным сосудом, той же вместимости, что и бюретка. Прибор крепится на металлическом штативе, который устанавливается плитой внутрь на крае стола, чтобы соединительная резиновая трубка свободно свисала вниз, а не лежала на столе. Для удобства и повышения точности отсчета бюретку расположите как можно ближе к уравнильному сосуду и так, чтобы нулевое деление бюретки находилось примерно на уровне ваших глаз.

На рис. 1.1, а показан прибор до начала опыта. Не соединяя прибор с двухколенной пробиркой, налейте через уравнильный сосуд воду в прибор так, чтобы ее уровень был немного выше нижней части сосуда, а в бюретке — на несколько маленьких делений ниже нулевой отметки. Тогда по окончании эксперимента уровни воды в сосуде и бюретке будут располагаться, как это показано на рис. 1.1, б, и излишек воды не перельется через край уравнильного сосуда.

Отрежьте от стеклянной палочки диаметром 0,5—0,6 см кусочек длиной 2—3 см. Этот кусочек палочки должен легко проходить в одно из колен пробирки (вместо стекла можно взять кусочек проволоки или ее пластмассовую изоляцию). Погрузите самый кончик палочки в раствор коллодия (густой раствор нитроцеллюлозы,

или киноплёнки, в 2—3 частях спирта и 15—20 частях эфира) или быстросыхающего нерастворимого в воде клея. Дайте стечь избытку клея, затем прикоснитесь кончиком к тонко измелённому порошку катализатора  $MnO_2$ , чтобы его частички прилипли к палочке.

Количество катализатора на палочке будет сильно влиять на скорость реакции. При слишком большом его количестве реакция будет проходить очень быстро, и вы не будете успевать измерять объем выделяющегося кислорода. Если катализатора будет слишком мало, реакция будет протекать очень медленно. Нужно такое количество катализатора, чтобы реакция проходила за 30—40 мин. Количество прилипшего к палочке катализатора легко подбирается предварительными опытами.

Вычислите, сколько миллилитров имеющегося в лаборатории раствора пероксида водорода известной концентрации (1—3%-ный раствор  $H_2O_2$ ) следует взять, чтобы при его полном разложении выделилось кислорода объемом  $3/4$  вместимости бюретки. Отмерьте градуированной пипеткой нужное количество раствора пероксида водорода и влейте его в одно из колен пробирки. Долейте туда же пипеткой дистиллированной воды так, чтобы уровень раствора был на 2—3 см ниже спая колен пробирки. Перемешайте раствор осторожным покачиванием пробирки. В другое колено поместите палочку с катализатором, слой которого должен находиться у дна пробирки. Затем в пробирку и бюретку плотно вставьте пробки с продетыми через них трубками, соединёнными резиновым шлангом.

Прежде чем начинать реакцию, убедитесь в плотности всех соединений и проверьте прибор на герметичность. Для этого опустите уравнительный сосуд на 15—20 см ниже. После начального понижения уровня воды в бюретке он должен не передвигаться 2—3 мин, а затем при возвращении сосуда на прежнюю высоту уровень воды в бюретке должен подняться к исходному положению. Если уровень воды перемещается или не возвращается к начальному положению, следует найти место, где прибор пропускает газ, и устранить неполадки.

Далее следует привести давление в приборе к атмосферному, т.е. перемещением уравнительного сосуда расположить уровни воды в нем и в бюретке в одной горизонтальной плоскости (т.е. на одинаковой высоте).

Запишите положение нижнего края мениска в бюретке (совсем необязательно, чтобы он находился точно на нулевой отметке! Но не выше ее!). На глаз самое маленькое деление можно разделить на 3—5 частей, поэтому отсчет по шкале бюретки следует проводить с точностью до 0,02—0,03 мл. Рекомендуется пользоваться увеличительным стеклом.



Поверните пробирку так, чтобы раствор перелился в то колено, где находится палочка с катализатором. Запишите время начала реакции. Кислород, выделяющийся в результате разложения пероксида водорода, вытесняет воду из бюретки в уравнительный сосуд. По мере прохождения реакции и выделения кислорода перемещением уравнительного сосуда вниз поддерживайте уровни воды в нем и бюретке на одной высоте для предотвращения утечки газа через неплотности соединений. Это важно делать для того, чтобы давление в приборе было равно атмосферному при каждом измерении объема газа в бюретке.

Каждые 15–30 с с точностью до 0,2–0,3 мл измеряйте объем газа в бюретке по уровню воды (нижний край мениска!) и записывайте его значение. Опыт можно закончить, когда за 5 мин уровень воды в бюретке смещается не больше, чем на 1–2 мм. К концу опыта реакция сильно замедляется, и, чтобы определить объем выделившегося кислорода при почти полном разложении пероксида водорода, опустите колено пробирки в стакан с горячей водой и выдержите реакционную смесь при повышенной температуре примерно 10 мин. Удалите стакан и дайте пробирке в течение 5–10 мин остыть до комнатной температуры. Приведите давление в приборе к атмосферному и запишите объем всего выделившегося кислорода.

Составьте таблицу с результатами измерений. Постройте график «объем выделившегося кислорода — время». Нанесите на ось ординат значение объема всего выделившегося кислорода (после нагревания и охлаждения пробирки). По графику определите период полуразложения пероксида водорода и вычислите константу скорости его разложения.

Выберите на кривой 3–4 точки и определите для каждой из них время и объем выделившегося кислорода. Для каждой точки рассчитайте константу скорости, пользуясь уравнением скорости реакции первого порядка. Заменяем в формуле

$$kt = \ln(C_0/C)$$

концентрации на объемы выделившегося кислорода:

$$kt = \ln[V_0/(V_0 - V_t)],$$

где  $V_0$  — объем всего образовавшегося кислорода (после нагревания колена пробирки горячей водой);  $V_t$  — объем кислорода в момент времени  $t$ .

Как отличаются константы скорости реакции, вычисленные по периоду полуразложения и по точкам кривой? Постоянство константы скорости, вычисленной по нескольким точкам кривой, доказывает, что реакция проходит как реакция первого порядка. Следует также помнить, что в опытах константы скорости различны в связи с тем, что были взяты разные количества катализатора и концентрации раствора.



## Глава 4

# ВОДА И РАСТВОРЫ

### 4.1. Практические задания

1. Нарисуйте кривую нагревания воды от  $-10$  до  $+110^{\circ}\text{C}$  при давлении ниже тройной точки.

2. В 96 г воды растворили 4 г поваренной соли. Чему равна процентная концентрация соли в растворе?

3. Требуется приготовить 3 л 10%-ного раствора хлорида натрия (для засолки огурцов). Сколько поваренной соли и воды следует взять? Плотность раствора примите равной плотности воды.

4. Какова масса хлорида натрия, необходимая для приготовления 0,250 мл 0,1 М раствора?

5. Сколько граммов алюмокалиевых квасцов  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  следует взять для приготовления 1 л 3%-ного раствора?

6. Мольная масса пятиводного сульфата меди (медного купороса)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  равна 250 г. Эту массу вещества растворили в воде и получили 1 л раствора. Какова мольная концентрация раствора сульфата меди? Эту же массу медного купороса растворили в воде, приливая воду до массы раствора 1000 г. Рассчитайте процентную концентрацию раствора.

7. Рассчитайте концентрации ионов в растворе, содержащем 0,01 моль/л сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и 0,001 моль/л хлорида алюминия  $\text{AlCl}_3$ .

8. В мерную колбу на 1000 мл насыпали 1 г хлорида натрия, 2 г сульфата натрия и прилили воды до метки. Рассчитайте концентрации ионов в растворе.

9. Рассчитайте концентрации ионов в 0,01 М растворе следующих сильных кислот:

- а) хлороводородная (соляная) кислота  $\text{HCl}$ ;
- б) азотная кислота  $\text{HNO}_3$ ;
- в) хлорная кислота  $\text{HClO}_4$ ;
- г) серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Рассчитайте pH этих растворов.

10. Рассчитайте концентрации ионов натрия и гидроксид-ионов в 0,01 М растворе гидроксида натрия. Чему равен pH раствора?

11. В 1 л раствора содержится  $n$  г хлороводородной кислоты HCl. Рассчитайте концентрацию раствора кислоты в % и моль/л, концентрации ионов и pH раствора:

- а)  $n = 0,1$  г; б)  $n = 0,2$  г; в)  $n = 0,3$  г; г)  $n = 0,4$  г; д)  $n = 0,4$  г;  
е)  $n = 0,6$  г; ж)  $n = 0,7$  г; з)  $n = 0,8$  г; и)  $n = 0,9$  г; к)  $n = 1,0$  г.

12. В 1 л раствора содержится  $n$  г гидроксида натрия NaOH. Рассчитайте концентрацию раствора гидроксида натрия в % и моль/л, концентрации ионов и pH раствора:

- а)  $n = 0,1$  г; б)  $n = 0,2$  г; в)  $n = 0,3$  г; г)  $n = 0,4$  г; д)  $n = 0,4$  г;  
е)  $n = 0,6$  г; ж)  $n = 0,7$  г; з)  $n = 0,8$  г; и)  $n = 0,9$  г; к)  $n = 1,0$  г.

13. Предложите соль, водный раствор которой будет кипеть при самой высокой температуре и замерзает при самой низкой температуре. Каковы эти температуры для 1 М раствора?

14. При какой температуре будут замерзать и кипеть: а) 0,001 М и б) 0,01 М растворы следующих веществ:

- 1) этиловый спирт  $C_2H_5OH$ ;
- 2) глицерин  $CH_2OHCH_2OHCH_2OH$ ;
- 3) этиленгликоль  $HOCH_2CH_2OH$ ;
- 4) хлорид натрия  $NaCl$ ;
- 5) нитрат кальция  $Ca(NO_3)_2$ ;
- 6) сульфат натрия  $Na_2SO_4$ ;
- 7) карбонат натрия  $Na_2CO_3$ ;
- 8) хлорид железа(III)  $FeCl_3$ ;
- 9) хлорид алюминия  $AlCl_3$ ;
- 10) сульфат алюминия  $Al_3(SO_4)_2$ ?

Чем интересен очень ядовитый этиленгликоль  $HOCH_2CH_2OH$  для автолюбителей?

Вычислите также осмотическое давление этих растворов.

15. Сколько этиленгликоля  $HOCH_2CH_2OH$  следует взять для приготовления 10 л водного раствора автомобильного антифриза, начинающего замерзать при  $-30^\circ C$ ?

16. Почему при приготовлении варенья из слив, крыжовника или вишни плоды, чтобы они не сморщивались, рекомендуют прокалывать? Почему, если варить не очень сладкий компот с непроколотыми свежими сливами, крыжовником или вишней, они раздуваются и даже лопаются?

17. Вычислите осмотическое давление при н.у.: а) 0,01 М и б) 0,001 М растворов следующих веществ:

- 1) этиловый спирт  $C_2H_5OH$ ;
- 2) глицерин  $CH_2OHCH_2OHCH_2OH$ ;
- 3) этиленгликоль  $HOCH_2CH_2OH$ ;
- 4) хлорид натрия  $NaCl$ ;
- 5) нитрат кальция  $Ca(NO_3)_2$ ;
- 6) сульфат натрия  $Na_2SO_4$ ;
- 7) карбонат натрия  $Na_2CO_3$ ;

8) хлорид железа(III)  $\text{FeCl}_3$ ;

9) сульфат железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;

10) сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

18. Озеро с пресной водой находится недалеко от океана (рис. 4.1). Представьте себе, что уровни озера и океана одинаковы, температура одна и та же, погода безветренная (все факторы местностей одинаковы). Плотности воды озера и океана примите равными. Предскажите направление переноса воды через атмосферу и через почву.

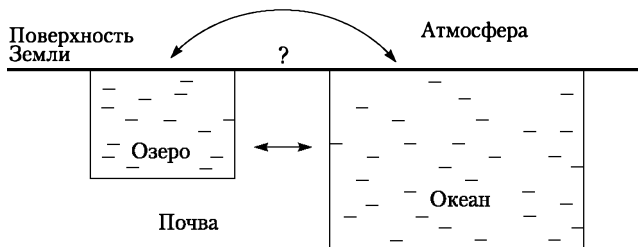


Рис. 4.1. К задаче 18 — определению направления переноса воды через атмосферу и слой земли между озером и океаном.

Температура, плотность воды, уровни воды, ветер, течения и другие факторы одинаковы (кроме двух)

19. Изобразите схематически строение оболочек воды вокруг следующих ионных образований:

а)  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ ; б)  $\text{Na}^+\text{Cl}^-\text{Na}^+$ ; в)  $\text{Cl}^-\text{Na}^+\text{Cl}^-$ ; г)  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$  /  $\text{Cl}^-\text{Na}^+$ ; д)  $\text{Na}^+\text{Cl}^-\text{Na}^+$  /  $\text{Cl}^-\text{Na}^+$ .

Обратите внимание на расположение молекул воды в оболочках вокруг анионов и катионов.

20. Рассчитайте активность ионов в следующих растворах (1 л):

а) 0,001 моль  $\text{HCl}$ ;

б) 0,001 моль  $\text{HCl}$  и 0,001 моль  $\text{NaCl}$ ;

в) 0,001 моль  $\text{HCl}$  и 0,001 моль  $\text{CaCl}_2$ ;

г) 0,001 моль  $\text{HCl}$  и 0,001 моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;

д) 0,001 моль  $\text{HCl}$  и 0,001 моль  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Рассчитайте pH этих растворов.

21. Сила солей как электролитов зависит от зарядов ионов: чем выше их заряды, тем меньше степень диссоциации. Часто соли из двух однозарядных ионов имеют степень диссоциации около 85%, соли с одним двухзарядным ионом и другим однозарядным имеют степень диссоциации около 75% и соли из двух двухзарядных ионов имеют степень диссоциации около 40%. Почему степень диссоциации зависит от зарядов ионов?

22. В гомеопатии используют настолько низкие концентрации растворенных веществ, что их называют «мнимыми концентрациями». В одном из рецептов использовалась концентрация около  $10^{-18}$  моль/л. Тем не менее имеются сведения (или это выдумка?),

что некоторые биологически важные для организма вещества обладают определенной биологической активностью при столь огромном разбавлении. Рассчитайте, сколько литров воды приходится на одну молекулу растворенного вещества.

**23.** В одном из рецептов гомеопатического лекарства указано содержание тартрата калия:  $10^{-12}$  г в 50 мл раствора. Как приготовить 1 л раствора с такой концентрацией этого вещества? Тартрат калия — виннокислый калий, соль диоксиантарной (винной, виннокаменной) кислоты  $\text{HOOC}-\text{CHON}-\text{CHON}-\text{COOH}$ .

**24.** Вычислите растворимость хлорида серебра  $\text{AgCl}$  в воде, если  $\text{PP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}$ .

**25.** Определите массу осадка, образующегося при испарении 1 л насыщенного раствора хлорида серебра ( $\text{PP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}$ ).

**26.** Растворимость сульфида мышьяка в воде равна  $2,00 \cdot 10^{-5}$  г/100 г  $\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте произведение растворимости  $\text{As}_2\text{S}_3$ .

**27.** Рассчитайте растворимость (в моль/л и г/100 г  $\text{H}_2\text{O}$ ) по известным  $\text{PP}$ :

Вариант	Минерал	PP	Вариант	Минерал	PP
а	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$1,9 \cdot 10^{-33}$	е	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$4,0 \cdot 10^{-14}$
б	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$5,0 \cdot 10^{-12}$	ж	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$5,4 \cdot 10^{-31}$
в	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$1,0 \cdot 10^{-17}$	з	$\text{Sb}(\text{OH})_3$	$4,0 \cdot 10^{-42}$
г	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$3,8 \cdot 10^{-38}$	и	$\text{As}_2\text{S}_3$	$4,0 \cdot 10^{-29}$
д	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$4,8 \cdot 10^{-16}$	к	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$3,5 \cdot 10^{-33}$

**28.**  $\text{PP}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$ ,  $\text{PP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}$ . Какая соль более растворима в воде?

**29.** Концентрация  $\text{As}_2\text{S}_3$  в насыщенном растворе сульфида мышьяка равна  $8,13 \cdot 10^{-7}$  моль/л. Рассчитайте  $\text{PP}(\text{As}_2\text{S}_3)$ .

**30.** Для растворения 1 г иодида свинца  $\text{PbI}_2$  (при  $18^\circ\text{C}$ ) требуется 1470 мл воды. Вычислите  $\text{PP}(\text{PbI}_2)$ .

**31.** Произведение растворимости сульфида мышьяка  $\text{As}_2\text{S}_3$  равно  $3,8 \cdot 10^{-29}$ . Рассчитайте растворимость сульфида мышьяка в моль/л и г/100 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

**32.** К раствору, содержащему в равных концентрациях (моль/л) ионы  $\text{Ag}^+$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , прибавляют по каплям раствор  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .  $\text{PP}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$ ,  $\text{PP}(\text{PbCrO}_4) = 1,8 \cdot 10^{-14}$ . Какая соль выпадет в осадок раньше?

**33.** Выпадет ли осадок  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  при сливании 0,5 л раствора с концентрацией  $\text{Ag}^+$  0,1 моль/л и 0,5 л раствора с концентрацией  $\text{CrO}_4^{2-}$  0,01 моль/л?  $\text{PP}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$ .

**34.** К 1 л  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора  $\text{MgCl}_2$  приливают  $\text{NaOH}$  объемом  $V$  мл:

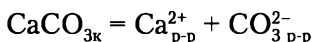
Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$V$ , мл	50	40	30	20	10	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Образуется ли осадок  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ?  $\text{PP}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 6,0 \cdot 10^{-10}$ .

35. Промыли 10 г осадка  $\text{BaSO}_4$  одним литром воды. Сколько вещества осталось?  $\text{PP}(\text{BaSO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-10}$ . Предложите способы уменьшения количества вещества, уносимого промывными водами.

36. Глаз человека замечает осадок в виде мути в растворе при содержании в 1 мл раствора  $\sim 10^{-5}$  г кристаллического вещества. Можно ли заметить образование осадка, если в пробирке смешать 5 мл 0,001 М раствора нитрата серебра  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и 5 мл 0,001 М раствора иодида натрия  $\text{NaI}$ , если  $\text{PP}(\text{PbI}_2) = 1,1 \cdot 10^{-9}$ ?

37. Произведение растворимости карбоната кальция при температуре  $0^\circ\text{C}$  равно  $1,01 \cdot 10^{-8}$  и при  $50^\circ\text{C}$  —  $4,08 \cdot 10^{-9}$ . Вычислите растворимость  $\text{CaCO}_3$  при  $30^\circ\text{C}$  и термодинамические характеристики реакции



38. Растворимость хлорида серебра  $\text{AgCl}$  равна  $1,33 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вычислите растворимость хлорида серебра в 0,001 М растворе: а) хлорида натрия; б) нитрата серебра.

39. Растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  составляет  $1,9 \cdot 10^{-10}$  моль/л. Вычислите  $\text{PP}$  гидроксида железа.

40. Растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  составляет  $1,9 \cdot 10^{-10}$  моль/л. Оцените  $\text{pH}$  насыщенного раствора гидроксида железа.

41.  $\text{pH}$  насыщенного раствора гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  равен 12,37. Рассчитайте произведение растворимости гидроксида кальция.

42. Насыщенный при температуре  $25^\circ\text{C}$  раствор  $\text{CaCO}_3$  имеет  $\text{pH} = 9,4$ . Чем обуславливается основная среда раствора? Предложите способ вычисления количества  $\text{Ca}^{2+}$  в растворе. Можно ли рассчитать из этих данных  $\text{PP}(\text{CaCO}_3)$ ?

43. Какой из растворов следует использовать для промывания осадка оксалата кальция  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , чтобы уменьшить его унос промывными водами:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ , чистая вода? Концентрации всех растворов одинаковы.

44. В питьевой воде обычно содержание фторид-ионов  $\text{F}^-$  составляет 0,7—1 мг/л. Сколько грамм фторида натрия  $\text{NaF}$  следует добавить в 1 л не содержащей фторид воды, чтобы его содержание отвечало норме? Достигается ли требуемое содержание фтора в питьевой воде при ее пропускании над кристаллами фторида кальция?  $\text{PP}(\text{CaF}_2) = 4,0 \cdot 10^{-11}$ . Фторид кальция входит в состав некоторых зубных паст для предотвращения кариеса. В природе он встречается в виде минерала плавикового шпата, или флюорита.

45. Нижний предел бактерицидного действия серебра в воде — около  $10^{-6}$  мг/л. Достаточно ли серебра в насыщенном растворе  $\text{AgCl}$  для его бактерицидного действия, если  $\text{PP}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}$ ?

46. Рассчитайте 1) растворимость в воде растворов с концентрацией в моль/л и г/100 г  $\text{H}_2\text{O}$ , по известным  $\text{PP}$ ; 2) растворимость

соли в растворах: 2-1) сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  концентрации 0,1 и 0,01 М и 2-2) хлорида натрия  $\text{NaCl}$  и сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  той же концентрации. Напомним, что вам следует рассчитать ионную силу раствора, коэффициенты активности ионов малорастворимых солей, их активности и термодинамическое значение ПР. Как изменяется растворимость малорастворимого кристалла в водном растворе электролита?

Вариант	Кристалл	ПР	Вариант	Кристалл	ПР
а	$\text{As}_2\text{S}_3$	$4,0 \cdot 10^{-29}$	е	$\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,4 \cdot 10^{-37}$
б	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$3,5 \cdot 10^{-33}$	ж	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$	$2,1 \cdot 10^{-35}$
в	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	з	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	$1,0 \cdot 10^{-24}$
г	$\text{Sb}_2\text{S}_3$	$4,0 \cdot 10^{-29}$	и	$\text{Ag}_3\text{PO}_4$	$8,9 \cdot 10^{-17}$
д	$\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$	$4,6 \cdot 10^{-30}$	к	$\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$	$2,5 \cdot 10^{-33}$

**47.** Рассчитайте рН растворов различной концентрации: а) хлороводородной кислоты  $\text{HCl}$ ; б) хлороводородной кислоты и сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; в) хлороводородной кислоты, сульфата натрия и нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Концентрации каждого из растворов брать 0,001, 0,01, 0,1 и 1 моль/л. Таким образом, в а) мы имеем 4 варианта заданий, в б) —  $4^2 = 16$  вариантов; в в) —  $4^3 = 64$  варианта.

Напомним, что вам следует рассчитать ионную силу раствора, коэффициент активности иона водорода, его активность и термодинамическое значение рН. Как изменяется рН раствора кислоты при добавлении сильного электролита?

*Примечание.* Для высоких концентраций растворов можно пользоваться приближенной формулой расчета ионной силы раствора, обсужденной в учебнике.

**48.** Произведение растворимости фосфата кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  равно  $\text{ПР}_c = 3,5 \cdot 10^{-33}$ . Рассчитайте концентрации ионов в этом растворе и растворимость соли. Кристаллы той же соли поместили в раствор электролита, не имеющего общего иона. Концентрация этого электролита обозначена  $C$  моль/л. Рассчитайте ионную силу раствора, коэффициент активности иона малорастворимого кристалла и, воспользовавшись концентрацией иона в чистой воде, его активность и термодинамическое произведение растворимости  $\text{ПР}_a$ . Как влияет сильный электролит на растворимость кристалла?

Вариант	а	б	в	г	д
Электролит	$\text{NaCl}$	$\text{NaCl}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
$C$ , моль/л	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01

**49.** Рассчитайте мольную концентрацию 96%-ной серной кислоты, плотность которой равна 1,8 г/мл.

50. Какой ион,  $\text{Ag}^+$  или  $\text{Mg}^{2+}$ , полнее осадит ионы  $\text{PO}_4^{3-}$  из раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , если  $\text{PR Ag}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  и  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  равны соответственно  $8,9 \cdot 10^{-17}$ ,  $1,0 \cdot 10^{-24}$  и  $2,1 \cdot 10^{-33}$ ?

51. Почему  $\text{CaCO}_3$  растворяется в  $\text{HCl}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , а  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  растворяется в  $\text{HCl}$ , но не растворяется в  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ? Если вам понадобится, воспользуйтесь следующими данными:  $\text{PR}(\text{CaCO}_3) = 4,0 \cdot 10^{-9}$ ;  $\text{PR}(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 2,3 \cdot 10^{-9}$ ;  $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ; у щавелевой (этанodioновой) кислоты  $K_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5,4 \cdot 10^{-2}$ ;  $K_2(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5,4 \cdot 10^{-5}$ .

52. Сравните растворимости  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  ( $\text{PR} = 2,1 \cdot 10^{-33}$ ) в воде и в 0,01 М растворе  $\text{MgCl}_2$ . Объясните полученные результаты.

53. Луч света пропускается через движущуюся с большой скоростью воду. Будут ли кванты света увлекаться потоком воды?

54. В стакане с водой находятся кристаллы  $\text{CaF}_2$  и  $\text{CaCO}_3$ . Может ли система оставаться неизменной? Какие данные вам нужны?

55. В справочнике соединению  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  приписана величина  $\text{PR} = 9,9 \cdot 10^{-16}$ . Рассчитайте растворимость фосфата железа в воде.

56. В таблице приведено значение  $\text{PR}(\text{KClO}_4) = 1,05 \cdot 10^{-2}$ . Как такое может быть, ведь перхлорат калия хорошо растворим в воде?

57. Вычислите  $\text{PR}$  фосфата серебра, если растворимость его в воде равна  $0,5 \cdot 10^{-3}$  г/л. Зачем вам может понадобиться знание  $\text{PR}(\text{Ag}_3\text{PO}_4)$ ?

58. Вычислите растворимость фосфата серебра  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  ( $\text{PR} = 1,3 \cdot 10^{-20}$ ) в воде и в 0,005 М растворе сульфата магния  $\text{MgSO}_4$ . Почему растворимости различаются (растворимость увеличивается в 1,5 раза)?

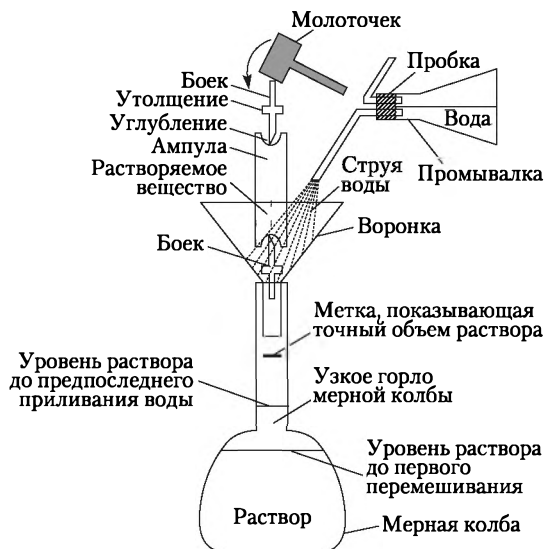
## 4.2. Лабораторные исследования

### Лабораторная работа 1.

#### Приготовление 0,1 М раствора $\text{HCl}$ из фиксаналя

Для быстрого приготовления растворов удобны фиксаналы (стандарт-титр, нормадоза). **Фиксанал** — точно отмеренное количество вещества, запаянное в стеклянной ампуле и предназначенное для быстрого приготовления 1 л, как правило, 0,1 М раствора. Ампулу разбивают, содержимое переносят в мерную колбу, и объем раствора доводят водой до метки. Стандарт-титры могут содержать самые различные вещества — соли, кислоты или основания.

Запаянная ампула имеет с двух концов углубления (рис. 4.2), которые разбивают стеклянным бойком — стеклянной палочкой с острым концом и утолщением посередине. Перед тем как приго-



**Рис. 4.2. Приготовление раствора известной концентрации**

товить раствор, с ампулы следует снять этикетку, если она есть, и промыть наружную поверхность ампулы дистиллированной водой. Далее следует воспользоваться мерной колбой.

**Мерная колба** предназначена для приготовления раствора строго определенной концентрации. На узком горле мерной колбы нанесена кольцевая метка, которая соответствует указанной на колбе вместимости при 20°C. Колбу закрывают притертой стеклянной или резиновой пробкой. Нельзя закрывать колбу при приготовлении раствора пальцем. В мерную колбу помещают точно известное количество вещества и наливают воду до метки (по нижнему мениску жидкости). Зная объем раствора и массу вещества, рассчитывают концентрацию раствора.

В мерную колбу емкостью 1000 мл (или другой вместимости) вставьте обыкновенную воронку. В воронку вставьте боек. Утолщение не позволяет бойку провалиться в колбу и одновременно препятствует попаданию в колбу кусочков стекла разбитой ампулы. На боек в воронке поставьте, придерживая пальцами, ампулу с раствором соляной кислоты, необходимым для приготовления 0,1 М раствора. На верхний конец ампулы поставьте второй боек, придерживая его двумя свободными пальцами. Ударьте по верхнему бойку деревянным молоточком, чтобы пробить в ампуле сверху и снизу отверстия.

Не изменяя положения ампулы и не вынимая из воронки осколков стекла, ампулу изнутри промойте струей дистиллированной воды из промывалки. Затем промойте стенки воронки и осколки



стекла. Далее долейте в колбу воду *почти до горла*, закройте пробкой и перемешайте вращательными движениями раствор. Долейте в колбу воду примерно на 1 см ниже отметки, закройте колбу пробкой и перемешайте раствор переворачиванием колбы вниз и вверх горлом. Теперь по каплям долейте дистиллированную воду в колбу до метки и снова перемешайте содержимое колбы.

Если у вас была мерная колба вместимостью 1000 мл, вы приготовили 0,1000 М раствор. Если же у вас была колба на 250 мл, то концентрация вашего раствора будет в  $1000/250 = 4$  раза больше, т.е. 0,4000 моль/л. Если же вы воспользовались колбой на 100 мл, концентрация раствора будет равна 1,0000 моль/л.

Желательно рассчитать pH полученного раствора, определить pH набором индикаторов или pH-метром, сравнить результаты и сделать соответствующие выводы.

## Лабораторная работа 2.

### Определение концентрации раствора NaOH титрованием

Среди многочисленных методов определения концентрации раствора особое место занимает **титрование**. При титровании раствор известной концентрации — стандартный раствор — постепенно приливают к анализируемому раствору неизвестной концентрации, но точно известного объема.

Приливание стандартного раствора производится **бюреткой** (рис. 4.3) — узкой стеклянной трубкой с делениями, указывающими объем налитой в нее и вылитой жидкости.

Бюретки различают способом открывания. Наиболее распространены бюретки с притертыми кранами, но в учебных лабораториях вместо кранов используют резиновые трубки с металлическим зажимом или с «бусинкой» в резиновой трубке. Бусинка, маленький стеклянный шарик диаметром чуть больше внутреннего диа-

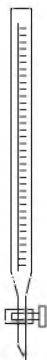


Рис. 4.3. Бюретка с краном

метра резиновой трубки, закрывает выливание жидкости из бюретки. Для вытекания жидкости резину вокруг бусинки сжимают большим и указательным пальцами, чтобы образовалась складка, через которую вытекает жидкость. Изменяя нажим на бусинку, регулируют скорость вытекания жидкости.

Небольшим количеством раствора соляной кислоты точно известной концентрации 1–2 раза ополосните бюретку для удаления капель воды с ее стенок.

Укрепите строго вертикально бюретку в штативе. Если нет специальных пружинных зажимов для крепления бюретки, то ее закрепляют двумя лапками в обычном штативе. На внутрен-

них поверхностях лапок должны быть наклеены кусочки кожи или резины, чтобы не расколоть стекло. Можно на бюретку в местах, где ее зажимают, надеть кусочки резиновой трубки длиной 2—3 см, разрезанные вдоль, или обернуть эти места полосками бумаги.

Заполните через маленькую воронку бюретку раствором соляной кислоты до положения нижнего края мениска немного *ниже* нулевой отметки и запишите с точностью до сотых долей миллилитра начальное положение мениска раствора. Глаз должен находиться на одной горизонтальной линии с краем мениска — нижним, если жидкость прозрачна, и верхним, если жидкость непрозрачна.

Записывать целочисленные значения, указанные на самой бюретке цифрами, например 18 мл, неправильно. Самое маленькое деление разделите на 3—4 части, и тогда объем жидкости может быть измерен с точностью до 0,02—0,03 мл, например 18,75 мл.

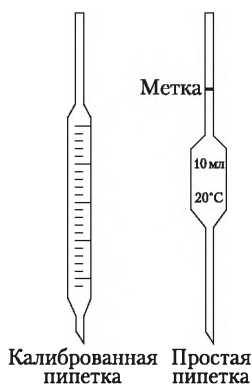
При работе с бюреткой важно обратить внимание на то, чтобы в ее нижней части не оставалось пузырьков воздуха. У бюретки с носиком (стеклянной трубкой и оттянутым в капилляр концом), резиновой трубкой и бусинкой или зажимом достаточно загнуть носик вверх и, ослабив зажим, вытеснить воздух протекающей жидкостью. У бюретки со стеклянным краном следует на мгновение полностью открыть кран, и сильная струя жидкости вытолкнет пузырек. Если пузырек не удаляется и прилип к стеклу, это говорит о том, что бюретка была плохо промыта. При работе в учебной лаборатории не удаляющийся пузырек можно оставить, но нужно следить, чтобы во время титрования он не оторвался и не проскочил вниз вместе с жидкостью или не поднялся вверх.

Удалив пузырьки воздуха, еще раз запишите с точностью до сотых долей миллилитра начальное положение мениска раствора.

После того как бюретка укреплена и заполнена жидкостью, промойте коническую колбу с плоским дном вместимостью 200—250 мл дистиллированной водой. Сушить колбу необязательно.

В коническую (плоскодонную) колбу наливается точно отмеренный объем другой жидкости. Обычно рекомендуют раствор гидроксида натрия наливать в бюретку, а раствор кислоты — в колбу. Но в учебной работе поступают наоборот — наливают кислоту в бюретку, а раствор гидроксида натрия — в колбу. Это вызвано тем, что отмыть от гидроксида натрия бюретку (особенно если она с краном) труднее, чем от кислоты. Однако следует помнить, что раствор гидроксида натрия в колбе, особенно при перемешивании, может поглотить значительное количество углекислого газа из воздуха. Кроме того, введение фенолфталеина в раствор гидроксида натрия приводит к тому, что титрование проводится до обесцвечивания раствора, что отмечается труднее, чем появление окраски от одной капли титрующего раствора.

Теперь следует влить в коническую колбу точно отмеренный объем раствора гидроксида натрия (или калия) неизвестной (искомой) концентрации. О приготовлении раствора см. ниже. Для этого воспользуйтесь пипеткой.



**Рис. 4.4. Пипетки — калиброванная и простая**

**Пипетка** — стеклянная трубка с оттянутым концом для точного отмеривания объема жидкости (рис. 4.4). Калиброванная пипетка — трубка с нанесенными на наружной поверхности делениями, соответствующими объему жидкости. Простая пипетка — трубка с расширением посередине, где записана ее вместимость, а на верхней части трубки имеется метка, соответствующая вместимости пипетки. Будем пользоваться простыми пипетками.

Пипетки должны быть чистыми и тщательно высушенными, чтобы результаты анализа были наиболее точными. Освоить работу с пипеткой довольно трудно, поэтому рекомендуем предварительно потренироваться, выполняя действия с водой.

Для наполнения пипетки на ее верхний конец надевают резиновую грушу, нижний конец опускают в сосуд с жидкостью, сжимая грушу, выпускают из пипетки воздух, затем разжимают грушу, чтобы в пипетку всосалось жидкости немного больше, чем требуется. Быстро снимают грушу и, придерживая пипетку средним и большим пальцами, закрывают верхнее отверстие указательным пальцем. Слегка ослабляя нажим пальцем на верхнее отверстие пипетки, позволяют жидкости медленно, по каплям, вытекать из нижнего оттянутого конца пипетки.

Когда нижний край мениска опустится до нужной отметки вместимости, отверстие зажимают пальцем. Если на кончике пипетки осталась капля жидкости, ее удаляют прикосновением к стенке сосуда. Вынимают пипетку из сосуда и переносят в сосуд, куда требуется перелить жидкость. Отводят палец от края трубки и дают жидкости вылиться. Последнюю каплю, висящую на кончике пипетки, удаляют прикосновением к стенке сосуда, но жидкость, оставшуюся в носике пипетки, оставляют.

Отмерьте чистой и просушенной пипеткой 10 (или 5) мл анализируемого раствора гидроксида натрия, влейте раствор в колбу и внесите 2—3 капли раствора индикатора фенолфталеина. В основной среде раствор окрашивается в красно-малиновый цвет. Под бюретку с раствором соляной кислоты известной концентрации на белый лист бумаги поставьте колбу с раствором гидроксида натрия, так, чтобы носик бюретки ненамного входил внутрь колбы.

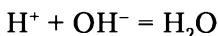
Начинайте титрование. Еще раз запишите с точностью до 0,02—0,03 мл положение нижнего края мениска раствора в бюретке. На-

чинайте, одной рукой немного приоткрыв кран или слегка сжимая резину вокруг бусинки, приливать раствор кислоты к раствору основания.

Другой рукой, держа колбу за горло и делая вращательные движения дна колбы, постоянно перемешивайте жидкость. При появлении в красно-фиолетовом растворе бесцветных «облаков» скорость приливания кислоты из бюретки замедлите. Титровать следует до того момента, когда добавление одной капли кислоты вызовет устойчивое обесцвечивание раствора. Запишите с точностью до 0,02 мл положение уровня раствора в бюретке.

Желательно титрование повторить три раза. Объемы израсходованной кислоты не должны отличаться более чем на 0,1 мл. Если первое титрование сильно отличается от двух последующих, проводят еще одно-два титрования.

Приливание раствора из бюретки заканчивается в момент, когда вещества растворов бюретки и колбы полностью прореагируют в соответствии с уравнением реакции. В этом опыте вы титровали сильное одноокислотное основание раствором сильной одноосновной кислоты, и реакция представляла собой реакцию нейтрализации:



Поэтому объемы растворов реагирующих веществ обратно пропорциональны мольным концентрациям ионов водорода и гидроксида, или, что то же самое, мольным концентрациям кислоты и основания:

$$V_{\text{кисл}} C_{\text{кисл}} = V_{\text{осн}} C_{\text{осн}}$$

Если при титровании используются кислоты или основания с числом участвующих в реакции ионов водорода или гидроксид-ионов больше единицы, воспользуйтесь формулой

$$n_{\text{H}^+} V_{\text{кисл}} C_{\text{кисл}} = n_{\text{OH}^-} V_{\text{осн}} C_{\text{осн}}$$

где  $n_{\text{H}^+}$  — число ионов водорода в кислоте;  $n_{\text{OH}^-}$  — число гидроксид-ионов в основании.

Вычислите концентрацию раствора гидроксида натрия. Если другие студенты анализировали тот же раствор, соберите их результаты и вычислите среднее значение концентрации и погрешность результатов опытов.

Желательно рассчитать pH полученного раствора, определить pH набором индикаторов или pH-метром, сравнить результаты и сделать соответствующие выводы.

*Советы студентам или преподавателю.* Для опыта следует приготовить стандартные растворы соляной кислоты и раствор гидроксида натрия примерно той же концентрации. Раствор соляной кислоты удобнее приготовить из стандарт-титров или фиксаналов, как об этом уже рассказывалось выше. 1 ампула рассчитана на при-

готовление 1 л 0,100 М раствора. Если нет мерной колбы на 1 л, а есть колба на 100 мл, то в этой колбе готовят 1 М раствор кислоты, который затем с помощью пипетки и другой мерной колбы разбавляется водой до нужной концентрации раствора.

Раствор гидроксида натрия (калия) приблизительно 0,1 М приготавливается внесением в однолитровую мерную колбу, заполненную на 3/4 водой, отвешенного в фарфоровой чашке (бюксе, стаканчике) требуемого количества кристаллического гидроксида. Работать следует в очках и резиновых перчатках! Брать гидроксид натрия — только шпателем или ложкой! Взвешивание можно проводить на технических весах.

### **Лабораторная работа 3.**

#### **Приготовление 0,1 М раствора серной кислоты**

Из имеющегося в лаборатории концентрированного раствора серной кислоты приготовьте 0,1 М раствор. Если в лаборатории имеется 20%-ный раствор кислоты ( $\rho = 1,14$  г/мл), рассчитайте, какой объем этого раствора следует взять для приготовления 100 мл 0,1 М раствора. В мерную колбу вместимостью 100 мл примерно до половины налейте дистиллированную воду и медленно прилейте из мерного цилиндрика отмеренный объем серной кислоты. Перемешайте вращением колбы раствор. Приливайте при перемешивании в колбу дистиллированную воду до метки. С серной кислотой разрешается работать только под тягой!

### **Лабораторная работа 4.**

#### **Определение концентрации серной кислоты титрованием**

Для опыта воспользуйтесь приготовленным раствором серной кислоты или раствором, предложенным преподавателем (это может быть контрольная задача для проверки усвоения титрования).

Из имеющегося в лаборатории концентрированного раствора серной кислоты приготовьте 0,1 М раствор — см. работу 3.

Определите титрованием концентрацию приготовленного раствора серной кислоты.

Под тягой промойте бюретку 1–2 раза полученным раствором серной кислоты, закрепите ее в штативе и влейте в нее через маленькую воронку анализируемый раствор серной кислоты. Запишите положение мениска раствора с точностью до 0,02 мл.

В коническую колбу налейте отмеренные пипеткой 10 мл раствора гидроксида натрия точно известной концентрации (приготовленного из фиксанала). Добавьте в колбу 2–3 капли раствора фенолфталейна, поставьте колбу на лист белой бумаги под носик бюретки и медленно приливайте при непрерывном перемешивании (вращением колбы) раствор серной кислоты. При приближении конца тит-

рования раствор добавляйте каплями. Запишите положение мениска раствора после титрования и по объему кислоты вычислите ее концентрацию. Желательно опыт повторить три раза, стараясь, чтобы результаты титрования не отличались более чем на 0,1 мл.

Желательно рассчитать pH полученного раствора, определить pH набором индикаторов или pH-метром, сравнить результаты и сделать выводы.

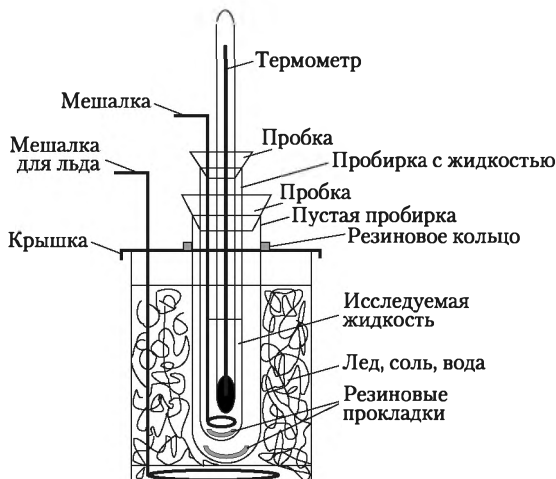
### **Лабораторная работа 5.**

#### **Определение температуры плавления льда и построение кривой нагревания воды**

Определение температуры плавления льда и другие криоскопические опыты проводят в приборе, изображенном на рис. 4.5. Прибор состоит из пробирки, закрывающейся пробкой с двумя отверстиями для термометра и мешалки. Мешалка изготовлена из жесткой металлической проволоки, нижний конец которой согнут кольцом, свободно охватывающим нижний конец термометра.

Желательно пользоваться не ртутным термометром, и он должен иметь деления в  $0,1^{\circ}\text{C}$  и положение  $0^{\circ}\text{C}$  в верхней части шкалы. Очень удобны современные электронные термометры. Точность определения температуры должна быть не больше  $0,02\text{--}0,03^{\circ}\text{C}$ . Малое деление шкалы термометра при определении температуры разделите на 3—5 частей. Можно пользоваться увеличительным стеклом.

Пробирку с термометром и мешалкой вставляют в другую, более широкую пробирку. Воздушный зазор между этими двумя про-



**Рис. 4.5. Прибор для определения температуры замерзания воды и раствора**

бирками служит для медленного и равномерного охлаждения жидкости в центральной пробирке. Широкая пробирка через крышку помещена в стеклянный сосуд с охлаждающей смесью. Через отверстие в крышке охлаждающая смесь перемешивается металлической мешалкой с кольцом в нижней части.

Опыт проводится малой группой в 3—4 студента. Соберите прибор. Приготовьте охлаждающую смесь из приблизительно трех частей плотного снега или раздробленного льда и одной части поваренной соли. Смесь поместите в сосуд и измерьте ее температуру обычным термометром. Она должна быть от  $-3$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ . Если температура выходит из этих границ, добавьте в смесь соль, лед или воду.

Отмерьте пипеткой и налейте во внутреннюю пробирку ровно 10 мл дистиллированной воды. Поместите внутреннюю пробирку, предварительно охлажденную в смеси льда с водой, во внешнюю пробирку и погрузите обе их в сосуд с охлаждающей смесью. Один из студентов каждые 20—30 с сообщает отсчет времени, второй говорит о температуре жидкости, третий ее записывает, четвертый строит график «время — температура», по которому определяется температура плавления льда. Ее можно определить и визуально.

Когда температура воды понизится примерно до  $-1^{\circ}\text{C}$ , т.е. жидкая вода будет переохлаждена, начните перемешивать воду мешалкой, поднимая и опуская ее (не повредите термометр!). При этом образуются кристаллы льда, а температура одновременно начнет несколько повышаться (при кристаллизации выделяется теплота). Отметьте максимальную температуру. Это и будет температура замерзания воды и плавления льда.

Выньте внутреннюю пробирку, нагрейте ее рукой, пока кристаллы льда не расплавятся, и еще раз определите температуру замерзания воды. Если температуры двух опытов различаются, проведите определение в третий раз и вычислите среднее значение из наиболее близких результатов.

Температура замерзания воды из-за погрешности термометра может не совпадать с нулем на шкале. В этом случае показание термометра, соответствующее температуре замерзания воды, принимается за  $0^{\circ}\text{C}$ , и в последующих опытах температуры отсчитываются от этого показания. В этом опыте была, по существу, проведена калибровка термометра.

Продолжите нагревание воды до температуры ее кипения и еще некоторое время при кипении воды записывайте ее температуру. Постройте кривую нагревания воды, продолжив ее (мысленно) до температур выше температуры кипения. Отметьте на кривой число степеней свободы системы.



## Лабораторная работа 6.

### Определение температуры замерзания раствора глюкозы и построение кривой нагревания раствора

Под температурой замерзания раствора понимают температуру появления первых кристаллов, так как замерзание раствора в отличие от замерзания растворителя проходит при постоянно понижающейся температуре в некотором ее интервале.

Приготовьте одномоляльный раствор глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  (или сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ). Отвесьте с точностью до 0,01 г около 1,8 г глюкозы и всыпьте ее во внутреннюю пробирку, в которую налито 10 мл воды. Перемешайте до полного растворения. Определите температуру замерзания раствора, т.е. температуру появления первых кристаллов. Это определение температуры проведите по графику и визуально. Нагрейте пробирку рукой до растворения кристаллов и повторите определение температуры замерзания раствора. Докажите, что глюкоза — не электролит.

Опыт может быть проведен по желанию преподавателя в двух вариантах.

1. Если известна молярная масса глюкозы и молярная концентрация раствора, можно попытаться вычислить степень диссоциации глюкозы в воде и показать, что глюкоза не электролит.

2. Рассчитать молярную массу глюкозы. Суть расчетов проста — следует рассчитать, сколько граммов глюкозы в водном растворе, полученном ее растворением в 1000 г воды, приведут к понижению температуры замерзания, равному криоскопической постоянной воды  $K = 1,86^\circ C$ .

Пусть в 1000 г воды растворено  $g$  г вещества. Тогда молярная концентрация будет равна  $m = g/M$ , где  $M$  — молярная масса растворенного вещества. Если  $g$  г вещества растворить не в 1000, а в  $G$  г воды, то молярная концентрация будет равна  $m = 1000g/(MG)$ .

Тогда

$$\Delta t_{\text{зам}} = Km = 1000Kg/(MG),$$

откуда

$$M = 1000Kg/(\Delta t_{\text{зам}} G).$$

Тот же опыт проведите, записывая температуру раствора и время нагревания. Температуру повышайте до кипения раствора и некоторое время снимайте показания термометра после начала кипения. Постройте кривую нагревания и объясните причины отличия ее от кривой нагревания чистой воды. На графике отметьте число фаз и число степеней свободы на каждом участке кривой (повторите правило фаз Гиббса). Объясните причины различия графиков повышения температуры льда и раствора глюкозы. Ответ смотрите на рис. 4.6. Продлите кривую до более высоких температур.



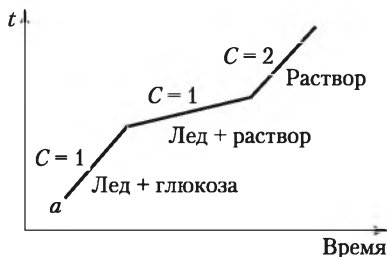


Рис. 4.6. Кривая нагревания раствора глюкозы (рисунок упрощен)

### Лабораторная работа 7. Определение степени связанности ионов или степени диссоциации электролита

Ионы в растворе находятся не в состоянии отдельных частиц, а в виде некоторых объединений с другими ионами и молекулами воды. Это приводит к тому, что ионы ведут себя в растворе как связанные в различные по размерам группы, или ассоциаты. Степень связанности ионов определяется их активностью и может быть оценена по степени диссоциации электролита.

**Степень диссоциации** электролита есть отношение числа молекул слабого электролита или формульных единиц сильного электролита к числу молекул, введенных в раствор. Для сильных электролитов степень диссоциации должна быть равна 100%, однако экспериментальные определения показывают, что она бывает значительно ниже. Это говорит о том, что, хотя молекул сильного электролита в растворе нет, ионы объединены в различные структуры (ионные пары, тройники и т.п.).

Степень диссоциации NaCl равна, например, 80%, это говорит о том, что только 80% ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  находятся в несвязанном состоянии, 20% их находятся в состоянии взаимодействия. Это и есть обоснование теории сильных электролитов. В этом опыте предлагается сделать вывод о состоянии ионов в растворе сильного электролита.

Опыт проводится точно так же, как опыт с глюкозой (см. работу 6). Приготовьте одномоляльный раствор хлорида калия или хлорида натрия. Отвесьте с точностью до 0,01 г около 0,75 г KCl или получите заранее отвешенное вещество у преподавателя. Всыпьте навеску вещества в 10 мл воды, находящейся во внутренней пробирке, и перемешайте содержимое до полного растворения. Определите температуру замерзания раствора. По полученным данным сделайте вывод о состоянии ионов в растворе.

Если бы не было диссоциации, то одномоляльный раствор KCl показал понижение температуры замерзания  $1,86^\circ\text{C}$ , а при полной

диссоциации хлорида калия понижение температуры замерзания составило бы  $1,86 \cdot 2 = 3,72^\circ\text{C}$ .

Предположим, что экспериментально получено понижение температуры замерзания  $3,4^\circ\text{C}$ . Это можно объяснить тем, что в растворе содержится не 1 моль частиц в предположении отсутствия диссоциации и не 2 моля частиц в предположении полной диссоциации и отсутствия взаимодействия между ионами, а  $3,40/1,86 = 1,83$  моля частиц. Считая, что сильный электролит диссоциирован полностью, следует принять, что образовавшиеся ионы находятся в связанном состоянии.

Пусть из 1 моля вещества  $x$  молей перешло в состояние несвязанных между собой ионов, и образовалось  $x$  молей ионов калия и  $x$  молей хлорид-ионов, и в связанном состоянии находится  $1 - x$  моль ионов. Тогда

$$1,83 = (1 - x) + x + x \text{ и } x = 0,83.$$

Таким образом, из 1 моля растворенного хлорида калия 0,83 моля распалось на ионы и образовалось 0,83 моля ионов калия и 0,83 моля хлорид-ионов, и в связанном состоянии находится  $1,83 - (0,83 + 0,83) = 0,17$  моля. Часто величину 0,83 (или 83%) называют **кажущейся степенью диссоциации**. Рассчитайте ионную силу раствора и активности ионов и сопоставьте полученные данные с результатами эксперимента.

Ниже приведен общепринятый способ расчета степени диссоциации. Пусть  $N$  — исходное число молекул электролита, введенных в водный раствор. Если степень диссоциации равна  $\alpha$ , то число распавшихся на ионы молекул равно  $N\alpha$  и число нераспавшихся молекул (или ионов, объединенных в структуры) равно

$$N - N\alpha = N(1 - \alpha).$$

Пусть  $n$  — число ионов, образующихся при диссоциации одной молекулы. Из распавшихся на ионы молекул образовалось  $nN\alpha$  ионов. Общее число частиц — молекул (или связанных ионов) и несвязанных ионов — составляет  $N(1 - \alpha) + nN\alpha$ .

Обозначим отношение числа молекул и ионов к исходному числу молекул буквой  $i$ :

$$i = \frac{\text{Число молекул и ионов}}{\text{Исходное число молекул}}.$$

Эту величину  $i$  называют **коэффициентом Вант-Гоффа**, который для растворов неэлектролитов равен единице, а для электролитов — больше единицы. Этот коэффициент равен

$$i = \frac{N(1 - \alpha) + nN\alpha}{N}.$$

Из этой формулы получаем формулу для определения степени диссоциации:

$$\alpha = \frac{i - 1}{n - 1}.$$

Так как

$$i = \frac{\Delta t_{\text{эксп}}}{\Delta t_{\text{теор}}},$$

то

$$\alpha = \frac{\Delta t_{\text{эксп}} - \Delta t_{\text{теор}}}{\Delta t_{\text{теор}}(n - 1)},$$

где  $\Delta t_{\text{эксп}}$  — понижение температуры замерзания, определенное экспериментально;  $\Delta t_{\text{теор}}$  — понижение температуры замерзания раствора в предположении, что вещество не диссоциирует на ионы.

Напомним, что  $\Delta t_{\text{теор}}$  вычисляется по уравнению

$$\Delta t_{\text{теор}} = K m,$$

где  $K$  — криоскопическая постоянная ( $K_{\text{H}_2\text{O}} = 1,86$ );  $m$  — моляльная концентрация, равная  $m = g/M$ ;  $g$  — навеска вещества, растворенного в 1000 г растворителя, г;  $M$  — молярная масса растворенного вещества.

Если  $g$  г вещества растворить не в 1000 г растворителя, а в  $G$  г, то моляльная концентрация будет равна  $m = 1000g/(MG)$ .

Из полученных экспериментальных данных рассчитайте кажущуюся степень диссоциации, пользуясь выведенной формулой.

Выше была выведена формула расчета степени диссоциации бинарного электролита, т.е. соли, диссоциирующей на два иона. Попробуйте вывести формулу для соли, состоящей из трех ионов, например  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

### Лабораторная работа 8. Растворимость карбоната кальция

В три пробирки налейте по 1–2 мл раствора хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  и добавьте в каждую по 1–2 мл раствора карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (сода) или калия  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (поташ). Напишите уравнение реакции. Объясните ее протекание, пользуясь произведением растворимости  $\text{PP}(\text{CaCO}_3) = 3,8 \cdot 10^{-9}$ . В одну пробирку добавьте немного соляной кислоты, в другую — уксусной, в третью — серной. Объясните наблюдавшиеся явления, используя представления о смещении равновесия ( $\text{PP}(\text{CaSO}_4) = 2,5 \cdot 10^{-9}$ ).

### Лабораторная работа 9. Растворимость фосфатов кальция

Налейте в три пробирки по 2–4 мл 0,1 М раствора хлорида кальция и по 2–4 мл растворов — в первую фосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , во вторую — гидрофосфата натрия  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и в третью — дигидрофосфата натрия  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ . Что наблюдается? Произведения растворимости фосфатов кальция равны:  $\text{PR}(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 2,0 \cdot 10^{-29}$ ,  $\text{PR}(\text{CaHPO}_4) = 2,7 \cdot 10^{-7}$  и  $\text{PR}(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) = 1 \cdot 10^{-3}$ . В предположении, что в растворе имеются ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и один из ионов —  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  или  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , рассчитайте растворимость фосфатов кальция.

Осадок каждой пробирки разделите на 6–8 частей и испытайте их растворимость в концентрированных и разбавленных растворах серной, соляной и уксусной ( $K = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ) кислот. Составьте таблицу с результатами опытов (осадок растворяется, осадок не растворяется). Объясните результаты опытов, используя представление (больше, меньше) о произведении растворимости.

### Лабораторная работа 10. Произведение растворимости малорастворимого гидроксида

Приготовьте немного (0,5 г) какого-либо малорастворимого в воде гидроксида, например  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  или др. К 5–10 мл 0,1 М раствора соответствующей соли прилейте раствор гидроксида натрия до образования осадка. Для амфотерных гидроксидов остерегайтесь избытка гидроксида натрия! (Почему?) Осадок отделите от раствора (декантацией, центрифугированием или фильтрованием) и промойте несколько раз дистиллированной водой. Затем осадок перенесите в маленькую колбочку, прилейте 40–50 мл дистиллированной воды и взболтайте для образования насыщенного раствора.

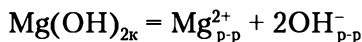
При помощи универсального индикатора, набора индикаторов или рН-метра определите рН насыщенного раствора гидроксида. Напишите уравнение реакции диссоциации гидроксида и составьте выражение произведения растворимости. Рассчитайте ПР гидроксида по известному вам значению концентрации гидроксид-ионов (моль/л). Способ определения ПР гидроксида с использованием индикаторов приближенный, так как значение рН определяется с погрешностью 0,5 ед. рН. Более точные данные получаются с использованием электронных рН-метров.

Если вы определите рН при двух температурах  $t_1$  и  $t_2$  (например, 20 и 30°C), то можете рассчитать изменения энтальпии и энтропии при растворении.

### Лабораторная работа 11. Определение произведения растворимости рН-метрическим титрованием

В данном эксперименте рН-метрическим титрованием определяется рН раствора, при котором происходит образование осадка гидроксида магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , и вычисляется его произведение растворимости.

При добавлении к раствору соли магния раствора гидроксида натрия начало осаждения гидроксида магния будет свидетельствовать о достижении в растворе таких концентраций ионов магния и гидроксид-ионов, при которых образуется насыщенный раствор гидроксида магния:



Концентрации ионов в растворе отвечают произведению растворимости

$$\text{ПР} = [\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^{-}]^2.$$

Преобразуем это выражение:

$$\begin{aligned} \text{ПР} &= [\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^{-}]^2 = \\ &= \frac{[\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^{-}]^2[\text{H}^{+}]^2}{[\text{H}^{+}]^2} = \frac{[\text{Mg}^{2+}]K_{\text{в}}^2}{[\text{H}^{+}]^2} = \frac{[\text{Mg}^{2+}] \cdot 10^{-28}}{[\text{H}^{+}]^2}. \end{aligned}$$

Определив концентрацию ионов водорода (или  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^{+}]$ ), можно рассчитать произведение растворимости гидроксида магния.

В стакан для титрования налейте, отмерив пипеткой или бюреткой, 100 мл 0,1 М раствора  $\text{MgCl}_2$ , поместите датчик рН-метра (или стеклянный электрод и электрод сравнения) и магнитную мешалку. В бюретку на 25 мл налейте 1 М раствор гидроксида натрия. При проведении таких опытов используется раствор гидроксида натрия, значительно более концентрированный по сравнению с раствором соли, чтобы в расчетах не учитывать разбавление раствора.

Запишите начальное положение уровня раствора в бюретке (с точностью 0,02 мл), включите мешалку, и порциями по ~0,5 мл приливайте раствор гидроксида натрия, каждый раз отмечая рН раствора. Одновременно постройте кривую титрования. На графике определите рН при переходе кривой в горизонтальную площадку, который примите за рН начала осаждения гидроксида магния. Отметьте число фаз и степеней свободы (правило фаз Гиббса). Титрование проведите 2–3 раза. Рассчитайте ПР гидроксида магния.

Аналогичным способом определите рН начала осаждения гидроксидов железа(III), алюминия, хрома(III), меди(II), цинка или других гидроксидов.

Определите ПР при двух температурах и рассчитайте термодинамические характеристики растворения гидроксида.

Объясните, почему раствор гидроксида натрия приливается к раствору соли, а не наоборот. Для каких гидроксидов это не имеет принципиального значения?

*Примечание.* Произведение растворимости можно определить, используя ионселективный электрод, чувствительный к данному катиону. Эксперимент проводится точно тем же способом, что и титрование.

## Глава 5

# СРЕДА РАСТВОРОВ

### 5.1. Практические задания

1. Энтальпия нейтрализации сильной кислоты HCl сильным основанием NaOH равна  $\Delta H = -58$  кДж/моль. Рассчитайте изменение энтальпии реакции, проходящей при смешении растворов:

Вариант	Раствор HCl		Раствор NaOH	
	объем	концентрация	объем	концентрация
а	1 л	1 М	1 л	1 М
б	500 мл	1 М	500 мл	1 М
в	500 мл	1 М	500 мл	1 М
г	100 мл	1 М	100 мл	1 М
д	100 мл	1 М	100 мл	1 М
е	1 л	1 М	500 мл	1 М
ж	1 л	1 М	100 мл	1 М
з	1 л	1 М	1 л	0,5 М
и	1 л	1 М	1 л	0,1 М
к	0,1 л	1 М	1 л	0,1 М

2. Вычислите pH растворов: 1) HCl; 2) NaOH; 3) HNO<sub>3</sub>; 4) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1-я ступень) для каждой из следующих концентраций:

а) 1 М; б) 0,1 М; в)  $1 \cdot 10^{-2}$  М; г)  $1 \cdot 10^{-3}$  М; д)  $1 \cdot 10^{-4}$  М; е)  $1 \cdot 10^{-5}$  М; ж)  $1 \cdot 10^{-6}$  М; з)  $1 \cdot 10^{-7}$  М; и)  $1 \cdot 10^{-8}$  М; к)  $1 \cdot 10^{-9}$  М.

3. Вычислите pH растворов HCl, NaOH, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1-я ступень) для каждой из следующих концентраций:

а) 1,4 М; б) 0,2 М; в)  $1,5 \cdot 10^{-2}$  М; г)  $2,3 \cdot 10^{-3}$  М; д)  $2,8 \cdot 10^{-4}$  М; е)  $4,5 \cdot 10^{-5}$  М; ж)  $7,1 \cdot 10^{-6}$  М; з)  $7,6 \cdot 10^{-7}$  М; и)  $8,4 \cdot 10^{-8}$  М; к)  $8,9 \cdot 10^{-9}$  М.

4. Вычислите концентрации ионов водорода и гидроксид-ионов в растворах со следующими pH:

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
pH	1,2	1,6	3,4	7,3	8,1	9,5	11,8	12,7	14,2	15,1

5. К  $x$  мл воды прилили  $y$  мл раствора соляной кислоты концентрации  $z$  моль/л. Чему равен pH полученного раствора?

Вариант	$x$ , мл воды	$y$ , мл HCl	$z$ , $C_{HCl}$ , моль/л	Вариант	$x$ , мл воды	$y$ , мл HCl	$z$ , $C_{HCl}$ , моль/л
а	90	10	0,01	е	83	33	0,25
б	50	70	0,08	ж	15	42	0,34
в	60	20	0,12	з	24	54	0,28
г	55	15	0,63	и	30	63	1,56
д	66	25	0,75	к	45	72	1,09

6. В мерную колбу на 100 мл поместили навеску  $m$  г гидроксида калия и долили воды до метки. Рассчитайте pH раствора.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
КОН, $m$ , г	2,345	2,484	5,185	1,923	3,129	4,253	1,973	3,228	2,695	2,911

7. Вычислите pH 20%-ного раствора КОН ( $\rho = 1,176$  г/мл).

8. Какой объем концентрированной хлороводородной кислоты ( $\rho = 1,19$  г/мл; ~12 М; 37,23 масс.%) следует растворить в воде для получения 1 л раствора с pH = 2?

9. Константа диссоциации уксусной кислоты  $CH_3COOH$  в водном растворе равна  $K_{кисл} = 1,86 \cdot 10^{-5}$ . Вычислите концентрацию ацетат-ионов, ионов водорода и pH раствора уксусной кислоты следующих концентраций:

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$C$ , моль/л	0,345	1,484	2,185	$1 \cdot 10^{-6}$	$3,129 \cdot 10^{-5}$	4,253	1,973	0,228	2,695	$1 \cdot 10^{-5}$

10. Константа диссоциации гидроксида аммония  $NH_4OH$  в водном растворе равна  $K_{осн} = 1,79 \cdot 10^{-5}$ . Вычислите концентрацию гидроксид-ионов и pH раствора гидроксида аммония следующих концентраций:

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$C$ , моль/л	0,34	0,48	0,18	$1 \cdot 10^{-6}$	0,12	0,25	0,97	0,22	0,69	$1 \cdot 10^{-5}$

11. Вычислите pH раствора уксусной кислоты концентрации  $C$  моль/л, содержащего  $m$  моль/л  $NaCH_3COO$  ( $K_{дисс} = 1,86 \cdot 10^{-5}$ ):

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$C$ , моль/л	0,34	0,48	0,58	$1 \cdot 10^{-6}$	0,12	0,25	0,97	0,22	0,69	$1 \cdot 10^{-5}$
$m$ , моль/л	0,25	0,97	0,22	0,69	$1 \cdot 10^{-5}$	0,34	0,48	0,58	$1 \cdot 10^{-6}$	0,12

12. В мерную колбу на 100 мл поместили  $m$  г  $NaCH_3COO$  и прилили до метки уксусную кислоту концентрации  $C$  моль/л. Вычислите pH полученного раствора ( $K_{дисс} = 1,86 \cdot 10^{-5}$ ):



Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$C$ , моль/л	0,34	0,48	0,58	$1 \cdot 10^{-6}$	0,12	0,25	0,97	0,22	0,69	$1 \cdot 10^{-5}$
$m$ , моль/л	1,25	2,97	1,22	2,69	$1 \cdot 10^{-5}$	2,34	0,48	0,88	$1 \cdot 10^{-6}$	0,12

**13.** Рассчитайте термодинамический  $pH_a$  раствора 0,01 и 0,001 М хлороводородной кислоты, содержащей  $m$  молей сульфата натрия  $Na_2SO_4$ . Советуем расчет провести приближенным методом: определите концентрацию ионов водорода без введения коэффициента активности; затем рассчитайте ионную силу раствора из концентраций ионов всех электролитов, вычислите коэффициент активности ионов водорода, активность ионов водорода и по полученному ее значению найдите  $pH_a$ ; сравните результаты.

Вариант	а		б		в		г		д		е	
$C_{(HCl)}$ , моль/л	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001
$C_{(Na_2SO_4)}$ , моль/л	0,01	0,001	0,1	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	1	0,001	0,01

**14.** Рассчитайте термодинамический  $pH_a$  раствора 0,01 и 0,001 М уксусной кислоты, содержащей  $m$  молей сульфата натрия  $Na_2SO_4$ . Советуем расчет провести приближенным методом, см. задачу 13.

Вариант	а		б		в		г		д		е	
$C_{(CH_3COOH)}$ , моль/л	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001
$C_{(Na_2SO_4)}$ , моль/л	0,01	0,001	0,1	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	1	0,001	0,01

**15.** Кислотные растворы имеют кислый вкус, основные — горьковатый вкус мыла. Сливаются равные объемы растворов хлороводородной (соляной) кислоты и гидроксида натрия одинаковой концентрации. Каков вкус полученного раствора?

**16.** Напишите молекульно-ионные уравнения гидролиза ионов солей и укажите среду раствора (кислотная, нейтральная, основная):

1. Ацетат натрия $NaCH_3COO$	2. Хлорид аммония $NH_4Cl$
3. Хлорид калия $KCl$	4. Хлорид натрия $NaCl$
5. Нитрат аммония $NH_4NO_3$	6. Ацетат аммония $NH_4CH_3COO$
7. Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$	8. Нитрит аммония $NH_4NO_2$
9. Хлорид железа(III) $FeCl_3$	10. Сульфат меди(II) $CuSO_4$
11. Сульфат железа(III) $Fe_2(SO_4)_3$	12. Хлорид меди(II) $CuCl_2$
13. Сульфат натрия $Na_2SO_4$	14. Карбонат натрия $H_2CO_3$
15. Фосфат натрия $Na_3PO_4$	16. Карбонат аммония $(NH_4)_2CO_3$
17. Хлорид цинка $ZnCl_2$	18. Фосфат аммония $(NH_4)_3PO_4$
19. Сульфит натрия $Na_2SO_3$	20. Сульфид натрия $Na_2S$

21. Гидрокарбонат натрия $\text{NaHCO}_3$	22. Гидрокарбонат аммония $\text{NH}_4\text{HCO}_3$
23. Гидрофосфат аммония $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	24. Сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
25. Сульфат цинка $\text{ZnSO}_4$	26. Сульфат оксожелеза(III) $\text{FeOH}\text{SO}_4$
27. Сульфат оксоалюминия $\text{AlOH}\text{SO}_4$	28. Сульфат оксоцинка $(\text{ZnOH})_2\text{SO}_4$
29. Соль по указанию преподавателя	

Предскажите pH раствора. Если гидролиз проходит по ступеням, напишите уравнения всех ступеней, соблюдая правило, что в уравнении каждой ступени гидролиза записывается одна молекула воды. Объясните, почему в водном растворе гидролиз не проходит по последней ступени. Как следует поступить, чтобы гидролиз прошел полностью? Считайте серную кислоту сильной кислотой, а фосфорную кислоту — слабой.

17. Почему цинк «растворяется» в растворе сульфата цинка  $\text{ZnSO}_4$ , но не растворяется в растворе ацетата цинка  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ?

18. Вычислите pH раствора соли концентрации  $C$ . Константы диссоциации слабых кислот и оснований  $K_{\text{дисс}}$  приведены.

Вариант	$C$ , моль/л	Соль	Электролит	$K_1$	$K_2$	$K_3$
1	0,1	Нитрит натрия	$\text{HNO}_2$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	—	—
2	0,01					
3	0,001					
4	0,1	Хлорид аммония	$\text{NH}_4\text{OH}$	$1,80 \cdot 10^{-5}$	—	—
5	0,01					
6	0,001					
7	0,1	Сульфит натрия	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$5,00 \cdot 10^{-6}$	—
8	0,01					
9	0,001					
10	0,1	Сульфид натрия	$\text{H}_2\text{S}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-15}$	—
11	0,01					
12	0,001					
13	0,1	Карбонат натрия	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-11}$	—
14	0,01					
15	0,001					
16	0,1	Ацетат натрия	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	—	—
17	0,01					
18	0,001					
19	0,1	Сульфат аммония	$\text{NH}_4\text{OH}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	—	—
20	0,01					
21	0,001					
22	0,1	Нитрит калия	$\text{HNO}_2$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	—	—
23	0,01					
24	0,001					

Вариант	C, моль/л	Соль	Электролит	$K_1$	$K_2$	$K_3$
25	0,1	Фосфат натрия	$H_3PO_4$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-13}$
26	0,01					
27	0,001					
28	0,1	Нитрат аммония	$NH_4OH$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	—	—
29	0,01					
30	0,001					

Повторите ваши расчеты с учетом ионной силы раствора.

**19.** Объясните среду раствора соли, представив катион окруженным шестью молекулами воды:

- хлорид железа  $FeCl_3$ ;
- хлорид цинка  $ZnCl_2$ ;
- сульфат цинка  $ZnSO_4$ ;
- сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ .

**20.** Вычислите константу диссоциации гидроксида аммония  $NH_4OH$ , исходя из того что 0,40 М раствор нитрата аммония  $NH_4NO_3$  имеет  $pH = 4,8$ .

**21.** Объясните, почему при введении в раствор хлорида железа  $FeCl_3$  раствора карбоната натрия (сода)  $Na_2CO_3$  в осадок выпадает не карбонат железа  $Fe_2(CO_3)_3$ , а гидроксид железа  $Fe(OH)_3$ . Напишите уравнение реакции.

**22.** Составьте сокращенным молекульно-ионным способом уравнения реакций, протекающих в водных растворах при сливании следующих растворов:

- хлорид алюминия  $AlCl_3$  + карбонат натрия (сода)  $Na_2CO_3$ ;
- хлорид алюминия  $AlCl_3$  + сульфид натрия  $Na_2S$ ;
- хлорид цинка  $ZnCl_2$  + карбонат натрия  $Na_2CO_3$ ;
- хлорид цинка  $ZnCl_2$  + сульфид натрия  $Na_2S$ ;
- хлорид железа  $FeCl_3$  + карбонат натрия  $Na_2CO_3$ ;
- хлорид железа  $FeCl_3$  + сульфид натрия  $Na_2S$ ;
- хлорид магния  $MgCl_2$  + карбонат натрия  $Na_2CO_3$ ;
- хлорид магния  $MgCl_2$  + сульфид натрия  $Na_2S$ ;
- сульфат меди  $CuSO_4$  + карбонат натрия  $Na_2CO_3$ ;
- сульфат меди  $CuSO_4$  + сульфид натрия  $Na_2S$ .

Предложите способы, как узнать, какой осадок образовался в результате реакции — карбонат, гидроксид, сульфид.

**23.** Воспользовавшись общими представлениями теории буферных систем, выскажите свои предположения о причинах постоянства концентраций кислорода и углекислого газа в атмосфере Земли.

**24.** Океаническая вода ведет себя как буферный раствор при поступлении в нее кислотных или основных вод. Опишите процессы, ответственные за буферное действие океанической воды.

**25.** Почему алюминий — яркий представитель амфотерных веществ, а расположенный рядом по периоду периодической таблицы кремний не амфотерен?

**26.** Почему при приливании раствора хлорида алюминия к концентрированному раствору гидроксида натрия осадок гидроксида алюминия не образуется, но образуется при приливании раствора гидроксида натрия к раствору хлорида алюминия? Возможно ли такое в природных процессах?

**27.** Почему, если в раствор хромата калия вводить под давлением углекислый газ, образуется дихромат-ион? Напишите уравнение процесса.

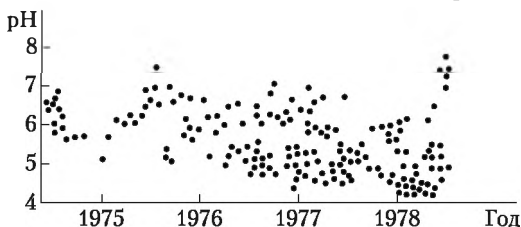
**28.** Составьте уравнения реакций превращения ионов в водных растворах при изменении среды раствора. Укажите среду раствора, необходимую для прохождения реакции. Приведите названия ионов.

- |   |  |  |
|---|--|--|
| 1. $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-}$                       | 2. $\text{ZnO}_2^{2-} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$                          | 3. $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{AlO}_2^-$                             |
| 4. $\text{AlO}_2^- \rightarrow \text{Al}^{3+}$                          | 5. $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{CrO}_2^-$                             | 6. $\text{CrO}_2^- \rightarrow \text{Cr}^{3+}$                             |
| 7. $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$           | 8. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{CrO}_4^{2-}$              | 9. $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$           |
| 10. $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-} \rightarrow \text{CrO}_4^{2-}$       | 11. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$ | 12. $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ |
| 13. $\text{P}_2\text{O}_4^{4-} \rightarrow \text{PO}_4^{3-}$            | 14. $\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{P}_2\text{O}_7^{4-}$               | 15. $\text{P}_2\text{O}_7^{4-} \rightarrow \text{HPO}_4^{2-}$              |
| 16. $\text{B}_4\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{BO}_3^{3-}$            | 17. $\text{BO}_3^{3-} \rightarrow \text{B}_4\text{O}_7^{2-}$               | 18. $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-} \rightarrow \text{Si}_4\text{O}_9^{2-}$    |
| 19. $\text{Si}_4\text{O}_9^{2-} \rightarrow \text{Si}_3\text{O}_7^{2-}$ |  |  |

**29.** Объясните причины буферного действия растворов, если оно возможно:

- $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaCH}_3\text{COO}$
- $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaH}_2\text{PO}_4$
- $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$
- $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$
- $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{NaH}_2\text{PO}_4$
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$
- $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3$
- $\text{AlCl}_3 + \text{NaCH}_3\text{COO}$

**30.** На рис. 5.1 показаны значения pH дождевых осадков в одной из местностей вблизи металлургического комбината в 1970-е гг. Как называются дожди с такими значениями pH? Предскажите



**Рис. 5.1.** Изменение pH дождевых вод в одной из местностей вблизи металлургического комбината в 1970-е гг.

(экстраполяцией), каково будет значение рН в наши дни. Какой математический прием может быть использован для проведения прямой, показывающей изменение рН во времени? Объясните, почему в настоящее время рН осадков — около 6.

**31.** Почему приятно пить обычную, но газированную воду?

**32.** Объем желудка составляет 500—700 мл. Рекомендовалось натошак за 20 мин до приема пищи принимать раствор пищевой соды  $\text{NaHCO}_3$  — 0,5 чайной ложки на стакан воды. Как повлияет этот раствор на пищеварение?

**33.** Приблизленно рассчитайте рН раствора пищевой соды, полученной добавлением в стакан воды половины чайной ложки гидрокарбоната натрия  $\text{NaHCO}_3$ .

**34.** Щавелевая (этандионовая) кислота  $\text{HOOC}-\text{COOH}$  имеет (при 25°C) константы диссоциации  $K_1 = 5,36 \cdot 10^{-2}$ ;  $K_2 = 5,42 \cdot 10^{-5}$ . Рассчитайте рН 0,01 М раствора.

## 5.2. Лабораторные исследования

### Лабораторная работа 1. Определение среды раствора

Во многих предлагаемых опытах следует определить среду раствора. Наиболее удобно использовать **рН-метр**, особенно миниатюрный электронный: его электрод достаточно опустить в раствор, и на маленьком экране появится значение рН раствора. Подробности о его использовании вы узнаете, прочитав инструкцию.

Определение среды раствора **набором индикаторов** сводится к последовательному наблюдению изменения окраски различных индикаторов в отдельных пробах исследуемого раствора. Испытание следует начинать с индикатора, имеющего интервал рН-перехода окраски в нейтральной среде.

При определении среды раствора набором индикаторов следует пользоваться маленькими пробирками, отбирая в них не более чем по 1 мл испытуемого раствора и прибавляя по 1—2 капли раствора индикатора. После прибавления одного индикатора к пробе раствор следует сохранить в штативе для пробирок. Нельзя в один и тот же раствор добавлять другой индикатор. Его вносят только в свежие порции изучаемого раствора. После установления кислотности среды раствора все пробирки следует показать преподавателю, сообщив (обязательно!), как был сделан вывод о среде раствора, и, если ответ правилен, вылить растворы из пробирок и их тщательно промыть.

Для быстрого определения рН раствора удобно пользоваться **универсальным индикатором**, который придает раствору окраску, соответствующую рН в пределах от 1 до 10. Окраски индикатора указываются в описании индикатора. При исследовании раствора

к 2—3 мл раствора в пробирке приливают из капельницы 1—2 капли универсального индикатора и по окраске раствора судят о его pH.

**1. Определение pH раствора сильной кислоты.**

Определите pH 0,1 М раствора соляной кислоты HCl (или азотной кислоты HNO<sub>3</sub>). Разбавьте раствор кислоты в 10 раз и повторите определение pH раствора. Сделайте вывод о силе хлороводородной кислоты.

**2. Определение pH раствора сильного основания.**

Определите pH 0,1 М раствора гидроксида натрия NaOH (или гидроксида калия KOH). Разбавьте раствор гидроксида в 10 раз и повторите определение pH раствора. Сделайте вывод о силе гидроксида натрия.

**3. Определение pH раствора слабой кислоты.**

Определите pH 0,1 и 0,01 М растворов уксусной кислоты CH<sub>3</sub>COOH и сравните с pH растворов соляной кислоты тех же концентраций. Оцените значение константы диссоциации уксусной кислоты.

**4. Определение pH раствора слабого основания.**

Определите pH 0,1 и 0,01 М растворов гидроксида аммония NH<sub>4</sub>OH (раствора аммиака) и сравните с pH растворов гидроксида натрия тех же концентраций. Оцените значение константы диссоциации гидроксида аммония.

## **Лабораторная работа 2.**

### **Смещение равновесия диссоциации**

**1. Смещение равновесия диссоциации уксусной кислоты**

К 2—3 мл раствора уксусной кислоты (2 М или другой концентрации) прибавьте 1—2 капли индикатора метилоранжевого. Отметьте окраску раствора. (Выше какого значения не может быть pH этого раствора?) Внесите в ту же пробирку несколько кристалликов ацетата натрия до изменения цвета раствора. Предложите объяснения, применив принцип Ле Шателье и используя константу равновесия уксусной кислоты ( $K_{\text{дисс}} = 1,86 \cdot 10^{-5}$ ). Другую порцию раствора уксусной кислоты испытайте действием ацетата аммония NH<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>COO. Сформулируйте выводы.

**2. Смещение равновесия диссоциации гидроксида аммония.**

К 2—3 мл раствора гидроксида аммония NH<sub>4</sub>OH (2 М или другой концентрации) прибавьте 1—2 капли индикатора фенолфталеина. Отметьте окраску раствора. (Выше какого значения не может быть pH этого раствора?) Внесите в ту же пробирку несколько кристалликов хлорида аммония NH<sub>4</sub>Cl до изменения цвета раствора. Предложите объяснения, применив принцип Ле Шателье и используя константу равновесия гидроксида аммония NH<sub>4</sub>OH ( $K_{\text{дисс}} = 1,79 \cdot 10^{-5}$ ). Другую порцию раствора гидроксида аммония испытайте действием ацетата аммония CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, сульфата аммония (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и нитрата аммония NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Сформулируйте выводы.

### Лабораторная работа 3. Среда растворов солей

Определите, пользуясь набором индикаторов, универсальным индикатором или рН-метром, среду растворов следующих солей (по указанию преподавателя). Уравнения реакций гидролиза в сокращенной молекульно-ионной форме записывать обязательно!

1. Хлорид натрия  $\text{NaCl}$ .
2. Хлорид кальция  $\text{CaCl}_2$ .
3. Нитрат натрия (или калия)  $\text{NaNO}_3$ .
4. Хлорид железа  $\text{FeCl}_3$ .
5. Хлорид алюминия  $\text{AlCl}_3$ .
6. Хлорид аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
7. Карбонат натрия (сода)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
8. Гирокарбонат натрия (питьевая сода)  $\text{NaHCO}_3$ .
9. Сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
10. Сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
11. Ацетат натрия  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ .
12. Сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .
13. Сульфат железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .
14. Фосфат натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .
15. Гидрофосфат натрия  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .
16. Дигидрофосфат натрия  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ .
17. Любая другая соль, указанная преподавателем.

### Лабораторная работа 4.

#### Влияние температуры на равновесие гидролиза

В две пробирки налейте по 2–3 мл раствора ацетата натрия  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ . Добавьте в каждую пробирку по 2–3 капли раствора фенолфталеина. Отметьте окраску и оцените среду раствора. Нагрейте одну из пробирок на водяной бане. Если окраска изменилась, в какую сторону, кислотную или основную, изменилась среда раствора? Охладите раствор. Окраска изменилась? Снова нагрейте. Докажите, что изменение температуры раствора приводит к смещению равновесия гидролиза. На основании принципа Ле Шателье предскажите знаки теплового эффекта и изменения энтальпии гидролиза.

### Лабораторная работа 5.

#### Полный гидролиз

К 2–3 мл раствора хлорида железа  $\text{FeCl}_3$  приливайте по каплям раствор карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  до прекращения реакции. Докажите, что образовался осадок  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , а не карбонат железа.

### Лабораторная работа 6.

#### Исследование поведения двух солей в растворе

Исследуйте поведение следующих пар веществ в их водных растворах (вариант задания вам укажет преподаватель). Слейте в пробирке по 2–3 мл растворов, указанных в каждом задании. Наблюдайте за тем, что происходит в растворе.

Составьте сокращенные молекульно-ионные уравнения реакций, протекающих в водных растворах. Как узнать, какой осадок образовался в результате реакции?

1. Хлорид алюминия  $\text{AlCl}_3$  + карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
2. Хлорид алюминия  $\text{AlCl}_3$  + сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
3. Хлорид цинка  $\text{ZnCl}_2$  + карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
4. Хлорид цинка  $\text{ZnCl}_2$  + сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
5. Хлорид железа  $\text{FeCl}_3$  + карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
6. Хлорид железа  $\text{FeCl}_3$  + сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
7. Хлорид магния  $\text{MgCl}_2$  + карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
8. Хлорид магния  $\text{MgCl}_2$  + сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
9. Сульфат меди  $\text{CuSO}_4$  + карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
10. Сульфат меди  $\text{CuSO}_4$  + сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .
11. Сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  + карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
12. Сульфат железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  + сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ .

### Лабораторная работа 7.

#### Среда растворов фосфатов натрия

Определите среду растворов (2–3 мл ~0,1 М) фосфатов натрия: однозамещенного (дигидрофосфат натрия  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), двухзамещенного (гидрофосфат натрия  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) и трехзамещенного (фосфат натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ). Напишите сокращенные молекульно-ионные уравнения реакций, объясняющих среду растворов.

### Лабораторная работа 8.

#### Определение кислотности или основности воды

Одной из характеристик природной воды является ее кислотность или основность, которые определяются титрованием 100 мл воды 0,100 М раствором гидроксида натрия с индикатором фенолфталеином до исчезновения слабо-розовой окраски или 0,100 М раствором соляной кислоты с индикатором метиловым оранжевым (метиловый оранжевый) до появления слабо-розовой окраски.

Кислотность или основность выражают числом миллилитров 1 М раствора кислоты или основания, пошедших на титрование 100 мл воды, или же в рН природной воды.

Определите кислотность или основность воды, взятой из различных источников (река, пруд, водопровод, дистиллятор, дождевая вода, снег и т.п.). Желательно определить рН набором индикаторов.



торов, универсальным индикатором и рН-метром. Рассчитайте рН изученных образцов воды. Сделайте выводы о среде воды из различных источников.

### **Лабораторная работа 9.** **Исследование буферных растворов**

#### **1. Исследование ацетатного буферного раствора.**

Воспользуйтесь ацетатным буферным раствором с концентрациями  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{NaCH}_3\text{COO}$  по 0,1 моль/л. Налейте в каждую из шести пробирок одинаковые объемы (2–3 мл) воды, растворов (0,1 М) соляной кислоты, гидроксида натрия, уксусной кислоты, ацетата натрия и буферного раствора. В пробирки внесите по 2–3 капли универсального индикатора, запишите цвет раствора и его рН.

Затем в каждую пробирку по каплям, считая их число, добавляйте 1 М раствор соляной кислоты. После добавления одной капли кислоты записывайте цвет раствора и его рН. Сколько капель кислоты понадобилось прибавить в каждую пробирку для изменения рН? Сравните буферные емкости всех растворов.

Исследуйте влияние разбавления на рН тех же растворов, приливая к ним по 1 мл воды. Повторите это исследование, воспользовавшись раствором гидроксида натрия. По полученным результатам предложите определение понятия «буферный раствор».

#### **2. Исследование аммиачного буферного раствора.**

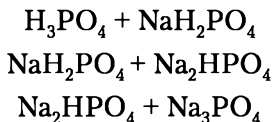
Эксперимент проводится так же, как это описано в п. 1.

#### **3. Исследование карбонатного буферного раствора.**

Карбонатный буферный раствор имеет состав  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ . Эксперимент проводится так же, как описано в п. 1.

#### **4. Исследование фосфатных буферных растворов.**

Фосфатные буферные растворы могут иметь следующий состав:



Эксперимент проводится так же, как описано в п. 1.

### **Лабораторная работа 10.** **Амфотерные свойства гидроксидов**

#### **1. Амфотерность гидроксида алюминия.**

К 5–10 мл 0,1 М раствора хлорида или сульфата алюминия прилейте немного раствора гидроксида натрия. С образовавшегося осадка слейте раствор (декантация), осадок разделите на две части и половину маленьким шпателем перенесите в другую пробирку.

На каждую часть осадка подействуйте раствором кислоты и основания. Напишите уравнения реакций.

**2. Влияние последовательности сливания растворов на реакцию.**

Прилейте к раствору соли алюминия (хлорид или сульфат) раствор гидроксида натрия и к раствору гидроксида натрия раствор соли алюминия. Объясните причину различных результатов. Возможно ли это явление в природных процессах?

**3. Амфотерность гидроксида цинка.**

Опыт с раствором соли цинка проведите так, как это описано в п. 1.

**4. Амфотерность гидроксидов других элементов**

Опыты проведите с растворами перечисленных ниже солей так, как это описано для гидроксида алюминия (см. п. 1). Напишите сокращенные молекульно-ионные уравнения реакций и объясните причины проявления или не проявления амфотерных свойств:

а) магний; б) кальций; в) железо(III); г) хром(III); д) медь(II).

### **Лабораторная работа 11.**

#### **Влияние среды раствора на состав ионов хрома(VI)**

Изучите свойства растворов хромата  $K_2CrO_4$  и дихромата калия  $K_2Cr_2O_7$  (0,01–0,1 М). Имейте в виду, что хромат-ионы  $CrO_4^{2-}$  в растворе имеют желтую окраску, а дихромат-ионы  $Cr_2O_7^{2-}$  — оранжевую. В водном растворе оба этих иона находятся в равновесии, которое смещается при изменении кислотности среды.

В пробирку налейте 1–2 мл раствора хромата калия и прибавляйте по каплям раствор серной кислоты (1 М). (Почему не рекомендуется приливать соляную кислоту?) После того как цвет раствора изменится, прилейте к нему по каплям раствор гидроксида натрия (1–2 М) до изменения окраски раствора. Напишите сокращенные молекульно-ионные уравнения реакций. Проведите аналогичные опыты с раствором дихромата калия. Убедитесь, что состав равновесной системы не зависит от того, какие вещества выступали в качестве исходных, а какие — в качестве продуктов реакции. Попробуйте получить раствор трихромат-иона  $Cr_3O_{10}^{2-}$ .

### **Лабораторная работа 12.**

#### **Контрольное задание на определение pH раствора**

Сдайте преподавателю маленькую колбочку на 20–25 мл, на горле которой укрепите этикетку со своей фамилией. Определите pH полученного раствора.

Если вы работаете с набором индикаторов, тщательно промойте дистиллированной водой пипетку с резиновым наконечником (как у глазной аптечной) и несколько маленьких пробирок, которые установите в штатив для пробирок. Налейте пипеткой в каждую про-

бирку приблизительно по 1 мл полученного раствора и добавьте по 1—2 капли раствора индикатора. Испытание начинайте с индикатора, изменяющего окраску вблизи нейтральной среды раствора. Далее в другие пробирки добавляйте другие индикаторы.

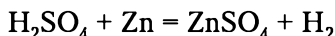
Определив рН раствора (погрешность 0,3 рН), напишите его значение на этикетке и вместе с пробирками в штативе покажите преподавателю. В случае ошибки повторите опыт.

## Глава 6

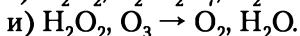
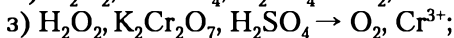
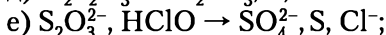
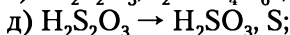
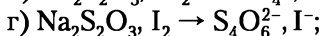
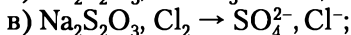
# ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

### 6.1. Практические задания

1. Назовите окислитель и восстановитель в следующих реакциях, проходящих в водном растворе, запишите сокращенные молекульно-ионные уравнения и константы равновесия реакций. Объясните причины различных продуктов реакций:



2. Воспользовавшись электронно-ионным способом подбора стехиометрических коэффициентов (без указания валентности и степени окисления!), составьте сокращенные молекульно-ионные уравнения окислительно-восстановительных реакций, протекающих в водном растворе (даны некоторые предполагаемые продукты). Напишите константы равновесия и предскажите влияние концентрации ионов водорода и pH на смещение равновесия и выход продуктов реакции:



3. Ниже перечислены некоторые нерастворимые в воде минералы, которые подвергают в водных растворах действию окислителей. Воспользовавшись электронно-ионным способом подбора коэффициентов (без указания валентности и степени окисления!), составьте сокращенные молекульно-ионные уравнения реакций. Напиши-

те константу равновесия реакции. Как влияют (качественно) концентрация ионов водорода и pH раствора на протекание реакции?

Из минералов могут получаться различные продукты, но при составлении уравнения считайте, что образуются ионы элементов металлического характера с высокими зарядами  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ , а также другие вещества. Сильные электролиты записывайте в виде ионов!

Вы можете написать уравнение реакции с окислителем, но в научной работе вам эти уравнения не понадобятся. Окислителем выберите самостоятельно. Окислителями могут быть концентрированные серная и азотная кислоты, дихромат калия и др. Продукты реакции определяются экспериментально, и часто образуются их смеси. Полное (молекулярное) уравнение реакции составлять не нужно (оно не имеет реального смысла!). Дано одно название минерала, хотя минерал того же состава может называться по-иному.

1. $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , магнетит	2. $\text{FeS}_2$ , пирит
3. $\text{Fe}_7\text{S}_8$ , пирротин	4. $\text{Co}_3\text{S}_4$ , линнеит
5. $\text{CuFeS}_2$ , халькопирит	6. $\text{FeNi}_2\text{S}_4$ , виоларит
7. $\text{Cu}_3\text{SbS}_4$ , фаматинит	8. $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ , энаргит
9. $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ , борнит	10. $\text{Cu}_3\text{VS}_4$ , сульванит
11. $\text{Cu}_3\text{BiS}_3$ , виттихенит	12. $\text{Cu}_6\text{Bi}_4\text{S}_9$ , клапротит
13. $\text{Pb}_6\text{Bi}_2\text{S}_9$ , беегерит	14. $\text{Pb}_4\text{Bi}_2\text{S}_7$ , гунгаррит
15. $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$ , козалиит	16. $\text{CuCo}_2\text{S}_4$ , карролит
17. $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ , тетраэдрит	18. $\text{PbSb}_2\text{S}_4$ , цинкениит
19. $\text{Pb}_4\text{Bi}_2\text{S}_7$ , гунгаррит	20. $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ , лиллианит

4. Ниже перечислены некоторые органические вещества, которые подвергают действию окислителей в водных растворах. Дано одно название вещества, хотя они могут иметь другие названия. Воспользовавшись электронно-ионным способом подбора коэффициентов (без указания валентности и степени окисления!), составьте сокращенные молекулярно-ионные уравнения реакций. Для облегчения составления уравнения записывайте простейшую (не структурную) формулу органического вещества в виде последовательности формул элементов с их нижними индексами.

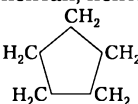
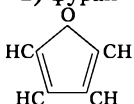
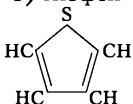
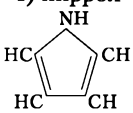
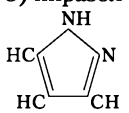
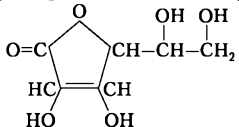
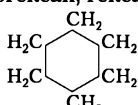
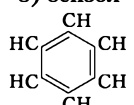
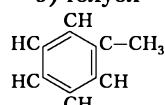
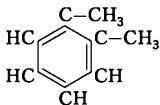
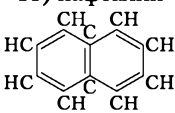
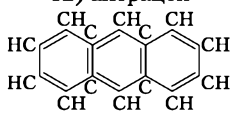
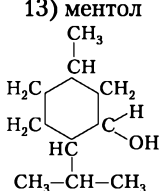
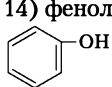
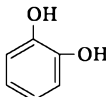
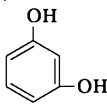
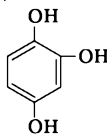
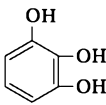
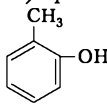
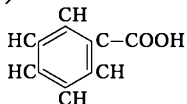
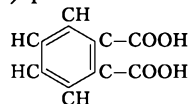
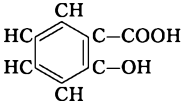
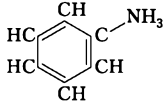
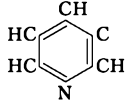
Из приводимых веществ могут получаться различные продукты, но при составлении уравнения считайте, что произошло полное окисление органического вещества и образовались диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , вода  $\text{H}_2\text{O}$ , азот  $\text{N}_2$  или его оксиды. Имейте в виду, что в зависимости от условий образуются смеси продуктов, которые следует определять экспериментально.

Напишите константу равновесия реакции. Как влияют (качественно) концентрация ионов водорода и pH раствора на протекание реакции?

1. $\text{CH}_4$ , <i>назовите</i>	2. $\text{C}_2\text{H}_6$ , <i>назовите</i>
3. $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , бутан	4. $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , пентан
5. $\text{C}_6\text{H}_{14}$ гексан	6. $\text{C}_7\text{H}_{16}$ , гептан
7. $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , октан	8. $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ , <i>назовите</i> , этен
9. $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2$ , пропилен, пропен	10. $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ , бутилен, бутен
11. $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$ , бутен-2	12. $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ , дивинил, бутадиен-1,2
13. $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_3$ изопрен, метилбутадиен	14. $\text{HC}\equiv\text{CH}$ , <i>назовите</i>
15. $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ , <i>n</i> -бутан	16. $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$ , изобутан
17. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , <i>назовите</i>	18. $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ , диметиловый эфир
19. $\text{C}(\text{CH}_3)_4$ , тетраметилметан, пентан	20. $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ , пентан
21. $\text{Al}_4\text{C}_3$ , карбид алюминия	22. $\text{CuC}_2$ , ацетиленид меди
23. $\text{CH}_3\text{OH}$ , <i>назовите</i>	24. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , <i>назовите</i>
25. $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$ , этиленгликоль	26. $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ , глицерин
27. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , глюкоза	28. $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , сахароза
29. $\text{HC}(\text{O})\text{H}$ , муравьиный альдегид	30. $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{H}$ , уксусный альдегид, этаналь
31. $\text{CH}_3\text{COOH}$ , <i>назовите</i>	32. $\text{HCOOH}$ , муравьиная кислота
33. $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , шавелевая кислота $\text{COOH}-\text{COOH}$	34. $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{COOH}$ , молочная кислота
35. $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ , пальмитиновая кислота	36. $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ , стеариновая кислота
37. $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ , олеиновая кислота	38. $\text{C}_{15}\text{H}_{104}\text{O}_6$ , олеодипальмитин, жир
39. $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , ацетон, диметилкетон	40. $\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$ , диэтиловый эфир
41. $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , лактоза	42. $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ , крахмал, клетчатка, целлюлоза
43. $\text{NH}_2\text{NH}_2$ , гидразин	44. $\text{NH}_2\text{OH}$ , гидроксилламин
45. $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ , глицин, гликокол, аминокислота	

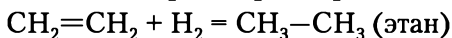
Вы можете (по просьбе преподавателя) написать уравнение реакции с окислителем, но в научной работе вам это не понадобится. Окислителями могут быть концентрированные серная и азотная кислоты, дихромат калия и др. Продукты реакции определяются экспериментально, и часто образуются их смеси. Сильные электролиты записывайте в виде формул ионов! Полное (молекулярное) уравнение реакции составлять не нужно (оно не имеет реального смысла!).

5. Составьте уравнения реакций полного окисления циклических соединений:

<p>1) циклопентан, пентаметилен</p> 	<p>2) фуран</p> 	<p>3) тиофен</p> 
<p>4) пиррол</p> 	<p>5) пиразол</p> 	<p>6) витамин С, (аскорбиновая кислота)</p> 
<p>7) циклогексан, гексаметилен</p> 	<p>8) бензол</p> 	<p>9) толуол</p> 
<p>10) ксилол, диметилбензол</p> 	<p>11) нафталин</p> 	<p>12) антрацен</p> 
<p>13) ментол</p> 	<p>14) фенол</p> 	<p>15) пирокатехин, о-диоксибензол</p> 
<p>16) пирокатехин, м-диоксибензол</p> 	<p>17) гидрохинон, п-диоксибензол</p> 	<p>18) пирогаллол, триоксибензол</p> 
<p>19) крезол</p> 	<p>20) бензойная кислота</p> 	<p>21) фталевая кислота</p> 
<p>22) салициловая кислота</p> 	<p>23) анилин</p> 	<p>24) пиридин</p> 

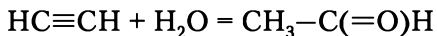
6. При действии концентрированной серной кислоты на этиловый спирт  $C_2H_5OH$  получают этилен  $C_2H_4$  и вода. Составьте уравнения окисления и восстановления и полное уравнение реакции.

7. Ацетилен присоединяет водород по следующим уравнениям:

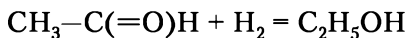


Это окислительно-восстановительные реакции или нет? Докажите.

8. Ацетилен присоединяет воду, и образуется уксусный альдегид:

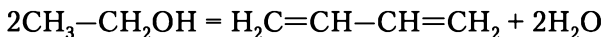


Уксусный альдегид реагирует с водородом, и образуется этиловый спирт:



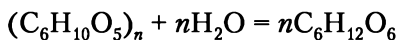
Если это уравнения окислительно-восстановительных реакций, составьте уравнения реакций окисления и восстановления.

9. Первый отечественный синтетический каучук был получен в 1926 г. С. В. Лебедевым (1874–1934) из дивинила (бутадиен-1, 3). Дивинил получали каталитическим разложением спирта:



Это окислительно-восстановительная реакция? Докажите правильность ответа. Опишите полимеризацию дивинила.

10. Целлюлоза, или клетчатка  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , при длительном кипячении в растворе серной кислоты превращается в глюкозу:



Можно ли считать эту реакцию окислительно-восстановительным гидролизом?

11. Для обнаружения спирта  $C_2H_5OH$  в выдыхаемом воздухе можно использовать триоксид хрома  $CrO_3$  в растворе серной кислоты  $H_2SO_4$ . Образуются ионы  $Cr^{3+}$  и уксусная кислота  $CH_3COOH$ . Какова окраска раствора с ионами хрома? Напишите уравнение реакции.

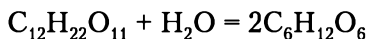
12. Этиловый спирт  $C_2H_5OH$  образуются из крахмала  $(C_6H_{10}O_5)_n$  картофеля или зерна при обработке проросшим ячменем (солод), содержащим фермент диастазу. Крахмал превращается в мальтозу (сахар)  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , которая, присоединяя воду, переходит в глюкозу  $C_6H_{12}O_6$ . Глюкоза в присутствии дрожжей переходит в этиловый спирт  $C_2H_5OH$  с выделением углекислого газа.

Напишите уравнения этой цепочки превращений. Формулу крахмала условно примите  $C_6H_{10}O_5$ . Какие реакции относятся к окислительно-восстановительным? Сколько электронов участвуют в превращении «молекулы» крахмала в молекулу этилового спирта? И в последующем его окислении до углекислого газа? Как вы думаете, это число электронов равно числу электронов, участвующих в фотосинтезе?



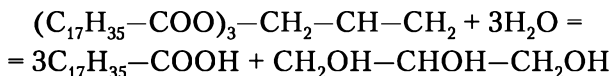
**13.** Молочная кислота  $\text{CH}_3\text{—CHON—COOH}$  в аэробных (с участием кислорода) условиях превращается в пировиноградную кислоту  $\text{CH}_3\text{—CO—COOH}$  и далее в уксусную кислоту  $\text{CH}_3\text{—COOH}$ . Напишите уравнения реакций. Если это окислительно-восстановительные реакции, определите число участвующих в них и в уравнении полной реакции электронов.

**14.** Мальтоза  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  широко распространена в природе. В живом организме она является промежуточным продуктом распада и синтеза крахмала  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$  и гликогена, животного крахмала той же формулы. Молекула мальтозы состоит из остатков двух молекул глюкозы, и гидролиз мальтозы приводит к образованию глюкозы:



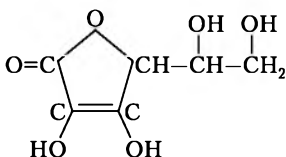
Если это окислительно-восстановительная реакция, выделите окислитель и восстановитель, составьте уравнения окисления и восстановления. Напишите константу равновесия реакции.

**15.** При кипячении жира с водой при температуре  $\sim 180^\circ\text{C}$  и давлении  $\sim 8$  атм образуются глицерин и жирные кислоты. Из тристеарина образуются стеариновая кислота и глицерин:

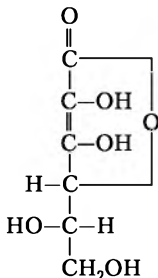


Представьте формулы веществ структурными формулами. К какому типу реакций относится эта реакция? Если в реакции участвуют электроны, составьте уравнения с их переходами. Напишите константу равновесия реакции. Каков ее вид в зависимости от концентрации раствора?

**16.** Формулу аскорбиновой кислоты (витамин С) иногда изображают так:



Не менее распространена и другая запись формулы:



Аскорбиновая кислота легко отдает и присоединяет атомы (ионы) водорода. Почему? Какая из этих формул лучше показывает окислительно-восстановительные свойства аскорбиновой кислоты? Укажите те места формулы, которые будут проявляться в реакциях окисления и восстановления. Какая из формул легче запоминается?

При недостатке витамина С нарушается углеводный обмен, понижается содержание гликогена в печени и сахара в крови, усиливается распад мышечного белка. Эти нарушения жизнедеятельности организма называют цингой. В начале заболевания человек чувствует слабость, затем начинаются боли в мышцах и суставах, появляются кроветечения, выпадают зубы и в конце концов наступает гибель организма. Для профилактики заболевания следует включать в пищу больше витамина С (смородина, шиповник). Путешественников спасают настои еловых шишек. Зимой хвоя содержит в два раза больше аскорбиновой кислоты. Для сравнения приводим среднее содержание (мг/100 г) витамина С в некоторых продуктах:

Мясо	5	Черная смородина	300
Картофель	10	Шиповник сушеный	1500
Лук зеленый	60	Хвоя летом	250–300
Укроп	150	Хвоя зимой	500–600

Суточная доза витамина С для взрослого человека — 50–100 мг. Найдите информацию о содержании аскорбиновой кислоты в популярных овощах и фруктах и рассчитайте, сколько овощей или фруктов следует съедать в день при мясной диете. Витамин С хорошо растворим в воде. Он самый нестойкий среди других витаминов и быстро разрушается при нагревании выше 50°C, поэтому варенье, например, из черной смородины не содержит этот витамин. Предскажите вещества, образующиеся при нагревании водного раствора аскорбиновой кислоты и реакции.

Витамин С также применяют при инфекционных заболеваниях, нарушении функций печени, легких (туберкулез), атеросклерозе и других болезнях. Аскорбиновая кислота не относится к лекарственным, так как ее можно принимать до 10 г и больше в сутки. Такие высокие дозы обычно не отражаются на состоянии человека, хотя реакция может быть индивидуальной и нельзя принимать большие дозы витамина без консультации с врачом. По непроверенным данным, высокие ежедневные дозы витамина С способствуют продлению жизни человека.

Обратите внимание, в задании обсуждался витамин С, аскорбиновая кислота. Было предложено две формулы молекулы. Обсуждались реакции вещества. Говорилось о содержании витамина в различных растениях, последствиях его недостатка в пище и дру-

гих свойствах аскорбиновой кислоты. Это было сделано не для того, чтобы увеличить объем книги, а чтобы показать необходимость многостороннего рассмотрения любого изучаемого объекта.

17. В 1828 г. немецкий химик Фридрих Велер (1800–1882), работая с цианатом аммония, случайно получил  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  — мочевины, карбамид, амид угольной кислоты. Напишите уравнение реакции. Эта реакция — окислительно-восстановительная или нет?

18. Выберите любые два уравнения электродных реакций и определите, какое из них имеет взаимное окислительное или восстановительное действие. Напишите полное молекулярно-ионное уравнение реакции. Вычислите ЭДС реакции,  $\Delta G$  реакции и константу равновесия. Преподаватель для выбора уравнений назовет вам два номера реакций.

1	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	$E = 1,33 \text{ В}$
2	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = 1,51 \text{ В}$
3	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	$E = 0,45 \text{ В}$
4	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{S}$	$E = 0,17 \text{ В}$
5	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	$E = 0,98 \text{ В}$
6	$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	$E = 1,45 \text{ В}$
7	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$E = 0,17 \text{ В}$
8	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e = \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = 0,36 \text{ В}$
9	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e = \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = 0,31 \text{ В}$
10	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	$E = 0,96 \text{ В}$

Определите уравнение, проявляющее окислительные и восстановительные свойства, и напишите соответствующие уравнения, не забыв поменять знак электродного потенциала одной из них. Составьте из этих уравнений одно суммарное уравнение. Назовите окислитель и восстановитель. Рассчитайте ЭДС реакции,  $\Delta G$  и константу равновесия. Сделайте вывод о направлении смещения равновесия этой реакции.

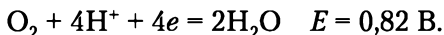
19. Для уравнений, приведенных в задании 18, рассчитайте ЭДС при нестандартных концентрациях одного или нескольких компонентов:

а) 1 моль/л; б) 0,1 моль/л; в) 0,01 моль/л; г) 0,001 моль/л; д) 0,0001 моль/л.

20. Для уравнений, приведенных в задании 18, рассчитайте ЭДС при нестандартных концентрациях одного или нескольких компонентов с учетом ионной силы раствора:

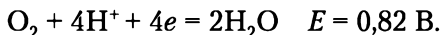
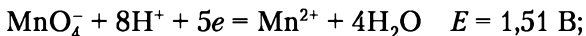
а) 1,5 моль/л; б) 1 моль/л; в) 0,5 моль/л; г) 0,1 моль/л; д) 0,05 моль/л.

21. Окисление кислородом воздуха в водном растворе описывается уравнением



Определите, можно ли кислородом воздуха окислить вещества, записанные в правой части любого уравнения задания 18.

22. Устойчив ли водный раствор перманганата калия? По-другому вопрос можно задать так: будет ли перманганат-ион реагировать с водой с образованием кислорода, если



23. Определите, будет ли устойчив водный раствор одного из нижеперечисленных веществ при стандартных условиях (будет вещество или анион соли реагировать с водой с образованием кислорода?). Стандартные электродные потенциалы реакций даны в гл. 10.

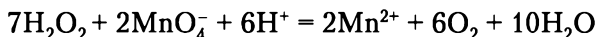
а)  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; б)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; в)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; г)  $\text{NaNO}_3$ ; д)  $\text{NaNO}_2$ ; е)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; ж)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ; з)  $\text{Na}_2\text{S}$ ; и)  $\text{H}_2\text{O}_2$ ; к)  $\text{Cl}_2$ ; л)  $\text{O}_3$ .

24. Определите, будет ли устойчив водный раствор одного из перечисленных в задании 23 веществ при нестандартных условиях (будет вещество или анион соли реагировать с водой с образованием кислорода?). Концентрации (моль/л): а) 0,001; б) 0,01; в) 0,1; г) 0,005; д) 0,05.

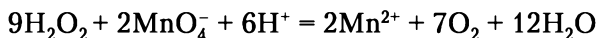
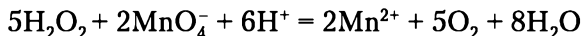
25. Рассчитайте электродные потенциалы реакций, веществ, приведенных в задании 23, с водой с учетом ионной силы раствора. Концентрации (моль/л): а) 0,01; б) 0,1; в) 1; г) 0,5; д) 1,5.

26. Напишите уравнение реакции между перманганат-ионом  $\text{MnO}_4^-$  и пероксидом водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  в водном растворе. В реакции образуются ионы  $\text{Mn}^{2+}$  и кислород  $\text{O}_2$ . Какие коэффициенты вы получили?

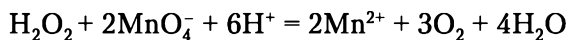
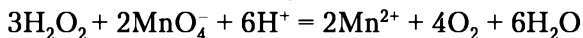
Одно из возможных уравнений



Найдите ошибку или объясните, почему ваши коэффициенты другие. Реакция перманганат-иона с пероксидом водорода в кислотном растворе может быть записана другими уравнениями, например

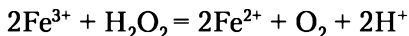


Укажите причину возникновения таких коэффициентов и напишите еще хотя бы одно уравнение реакции перманганат-иона с пероксидом водорода. Если вам удалось объяснить это странное явление, объясните причину появления указанных коэффициентов в записи следующих уравнений:

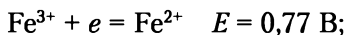


Могут ли проходить реакции по этим уравнениям?

**27.** Обсудите возможность прохождения реакции восстановления ионов  $\text{Fe}^{3+}$  пероксидом водорода в водном растворе:

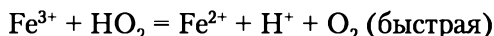
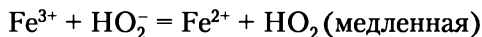
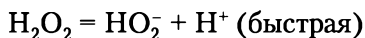


Рассчитайте ЭДС реакции,  $\Delta G$  и константу равновесия, воспользовавшись стандартными электродными потенциалами:



Изучение зависимости реакции от концентрации компонентов показало, что при увеличении концентрации по отдельности  $\text{Fe}^{3+}$  или  $\text{H}_2\text{O}_2$  в два раза скорость реакции возрастает в два раза. Каково кинетическое уравнение реакции? Определите, как изменится скорость реакции при увеличении концентрации  $\text{Fe}^{3+}$  или  $\text{H}_2\text{O}_2$  в три раза. Предскажите, как изменится скорость реакции при разбавлении раствора водой в 2 или 10 раз.

Предложен следующий механизм реакции:



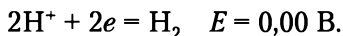
Докажите, что этот механизм не противоречит рассмотренной зависимости скорости от концентраций реагирующих веществ. Какая стадия является лимитирующей? Каковы ее молекулярность и порядок? Каков общий порядок реакции? Обратите внимание на существование таких сложных ионов и молекул, как  $\text{HO}_2^-$  и  $\text{HO}_2$ , и на то, что в реакции образуется две и даже три частицы. Почему нет стадий с образованием одной частицы?

**28.** Что произойдет, если электролитический мостик в гальваническом элементе заменить металлической проволокой?

**29.** Будут ли перечисленные металлы растворяться в 1 М растворе соляной кислоты?

1	Алюминий	$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	$E = -1,66 \text{ В}$
2	Железо	$\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$	$E = -0,44 \text{ В}$
3	Золото	$\text{Au}^{3+} + 3e = \text{Au}$	$E = 1,50 \text{ В}$
4	Кобальт	$\text{Co}^{3+} + 3e = \text{Co}$	$E = 0,33 \text{ В}$
5	Марганец	$\text{Mn}^{2+} + 2e = \text{Mn}$	$E = -1,19 \text{ В}$
6	Медь	$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$	$E = 0,34 \text{ В}$
7	Никель	$\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}$	$E = -0,23 \text{ В}$

8	Олово	$\text{Sn}^{2+} + 2e = \text{Sn}$	$E = -0,14 \text{ В}$
9	Платина	$\text{Pt}^{2+} + 2e = \text{Pt}$	$E = 1,20 \text{ В}$
10	Свинец	$\text{Pb}^{2+} + 2e = \text{Pb}$	$E = -0,13 \text{ В}$
11	Серебро	$\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$	$E = 0,80 \text{ В}$
12	Титан	$\text{Ti}^{2+} + 2e = \text{Ti}$	$E = -1,63 \text{ В}$
13	Уран	$\text{U}^{3+} + 3e = \text{U}$	$E = -1,80 \text{ В}$
14	Хром	$\text{Cr}^{3+} + 3e = \text{Cr}$	$E = -0,74 \text{ В}$
15	Цинк	$\text{Zn}^{2+} + 2e = \text{Zn}$	$E = -0,76 \text{ В}$



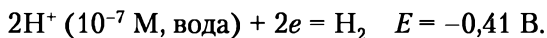
Сделайте вывод о возможности реакции и напишите ее. Рассчитайте ЭДС реакции. Напишите константу равновесия и рассчитайте ее значение. Рассчитайте ЭДС при нестандартных условиях. Предскажите условия смещения равновесия в ту или иную сторону.

*Примечание.* Несмотря на обнаруженную вами термодинамическую возможность прохождения реакции, она может не проходить из-за наличия защитной (оксидной) пленки на поверхности металла. Если окажется, что металл растворяться не может, тем не менее его растворение возможно по другому уравнению, при других концентрациях реагирующих веществ благодаря образованию комплексных соединений и т.п.

**30.** У всех реакций задания 29 определите ЭДС при концентрациях соляной кислоты: а) 0,0001 М; б) 0,001 М; в) 0,01 М; г) 0,1 М; д) 1 М; е) 10 М.

**31.** Не смогли бы вы предложить качественную реакцию на кислород?

**32.** Будет ли один из перечисленных в задании 29 металлов «растворяться» в воде, если



Напишите уравнение возможной реакции. Рассчитайте ее ЭДС. Напишите константу равновесия и рассчитайте ее. Предскажите условия смещения равновесия.

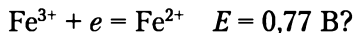
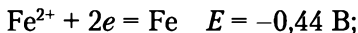
**33.** Выберите два металла из списка задания 29 и предскажите реакцию, которая будет проходить в стандартном (1 М) растворе ионов этих металлов. Напишите уравнение реакции. Рассчитайте ЭДС. Напишите и рассчитайте константу равновесия. Предскажите условия смещения равновесия в ту или иную сторону.

**34.** Воспользовавшись данными задания 29, определите возможность прохождения реакции между металлами в растворах их солей (ионов) при нестандартных условиях:

а) концентрация каждого иона 0,01 моль/л;

- б) концентрация каждого иона 0,1 моль/л;
- в) концентрация каждого иона 1 моль/л;
- г) концентрации ионов по 0,01 и 0,1 моль/л;
- д) концентрации ионов по 0,01 и 1 моль/л;
- е) концентрации ионов по 0,1 и 1 моль/л.

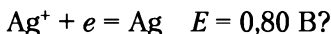
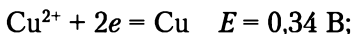
**35.** Можно ли металлическим железом перевести ион  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{2+}$ , если



Что произойдет, если в раствор  $\text{Fe}^{3+}$  поместить кусок железа? Можно ли при помощи металлического железа предохранить раствор  $\text{Fe}^{2+}$  от окисления его кислородом воздуха?

**36.** Напишите уравнения реакций электролиза ионов в водных растворах следующих электролитов: а)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; в)  $\text{HCl}$ ; г)  $\text{NaCl}$ ; д)  $\text{CuSO}_4$ ; е)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; ж)  $\text{MgCl}_2$ ; з)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; и)  $\text{NiCl}_2$ .

**37.** Какой металл — медь или серебро — выделится в первую очередь при электролизе раствора нитратов меди и серебра, если



**38.** Через раствор нитрата серебра пропущен ток силой 1 А в течение 1 с. Сколько серебра выделилось? Какое вещество образовалось на другом электроде?

**39.** Через раствор сульфата меди пропущен постоянный ток силой 0,5 А в течение 1 мин. Сколько меди выделилось? Какое вещество образовалось на другом электроде?

**40.** Через раствор сульфата меди пропустили постоянный ток. Сколько меди выделилось? Какое вещество и в каком количестве образовалось на другом электроде?

Вариант	Сила тока, А	Время, мин	Вариант	Сила тока, А	Время, мин
а	2	30	е	4,5	55
б	2,5	35	ж	5	60
в	3	40	з	5,5	65
г	3,5	45	и	6	70
д	4	50	к	6,5	75

**41.** Как долго следует пропускать ток силой 1 А через раствор сульфата меди, чтобы осадить 1 г меди?

**42.** Через 1 л 1 М раствора сульфата меди при температуре 25°C и атмосферном давлении 100 000 Па пропущен постоянный ток силой 2 А в течение 1 ч. Сколько меди выделилось?

**43.** Три электролизера, содержащие растворы  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{NaCl}$ , соединены последовательно. Через цепь пропущено 96 485 Кл

электричества. Сколько хлора и металла выделится в каждом электролизере?

44. Напишите уравнения реакции электролиза ионов в водных растворах электролитов и вычислите количество получающегося вещества. Определите вещества, которые были взяты в недостатке или в избытке. В задании предложены некоторые данные, которые не используются для ответа.

Вариант	Электролит	Сила тока, А	Время, мин	Концентрация, моль/л	Напряжение, В	Объем раствора, л
а	$\text{CuSO}_4$	2	5	0,01	12	0,5
б	$\text{NiCl}_2$	3	10	0,1	24	0,2
в	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	10	30	1	6	10
г	$\text{MgCl}_2$	10	2	0,01	6	5
д	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	5	30	2	12	1
е	$\text{HCl}$	4	60	1	12	5
ж	$\text{H}_2\text{SO}_4$	2	120	0,01	6	1
з	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	5	90	1	24	10
и	$\text{NaCl}$	10	30	0,1	12	3
к	$\text{NaOH}$	15	60	2	12	5

45. Через электролизер с раствором сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  пропустили 96 485 Кл электричества. Сколько меди выделилось на электроде? Теперь соединили последовательно два точно таких же электролизера и пропустили 96 485 Кл электричества. Сколько всего меди выделилось в обоих электролизерах? Точно так же соединили три электролизера и пропустили то же количество тока. Сколько меди выделилось? А если соединить последовательно четыре, 10 или бесконечно большое число электролизеров, сколько меди может быть получено?

Из результатов решения следует, что, соединяя последовательно несколько (или бесконечно большое) число электролизеров, можно, пропуская одно и то же количество электричества, получить любое (даже бесконечно большое) количество меди. Может ли такое быть в природе?

46. Предскажите среду (кислотная, нейтральная или основная) существования в водном растворе следующих веществ:

- а)  $\text{Cr}^{3+}$ ; б)  $\text{CrO}_2^-$ ; в)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ; г)  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ ; д)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ; е)  $[\text{Cr}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^-$ .

47. Составьте уравнение перехода иона  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  в ион  $[\text{Cr}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^-$  и предскажите среду перехода.

48. Напишите уравнения реакций перехода дихромат-иона  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  в ионы хрома с трехвалентным состоянием.



49. В почве проходит реакция нитрофикации



Образующийся ион  $\text{NO}_3^-$  используется для питания растений. Составьте уравнения окисления и восстановления.

50. На воздухе диоксид серы реагирует с кислородом по реакции



Составьте уравнения окисления и восстановления.

51. Через раствор соли меди пропустили постоянный ток силой 2 А в течение 30 мин. Сколько меди выделится на электроде? Какое вещество и в каком количестве выделится на другом электроде?

52. В течение какого времени следует пропускать постоянный ток силой 6 А и напряжением 8 В через 12 л 2,2 М раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , чтобы получить 1,25 л газа (какого?) при температуре 20°C и давлении  $9,86 \cdot 10^4$  Па?

53. Через раствор соли пропущен постоянный ток силой 2 А в течение 1 ч. Выделилось 0,910 г металла, его удельная теплоемкость равна 1,024 Дж/(К·г). При сжигании в кислороде 0,810 г металла образовалось 1,343 г оксида. При действии хлороводородной кислоты на 0,100 г металла выделилось 969 мл водорода, который собрали при температуре 19°C и давлении  $1,051 \cdot 10^5$  Па. Давление пара воды при этой температуре равно  $2,2 \cdot 10^3$  Па. Что это за металл и какова его молярная масса? Как вы думаете, за что преподаватель поставил бы вам «пять с плюсом»?

## 6.2. Лабораторные исследования

При объяснении окислительно-восстановительных реакций в каждом опыте рассчитайте ЭДС и константу равновесия и сделайте вывод о возможности прохождения реакции. Электродные потенциалы реакций смотрите в задачах параграфа 6.1.

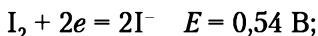
### Лабораторная работа 1.

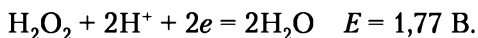
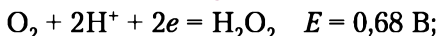
#### Обнаружение пероксида водорода

К разбавленному и подкисленному серной кислотой раствору (2—3 мл) иодида калия добавьте несколько капель раствора пероксида водорода (3—10%). Раствор окрасится в желто-бурый цвет. При добавлении в него нескольких капель раствора крахмала цвет смеси мгновенно становится синим. Напишите уравнение реакции (образующиеся вещества вы знаете!).

Рассчитайте ЭДС реакции, чтобы убедиться в том, что реакция возможна.

Электродные потенциалы (выберите нужное вам уравнение):





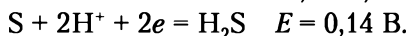
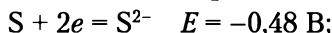
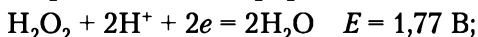
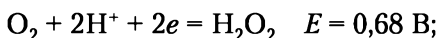
Обнаружению сероводорода препятствует озон. (Почему?)

### Лабораторная работа 2.

#### Реакция $\text{H}_2\text{O}_2$ с сероводородом и сульфид-ионами

Предскажите, какие продукты должны образоваться в реакциях пероксида водорода с сероводородом и сульфид-ионами. Проверьте свое предположение опытом. Изучите действие раствора пероксида водорода на сероводородную воду или раствор сульфида натрия. По результатам опытов составьте уравнения реакций. Рассчитайте ЭДС реакции и сделайте вывод о возможности ее прохождения.

Выберите нужные вам уравнения и электродные потенциалы:



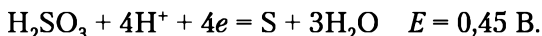
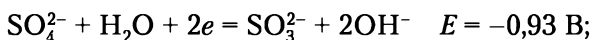
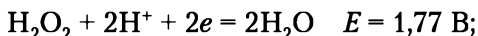
Измените среду раствора (кислотная или основная) и сделайте вывод о влиянии среды раствора на прохождение реакций. Воспользуйтесь уравнением Нернста для предсказания изменения ЭДС в зависимости от концентрации реагентов. В формулу Нернста концентрации реагентов не подставляйте, требуется качественный ответ — больше или меньше.

### Лабораторная работа 3.

#### Реакция $\text{H}_2\text{O}_2$ с $\text{H}_2\text{SO}_3$ и сульфит-ионами

Предскажите продукты реакции пероксида водорода с сернистой кислотой и сульфит-ионами. Проверьте свое предположение опытом. К 2—3 мл сернистой кислоты прилейте столько же 3%-ного раствора пероксида водорода. Как доказать образование предполагаемых продуктов реакции? Напишите уравнения реакций и рассчитайте их ЭДС.

Выберите нужные вам уравнения и электродные потенциалы реакций:



Те же опыты повторите с подкисленным и основным растворами сульфита натрия и сделайте выводы о влиянии среды раствора на протекание реакций. Воспользуйтесь уравнением Нернста для предсказания изменения ЭДС в зависимости от концентрации реагентов. В формулу Нернста концентрации реагентов не подставляйте, требуется качественный ответ — больше или меньше.

#### **Лабораторная работа 4.**

##### **Окислительные свойства перманганат-иона**

Концентрации растворов в этих опытах — 0,5–1 М.

1. К 3–4 мл водного раствора перманганата калия прилейте 1 мл 0,1 М раствора серной кислоты и 3–4 мл раствора сульфита натрия или раствора диоксида серы. Напишите уравнение реакции. Рассчитайте ЭДС и константу равновесия.

2. Выполните тот же опыт, но с раствором сульфида натрия или сероводородной воды. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

3. Те же опыты повторите при нейтральной среде растворов. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

4. Повторите те же опыты, но вместо серной кислоты воспользуйтесь раствором гидроксида натрия или калия. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

5. К подкисленному раствору перманганата калия прилейте 1–2 мл щавелевой (этандионовой) кислоты  $\text{HOOC}-\text{COOH}$  и полученный раствор разлейте в две пробирки. В одну прилейте немного раствора, содержащего ионы  $\text{Mn}^{2+}$ . Объясните результаты. Напишите уравнение реакции.

6. Проведите реакцию между перманганатом калия в кислотном растворе (прилейте 1–2 мл разбавленной кислоты) и раствором нитрита калия (или натрия). Предскажите продукты реакции и составьте уравнение реакции. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

7. Проведите реакцию между перманганатом калия в кислотном растворе (прилейте 1–2 мл разбавленной кислоты) и раствором пероксида водорода. Предскажите продукты реакции и составьте уравнение реакции. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

#### **Лабораторная работа 5.**

##### **Окислительные свойства дихромат-иона**

Концентрации растворов в этих опытах — 0,5–1 М.

1. К 3–4 мл водного раствора дихромата калия прилейте 1 мл 0,1 М раствора серной кислоты и 3–4 мл раствора сульфита натрия или раствора диоксида серы. Напишите уравнение реакции. Рассчитайте ЭДС и константу равновесия.

2. Выполните тот же опыт, но с раствором сульфида натрия или сероводородной воды. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

3. Выполните тот же опыт, но с раствором сульфата железа(II). Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

4. Выполните тот же опыт с кислотным (серная кислота) раствором дихромата калия и 1–2 мл этилового спирта. Раствор слегка нагрейте. Должен появиться запах уксусного альдегида  $\text{CH}_3\text{CHO}$ .

### **Лабораторная работа 6.**

#### **Свойства нитрит-иона**

1. К подкисленному серной кислотой раствору иодида калия прилейте раствор нитрита калия. Предскажите продукты реакции и составьте уравнение реакции. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

2. Изучите отношение нитрит-иона к перманганат-иону и дихромат-иону. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

### **Лабораторная работа 7.**

#### **Вытеснение металлов из растворов их солей**

Налейте в отдельные пробирки по 1–2 мл растворов солей цинка, железа, кальция, меди, магния, натрия, калия, свинца и других солей, которые имеются в лаборатории. Опустите в каждую пробирку по пластинке (или кусочку) цинка, предварительно очистив поверхность металла от загрязнений. Соберите сведения у других участников исследования о том, какие металлы выделяются на поверхности цинка.

Аналогичным путем проведите опыты, опуская в растворы проволочки или пластинки из других металлов — меди, алюминия, магния, железа, олова, свинца.

Сведите результаты наблюдений в таблицу, отмечая те сочетания «ион — металл», при которых металлы вытеснялись из растворов их солей. Расположите металлы в такой последовательности, чтобы каждый металл мог вытеснить все следующие за ним металлы из растворов их солей. Сравните ваши результаты с последовательностью металлов, расположенных по их электродным потенциалам.

Напишите уравнения реакций. Рассчитайте ЭДС реакции и константу равновесия.

### **Лабораторная работа 8.**

#### **Скорость реакции цинка с ионами водорода**

В две пробирки налейте по 2–3 мл разбавленной серной кислоты, в каждую поместите по одинаковому кусочку цинка и отметьте

по числу выделяющихся пузырьков водорода скорость реакции. В одну из пробирок положите маленький кристаллик медного купороса (сульфат меди). Как изменилась скорость реакции цинка с ионами водорода? Объясните причину наблюдавшегося явления. Напишите уравнения реакций.

### **Лабораторная работа 9.**

#### **Коррозия омедненного и неомедненного цинка**

В пробирку с 2—3 мл 0,1—0,2 М раствора сульфата меди опустите кусочек цинка. Через 4—5 мин слейте раствор и промойте металл водой. Что произошло с цинком? Налейте в две пробирки по 3—4 мл 1 М раствора соляной кислоты. В одну пробирку поместите кусочек омедненного цинка, а в другую — неомедненного. В какой из пробирок и почему водород выделяется в большем количестве?

### **Лабораторная работа 10.**

#### **Коррозия при контакте двух металлов**

Этот опыт можно выполнить в двух вариантах.

1. Вариант 1. В пробирку налейте 0,1 М раствор соляной кислоты. Поместите в раствор кусочек цинка. Что происходит? Рядом погрузите медную проволочку. Что вы наблюдаете? Прикоснитесь в растворе медной проволочкой к цинку. Объясните, почему водород стал выделяться на меди. Что произойдет, если вместо меди взять алюминий или железо? Напишите уравнения реакций и рассчитайте их ЭДС при стандартных концентрациях и константу равновесия.

2. Вариант 2. В стеклянный стаканчик налейте 0,1 М раствор соляной кислоты. Поместите в раствор полоску цинковой фольги. Что вы наблюдаете? Затем в стакан опустите медную проволоку. Прикоснитесь ближе ко дну стакана концом проволоки к цинковой полоске. Что наблюдается? Не разъединяя металлы в растворе, соедините верхние концы полоски и проволоки другим проводником. Что наблюдается? Разъедините металлы в растворе, но не разъединяйте их верхний контакт. Что произошло? Объясните наблюдавшиеся вами явления. На каком металле выделяется водород?

### **Лабораторная работа 11.**

#### **Защитные пленки на поверхности железа**

Железную проволоку (скрепку) опустите на 1—2 мин в концентрированную азотную кислоту (*Осторожно! Тяга!*). Взаимодействует ли железо с концентрированной азотной кислотой? Затем извлеките проволоку из кислоты, промойте ее дистиллированной водой и внесите в раствор серной кислоты. Сравните поведение

в серной кислоте обработанной в азотной кислоте проволоки и не-обработанной.

Извлеките из кислоты проволоку, промойте ее водой и часть ее протрите наждачной бумагой или напильником и снова погрузите в раствор серной кислоты. Объясните, что наблюдается. Повторите этот опыт, обрабатывая железную проволоку концентрированными серной, соляной, фосфорной и уксусными кислотами. Какие кислоты создают на железе защитные пленки? Каков может быть состав этой пленки?

## **Лабораторная работа 12.**

### **Коррозия алюминия**

1. В две пробирки налейте раствор (0,1 М) сульфата меди и хлорида меди (если в лаборатории нет хлорида меди, можно в раствор сульфата меди добавить немного кристалликов хлорида натрия). В каком из растворов алюминий растворяется? Объяснить этот опыт трудно, но считают, что хлорид-ионы способствуют коррозии алюминия, проникая в оксидную пленку и разрушая ее. Этот опыт показывает, что часто случайные факторы могут оказаться существенными для процесса коррозии.

2. Опустите полоску алюминия в раствор серной кислоты. Что вы наблюдаете? Добавьте в раствор азотную кислоту. Изменилось ли что-то в прохождении реакции?

Полоску алюминия опустите в азотную кислоту на 1–2 мин. Извлеките полоску, промойте водой и опустите в серную кислоту. Что вы наблюдаете?

## **Лабораторная работа 13.**

### **Электролиз растворов солей**

Опыты по электролизу удобно проводить в U-образном сосуде. Этот сосуд укрепите за одно (Почему?) колено в лапке штатива (резиновая прокладка!) и налейте до 3/4 вместимости сосуда исследуемый раствор. В каждое колено вставьте электроды, к которым следует присоединить проволоки от источника тока. Желательно, чтобы электроды проходили через резиновые пробки. Если U-образная трубка не имеет боковых отводных трубок, в пробках следует сделать продольные прорезы для выхода образующихся при электролизе газов, а если предполагается собирать выделяющиеся на электродах газы, то в резиновых пробках следует просверлить отверстия и вставить в них стеклянные трубки. Если U-образной трубки нет, можно взять маленький химический стакан, опустить в него электроды и следить, чтобы они случайно не соприкоснулись.

В качестве электродов можно пользоваться самыми различными токопроводящими материалами. Наилучшим из них при получе-

нии водорода и кислорода является платина, но в учебной лаборатории ее нет. Вместо нее можно использовать никель или нержавеющую сталь. В учебных целях чаще всего берут графитовые электроды от батареек для карманных фонариков, однако образующийся кислород, реагируя с графитом, загрязняется оксидами углерода  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ . Электроды из железа и никеля сильно окисляются кислородом, и пленки оксидов или гидроксидов затрудняют электролиз. Желательно прибор для электролиза снабдить реостатом, амперметром и вольтметром. Удобно в цепь присоединить обычный электрический выключатель. Источником постоянного электрического тока могут служить автомобильный аккумулятор напряжением 12 В (*Опасно: короткое замыкание!*), 1–2 плоские батарейки (напряжением 6 В) или соединенные последовательно 3–4 цилиндрические батарейки (1,5 В). Из-за взрывоопасности нельзя подвергать электролизу растворы аммиака и хлорида аммония!

Проведите электролиз раствора одного из следующих веществ и напишите уравнения реакций.

1. $\text{HCl}$	2. $\text{H}_2\text{SO}_4$	3. $\text{NaOH}$ (или $\text{KOH}$ )
4. $\text{NaCl}$ (или $\text{KCl}$ )	5. $\text{MgCl}_2$ (или $\text{MgSO}_4$ )	6. $\text{AlCl}_3$ (или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )
7. $\text{CaCl}_2$	8. $\text{ZnCl}_2$ (или $\text{ZnSO}_4$ )	9. $\text{Na}_2\text{SO}_4$ (или $\text{K}_2\text{SO}_4$ )
10. $\text{MnCl}_2$ (или $\text{MnSO}_4$ )	11. $\text{CrCl}_3$ (или $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ )	12. $\text{FeCl}_3$ (или $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ )
13. $\text{CoCl}_2$ (или $\text{CoSO}_4$ )	14. $\text{NiCl}_2$ (или $\text{NiSO}_4$ )	15. $\text{CuSO}_4$ (или $\text{CuCl}_2$ )
16. $\text{NaNO}_3$ (или $\text{KNO}_3$ )	17. $\text{Na}_3\text{PO}_4$ (или $\text{K}_3\text{PO}_4$ )	18. $\text{K}_2\text{CrO}_4$
19. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	20. $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (или $\text{K}_2\text{CO}_3$ )	21. $\text{CH}_3\text{COOH}$
22. Другая соль по совету преподавателя		

Концентрации растворов солей могут быть примерно 0,5–1 М. Концентрации других растворов могут быть иными:  $\text{NaOH}$  — 1–5 М (10–20%),  $\text{HCl}$  — до 5 М (20%),  $\text{NaCl}$  — до 5 М (30%) или 100 г/л.

В раствор можно добавить несколько капель раствора фенолфталеина, чтобы судить о среде приэлектродного раствора. В опытах с растворами хлорид-иона воспользуйтесь раствором иодида калия с крахмалом, чтобы узнать, где образуется хлор.

При проведении электролиза обращайтесь внимание на продукты реакции. Докажите, что образуются именно те вещества, которые ожидаются. При описании и объяснении процесса электролиза следует указать, какие ионы перемещаются к катоду или аноду, какие из них разряжаются, какова роль воды в электролизе. Далее следует написать уравнения реакций на катоде и аноде и суммарное уравнение электролиза.

## Глава 7

# РЕАКЦИИ С УЧАСТИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 7.1. Практические задания

1. Предложите формулы комплексных соединений с координационным числом комплексообразователя 6, имеющих следующий состав:

- а)  $\text{Fe}(\text{CN})_2 \cdot 4\text{KCN}$ ;
- б)  $\text{Fe}(\text{CN})_3 \cdot 3\text{KCN}$ ;
- в)  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ ;
- г)  $\text{Co}(\text{NO}_2)_3 \cdot 3\text{KNO}_2$ ;
- д)  $\text{CrCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{NH}_3$ ;
- е)  $\text{CoCl}_2\text{NO}_2 \cdot 5\text{NH}_3$ .

2. Назовите следующие комплексные соединения:

- а)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- в)  $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$ ;
- г)  $\text{K}[\text{PtNH}_3\text{Cl}_5]$ ;
- д)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ ;
- е)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]\text{Cl}$ ;
- ж)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_3$ ;
- з)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_4$ ;
- и)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{NO}_2\text{Cl}]\text{SO}_4$ ;
- к)  $\text{K}_2[\text{CuBr}_4]$ ;
- л)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_3]$ ;
- м)  $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ ;
- н)  $\text{Co}[\text{CoCl}_4]$ .

3. Напишите формулы комплексных соединений:

- а) гексацианоферрат(IV) калия;
- б) гексацианоферрат(III) калия;
- в) гексахлороплатинат(IV) калия;
- г) пентахлороамминплатинат(IV) калия;
- д) тетрахлородиамминплатина;
- е) хлорид трихлоротриамминплатины(IV);



- ж) хлорид хлоропентаамминплатины(IV);
- з) хлорид гексамминплатины (IV);
- и) сульфат хлоронитротриамминплатины(II);
- к) тетрабромкупрат(II) калия;
- л) тринитротриамминкобальт;
- м) тетрацианоникелат(II) натрия;
- н) тетрахлорокобальтат(II) кобальта(II).

4. Приготовлен 1 М раствор соли  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_x$ . Определите значение  $x$  и валентность хрома, исходя из того, что для осаждения хлорида серебра на 50 мл этого раствора было израсходовано 100 мл 1 М раствора  $\text{AgNO}_3$ .

5. Из раствора комплексной соли  $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$  нитрат серебра осаждает только 2/3 содержащегося в ней хлора. Напишите координационную формулу соли.

6. Из раствора соли  $\text{PtCl}_4 \cdot 6\text{NH}_3$  нитрат серебра осаждает весь хлор в виде  $\text{AgCl}$ , а из соли  $\text{PtCl}_4 \cdot 3\text{NH}_3$  — только четверть входящего в ее состав хлора. Напишите координационные формулы солей.

7. Ниже приведены данные по результатам химического анализа растворов соединений платины и изучению их электропроводности. Составьте координационные формулы соединений. Определите валентность и координационное число платины.

Соберите результаты других студентов и решите, какой лиганд —  $\text{NH}_3$  или  $\text{Cl}^-$  — является более сильным? Расположите соединения в последовательности, показывающей предложенные вами какие-либо зависимости.

Вариант	Соединение	Число молей $\text{AgCl}$ , осаждаемых $\text{Cl}^-$ (на 1 моль ионов платины)	Водные растворы солей с соответствующей электропроводностью
а	$\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{KCl}$	0	$\text{K}_2\text{SO}_4$
б	$\text{PtCl}_4 \cdot 6\text{NH}_3$	4	$\text{BaCl}_2 + \text{KCl}$
в	$\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{KCl}$	0	$\text{K}_2\text{SO}_4$
г	$\text{PtCl}_2 \cdot 4\text{NH}_3$	2	$\text{BaCl}_2$
д	$\text{PtCl}_4 \cdot 5\text{NH}_3$	3	$\text{Na}_3\text{PO}_4$
е	$\text{PtCl}_4 \cdot \text{KCl} \cdot \text{NH}_3$	0	$\text{KCl}$
ж	$\text{PtCl}_4 \cdot 3\text{NH}_3$	1	$\text{KCl}$
з	$\text{PtCl}_4 \cdot 4\text{NH}_3$	2	$\text{BaCl}_2$
и	$\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$	0	$\text{H}_2\text{O}$

8. Почему свежеприготовленные растворы таких комплексных соединений, как  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$  или  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ , очень плохо проводят электрический ток, но с течением времени их электропроводность возрастает?

9. Безводный хлорид хрома  $\text{CrCl}_3$ , присоединяя аммиак, может образовывать две соли:  $\text{CrCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$  и  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ . Напишите координационные формулы этих комплексных солей, учитывая, что из раствора одной соли нитрат серебра осаждает весь содержащийся в ней хлор, а из раствора другой — только  $2/3$  входящего в ее состав хлора.

10. Приготовили 0,01 М растворы:

- а)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- в)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ ;
- г)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

Каковы концентрации ионов в растворе? Диссоциацию комплексного иона можно не рассматривать.

11. Какова температура начала кристаллизации 0,01 М раствора соли:

- а)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- в)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ ;
- г)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ?

12. Какова температура начала кипения 0,01 М раствора соли:

- а)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- в)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ ;
- г)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ?

13. Каково осмотическое давление 0,01 М раствора соли:

- а)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;
- в)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ ;
- г)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ?

14. Рассчитайте концентрацию ионов в 0,01 М растворе квасцов:

- а) квасцы алюмоаммониевые  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- б) квасцы алюмокалиевые  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- в) квасцы железоаммониевые  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- г) квасцы алюмонатриевые  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- д) квасцы хромокалиевые  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

15. Рассчитайте температуру начала кристаллизации 0,01 М раствора квасцов:

- а) квасцы алюмоаммониевые  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- б) квасцы алюмокалиевые  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- в) квасцы железоаммониевые  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- г) квасцы алюмонатриевые  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- д) квасцы хромокалиевые  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

16. Рассчитайте осмотическое давление 0,01 М раствора квасцов:

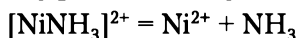
- а) квасцы алюмоаммониевые  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;
- б) квасцы алюмокалиевые  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;

в) квасцы железоаммонийные  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;

г) квасцы алюмонатриевые  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ;

д) квасцы хромокалиевые  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

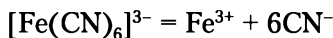
17. Обычно уравнения последовательной (по ступеням) диссоциации комплексных ионов записывают так:



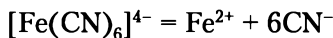
Чему равно координационное число никеля в ионах, образующихся при диссоциации комплексного иона? Как следует записать формулы ионов?

18. Вычислите концентрации ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  и  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5]^{3+}$  в 0,01 М растворе соли  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ . Константа нестойкости комплексного иона при диссоциации по первой ступени равна  $4,0 \cdot 10^{-5}$ .

19. Какой из комплексных ионов прочнее,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  или  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ , если их константы нестойкости равны



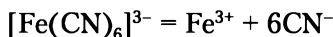
$$K_{\text{общ}} = \frac{[\text{Fe}^{3+}][\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}} = 1,0 \cdot 10^{-44};$$



$$K_{\text{общ}} = \frac{[\text{Fe}^{2+}][\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}} = 1,0 \cdot 10^{-37}.$$

*Примечание.* Прочность комплексных ионов можно сравнивать по константам их нестойкости, если их формулы однотипны (имеют одинаковое число лигандов).

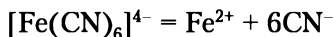
20. Вычислите концентрацию ионов в 0,01 М растворе  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ , если общая константа нестойкости иона равна



$$K_{\text{общ}} = \frac{[\text{Fe}^{3+}][\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}} = 1,0 \cdot 10^{-44}.$$

Обсудите, насколько правомерен такой расчет.

21. Вычислите концентрацию ионов в 0,01 М растворе  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ , если общая константа нестойкости иона равна



$$K_{\text{общ}} = \frac{[\text{Fe}^{2+}][\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]} = 1,0 \cdot 10^{-37}.$$

Обсудите, насколько правомерен такой расчет.

**22.** Напишите уравнения взаимных переходов ионов:

- а)  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} \leftrightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$   
 б)  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} \leftrightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$   
 в)  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} \leftrightarrow [\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$

Укажите среду (кислотная, основная), которую необходимо создать для перехода одного иона в другой. Почему координационные числа с лигандами воды и гидроксид-иона различны?

**23.** Напишите уравнение кислотной диссоциации иона  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ . Координационное число железа постоянно!

**24.** Напишите уравнение кислотной диссоциации иона  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ . Координационное число иона железа постоянно!

**25.** Составьте уравнение гидролиза иона. Определите среду раствора водного раствора соли, содержащего ион. В случае кислотной или основной среды раствора напишите уравнения нейтрализации. Формулы ионов водорода и гидроксида записывайте в виде комплексных (молекулы воды):

- а)  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ; б)  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ; в)  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ;  
 г)  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ; д)  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ; е)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ;  
 ж)  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ; з)  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ; и)  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ;  
 к)  $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ; л)  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ; м)  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ;  
 н)  $[\text{K}(\text{H}_2\text{O})_6]^+$ .

Будьте осторожны с ответом! Объяснение обязательно!

**26.** Составьте уравнения реакции превращения иона в водном растворе при изменении среды раствора. Формулу иона запишите, предполагая, что ион окружен молекулами воды. Сколько их? Укажите среду раствора, необходимую для прохождения реакции. Приведите названия ионов.

1.  $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-}$
2.  $\text{ZnO}_2^{2-} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$
3.  $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{AlO}_2^-$
4.  $\text{AlO}_2^- \rightarrow \text{Al}^{3+}$
5.  $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{CrO}_2^-$
6.  $\text{CrO}_2^- \rightarrow \text{Cr}^{3+}$
7.  $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
8.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{CrO}_4^{2-}$
9.  $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$
10.  $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-} \rightarrow \text{CrO}_4^{2-}$
11.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$
12.  $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
13.  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-} \rightarrow \text{PO}_4^{3-}$
14.  $\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{P}_2\text{O}_7^{4-}$
15.  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-} \rightarrow \text{HPO}_4^{2-}$
16.  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{BO}_3^{3-}$
17.  $\text{BO}_3^{3-} \rightarrow \text{B}_4\text{O}_7^{2-}$
18.  $\text{Si}_4\text{O}_9^{2-} \rightarrow \text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$
19.  $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-} \rightarrow \text{Si}_4\text{O}_9^{2-}$
20.  $\text{Si}_4\text{O}_9^{2-} \rightarrow \text{Si}_3\text{O}_7^{2-}$

**27.** Рассмотрите электронное строение иона  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ . Сделайте вывод о гибридизации его электронных орбиталей и магнитных свойствах.

**28.** Рассмотрите электронное строение иона  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ . Сделайте вывод о гибридизации его электронных орбиталей и магнитных свойствах.

**29.** Магнитные измерения показали, что ион  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  не имеет непарных электронов, а ион  $[\text{CoF}_6]^{3-}$  имеет четыре непарных электрона. Какой из лигандов является сильным и какой слабым? Попытайтесь составить схемы электронного строения комплексообразователя в этих комплексных ионах.

**30.** Предскажите электронное состояние и магнитные свойства комплексного иона  $[\text{CoF}_6]^{3-}$ .

**31.** Предскажите электронное состояние и магнитные свойства комплексного иона  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ .

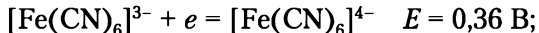
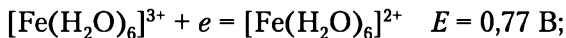
**32.** Определите число изомеров у иона  $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ , имеющего квадратное строение.

**33.** Еще до разработки метода определения кристаллической структуры (рентгеноструктурный анализ) было известно, что молекула  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$  имеет структуру квадрата. Как это было доказано?

**34.** Определите число изомеров у иона  $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$  квадратного строения.

**35.** Сколько изомеров у иона  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$ ?

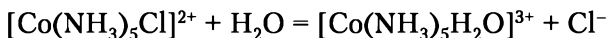
**36.** Как будут вести себя с водой ионы железа в окружении шести молекул воды и шести молекул аммиака, если



**37.** Соединение состава  $\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{BrSO}_4$  имеет два изомера. При приливании раствора красно-фиолетового изомера в раствор нитрата серебра не выпадает осадок бромида серебра, а при приливании раствора хлорида бария выпадает осадок сульфата бария, что говорит о том, что в растворе бромид-ионы не обнаруживаются, а сульфат-ионы обнаруживаются. Изомер красного цвета в водном растворе ведет себя по-другому: обнаруживаются бромид-ионы и не обнаруживаются сульфат-ионы. Напишите координационные формулы этих комплексных соединений.

**38.** Почему комплексный ион  $[\text{AlF}_6]^{3-}$  существует, а ион  $[\text{AlCl}_6]^{3-}$  не обнаружен?

**39.** Найдено, что период полупревращения иона  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$  в реакции



при температуре  $25^\circ\text{C}$  равен около 100 ч. Был приготовлен 1 М раствор  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ . Сколько  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$  осталось и сколько  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{H}_2\text{O}]^{3+}$  образовалось через 5 и 10 сут после приготовления раствора?

40. Рассчитайте ионную силу и активность ионов (диссоциация сильного электролита) в 0,01 М растворах. Диссоциацию комплексного иона можно не учитывать.

а)  $K_4[Fe(CN)_6]$ ;

б)  $K_3[Fe(CN)_6]$ ;

в)  $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ ;

г)  $(NH_4)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$  (алюмоаммониевые квасцы);

д)  $FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$  (соль Мора);

е)  $FeSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 6H_2O$  (шенит);

ж)  $[Cu(NH_3)_4]Cl_2$ .

41. Не учитывая диссоциацию комплексного иона, рассчитайте активности ионов в растворах  $K_3[Fe(CN)_6]$  и  $K_4[Fe(CN)_6]$  следующих концентраций (моль/л): а) 0,005; б) 0,01; в) 0,05; г) 0,1.

Назовите комплексные соли.

42. Приготовили растворы равных объемов и концентраций солей  $K_3[Fe(CN)_6]$  и  $K_4[Fe(CN)_6]$  и в каждый прилили одинаковые объемы и концентрации пероксида водорода. Какие реакции и как будут проходить в растворах?

43. Какое из комплексных соединений —  $K_3[Fe(CN)_6]$  или  $K_4[Fe(CN)_6]$  в водном растворе будет быстрее участвовать в окислительно-восстановительной реакции (например, с  $H_2O$ )? От вас требуются лишь самые общие научные предположения и доказательства их правоты.

44. Многие лекарственные средства содержат комплексные соединения. В инструкции сказано, что концентрация лекарства в крови снижается после приема на 50% (период полувыведения) за 10 ч. Таблетка содержит 0,01 г соединения. Сколько соединения останется в крови через: а) 2 ч; б) 5 ч; в) 15 ч; г) 24 ч?

45. Как вы считаете, возможна ли эволюция без мутаций? Приведите доказательства или примеры ваших утверждений.

46. Некоторые собаки, даже самые маленькие, понимают хозяина, но не общаются с ним при помощи речи (кроме лая). Как вы думаете, если собаке введут гены речи, к чему это приведет?

47. Поразительно высокое мышление обнаружено у собак, мышей, крыс, дельфинов, бесхребетного осьминога и других животных. Как вы думаете, это результат мутации или естественного отбора?

## 7.2. Лабораторные исследования

### Лабораторная работа 1.

#### Образование иона тетраамминмеди $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

Если к раствору соли меди(II) прилить раствор аммиака, то начинается быстрое замещение в комплексном ионе молекул воды на аммиак. Продукт реакции обычно записывают формулой  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ , предполагая, что координационное число меди равно 4.

К нескольким каплям раствора сульфата меди прибавьте 1–2 капли раствора аммиака  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Образуется зеленовато-голубой осадок основной соли  $(\text{CuOH})_2\text{SO}_4$ . Напишите уравнение реакции в сокращенном молекульно-ионном виде. Затем продолжайте по каплям добавлять раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Попытайтесь объяснить, что произошло с осадком.

Теперь к такому же к раствору сульфата меди добавьте раствор гидроксида натрия. Объясните, почему действие раствора  $\text{NaOH}$  на раствор сульфата меди совсем иное по сравнению с действием раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Почему ион натрия  $\text{Na}^+$  не становится лигандом?

Прилейте к раствору 3–5 капель сероводородной воды или раствора сульфида натрия. Объясните выпадение черного осадка, учитывая, что  $\text{PP}(\text{CuS}) = 8,5 \cdot 10^{-45}$ , а полная константа нестойкости  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  равна  $2 \cdot 10^{-13}$ .

Реакции замещения в водном растворе — обычный способ получения многих комплексных соединений. В этой реакции координированные молекулы воды мгновенно замещаются молекулами аммиака, на что указывает изменение окраски с голубой на темно-синюю. Благодаря интенсивной окраске этого комплексного иона им можно пользоваться как реактивом на ионы меди. Кристаллы этой темно-синей комплексной соли можно получить испарением воды из раствора (Что происходит с избытком аммиака?) или добавлением этилового спирта.

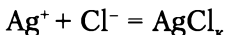
Приготовьте раствор  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  и затем получите кристаллы  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ . Докажите, что это комплексная соль (определите соответствующими реакциями, какие ионы присутствуют в растворе).

Вследствие образования аммиачных комплексов металлическая медь на воздухе медленно растворяется в водном растворе аммиака (Почему?). Попытайтесь проверить это утверждение и написать уравнения реакций.

## **Лабораторная работа 2.**

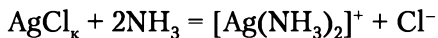
### **Обнаружение ионов серебра в растворе**

Если к раствору, содержащему ионы серебра, добавить хлорид-ионы, осаждается белый хлорид серебра:



Эта реакция служит для распознавания ионов серебра в растворе и для отделения серебра от некоторых других элементов.

Осадок растворим в избытке водного раствора аммиака:



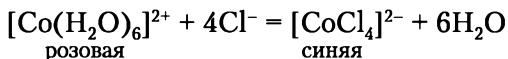
Если к этому прозрачному раствору добавить азотную кислоту, белый осадок образуется вновь. Проверьте эти утверждения на опытах и объясните причину образования осадка.

### Лабораторная работа 3.

#### Изучение комплексных соединений кобальта(II)

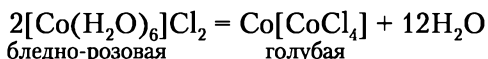
1. В пробирку положите розовый кристаллик  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и осторожно нагрейте до появления голубой окраски. Напишите координационную формулу  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , учитывая, что координационное число  $\text{Co}^{2+}$  равно 6. Что произошло с веществом при нагревании?

Приготовьте раствор хлорида кобальта(II) растворением 1 г  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в 25 мл воды. Разбавленный водный раствор хлорида кобальта(II) имеет розовую окраску. При нагревании раствора до кипения раствор приобретает синюю окраску:

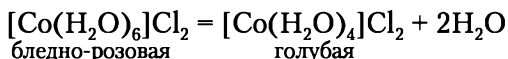


Раствор  $\text{CoCl}_2$  или  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$  (точнее — ион  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ) имеет бледно-розовую окраску и при сильном разбавлении почти бесцветен. Его можно использовать в качестве бесцветных чернил. Текст, написанный таким раствором, не виден, так как бледно-розовый  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$  при малом его содержании в мелкокристаллическом состоянии на поверхности бумаги практически не имеет окраски.

Если же бумагу с такими чернилами слегка нагреют, вода из комплекса удаляется и образуется комплексное соединение голубой окраски:



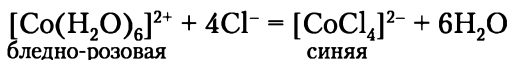
Голубая окраска на воздухе затем постепенно исчезает (Почему?). Заметим, что иногда уравнение реакции записывают в другом виде:



Какое уравнение вам больше нравится и почему?

2. Небольшое количество кристаллического хлорида кобальта(II) взболтайте со спиртом или ацетоном. Должен получиться раствор, окрашенный в темно-синий цвет. При постепенном добавлении к раствору воды окраска будет изменяться последовательно от сине-фиолетовой через красно-фиолетовую до розовой. Объясните причину изменения окраски и напишите уравнения реакций.

3. Разбавленный водный раствор хлорида кобальта(II) имеет розовую окраску, но при нагревании раствора до кипения раствор приобретает синюю окраску благодаря замене лигандов:



Налейте в пробирку 5–10 мл 0,5 М раствора хлорида кобальта(II). Отметьте его окраску. Нагрейте раствор в бане с кипящей



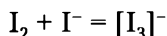
водой. Как изменилась окраска раствора? Приобретает ли раствор прежнюю окраску при охлаждении раствора?

Пользуясь принципом Ле Шателье, укажите знак теплового эффекта (изменения энтальпии) реакции замены лигандов с одновременным изменением координационного числа кобальта (однако возможно, что координационное число не меняется и образуется комплексный ион состава  $[\text{CoCl}_4(\text{H}_2\text{O})_4]^{2-}$ ).

#### **Лабораторная работа 4.**

##### **Получение и изучение комплекса иода с иодид-ионами**

Иод почти нерастворим в воде, но если кристаллы иода поместить в раствор иодида калия, иод растворяется, и раствор приобретает коричневую окраску благодаря образованию комплексных ионов:



Поместите в пробирку с водой кристаллик иода. Тщательно взболтайте жидкость. Растворился иод в воде? Теперь в ту же пробирку положите щепотку кристаллического иодида калия. Как изменилось поведение иода?

#### **Лабораторная работа 5.**

##### **Получение и изучение комплекса крахмал — иод**

Вы знаете, что раствор крахмала является чувствительнейшим индикатором на присутствии иода в растворе — образуется яркое комплексное соединение необычного состава и строения.

Для приготовления раствора иода можно воспользоваться аптечным раствором, разбавив его в 10—15 раз водой. Приготовьте также 1—2%-ный раствор крахмала (крахмал растворяется в теплой воде).

К 2—3 мл раствора иода в пробирке прибавьте несколько капель раствора крахмала. Какова окраска раствора?

Предполагают, что образование комплекса иода с крахмалом обусловлено вхождением молекул  $\text{I}_2$  или ионов  $\text{I}_3^-$  внутрь спирали амилозы крахмала. Изучите устойчивость полученного комплекса. К небольшой порции раствора прилейте немного соляной кислоты и сделайте вывод об устойчивости комплекса в кислотных растворах. Также испытайте устойчивость комплекса в основных растворах. Если вы обнаружите изменения в окраске комплекса при изменении среды раствора, предложите способ, как узнать, обратимы (в химическом смысле этого слова) ли эти реакции.

Изучите влияние температуры на устойчивость комплекса. Что наблюдается при повышении температуры? Возвращается ли система в свое исходное состояние при охлаждении? Пользуясь

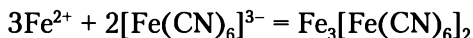
принципом Ле Шателье, сделайте вывод о знаке теплового эффекта (изменении энтальпии) реакции образования комплекса иод — крахмал.

### Лабораторная работа 6. Качественные реакции ионов

В некоторых опытах этой главы требуется доказать присутствие ионов железа и других в растворе. Для этого следует воспользоваться качественными реакциями ионов. Для выполнения опытов наливайте в пробирки по 2—3 мл растворов солей железа и по столжку же растворов реактивов.

#### 1. Качественные реакции иона $\text{Fe}^{2+}$ .

а) При добавлении в раствор соли  $\text{Fe}^{2+}$  раствора гексацианоферрата(III) калия (красной кровяной соли)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  раствор приобретает темно-синюю окраску или выпадает синий осадок турнбулевой сини (берлинской лазури):

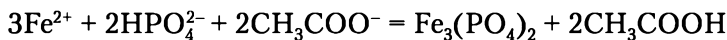


Соли  $\text{Fe}^{3+}$  не мешают, так как ион  $\text{Fe}^{3+}$  окрашивает раствор  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  в зеленовато-коричневый цвет (предположительно образуется соединение  $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , существующее только в растворе).

Наилучшая среда для проведения реакции — кислотная ( $\text{pH} = 2$ ), для чего 2—3 мл раствора в пробирке подкислите 1—2 каплями соляной кислоты. Турнбулева синь очень мало растворима в соляной кислоте. Осадок сини разлагается под действием раствора гидроксида натрия с выделением гидроксида железа. Берлинская лазурь и турнбулева синь имеют один и тот же состав  $\text{Fe}_4^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6] \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , но мы будем пользоваться принятыми раньше названиями осадка в зависимости от исходных веществ.

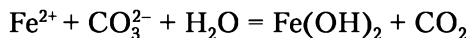
б) Фосфат натрия  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  из растворов  $\text{Fe}^{2+}$  выделяет осадок смеси малорастворимых фосфатов железа  $\text{FeHPO}_4$  и  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ . Осадок нерастворим в соляной и уксусной кислотах.

В присутствии ацетата натрия образуется  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ :



Осадок фосфата железа растворим в соляной и уксусной кислотах.

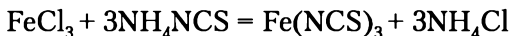
в) Карбонаты натрия или калия при действии на растворы  $\text{Fe}^{2+}$  образуют белый осадок гидроксида железа:



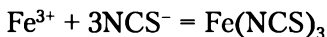
Осадок  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , окисляясь кислородом воздуха, переходит в бурый  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Окисление ускоряется при нагревании.

## 2. Качественные реакции иона $\text{Fe}^{3+}$ .

а) Образование кроваво-красного раствора при добавлении тиоцианата (роданида) аммония  $\text{NH}_4\text{NCS}$  или калия  $\text{KNCS}$  является одной из наиболее чувствительных реакций на ион  $\text{Fe}^{3+}$ . Для этого достаточно к раствору соли железа добавить несколько капель раствора тиоцианата аммония или калия. Обычно уравнение реакции записывают так:



Правильнее уравнение записать в молекульно-ионном виде:

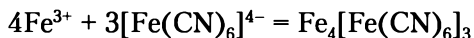


В водном растворе координационное число железа равно 6, поэтому правильнее продукт реакции нейтральный тиоцианатотриаквожелезо(III) записывать в виде координационной формулы  $[\text{Fe}(\text{NCS})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$  или другой формулы с различным содержанием тиоцианат-ионов и молекул воды. Есть сведения, что кроваво-красную окраску раствору придают ионы  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{NCS})]^{2+}$ . Окончательного мнения о том, сколько ионов  $\text{NCS}^-$  содержится в комплексном ионе, придающем окраску раствору, нет.

Реакцию лучше проводить в кислотной среде (при  $\text{pH} = 2$ ), для чего достаточно раствор в пробирке подкислить 2–3 каплями соляной кислоты. Многие ионы мешают определению железа, например избыток хлорид-ионов. Прилейте к красному раствору тиоцианата железа растворы соляной кислоты и хлорида натрия. Хлорид-ионы образуют с ионом железа более прочные связи по сравнению с тиоцианат-ионами и вытесняют их из комплекса с образованием различных по составу ионов, например дихлоротетраакваферрат(III)-иона  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^+$ . Точно так же препятствуют открытию иона железа фторид-ионы  $\text{F}^-$ , образующие бесцветный ион  $[\text{FeF}_6]^{3-}$ .

После испарения воды из раствора тиоцианата железа  $\text{Fe}^{3+}$  выпадает черно-красный кристаллогидрат  $\text{Fe}(\text{NCS})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Тиоцианаты  $\text{Э}(\text{NCS})_2$  хорошо растворимы в воде. Кристаллы имеют следующую окраску: для железа  $\text{Fe}^{2+}$  — зеленая, кобальта  $\text{Co}^{2+}$  — фиолетовая, никеля  $\text{Ni}^{2+}$  — желтая. Ионы кобальта открывают также при помощи этой реакции (добавление ацетона повышает чувствительность реакции).

б) При добавлении в раствор соли  $\text{Fe}^{3+}$  раствора желтой кровяной соли или гексацианоферрата(II) калия  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  раствор приобретает темно-синюю окраску и выделяется синий аморфный осадок берлинской лазури:



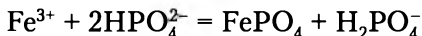
Наилучшие условия для проведения реакции — кислотная среда ( $\text{pH} = 2$ ), для этого 2–3 мл раствора следует подкислить 1–2 каплями соляной кислоты. Ион  $\text{Fe}^{2+}$  не мешает обнаружению  $\text{Fe}^{3+}$ .

Следует избегать избытка  $K_4[Fe(CN)_6]_3$ , так как при этом образует-ся растворимая в воде комплексная соль  $KFe[Fe(CN)_6]$ .

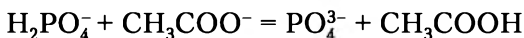
в) Гидрофосфат натрия  $Na_2HPO_4$  в растворе  $Fe^{3+}$  дает желтова-тый осадок фосфата железа:



или

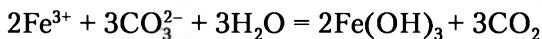


Ион  $H_2PO_4^-$  создает кислотную среду раствора, что может при-вести к растворению фосфата железа, поэтому опыт следует прово-дить при большом избытке гидрофосфата натрия или прибавить ацетат натрия:



г) При действии растворов щелочей на растворы с  $Fe^{3+}$  оседает красно-бурый гидроксид железа  $Fe(OH)_3$ , не обладающий выра-женными амфотерными свойствами и растворяющийся в кисло-тах, но не растворяющийся в щелочных растворах.

д) При действии на ионы  $Fe^{3+}$  карбонат-ионами  $CO_3^{2-}$  (карбона-ты натрия или калия) образуется бурый осадок  $Fe(OH)_3$ :

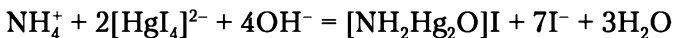


Нагревание способствует реакции в связи с удалением  $CO_2$ .

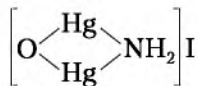
е) При сливании растворов солей железа  $Fe^{3+}$  и гидроксида ам-мония  $NH_4OH$  образуется красно-коричневый осадок тригидрок-сида железа, не растворяющийся в растворе щелочи и в избытке раствора гидроксида аммония (не образуются комплексные ионы с аммиаком).

### 3. Качественные реакции некоторых других ионов.

а) Реактивом на **ион аммония**  $NH_4^+$  может служить реактив Нес-слера, комплексная соль  $K_4[HgI_4]$ . Обнаружение ионов аммония лучше всего проводить на часовом стекле, поместив на него каплю раствора соли аммония и две капли реактива Несслера. Этот реак-тив вызывает пожелтение раствора или выпадение осадка:



Образовавшееся вещество является примером циклического комплексного соединения с двумя одинаковыми комплексообразо-вателями Hg:



Реактив Несслера — это основной раствор тетраиодомеркурата калия  $K_4[HgI_4]$ . Реактив Несслера получают, приливая в раствор хлорида ртути  $HgCl_2$  (5 г в 45 мл воды) раствор иодида калия

(15%), пока не растворится первоначально образовавшийся осадок иодида ртути  $\text{HgI}_2$ . К полученному раствору комплексной соли тетраиодомеркурата калия  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$  добавляют раствор гидроксида натрия (20 г в 20 мл воды).

Для определения иона аммония или аммиака, находящегося в растворе с большой концентрацией, достаточно в раствор добавить раствор гидроксида натрия и обнаружить аммиак по запаху.

б) **Сульфат-ион**  $\text{SO}_4^{2-}$  наиболее просто обнаруживается при добавлении нескольких капель подкисленного соляной кислотой раствора хлорида бария — образуется белый осадок сульфата бария.

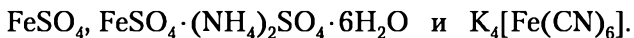
в) **Хлорид-ион**  $\text{Cl}^-$  обнаруживается по образованию малорастворимого хлорида серебра  $\text{AgCl}$  при добавлении в исследуемый раствор 1—2 капель раствора нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$ . Хлорид серебра не растворяется в кислотах, но легко растворяется в растворах гидроксида аммония, тиосульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и в других растворах, если происходит переход иона серебра в состав комплексного иона.

### Лабораторная работа 7.

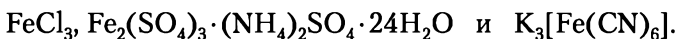
#### Изучение растворов простых, двойных и комплексных солей железа

Для предлагаемого исследования вам понадобится знание качественных реакций некоторых катионов и анионов. Это задание представлено двумя вариантами, выполнение одного из них вам укажет преподаватель.

##### 1. Вариант 1. Изучение растворов солей



##### 2. Вариант 2. Изучение растворов солей



Для опытов понадобится по 25 мл 0,1—0,5 М растворов солей железа.

В исследовании требуется доказать присутствие тех или иных ионов в растворе каждой соли и объяснить полученные результаты. Вы можете самостоятельно предложить программу исследования, но можете воспользоваться приводимой ниже последовательностью:

а) докажете присутствие или отсутствие в растворах ионов железа;

б) определите среду растворов. Объясните полученные результаты;

в) исследуйте, образуется ли осадок гидроксида железа при действии раствором  $\text{KOH}$  или  $\text{NaOH}$ ;

г) подействуйте на изучаемые растворы раствором карбоната натрия (сода);

д) испытайте растворы сероводородной водой или раствором сульфида натрия;

е) испытайте растворы растворами фосфорной кислоты и фосфата натрия;

ж) ответьте, какие ионы находятся в растворе простой соли;

з) докажете присутствие в растворе двойной соли иона аммония  $\text{NH}_4^+$ ;

и) ответьте, присутствует ли ион калия в растворе комплексной соли;

к) докажете присутствие в растворе двойной соли иона  $\text{SO}_4^{2-}$ ;

л) определите, что произойдет, если в растворы поместить пластинки меди или цинка;

м) проверьте, будет ли проходить электролиз растворов изучаемых солей.

Все опыты должны сопровождаться уравнениями реакций и тщательными объяснениями и выводами.

Растворы, содержащие  $\text{Fe}^{2+}$ , могут быть приготовлены из железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . В этом растворе ион  $\text{Fe}^{2+}$  медленно окисляется до  $\text{Fe}^{3+}$ , и выпадает желтый осадок основной соли. Для предотвращения этой реакции раствор подкисляют серной кислотой и помещают в него немного металлического железа (стружки).

Растворы, содержащие  $\text{Fe}^{3+}$ , могут быть приготовлены из хлорида железа  $\text{FeCl}_3$ , сульфата железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  или железозамещенных квасцов  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

### Лабораторная работа 8.

#### Изучение тиоцианатного комплекса $\text{Fe}^{3+}$

Этот исследовательский эксперимент можно выполнить и объяснить результаты группой по 2–3 человека, но отчет о проделанном эксперименте составляется индивидуально. Для работы понадобятся разбавленные ( $\sim 0,0025$  М) растворы  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NH}_4\text{NCS}$  (или  $\text{KNCS}$ ), а также концентрированные (насыщенные) растворы этих солей и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Для простоты написания формулы используйте символ  $\text{Fe}^{3+}$  вместо формулы  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ .

В четыре маленькие пробирки внесите в каждую по 4–6 капель разбавленных растворов  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NH}_4\text{NCS}$ . Отметьте окраску полученных растворов. В первую пробирку добавьте 1 каплю насыщенного раствора  $\text{FeCl}_3$ , во вторую — столько же насыщенного раствора  $\text{NH}_4\text{NCS}$ , в третью — насыщенного раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (или несколько кристалликов). Последнюю пробирку оставьте для сравнения и сравните окраску ее раствора с окраской растворов в трех других пробирках.

Попытайтесь объяснить наблюдавшееся изменение окраски при помощи принципа Ле Шателье и закона действующих масс. Проверьте, совпадают ли результаты эксперимента с теми выводами,

которые можно получить при рассмотрении константы равновесия и использовании принципа Ле Шателье.

Теперь напишите уравнение реакции в молекулярно-ионной и сокращенной молекулярно-ионной формах. Как вы записали константу равновесия? Снова попытайтесь объяснить причины изменения окраски раствора при добавлении в реакционную систему исходных веществ и продуктов реакции.

Сейчас вам предоставляется самостоятельный поиск экспериментального пути нахождения ответа. Проведите дополнительные опыты с другими веществами. Как вы выберете эти вещества? Преподавателю сдается отчет о выполненном исследовании. Оценка выставляется по числу предложенных научно обоснованных опытов и полноте объяснения результатов.

## Глава 8

# ДИСПЕРСНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

### 8.1. Практические задания

1. Изобразите строение и напишите формулы мицелл хлорида серебра, образующихся при приливании разбавленного раствора:

а) хлорида натрия к раствору нитрата серебра (избыток);

б) разбавленного раствора нитрата серебра к раствору хлорида натрия (избыток).

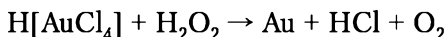
2. Напишите формулы мицелл золя, полученных медленным приливанием к водному раствору первой соли разбавленного раствора второй соли. Определите, к какому электроду будут двигаться частицы при электрофорезе. Какие ионы могут вызвать коагуляцию золя?

Вариант	Первая соль	Вторая соль
а	$\text{AgNO}_3 + \text{KI}$	$\text{KI} + \text{AgNO}_3$
б	$\text{AgNO}_3 + \text{HCl}$	$\text{HCl} + \text{AgNO}_3$
в	$\text{AgNO}_3 + \text{CaCl}_2$	$\text{CaCl}_2 + \text{AgNO}_3$
г	$\text{FeCl}_3 + \text{NaOH}$	$\text{NaOH} + \text{FeCl}_3$
д	$\text{NiCl}_2 + \text{Na}_2\text{S}$	$\text{Na}_2\text{S} + \text{NiCl}_2$
е	$\text{AsCl}_3 + \text{Na}_2\text{S}$	$\text{Na}_2\text{S} + \text{AsCl}_3$
ж	$\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2$
з	$\text{ZnSO}_4 + \text{Na}_2\text{S}$	$\text{Na}_2\text{S} + \text{ZnSO}_4$
и	$\text{FeCl}_3 + \text{Na}_2\text{S}$	$\text{Na}_2\text{S} + \text{FeCl}_3$
к	$\text{FeCl}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{FeCl}_3$

Будьте внимательны при работе со вторыми солями в вариантах и) и к)!

3. Как получить золи гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  с частицами, перемещающимися под действием электрического поля к отрицательному и к положительному электродам?

4. Золь металлического золота в воде может быть получен по следующей реакции:





Подберите коэффициенты этого уравнения. Одно из образующихся веществ стабилизирует частицы золота. Какое?

5. Расположите катионы  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  в порядке повышения их коагулирующей способности по отношению к отрицательно заряженным частицам золей.

6. Расположите анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  в порядке повышения их коагулирующей способности по отношению к положительно заряженным частицам золей.

7. Почему морская вода, как правило, прозрачнее речной?

8. Почему ртуть легко образует эмульсию при растирании ее с жиром, а вода — не образует?

9. Почему при сильном встряхивании в пробирке ртуть можно превратить в порошок?

10. Как изменить заряд коллоидной частицы, и к каким последствиям для дисперсной системы это приводит?

11. Почему противоположно заряженные ионы в двойном электрическом слое не разряжаются?

12. Предскажите, как усилить или ослабить следующие процессы в дисперсных системах:

- 1) абсорбция;
- 2) адгезия;
- 3) адсорбция;
- 4) высаливание;
- 5) действие поверхностно-активных веществ;
- 6) действие респиратора;
- 7) десорбция;
- 8) диализ;
- 9) затемнение атмосферы;
- 10) коагуляция;
- 11) образование гранулы и мицеллы;
- 12) образование и ослабление дыма;
- 13) образование и ослабление пыли;
- 14) образование и ослабление смога;
- 15) образование и ослабление тумана;
- 16) образование и разрушение пены;
- 17) образование и разрушение эмульсии;
- 18) пенная флотация;
- 19) пептизация;
- 20) поликонденсация;
- 21) расклинивающее давление;
- 22) седиментация;
- 23) сорбция;
- 24) старение коллоидных частиц;
- 25) хемосорбция.

13. Предскажите, как повысить или замедлить скорость следующих процессов в дисперсных системах:

- 1) абсорбция;
- 2) агглютинация;
- 3) адгезия;
- 4) адсорбция;
- 5) высаливание;
- 6) глобальное затемнение атмосферы;
- 7) действие деэмульгатора;
- 8) действие пеногасителя;
- 9) действие пенообразователя;
- 10) действие респиратора;
- 11) действие эмульгатора;
- 12) десорбция;
- 13) диализ;
- 14) ионофорез;
- 15) коагуляция;
- 16) коалесценция;
- 17) замутнение водоема;
- 18) образование и ослабление золя;
- 19) образование и ослабление дыма;
- 20) образование и ослабление смога;
- 21) образование и ослабление тумана;
- 22) образование и ослабление флокул;
- 23) образование и разрушение аэрозоля;
- 24) образование и разрушение геля;
- 25) образование и разрушение пены;
- 26) образование и разрушение суспензии;
- 27) образование и разрушение эмульсии;
- 28) пенная флотация;
- 29) пептизация;
- 30) поликонденсация;
- 31) расклинивающее давление;
- 32) седиментация;
- 33) синерезис;
- 34) сольватация;
- 35) сорбция;
- 36) тиксотропия;
- 37) ультрафильтрация;
- 38) усиление и ослабление пыли;
- 39) фильтрование;
- 40) флокуляция;
- 41) флотация;
- 42) хемосорбция;
- 43) электродиализ;

- 44) электроосмос;
- 45) электрофлотация;
- 46) электрофорез.

14. Предложите любые объяснения, почему перед приготовлением теста муку рекомендуют просеивать через мелкое сито (часто на сите не остается ничего постороннего).

## **8.2. Лабораторные исследования**

### **Лабораторная работа 1.**

#### **Получение золя гидроксида железа(III)**

В конической колбочке нагрейте до кипения 85 мл дистиллированной воды и небольшими порциями прилейте 15 мл 2%-ного раствора хлорида железа(III). Кипячение продолжайте еще 2–3 мин. Раствор гидрозоля сохраните для последующих опытов. (По другому рецепту для быстрого приготовления золя гидроксида железа рекомендуется 3 мл 2%-ного раствора  $\text{FeCl}_3$  влить в 100 мл кипящей воды.)

Опишите наблюдавшиеся явления. Золь гидроксида железа(III) имеет красно-коричневый цвет, что позволяет следить за его поведением. Составьте уравнение реакции гидролиза хлорида железа. Напишите формулу мицеллы золя.

Так как при повышении температуры равновесие гидролиза смещается в сторону образования малорастворимого  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , при понижении температуры гидрозоль может снова перейти в раствор, поэтому исследование свойств полученного коллоидного раствора следует производить быстро, не давая ему остыть.

Попытайтесь отфильтровать золь от раствора. Каковы результаты? Объясните их. Золь сохраните для следующих опытов.

### **Лабораторная работа 2.**

#### **Определение знака заряда коллоидной частицы**

В водной среде капилляры целлюлозы бумаги заряжаются отрицательно, а находящаяся в них вода — положительно. Поэтому по капиллярам фильтровальной бумаги могут передвигаться частицы, имеющие тот же заряд, что и целлюлоза, т.е. отрицательно заряженные. Положительно заряженные частицы осаждаются на стенках капилляров в самом начале пути. Если в коллоидный раствор поместить конец фильтровальной бумаги и раствор будет перемещаться вдоль нее, то коллоидные частицы заряжены отрицательно.

Можно поступить по-иному. Нанесите каплю раствора золя на кусочек фильтровальной бумаги. Капля распространится по поверхности бумаги. Если частицы золя заряжены отрицательно, они

будут передвигаться по бумаге вместе с водой, образовав большое окрашенное пятно.

В случае положительно заряженной частицы получается маленькое окрашенное пятно размером с каплю, а вода (раствор) расплывется намного шире. При исследовании бесцветного коллоидного раствора пропитанную раствором бумагу следует высушить и обработать реактивом, окрашивающим вещество коллоидных частиц. Каков заряд полученного ранее вами золя гидроксида железа?

### **Лабораторная работа 3. Коагуляция золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$**

Налейте в три пробирки желательно равные объемы (по 2 мл) золя гидроксида железа(III). По каплям (можно пользоваться пипеткой) приливайте в пробирки 0,1 М растворы солей: в первую пробирку —  $\text{NaCl}$ , во вторую —  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , в третью —  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Определите, сколько капель каждого раствора потребуется для появления мути, т.е. для начала коагуляции. Сравните коагулирующее действие растворов. Как оно связано с зарядом аниона?

### **Лабораторная работа 4. Коагулирующее действие кислоты**

Определите с помощью универсального индикатора (или другим способом) pH, при котором начинается коагуляция гидрозоля  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Для этого к 2—4 мл раствора золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  добавьте несколько капель индикатора и приливайте по каплям 0,1 или 0,01 М раствор кислоты или гидроксида натрия.

### **Лабораторная работа 5. Защита золя гидроксида железа**

Изучите защитное действие лиофильных коллоидов на золь гидроксида железа(III). В две пробирки налейте по 10 мл золя гидроксида железа и добавьте в каждую по 2 мл 0,5%-ного раствора желатина и крахмала. Растворы хорошо перемешайте и разлейте каждый по трем пробиркам. В пробирки по каплям (можно пользоваться пипеткой) приливайте 0,1 М растворы солей: в первую пробирку —  $\text{NaCl}$ , во вторую —  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , в третью —  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Определите, сколько капель каждого раствора требуется для того, чтобы вызвать появление мути, т.е. чтобы началась коагуляция. Обладают ли растворы желатина и крахмала защитным действием?

### **Лабораторная работа 6. Перезарядка частиц золя**

Полученный ранее раствор золя гидроксида железа(III) с положительно заряженными частицами влейте (3—5 мл) в раствор гид-

роксид натрия. При этом должна произойти перезарядка частиц, т.е. изменение знака их заряда. Благодаря перезарядке частиц многие золи, легко коагулирующие от прибавления небольших количеств электролитов, при высокой концентрации не коагулируют. Определите знак заряда частиц золя после перезарядки.

### **Лабораторная работа 7.**

#### **Приготовление золя гидроксида железа(III) пептизацией**

К раствору  $\text{FeCl}_3$  прилейте по каплям раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$  или  $\text{NaOH}$ . Образовавшийся осадок (напишите уравнение реакции) отделите от раствора декантацией или фильтрованием. Промойте осадок несколько раз водой и, залив его небольшим количеством воды, разделите на две части по пробиркам. В одну пробирку добавьте раствор  $\text{FeCl}_3$ , в другую — раствор  $\text{HCl}$ . Через некоторое время раствор над осадком станет темно-красным, что говорит об образовании золя. Определите заряд частиц золя (сообщалось, что он положительный). Напишите предполагаемую формулу мицеллы.

### **Лабораторная работа 8.**

#### **Диализ золя гидроксида железа(III)**

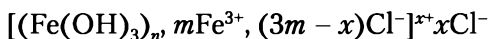
Для диализа воспользуйтесь полупроницаемой мембраной из коллодия (можно использовать рыбий пузырь или очень тонкую полимерную пленку). Коллодий представляет собой вязкий 4%-ный раствор нитроцеллюлозы в смеси 1 : 3 (по объему) этилового спирта и эфира (серного). Коллодий огнеопасен, поэтому работайте в лаборатории, где нет открытого огня!

Широкую короткую пробирку наполните коллодием и вылейте его обратно в склянку. Вращая пробирку, дайте коллодию равномерно распределиться по стенкам пробирки. Пробирку вверх дном закрепите на 5—10 мин в лапке штатива для высушивания пленки (исчезновение запаха эфира и слабое помутнение пленки). Слегка отделите пленку от края пробирки и в зазор налейте воду, чтобы пленка отстала от стекла. Извлеките коллодиевый мешочек из пробирки и наденьте его по краям на короткую (5—8 см) стеклянную трубку или на просверленную резиновую пробку. Прикрепите мешочек к трубке ниткой или резиновым кольцом и опустите в стакан с водой.

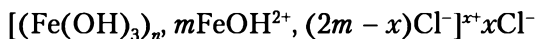
Не вынимая мешочек из воды, налейте в него через воронку подогретый золь гидроксида железа(III). Через 10 мин перелейте воду из стакана в другой стакан и налейте чистую теплую воду. Операцию повторяйте, пока в воде стакана не перестанут обнаруживаться хлорид-ионы  $\text{Cl}^-$  (капля раствора нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$ ) или, если для приготовления золя использовался раствор сульфата железа, сульфат-ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  (определяется несколькими каплями рас-

твора хлорида бария  $\text{BaCl}_2$ ). Докажите, что в сливаемых растворах отсутствуют ионы  $\text{Fe}^{3+}$  (раствор  $\text{KNCS}$  или  $\text{NH}_4\text{NCS}$ ). Очищенный золь сохраните для следующих опытов.

Напишите в виде уравнения изменение состава мицеллы, учитывая, что в формуле мицеллы



или



число хлорид-ионов в грануле уменьшилось. Как изменился заряд гранулы в результате диализа?

### Лабораторная работа 9.

#### Электрофорез золя гидроксида железа(III)

В U-образный сосуд для электролиза налейте золь гидроксида железа (для его быстрого приготовления 3 мл 2%-ного раствора  $\text{FeCl}_3$  влейте в 100 мл кипящей воды). Опустите в раствор графитовые или из нержавеющей стали электроды и включите постоянный ток (до 24 В). Опишите наблюдаемые явления и объясните их. Если гидрозоль окрашен, то у электрода, знак которого противоположен заряду частиц, появляется светлый слой жидкости. При движении заряженных частиц в электрическом поле они теряют на электроде заряд и слипаются (коагулируют). Каков знак заряда частицы золя?

### Лабораторная работа 10.

#### Получение геля кремниевой кислоты

В пробирку налейте 1–2 мл 2 М раствора соляной кислоты и добавьте при встряхивании 2–3 мл 10%-ного раствора силиката натрия (растворимое стекло, силикатный клей). Постарайтесь составить формулу мицеллы образующегося золя кремниевой кислоты. Почему золь через некоторое время застудневает и переходит в гель? Попытайтесь найти способы стабилизации золя кремниевой кислоты.

### Лабораторная работа 11.

#### Получение геля гидроксида алюминия

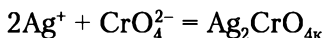
Налейте в стаканчик 40–50 мл 10%-го раствора сульфата алюминия и прилейте по каплям раствор гидроксида натрия до образования геля. Разлейте полученный гель по нескольким пробиркам и изучите его устойчивость (влияние температуры, действие различных электролитов и т.п.). Почему гель  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  получить значительно труднее, и он неустойчив? Как можно использовать гель гидроксида алюминия для очистки воды от механических загрязнений?

## **Лабораторная работа 12.** **Изучение набухания желатина**

В несколько маленьких пробирок насыпьте по 0,5 г порошка желатина (желатин — смесь белковых веществ животного происхождения) и в каждую прилейте по 3 мл растворов с различным значением pH, например 2; 4,7; 7; 9 или др. (буферные растворы или имеющиеся в лаборатории растворы кислот и гидроксида натрия). Желательно, чтобы один из растворов имел  $\text{pH} = 4,7$  (ацетатный буферный раствор), что отвечает изоэлектрической точке желатина. Содержимое пробирок перемешайте взбалтыванием. Через некоторое время отметьте степень набухания желатина в зависимости от среды раствора. При каком значении pH раствора желатин набухает менее всего (или более всего)? Какова вязкость растворов желатина? Объясните наблюдавшиеся вами явления.

## **Лабораторная работа 13.** **Пространственные структуры в геле**

Проведите реакцию образования дихромата серебра в геле желатина. При сливании растворов нитрата серебра и дихромата калия образуется малорастворимый осадок дихромата серебра красного цвета:



Этот опыт довольно длителен (несколько часов), поэтому его следует подготовить в начале занятия. Приготовьте раствор дихромата калия (100 мл воды и 0,6 г дихромата калия). К 4 г желатина прилейте 100 мл воды комнатной температуры и оставьте на 1 ч для набухания желатина, после чего нагрейте раствор до  $70\text{--}80^\circ\text{C}$ . Влейте 20 мл раствора дихромата калия в теплый раствор желатина. Перемешайте образовавшийся раствор и налейте его в пробирку до половины. Подождите, пока гель не загустеет. В пробирку добавьте 2—3 мл 0,5 М раствора нитрата серебра. Наблюдайте за тем, что происходит в слое геля, и каждые 45—60 мин записывайте результаты наблюдений. Попытайтесь объяснить причины образования пространственной периодической структуры.

Поместите на кусок фильтровальной или подобной бумаги каплю только что перемешанного кофе, приготовленного из порошка кофейных зерен, и дайте высохнуть. На бумаге образуется круг с резко очерченной границей. Почему? От чего может зависеть диаметр окружности? Будет ли образовываться круг от растворимого кофе или на обычной бумаге? Как влияет температура на размер круга?

### Лабораторная работа 14. Приготовление эмульсии

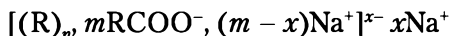
В колбочку на 100 мл налейте 50 мл воды и прибавьте 5–10 мл какой-либо органической малорастворимой в воде жидкости, например бензина, подсолнечного масла, машинного масла и т.п. Закройте колбочку пробкой. Сильным встряхиванием перемешайте смесь. Образуется ли эмульсия? Добавьте в сосуд несколько миллилитров раствора мыла (2–5%), или несколько капель шампуня, или щепотку стирального порошка. Снова сильно встряхните смесь. Образовалась ли эмульсия? Как быстро происходит расслоение эмульсии после прекращения взбалтывания?

Предложите стабилизаторы эмульсии и проверьте их действие. Если оказалось, что приготовленная вами эмульсия устойчива, предложите способы ее разрушения (коалесценция) и ускорения расслаивания.

Стабилизирующее действие мыла на эмульсию объясняется тем, что мыло представляет собой вещество общей формулы  $R-COONa$ , где  $R$  — углеводородная часть молекулы. Молекулы мыла адсорбируются на поверхности капелек малорастворимой органической жидкости так, что часть молекулы  $R$  входит в каплю, а группа  $-COONa$  обращена в сторону воды. Стабилизирующее действие мыла усиливается электролитической диссоциацией



Строение мицеллы эмульсии в водно-мыльном растворе можно представить схематически формулой



где  $R$  — формула молекулы вещества органической жидкости.

Уксусная кислота имеет формулу  $CH_3COOH$ . Можно ли раствор уксусной кислоты использовать для получения эмульсии?

### Лабораторная работа 15. Изучение молока как эмульсии

Посмотрим, как влияет устойчивость эмульсии (молока) при введении в него растворов солей, кислот или гидроксида натрия. Определите pH, при котором эмульсия становится неустойчивой. Какая среда способствует повышению устойчивости эмульсии? Какая из кислот — уксусная, лимонная, соляная или серная (при их одинаковой концентрации) — обладает более сильным коагулирующим действием? Почему?

Существует мнение, что при повышенной температуре (до 100°C) молоко является эмульсией, а при низкой температуре (до 0°C) — золев. Объясните это. Не могли бы вы экспериментально подтвердить или опровергнуть это утверждение? Имеют ли заряд частицы молока? Как это проверить?



**Лабораторная работа 16.**  
**Быстрое приготовление творога**

Для быстрого приготовления творога рекомендуют к 1 л молока прилить 2 столовых ложки 10%-ного раствора хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ . Через несколько секунд после добавления хлорида кальция молоко свертывается, и на дно сосуда осаждаются плотные белые хлопья. Что представляет собой этот продукт? Творог ли это? Какова причина осаждения (ионы кальция или хлорид-ионы)? Проведите опыты для ответа на этот вопрос. Почему рекомендуется брать хлорид кальция, а не хлорид натрия? Изучите влияние температуры на образование творога.

**Лабораторная работа 17.**  
**Адсорбция**

К 2–3 мл раствора нитрата  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  или ацетата свинца  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  (~0,1 М) прилейте столько же раствора иодида калия (~0,1 М). Что произошло? В колбочку с 2–3 мл раствора нитрата или ацетата свинца (~0,1 М) добавьте 2–3 г истолченного или активированного угля (продается в аптеке). Несколько минут взбалтывайте смесь. Раствор декантируйте (слейте с осадка) или отфильтруйте и к фильтрату прилейте 2–3 мл раствора иодида калия. Почему не образовался осадок? Докажите, что соль свинца(II) содержится в угле. Предложите способ перевода адсорбированной соли свинца в раствор и проверьте это опытом.

## Глава 9

# КРИСТАЛЛЫ

### 9.1. Практические задания

1. Какие свойства кристалла и отдельной молекулы совпадают?
2. Оксид магния  $\text{MgO}$  и фторид натрия  $\text{NaF}$  имеют одинаковые кристаллические структуры. Кристалл  $\text{MgO}$  почти в два раза тверже кристалла  $\text{NaF}$ . Температуры их плавления  $2830$  и  $992^\circ\text{C}$  соответственно. Объясните причины столь сильного различия свойств этих кристаллов.
3. Если в кристаллической структуре диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  заменить атомы кремния на атомы углерода, исходная кристаллическая структура кварца не сохраняется. Почему?
4. Воспользовавшись представлениями теории химической связи, объясните, почему алмаз прозрачен и не проводит электрический ток, а графит непрозрачен и хорошо проводит электрический ток.
5. Почему жидкость можно перегреть (повысить ее температуру выше температуры кипения), а кристалл перегреть не удастся?
6. При образовании кристалла выделяется теплота. Что теплее — растущий кристалл или окружающий его раствор?
7. Почему при температуре  $1000^\circ\text{C}$  железо светится очень ярко, а кварц почти не светится?
8. При сливании растворов хлороводородной кислоты  $\text{HCl}$  и тиосульфата натрия (гипосульфита)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  выпадает осадок мелкокристаллической серы. Напишите уравнение химической реакции. Опишите процесс образования кристаллов серы начиная со стадии образования атомной серы.
9. Почему с ростом молярной массы инертного газа прочность гидрата возрастает?
10. Нарисуйте схему элементарной решетки кристалла, точно соответствующую ее определению в учебнике.
11. При образовании двойной соли кристаллизацией  $\text{K}_2\text{SO}_4$  с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  между растущими кристаллами проскакивают искры. Почему?
12. В стакан при комнатной температуре нальем кипятка. Стекло медленно проводит температуру, и дно стакана расширится почти на  $0,2$  мм по сравнению со стенками наверху. Хрупкое стекло

треснет. Известно, что в быту стаканы «закаливают», нагревая их в воде от обычной температуры до кипения, и после нескольких минут медленно охлаждают. После такой обработки стаканы не разрушаются. Почему?

## 9.2. Лабораторные исследования

### Лабораторная работа 1.

#### Модели кристаллических структур

Вам понадобятся спички и пластилин. Из пластилина сделайте шарики размером с горошину. Спичку удобнее разделить на две части, тогда модель будет более прочной. Шариком пластилина скрепляйте концы спичек (их половинок).

**1. Задание-головоломка.** Из шести спичек и шариков пластилина соберите четыре равносторонних треугольника, длина сторон которых равна длине спички. Как называется полученная фигура? Какие молекулы и ионы имеют конфигурацию этой фигуры? Если точку в центре этой фигуры соединить с ее вершинами прямыми, чему равен угол между прямыми?

**2. Модель кристаллической решетки льда.** Считая молекулу воды точкой, соберите модель кристаллической решетки льда, зная, что каждая молекула соединена водородными связями с четырьмя другими. Связи между молекулами считайте равноценными и примите, что расстояния между молекулами воды равны. Почему структуру льда считают похожей на структуру алмаза?

В шарик пластилина (диаметр 5—10 мм) вставьте четыре спички (или их половинки) так, чтобы все углы между ними были равны. Пусть шарик — это молекула воды, спичка — водородная связь. Измерьте угол между связями. Как он называется?

В свободные концы спичек вдавите по шарiku пластилина и из каждого из них спичками создайте по четыре связи с теми же углами между ними. Так можно поступить и далее. Вы получите модель льда (модель алмаза аналогична, но в ней шарик будет обозначать атом углерода, а спичка — двухэлектронную связь). Перечислите особенности воды, обусловленные таким ее строением.

**3. Модель кристаллической структуры алмаза.** Соберите модель кристаллической структуры алмаза, учитывая, что из каждого атома исходят четыре равноценные связи (одинаковые межъядерные расстояния и углы между связями). Чему равен угол между связями и как он называется?

**4. Модель кристаллической структуры графита.** В графите атомы углерода располагаются слоями. В слое каждый атом углерода связан с тремя другими. Благодаря  $sp^2$ -гибридизации углы между связями равны  $120^\circ$ . Одна орбиталь атома углерода расположена перпендикулярно слою, и взаимодействие этих орбиталей слабо

связывает слои. Если связь между атомами углерода в слое вы изобразите половиной спички, то связь Ван-дер-Ваальса между слоями можно изобразить целой спичкой.

*Примечание.* В структуре алмаза валентные орбитали атома углерода находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации. Углы между связями равны по  $109,5^\circ$ , межъядерные расстояния — по  $0,154$  нм. В структуре графита валентные орбитали атома углерода находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Атомы углерода расположены плоскими слоями, в которых межъядерные расстояния равны  $0,142$  нм, и углы между связями —  $120^\circ$ . Расстояние между слоями равно  $0,335$  нм.

## Лабораторная работа 2. Определение межъядерного расстояния

Суть эксперимента состоит в том, что, определив плотность металла и воспользовавшись числом Авогадро, можно рассчитать межъядерное расстояние — расстояние между ядрами атомов в кристалле или молекуле, которое и является одной из характеристик данного вещества.

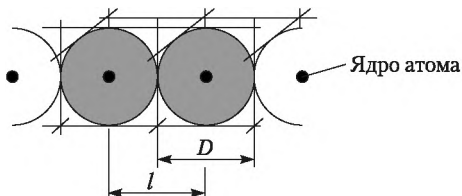
Возьмите достаточно большой кусок металла — железа, меди, алюминия, свинца и т.п. Желательно, чтобы у вас был кусок по возможности чистого металла, а не сплава. Это может быть шарик от большого подшипника, часть толстого железного гвоздя, большая гайка или винт, кусок свинцовой оплетки от кабеля. Необязательно брать металл в виде одного куска — можно использовать горсть гвоздей, мелких шариков, дробы и т.п. Можно отпилить шляпку и острие от толстого железного гвоздя, чтобы получился цилиндр.

Вначале определите взвешиванием массу взятого металла и затем перейдите к измерению его объема. Если кусок металла имеет форму куба, шара, цилиндра или другой правильной геометрической фигуры, измерьте его размеры линейкой или штангенциркулем и рассчитайте объем заготовки.

Если кусок металла имеет неправильную форму или у вас мелкие кусочки металла, то налейте в измерительный цилиндр примерно наполовину его вместимости воды и запишите ее объем. Поместите кусочки металла в тот же цилиндр с водой, так чтобы вода находилась выше металла, и запишите объем смеси воды и металла. Чему равен объем металла? Зная массу и объем куска, рассчитайте плотность металла.

Далее рассчитайте объем, приходящийся на массу металла, численно равную его мольной массе, т.е. на число Авогадро атомов,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ . Это будет объем 1 моля вещества, т.е. числа Авогадро атомов. Теперь определяете объем, приходящийся на один атом, и вычисляете межъядерное расстояние как ребро куба, заключающего внутри себя атом.

Диаметр атома  $D$  и межъядерное расстояние  $l$  представлены на рис. 9.1.



**Рис. 9.1. Диаметр атома  $D$  и межъядерное расстояние  $l$  в кристаллической решетке металла**

По справочным данным, атомный радиус атома железа равен  $124,1 \text{ пм} = 1,24 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ , поэтому межъядерное расстояние равно  $2,48 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ .

Имейте в виду, что этот метод определения межъядерных расстояний является приближенным, так как объем одного атома не равен объему куба, в который мы условно помещаем атом. Тем не менее вычисленные этим методом межъядерные расстояния в кристаллах металлов хорошо согласуются с полученными другими методами.

Вместо железа можно взять другие металлы — медь, свинец, даже золото и серебро.

Ниже дан пример расчета межъядерного расстояния в кристаллическом железе. Молярная масса железа Fe равна  $55,845 \text{ г/моль}$ . Следовательно, 1 моль железа имеет массу  $55,845 \text{ г}$ . Плотность железа определена экспериментально. По справочным данным, кристаллическое железо имеет плотность  $\rho = 7,87 \text{ г/см}^3$ . Вычислим объем 1 моля железа: разделим массу 1 моля железа на его плотность:

$$55,845 \text{ г/моль} / 7,87 \text{ г/см}^3 = 7,1 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

Чтобы узнать объем, приходящийся на долю одного атома в кристаллической структуре железа, разделим объем 1 моля атомов (молярный объем) на число Авогадро:

$$7,1 \text{ см}^3/\text{моль} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомов /моль} = 1,18 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3/\text{атом}.$$

Будем считать, что атом представляет собой шар, вписанный в куб. Тогда длина ребра куба, т.е. диаметр атома, будет равен корню кубическому из объема куба:

$$D = \sqrt[3]{1,18 \cdot 10^{-23}} = 2,28 \cdot 10^{-8} \text{ см} \approx 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}.$$

Таким образом, диаметр атома железа в кристаллическом состоянии равен  $0,000000023 \text{ см}$ . Это и есть межъядерное расстояние. Его выражают разными единицами: сантиметрами (см), нанометрами ( $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ) и пикометрами ( $1 \text{ пм} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ ). Раньше широко использовалась внесистемная единица длины — ангстрем ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м} = 10^{-8} \text{ см} = 0,1 \text{ нм}$ ).

### **Лабораторная работа 3. Теплота кристаллизации**

При образовании кристаллов теплота выделяется или поглощается? Казалось бы, при построении такого сложного объекта, как кристалл, требуется затрата работы или энергии, и теплота должна поглощаться.

Нагрейте в пробирке кристаллы тиосульфата натрия (гипосульфит натрия)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  до их расплавления. Затем закройте пробирку ватой (Зачем?) и укрепите так, чтобы пробирка была неподвижной, пока вещество не остынет. В пробирке должна сохраниться жидкость.

Если в остывший, но жидкий тиосульфат натрия бросить маленький кристаллик тиосульфата или слегка стукнуть пальцем по пробирке, жидкость мгновенно закристаллизовывается. Пробирка при этом сильно нагреется. Некоторые кристаллы даже начнут плавиться. Попробуйте внести в пробирку пылинку или кристаллик другой соли, например хлорида натрия. Как вы считаете, возможен ли был бы этот процесс в изолированной системе (теплота реакции не рассеивается)? В какой системе этот процесс возможен? Энтальпию кристаллизации можно измерить, воспользовавшись калориметром, который применялся для определения энтальпии нейтрализации.

# Глава 10

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

### 10.1. Термодинамические характеристики веществ

Приведенные обширные термодинамические данные помогут преподавателю быстро составить большое число задач по разнообразным разделам химии и студентам — при написании докладов и рефератов. Студенты, при решении задач обратите особое внимание на единицы измерения изменения энтальпии и энтропии.

#### Неорганические соединения

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
Ag <sub>ж</sub>	0	42,6	AlCl <sub>3p-p</sub>	-1033,0	-152,3
Ag <sub>т</sub>	284,9	173,1	AlO <sub>2p-p</sub>	-930,9	-36,8
Ag <sub>p-p</sub> <sup>+</sup>	105,6	72,7	Al <sub>2</sub> O <sub>3к</sub> , корунд	-1675,7	50,9
AgBr <sub>к</sub>	-100,4	107,1	Al(OH) <sub>3к</sub> , гипсбит	-1293,5	68,4
AgBr <sub>p-p</sub>	-16,0	155,2	Al(OH) <sub>4p-p</sub> <sup>-</sup>	-1502,5	102,9
AgCl <sub>к</sub>	-127,0	96,2	Al <sub>2</sub> S <sub>3к</sub>	-724,0	116,9
AgCl <sub>p-p</sub>	-61,6	129,3	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3p-p</sub>	-3791,0	-583,2
AgF <sub>к</sub>	-204,6	—	Ar <sub>г</sub>	0	154,8
AgF <sub>p-p</sub>	-227,1	59,0	As <sub>к</sub>	0	35,1
AgI <sub>к</sub>	-61,8	115,5	As <sub>т</sub>	302,5	174,2
AgI <sub>p-p</sub>	50,4	184,1	Au <sub>к</sub>	0	47,4
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3к</sub>	-505,8	167,4	Au <sub>т</sub>	366,1	180,5
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4к</sub>	-731,7	217,6	AuCl <sub>3к</sub>	-117,6	164,4
AgNO <sub>3p-p</sub>	-101,8	219,2	Au <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-12,9	125,5
Ag <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-31,1	121,3	Au(OH) <sub>3к</sub>	-477,8	121,0
Ag <sub>2</sub> S <sub>к</sub>	-32,6	144,0	B <sub>к</sub>	0	5,9
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-715,9	200,4	B <sub>т</sub>	565,0	153,4
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4p-p</sub>	-698,1	165,7	B <sub>2</sub> H <sub>6т</sub>	36,4	232,1
Al <sub>к</sub>	0	28,3	B <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1273,5	54,0
Al <sub>т</sub>	330,0	164,6	BO <sub>2p-p</sub> <sup>-</sup>	-772,4	-37,2
Al <sub>p-p</sub> <sup>3+</sup>	-531,0	-321,7	BN <sub>к</sub>	647,5	212,3
AlCl <sub>3к</sub>	-704,2	109,3			

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
Ba <sub>к</sub>	0	62,5	CCl <sub>4г</sub>	-95,7	301,0
Ba <sub>г</sub>	180,0	170,2	CF <sub>4г</sub>	-933,6	261,6
Ba <sup>2+</sup> <sub>р-р</sub>	-537,6	9,6	CH <sub>4г</sub>	-74,6	186,3
BaCO <sub>3к</sub>	-1213,0	112,1	CHCl <sub>3г</sub>	-102,7	295,7
BaCO <sub>3р-р</sub>	-1214,8	-47,3	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2г</sub>	-95,4	270,2
BaCl <sub>2к</sub>	-855,0	123,7	CH <sub>3</sub> Cl <sub>г</sub>	-81,9	234,6
BaCl <sub>2р-р</sub>	-872,0	122,6	CH <sub>2</sub> O <sub>г</sub>	-108,6	218,8
BaCrO <sub>4к</sub>	-1426,2	155,6	CO <sub>г</sub>	-110,5	197,7
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-988,0	214,0	CO <sub>2г</sub>	-393,5	213,8
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2р-р</sub>	-952,4	302,5	CO <sub>2р-р</sub>	-413,3	119,4
BaO <sub>к</sub>	-548,0	72,1	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> <sub>р-р</sub>	-677,2	-56,9
Ba(OH) <sub>2к</sub>	-944,7	—	CS <sub>2г</sub>	116,7	237,8
BaS <sub>к</sub>	-460,0	78,2	Ca <sub>к</sub>	0	41,6
BaSO <sub>4к</sub>	-1473,2	132,2	Ca <sub>г</sub>	177,8	154,9
BaSO <sub>4р-р</sub>	-1446,9	29,7	Ca <sup>2+</sup> <sub>р-р</sub>	-542,8	-53,1
Be <sub>к</sub>	0	9,5	CaC <sub>2к</sub>	-59,8	70,0
Be <sub>г</sub>	324,0	136,3	CaCO <sub>3к</sub> , ромб	-1207,0	88,0
Be <sup>2+</sup> <sub>р-р</sub>	-382,8	-129,7	CaCO <sub>3к</sub> , тригон	-1206,8	91,7
Be(OH) <sub>2к</sub>	-902,5	45,5	CaCO <sub>3р-р</sub>	-1220,0	-110,0
BeSO <sub>4к</sub>	-1205,2	77,9	CaC <sub>2</sub> O <sub>4к</sub>	-1360,6	—
Bi <sub>к</sub>	0	56,7	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-1670,3	156,0
Bi <sub>г</sub>	207,1	187,1	CaCl <sub>2к</sub>	-795,4	108,4
Bi <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-573,9	151,5	CaCl <sub>2р-р</sub>	-877,1	59,8
Bi <sub>2</sub> S <sub>3к</sub>	-143,1	200,4	CaF <sub>2к</sub>	-1228,0	68,5
Bi <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3к</sub>	-2544,3	—	CaF <sub>2р-р</sub>	-1208,1	-80,8
Br <sub>2ж</sub>	0	152,2	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-2344,0	155,0
Br <sub>г</sub>	111,9	175,0	CaHPO <sub>4к</sub> , трикл	-1813,2	111,4
Br <sup>-</sup> <sub>р-р</sub>	-121,6	82,4	CaHPO <sub>4к</sub> , монокл	-2402,7	189,5
Br <sub>2г</sub>	30,9	245,4	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-3113,6	190,0
Br <sup>-</sup> <sub>р-р</sub>	-121,4	82,6	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-3409,8	259,8
C <sub>к</sub> , графит	0	5,7	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-938,2	193,2
C <sub>к</sub> , алмаз	1,9	2,4	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2р-р</sub>	-957,6	239,7
C <sub>г</sub>	-716,7	158,1	CaO <sub>к</sub>	-634,9	38,1
C <sub>60к</sub>	2327,0	426,0	Ca(OH) <sub>2к</sub>	-985,2	83,4
C <sub>70к</sub>	2555,0	464,0	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-4120,8	236,0
CCl <sub>4ж</sub>	-128,2	216,0	CaS <sub>к</sub>	484,4	56,5



Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$\text{CaSO}_{4\text{к}}$	-1434,5	106,5	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\text{к}$	-3310,0	288,0
$\text{CaSO}_{4\text{р-р}}$	-1452,1	-33,1	$\text{CrO}_4^{2-}\text{р-р}$	-881,2	50,2
$\text{Cd}_{\text{к}}$	0	51,8	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}\text{р-р}$	-1490,3	261,9
$\text{Cd}_{\text{г}}$	111,8	167,7	$\text{Cs}_{\text{к}}$	0	85,2
$\text{Cd}^{2+}\text{р-р}$	-75,9	-73,2	$\text{Cs}_{\text{г}}$	76,5	175,6
$\text{Ce}_{\text{к}}$	0	72,0	$\text{Cs}_{\text{р-р}}^+$	-258,0	132,1
$\text{Ce}_{\text{г}}$	423,0	191,8	$\text{CsCl}_{\text{к}}$	-443,0	101,2
$\text{Ce}^{3+}\text{р-р}$	-696,2	-205,0	$\text{CsOH}_{\text{к}}$	-416,2	104,2
$\text{Ce}^{4+}\text{р-р}$	-537,2	-301,0	$\text{Cu}_{\text{к}}$	0	33,2
$\text{Cl}_{2\text{г}}$	0	223,1	$\text{Cu}_{\text{г}}$	337,4	166,4
$\text{Cl}_{\text{г}}$	121,3	165,2	$\text{Cu}^{2+}\text{р-р}$	64,8	-99,6
$\text{Cl}_{\text{р-р}}^-$	-167,2	56,5	$\text{CuCl}_{\text{к}}$	-137,2	86,2
$\text{ClO}_4^-\text{р-р}$	-129,3	182,0	$\text{CuCl}_{2\text{к}}$	-220,1	108,1
$\text{ClO}_{2\text{г}}$	102,5	256,8	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2\text{к}}$	-302,9	—
$\text{Cl}_2\text{O}_{\text{г}}$	80,3	266,2	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-2108,7	413,7
$\text{Co}_{\text{к}}$	0	30,0	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2\text{р-р}}$	-350,0	193,3
$\text{Co}_{\text{г}}$	424,7	179,5	$\text{CuO}_{\text{к}}$	-157,3	42,6
$\text{Co}^{2+}\text{р-р}$	-58,2	-113,0	$\text{Cu}_2\text{O}_{\text{к}}$	-168,6	93,1
$\text{Co}^{3+}\text{р-р}$	92,0	-305,0	$\text{Cu}(\text{OH})_{2\text{к}}$	-449,8	—
$\text{CoCO}_{3\text{к}}$	-713,0	88,6	$(\text{CuOH})_2\text{CO}_{3\text{к}}$	-1048,0	222,0
$\text{CoCl}_{2\text{к}}$	-312,5	109,2	$\text{CuS}_{\text{к}}$	-53,1	66,5
$\text{CoCl}_{2\text{р-р}}$	-392,5	—	$\text{Cu}_2\text{S}_{\text{к}}$	-79,5	120,9
$\text{CoO}_{\text{к}}$	-237,9	53,0	$\text{CuSO}_{4\text{к}}$	-771,4	109,2
$\text{Co}_3\text{O}_{4\text{к}}$	-891,0	102,5	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-2280,0	301,0
$\text{Co}(\text{OH})_{2\text{к}}$	-539,7	79,0	$\text{F}_{2\text{г}}$	0	202,8
$\text{CoS}_{\text{к}}$	-82,8	—	$\text{F}_{\text{г}}$	79,4	158,8
$\text{Co}_2\text{S}_{3\text{к}}$	-147,3	—	$\text{F}_{\text{р-р}}^-$	-332,6	-13,8
$\text{CoSO}_{4\text{к}}$	-888,3	118,0	$\text{Fe}_{\text{к}}$	0	27,3
$\text{CoSO}_{4\text{р-р}}$	-967,3	-92,0	$\text{Fe}_{\text{г}}$	416,3	180,5
$\text{Cr}_{\text{к}}$	0	23,8	$\text{Fe}^{2+}\text{р-р}$	-89,1	-137,7
$\text{Cr}_{\text{г}}$	396,6	174,5	$\text{Fe}^{3+}\text{р-р}$	-48,5	-315,9
$\text{CrCl}_{3\text{к}}$	-556,5	123,0	$\text{FeCO}_{3\text{к}}$	-740,6	92,9
$\text{CrO}_{2\text{к}}$	-589,0	—	$\text{FeCl}_{2\text{к}}$	-348,8	118,0
$\text{CrO}_{3\text{г}}$	-292,9	266,2	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-1552,0	246,0
$\text{Cr}_2\text{O}_{3\text{к}}$	-1139,7	81,2	$\text{FeCl}_{3\text{к}}$	-399,5	142,3
$\text{Cr}_3\text{O}_{4\text{к}}$	-1531,0	—	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	2224,0	352,0

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$\text{FeCl}_{3\text{p-p}}$	-550,2	-146,4	$\text{GeH}_{4\text{r}}$	90,8	217,1
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-3338,8	132,7	$\text{Ge}_2\text{H}_{6\text{r}}$	162,3	—
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3\text{p-p}$	-670,7	123,4	$\text{Ge}_2\text{H}_{6\text{ж}}$	137,3	—
$\text{FeO}_{\text{к}}$	-272,0	61,0	$\text{GeO}_{\text{к}}$	-261,9	50,0
$\text{Fe}_{0,94}\text{O}_{\text{к}}$	-265,3	60,7	$\text{GeO}_{2\text{к}}$	-580,0	39,7
$\text{FeO}_{1,06\text{к}}$	-280,1	60,8	$\text{GeS}_{\text{к}}$	-69,0	71,0
$\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{к}}$	-824,2	87,4	$\text{GeS}_{2\text{к}}$	-189,0	87,0
$\text{Fe}_3\text{O}_{4\text{к}}$	1118,4	146,4	$\text{H}_{2\text{r}}$	0	130,5
$\text{Fe}(\text{OH})_{2\text{к}}$	-574,0	92,0	$\text{H}_{\text{r}}$	218,0	114,7
$\text{FeOH}_{\text{p-p}}^+$	-324,7	-29,0	$\text{H}_{\text{p-p}}^+$	0	0
$\text{FeOH}_{\text{p-p}}^{2+}$	-290,8	-142,0	$^2\text{H}_{\text{r}} (\text{D}_{\text{r}})$	222,0	123,0
$\text{FeO}(\text{OH})_{\text{к}}$	-559,0	67,4	$^2\text{H}_{2\text{r}} (\text{D}_{2\text{r}})$	0	145,0
$\text{FePO}_{4\text{к}}$	-1297,5	101,0	$^3\text{H}_{\text{r}} (\text{T}_{\text{r}})$	223,0	128,0
$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-1888,1	171,3	$^3\text{H}_{2\text{r}} (\text{T}_{2\text{r}})$	0	153,0
$\text{FeS}_{\text{к}}$	-100,0	60,3	$\text{H}_3\text{AsO}_{4\text{к}}$	906,3	—
$\text{FeS}_{2\text{к}}$	-178,2	52,9	$\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-1192,9	—
$\text{FeSO}_{4\text{к}}$	-928,4	107,5	$\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-1490,2	—
$\text{FeSO}_{4\text{p-p}}$	-998,3	117,6	$\text{HBO}_{2\text{к}}$	-794,3	38,0
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}_{\text{к}}$	-3014,4	409,2	$\text{H}_3\text{BO}_{3\text{к}}$	-1094,3	90,0
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_{3\text{к}}$	-2681,9	259,0	$\text{H}_3\text{BO}_{3\text{p-p}}$	1072,8	162,4
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_{3\text{p-p}}$	-2825,0	-571,5	$\text{HBr}_{\text{r}}$	-36,3	198,7
$\text{FeSiO}_{3\text{к}}$	-1195,0	94,0	$\text{HBr}_{\text{p-p}}$	-121,6	82,4
$\text{Fe}_2\text{SiO}_{4\text{к}}$	-1479,9	145,2	$\text{HCN}_{\text{r}}$	135,1	201,8
$\text{Fe}(\text{CN})_{6\text{p-p}}^{3-}$	561,9	270,3	$\text{HCN}_{\text{ж}}$	108,9	112,8
$\text{Fe}(\text{CN})_{6\text{p-p}}^{4-}$	455,6	95,0	$\text{HCN}_{\text{p-p}}$	150,6	94,1
$\text{Fr}_{\text{к}}$	0	95,4	$\text{HCO}_3\text{p-p}^-$	-692,0	91,2
$\text{Ga}_{\text{к}}$	0	40,8	$\text{HF}_{\text{r}}$	-273,3	173,8
$\text{Ga}_{\text{r}}$	272,0	169,0	$\text{HF}_{\text{ж}}$	-299,8	—
$\text{Ga}_{\text{ж}}$	5,6	—	$\text{HF}_{\text{p-p}}$	-332,6	-13,8
$\text{Gd}_{\text{к}}$	0	68,1	$\text{HF}_{2\text{p-p}}^-$	-649,9	92,5
$\text{Gd}_{\text{r}}$	397,5	194,3	$\text{HNO}_{2\text{r}}$	-79,5	254,1
$\text{Ge}_{\text{к}}$	0	31,1	$\text{HNO}_{3\text{r}}$	-133,9	266,9
$\text{Ge}_{\text{r}}$	372,0	167,9	$\text{HNO}_{3\text{ж}}$	-174,1	155,6
$\text{Ge}_{2\text{r}}$	473,1	252,8	$\text{HNO}_{3\text{p-p}}$	-207,4	146,4
$\text{GeCl}_{4\text{r}}$	-495,8	347,7	$\text{H}_2\text{O}_{\text{r}}$	-241,8	188,8
$\text{GeCl}_{4\text{ж}}$	-531,8	245,6	$\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$	-285,8	70,0

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-291,9	39,3	HgCl <sub>2к</sub>	-224,3	146,0
H <sub>2</sub> O <sub>2ж</sub>	-187,8	109,6	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2к</sub>	-265,4	191,6
H <sub>2</sub> O <sub>2г</sub>	-136,3	232,7	HgO <sub>к</sub>	-90,8	70,3
HO <sub>2г</sub>	10,5	229,0	HgS <sub>к</sub>	-58,2	82,4
<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O <sub>г</sub> (D <sub>2</sub> O <sub>г</sub> )	-249,2	198,3	HgSO <sub>4к</sub>	-707,5	—
<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O <sub>ж</sub> (D <sub>2</sub> O <sub>ж</sub> )	-294,0	75,9	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-743,1	200,7
HCl <sub>г</sub>	-92,3	186,9	I <sub>2к</sub>	0	116,1
HCl <sub>р-р</sub>	-167,2	56,5	I <sub>г</sub>	106,8	180,8
HClO <sub>г</sub>	-78,7	236,7	I <sub>2г</sub>	62,4	260,7
HClO <sub>4ж</sub>	-40,6	—	I <sub>2ж</sub>	22,0	37,0
HPO <sub>3ж</sub>	-948,5	—	HI <sub>г</sub>	26,5	206,6
H <sub>3</sub> PO <sub>2ж</sub>	-595,4	—	HI <sub>р-р</sub>	-55,2	111,3
H <sub>3</sub> PO <sub>2к</sub>	-604,6	—	I <sub>р-р</sub> <sup>-</sup>	-55,8	106,4
H <sub>3</sub> PO <sub>3к</sub>	-964,4	—	HIO <sub>3ж</sub>	-230,1	—
H <sub>3</sub> PO <sub>4ж</sub>	-1271,7	150,8	H <sub>5</sub> IO <sub>6к</sub>	-762,0	—
H <sub>3</sub> PO <sub>4к</sub>	-1284,4	110,5	In <sub>к</sub>	0	57,8
H <sub>2</sub> PO <sub>4р-р</sub> <sup>-</sup>	-1296,3	90,4	In <sub>г</sub>	243,3	173,8
HPO <sub>4р-р</sub> <sup>2-</sup>	-1292,1	-33,5	Ir <sub>к</sub>	0	35,5
H <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7ж</sub>	-2231,7	—	Ir <sub>г</sub>	665,3	193,5
H <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7к</sub>	-2241,0	—	K <sub>к</sub>	0	64,7
HP <sub>2</sub> O <sub>7р-р</sub> <sup>3-</sup>	-2274,8	46,0	K <sub>г</sub>	89,0	160,3
H <sub>2</sub> S <sub>г</sub>	-20,6	205,8	K <sub>р-р</sub> <sup>+</sup>	252,4	102,5
HS <sub>р-р</sub> <sup>-</sup>	-17,6	62,8	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · · 12H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-6063,0	687,0
H <sub>2</sub> SO <sub>4ж</sub>	-814,0	156,9	KBr <sub>к</sub>	-393,8	95,9
H <sub>2</sub> SO <sub>4р-р</sub>	-909,3	20,1	KBr <sub>р-р</sub>	-373,9	184,9
HSO <sub>4р-р</sub> <sup>-</sup>	-886,9	131,7	KCl <sub>к</sub>	-436,5	82,6
H <sub>2</sub> S <sub>г</sub>	-20,6	205,8	KCl <sub>р-р</sub>	-419,5	159,0
H <sub>2</sub> S <sub>р-р</sub>	-38,6	126,0	KCN <sub>к</sub>	-113,0	128,5
HS <sub>р-р</sub> <sup>-</sup>	-16,3	67,0	K <sub>2</sub> CO <sub>3к</sub>	-1151,0	155,5
H <sub>2</sub> SiO <sub>3к</sub>	1188,7	134,0	K <sub>2</sub> CO <sub>3р-р</sub>	-1181,9	148,1
H <sub>2</sub> SiO <sub>4к</sub>	1481,1	192,0	K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4к</sub>	-1346,0	—
He <sub>г</sub>	0	126,2	KClO <sub>3к</sub>	-397,7	143,1
Hg <sub>ж</sub>	0	75,9	KClO <sub>4к</sub>	-432,8	151,0
Hg <sub>г</sub>	61,4	175,0	K <sub>2</sub> CrO <sub>4к</sub>	-1408,0	200,0
Hg <sub>р-р</sub> <sup>2+</sup>	171,1	-32,2	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7к</sub>	-2068,0	291,0
Hg <sub>2р-р</sub> <sup>2+</sup>	172,4	84,5			

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
KCr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-2352,0	240,0	K <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-1437,8	175,6
KCr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · ·12H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-5784,0	708,0	K <sub>2</sub> SO <sub>4р-р</sub>	-1414,0	225,1
KF <sub>к</sub>	-567,3	66,6	K <sub>2</sub> SiF <sub>6к</sub>	-2956,0	226,0
KF·2H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-1165,0	156,0	K <sub>2</sub> SiO <sub>3к</sub>	-1542,0	146,0
KHCO <sub>3к</sub>	-963,2	115,5	Kr <sub>г</sub>	0	164,1
KHCO <sub>3р-р</sub>	-944,4	193,7	La <sub>к</sub>	0	56,9
KHF <sub>2к</sub>	-927,7	104,3	La <sub>г</sub>	431,0	182,4
KH <sub>2</sub> PO <sub>4к</sub>	-1568,3	134,9	La <sub>р-р</sub> <sup>3+</sup>	-707,1	-217,6
K <sub>2</sub> HPO <sub>4к</sub>	-1776,0	179,0	LaCl <sub>3к</sub>	-1072,2	—
KHSO <sub>4к</sub>	-1160,6	138,1	La <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1793,7	127,3
KHSO <sub>4р-р</sub>	-1139,7	234,3	Li <sub>к</sub>	0	29,1
KI <sub>к</sub>	-327,9	106,3	Li <sub>г</sub>	159,3	138,8
KI <sub>р-р</sub>	-307,6	213,8	Li <sub>р-р</sub> <sup>+</sup>	-278,5	13,4
KMnO <sub>4к</sub>	-837,2	171,7	LiF <sub>к</sub>	-616,0	35,7
K <sub>2</sub> MnO <sub>4к</sub>	-1180,0		LiCl <sub>к</sub>	-408,6	59,3
KNCS <sub>к</sub>	-200,2	124,3	LiBr <sub>к</sub>	-351,2	74,3
KNO <sub>2к</sub>	-369,8	152,1	LiI <sub>к</sub>	-270,4	86,8
KNO <sub>3к</sub>	-494,6	133,1	Li <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-597,9	37,6
KNO <sub>3р-р</sub>	-459,7	248,9	LiOH <sub>к</sub>	-487,5	42,8
KO <sub>2к</sub>	-284,9	116,7	Li <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-1436,5	115,1
KO <sub>3к</sub>	-261,0	105,0	Mg <sub>к</sub>	0	32,7
K <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-361,5	—	Mg <sub>г</sub>	147,1	148,6
K <sub>2</sub> O <sub>2к</sub>	-494,1	102,1	Mg <sub>р-р</sub> <sup>2+</sup>	-466,9	138,1
KOH <sub>к</sub>	-424,6	81,2	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4к</sub>	-2315,0	81,0
K <sub>3</sub> PO <sub>4к</sub>	-1950,2	—	MgCO <sub>3к</sub>	-1095,8	65,7
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7к</sub>	-3202,0	318,0	MgCl <sub>2к</sub>	-641,3	89,6
K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ·3H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-4110,0	444,0	MgCl <sub>2р-р</sub>	-801,2	-25,1
KSCN <sub>к</sub>	-200,2	124,3	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-2500,0	366,0
K <sub>2</sub> S <sub>к</sub>	-380,7	105,0	MgCr <sub>2</sub> O <sub>4к</sub>	-1490,0	119,0
K <sub>2</sub> S <sub>р-р</sub>	-471,5	190,4	MgF <sub>2к</sub>	-1124,2	57,2
K <sub>2</sub> S <sub>3к</sub>	-474,0	180,0	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4к</sub>	-1428,0	124,0
K <sub>2</sub> S <sub>4к</sub>	-472,0	210,0	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-790,7	164,0
K <sub>2</sub> S <sub>5к</sub>	-475,0	257,0	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>3р-р</sub>	-881,6	154,8
HSO <sub>3р-р</sub> <sup>-</sup>	-626,2	139,7	MgO <sub>к</sub>	-601,6	27,0
K <sub>2</sub> SO <sub>3к</sub>	-1119,0	155,0	Mg(OH) <sub>2к</sub>	-924,5	63,2
			Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-3790,0	189,1

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
MgS <sub>к</sub>	-346,0	50,3	MoO <sub>2к</sub>	-588,9	46,3
MgSO <sub>4к</sub>	-1284,9	91,6	MoO <sub>3к</sub>	-745,1	77,7
MgSO <sub>4р-р</sub>	-1376,1	-118,0	MoS <sub>2к</sub>	-235,1	62,6
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-3388,0	370,0	N <sub>2г</sub>	0	191,6
MgSiO <sub>4к</sub>	-2174,0	95,1	N <sub>г</sub>	472,7	153,3
Mn <sub>к</sub>	0	32,0	NCl <sub>3ж</sub>	230,0	—
Mn <sub>г</sub>	280,7	173,7	NH <sub>2</sub> OH <sub>к</sub>	-114,2	—
Mn <sub>р-р</sub> <sup>2+</sup>	-220,8	-73,6	NH <sub>3г</sub>	-45,9	192,8
MnCO <sub>3к</sub>	-894,1	85,8	NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O <sub>ж</sub>	-361,2	165,8
MnCl <sub>2к</sub>	-481,3	118,2	NH <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O <sub>ж</sub>	-650,0	233,0
MnCl <sub>2р-р</sub>	-555,4	38,9	2NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O <sub>ж</sub>	-431,0	268,0
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-1686,0	317,0	NH <sub>4</sub> OH <sub>р-р</sub>	-362,5	102,5
Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-576,3	167,0	NH <sub>4р-р</sub> <sup>+</sup>	-132,5	113,4
Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2р-р</sub>	-635,5	218,0	N <sub>2</sub> H <sub>4г</sub>	95,4	238,5
MnO <sub>к</sub>	-385,2	59,7	N <sub>2</sub> H <sub>4ж</sub>	50,6	121,2
MnO <sub>2к</sub>	-520,0	53,1	NH <sub>4</sub> Cl <sub>к</sub>	-314,4	94,6
MnO <sub>4р-р</sub> <sup>-</sup>	-541,4	191,2	NH <sub>4</sub> Cl <sub>р-р</sub>	-299,7	169,9
Mn <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-959,0	110,5	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4к</sub>	-295,3	186,2
Mn <sub>3</sub> O <sub>4к</sub>	-1387,8	155,6	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CrO <sub>4к</sub>	-1287,0	173,0
Mn <sub>2</sub> O <sub>7ж</sub>	-726,3	171,0	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CrO <sub>4р-р</sub>	-1146,2	277,0
Mn(OH) <sub>2к</sub>	-702,0	82,0	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7к</sub>	-1808,0	—
MnOH <sub>р-р</sub> <sup>+</sup>	-450,6	-17,0	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7р-р</sub>	-1755,2	488,7
MnS <sub>к</sub>	-214,2	78,2	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3р-р</sub>	-942,2	169,9
MnSO <sub>4к</sub>	-1066,7	112,6	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3к</sub>	-850,0	121,0
MnSO <sub>4р-р</sub>	-1130,1	-53,6	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3р-р</sub>	-824,5	204,6
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-1387,4	155,7	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4к</sub>	-1566,9	—
MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-2555,5	370,6	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4р-р</sub>	-1557,2	193,3
MnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-3136,3	—	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4к</sub>	-1671,9	—
MnSiO <sub>3к</sub>	-1320,9	89,1	NH <sub>4</sub> NCS <sub>к</sub>	-58,0	261,0
MnSiO <sub>4к</sub>	-1730,5	163,2	NH <sub>4</sub> OH <sub>р-р</sub>	-362,5	102,5
MnO <sub>4р-р</sub> <sup>2-</sup>	653,0	59,0	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>р-р</sub>	-231,8	212,1
Mo <sub>к</sub>	0	28,7	NO <sub>2р-р</sub> <sup>-</sup>	-104,6	123,0
Mo <sub>г</sub>	658,1	182,0	NH <sub>4</sub> NO <sub>2к</sub>	-256,5	—
MoCl <sub>3к</sub>	-393,0	138,0	NO <sub>3р-р</sub> <sup>-</sup>	-207,4	146,4
MoCl <sub>4к</sub>	-474,0	201,0	NH <sub>4</sub> NO <sub>3к</sub>	-365,6	151,1
MoCl <sub>5к</sub>	-528,0	225,0	NH <sub>2</sub> OH <sub>к</sub>	-114,2	—

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_{4\text{p-p}}$	-1674,9	117,0	$\text{NaCl}_\text{к}$	-411,2	72,1
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_{4\text{к}}$	-1181,0	220,1	$\text{NaCl}_{\text{p-p}}$	-407,3	115,5
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_{4\text{p-p}}$	-1174,3	246,9	$\text{NaClO}_{3\text{к}}$	-365,8	123,4
$\text{NH}_4\text{HSO}_{4\text{к}}$	-1027,0	—	$\text{NaClO}_{4\text{к}}$	-383,3	142,3
$\text{NH}_4\text{HSO}_{4\text{p-p}}$	-1019,9	245,2	$\text{Na}_2\text{CrO}_{4\text{к}}$	-1336,0	180,0
$\text{NO}_\text{г}$	91,3	210,8	$\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-4277,0	—
$\text{NO}_{2\text{г}}$	33,2	240,1	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_{7\text{к}}$	-1967,0	277,0
$\text{N}_2\text{O}_\text{г}$	81,6	220,0	$\text{NaF}_\text{к}$	-576,6	51,1
$\text{N}_2\text{O}_{3\text{г}}$	86,6	314,7	$\text{NaF}_{\text{p-p}}$	-572,8	45,2
$\text{N}_2\text{O}_{3\text{ж}}$	50,3	—	$\text{NaFeO}_{2\text{к}}$	-698,0	88,0
$\text{N}_2\text{O}_{4\text{г}}$	11,1	304,4	$\text{NaHCOO}_\text{к}$	-666,5	103,8
$\text{N}_2\text{O}_{4\text{ж}}$	-19,5	209,2	$\text{NaH}_2\text{PO}_{4\text{к}}$	-1545,0	127,0
$\text{N}_3\text{O}_{5\text{г}}$	13,3	355,7	$\text{Na}_2\text{HPO}_{4\text{к}}$	-1748,1	150,5
$\text{N}_2\text{O}_{5\text{к}}$	-43,1	178,2	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-2346,0	221,0
$\text{NO}_{2\text{p-p}}$	-104,6	123,0	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-3821,0	434,0
$\text{NO}_{3\text{p-p}}^-$	-206,9	146,7	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-5298,0	636,0
$\text{NO}_{3\text{p-p}}^-$	-206,9	146,7	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_{7\text{к}}$	-2764,1	220,0
$\text{NH}_4\text{NO}_{3\text{к}}$	-366,0	151,0	$\text{NaHS}_\text{к}$	-236,0	—
$\text{NH}_4\text{NO}_{3\text{p-p}}$	-339,9	259,8	$\text{NaHSO}_{4\text{к}}$	-1125,5	113,0
$\text{Na}_\text{к}$	0	51,3	$\text{NaHSO}_{4\text{p-p}}$	-1127,5	190,8
$\text{Na}_\text{г}$	107,5	153,7	$\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-1420,0	170,0
$\text{Na}_{\text{p-p}}^+$	-240,1	59,0	$\text{NaI}_\text{к}$	-287,8	98,5
$\text{NaAlF}_6$	-3312,0	238,0	$\text{NaI} \cdot 2\text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-886,0	174,0
$\text{NaAlO}_{2\text{к}}$	-1133,0	71,0	$\text{NaI}_{\text{p-p}}$	-295,3	170,3
$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}_\text{к}$	-5983,0	—	$\text{NaMnO}_{4\text{к}}$	-1156,0	—
$\text{Na}_3\text{AsO}_{4\text{к}}$	-1535,0	186,0	$\text{Na}_2\text{MnO}_{4\text{к}}$	-1468,1	159,7
$\text{NaBF}_4$	-1844,7	145,3	$\text{NaNCS}_\text{к}$	-176,0	113,0
$\text{NaBO}_{2\text{к}}$	-977,0	73,5	$\text{NaNO}_{2\text{к}}$	-358,7	103,8
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{7\text{к}}$	-3291,1	189,5	$\text{NaNO}_{3\text{к}}$	-467,9	116,5
$\text{NaBr}_\text{к}$	-361,1	86,8	$\text{NaNO}_{3\text{p-p}}$	-447,5	205,4
$\text{NaCN}_\text{к}$	-87,5	115,6	$\text{NaO}_{2\text{к}}$	-260,2	115,9
$\text{Na}_2\text{CO}_{3\text{к}}$	-1130,7	135,0	$\text{Na}_2\text{O}_\text{к}$	-414,2	75,1
$\text{Na}_2\text{CO}_{3\text{p-p}}$	-1157,4	61,1	$\text{Na}_2\text{O}_{2\text{к}}$	-510,9	95,0
$\text{NaHCO}_{3\text{к}}$	-950,8	101,7	$\text{NaOH}_\text{к}$	-425,8	64,4
$\text{NaHCO}_{3\text{p-p}}$	-932,1	150,2	$\text{NaPO}_{3\text{к}}$	-1220,0	96,0
			$\text{Na}_3\text{PO}_{4\text{к}}$	-1917,0	174,0

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-5480,0	660,0	$\text{OH}_\Gamma$	39,0	183,7
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\kappa$	-3166,0	270,0	$\text{OH}_{\text{p-p}}^-$	-230,0	-10,8
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-6125,0	689,0	$\text{Os}_\kappa$	0	32,6
$\text{Na}_2\text{S}_\kappa$	-364,8	83,7	$\text{Os}_\Gamma$	791,0	192,6
$\text{Na}_2\text{S}_{\text{p-p}}$	-447,3	103,3	$\text{OsO}_{4\kappa}$	-394,1	143,9
$\text{Na}_2\text{S}_{4\kappa}$	-411,0	—	$\text{P}_\kappa$ , бел	0	41,1
$\text{Na}_2\text{SO}_{3\kappa}$	-1100,8	145,9	$\text{P}_\Gamma$ , бел	316,5	163,2
$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-3153,0	450,0	$\text{P}_\kappa$ , красн	-17,62	2,8
$\text{Na}_2\text{SO}_{4\kappa}$	-1387,1	149,6	$\text{P}_\kappa$ , черн	-39,3	—
$\text{Na}_2\text{SO}_{4\text{p-p}}$	-1389,5	138,1	$\text{P}_{2\Gamma}$	144,0	218,1
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-4330,0	586,0	$\text{P}_{4\Gamma}$	58,9	280,0
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_{3\kappa}$	-111,7	225,0	$\text{PCl}_{3\kappa}$	-319,7	217,1
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-2602,0	314,0	$\text{PCl}_{5\Gamma}$	-374,9	364,6
$\text{Na}_2\text{SiF}_{6\kappa}$	-2909,6	207,1	$\text{PCl}_{5\kappa}$	-443,5	—
$\text{Na}_2\text{SiO}_{3\kappa}$	-1554,9	113,9	$\text{PH}_{3\Gamma}$	5,4	210,2
$\text{Na}_4\text{SiO}_{4\kappa}$	-2106,0	196,0	$\text{P}_2\text{H}_{4\Gamma}$	20,9	—
$\text{Nb}_\kappa$	0	36,4	$\text{PN}_\Gamma$	171,5	211,1
$\text{Nb}_\Gamma$	725,9	186,3	$\text{PO}_{4\text{p-p}}^{3-}$	-1277,4	-220,5
$\text{Ne}_\Gamma$	0	146,3	$\text{P}_2\text{O}_4^{4-}_{\text{p-p}}$	-2271,1	-117,0
$\text{Ni}_\kappa$	0	29,9	$\text{P}_4\text{O}_{6\Gamma}$	-1606,0	356,3
$\text{Ni}_\Gamma$	429,7	182,2	$\text{P}_4\text{O}_{6\text{ж}}$	-2194,0	284,0
$\text{Ni}_{\text{p-p}}^{2+}$	-54,0	-128,9	$\text{P}_4\text{O}_{6\kappa}$	-1668,0	—
$\text{NiCO}_{3\kappa}$	-689,0	86,2	$\text{P}_4\text{O}_{10\Gamma}$	-3199,0	395,0
$\text{NiCl}_{2\kappa}$	-305,3	97,7	$\text{P}_4\text{O}_{10\kappa}$	-3010,0	231,0
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-2215,0	511,3	$\text{P}_4\text{S}_{10\kappa}$	-364,0	382,0
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_{2\text{p-p}}$	-468,6	164,0	$\text{Pb}_\kappa$	0	64,8
$\text{NiO}_\kappa$	-239,7	38,0	$\text{Pb}_\Gamma$	195,2	175,4
$\text{Ni}(\text{OH})_{2\kappa}$	-529,7	88,0	$\text{Pb}_{\text{p-p}}^{2+}$	-1,7	10,5
$\text{Ni}_2\text{O}_{3\kappa}$	-489,5	—	$\text{PbCO}_{3\kappa}$	-699,1	131,0
$\text{NiS}_\kappa$	-82,0	53,0	$\text{PbC}_2\text{O}_{4\kappa}$	-851,4	146,0
$\text{NiSO}_{4\kappa}$	-872,9	92,0	$\text{PbCl}_{2\kappa}$	-359,4	136,0
$\text{NiSO}_{4\text{p-p}}$	-963,2	-108,8	$\text{PbCl}_{2\text{p-p}}$	-336,0	123,4
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}_\kappa$	-2979,4	379,2	$\text{PbCrO}_{4\kappa}$	-930,9	169,0
$\text{O}_{2\Gamma}$	0	205,2	$\text{PbI}_{2\kappa}$	-175,5	174,9
$\text{O}_\Gamma$	249,2	161,1	$\text{PbI}_{2\text{p-p}}$	-112,1	233,0
$\text{O}_{3\Gamma}$	142,7	238,9	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2\kappa}$	-451,8	213,9

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2p-p</sub>	416,3	303,3	PuO <sub>2к</sub>	-1055,0	—
PbO <sub>к</sub>	-219,0	66,5	Pu <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1688,6	—
PbO <sub>2к</sub>	-277,4	68,6	PuS <sub>к</sub>	-364,0	—
Pb <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-491,7	151,9	Ra <sub>к</sub>	0	71,0
Pb <sub>3</sub> O <sub>4к</sub>	-718,4	211,3	Ra <sub>г</sub>	159,0	176,6
Pb(OH) <sub>2к</sub>	-545,0	88,0	RaCO <sub>3к</sub>	-1222,2	117,0
PbS <sub>к</sub>	-100,4	91,2	RaCl <sub>2к</sub>	-870,3	134,1
PbSO <sub>3к</sub>	-669,9	—	RaO <sub>к</sub>	-515,4	84,0
PbSO <sub>4к</sub>	-920,0	148,5	Ra(OH) <sub>2к</sub>	-926,8	117,0
Pb(HSO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-1825,1	—	Ra(NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-992,0	222,0
PbSiO <sub>3к</sub>	-1145,7	109,6	RaSO <sub>4к</sub>	-1471,1	138,0
Pb <sub>2</sub> SiO <sub>4к</sub>	-1363,1	186,6	Rb <sub>к</sub>	0	76,8
Pd <sub>к</sub>	0	37,6	Rb <sub>г</sub>	80,9	170,1
Pd <sub>г</sub>	378,2	167,1	Rb <sub>p-p</sub> <sup>+</sup>	-251,1	121,8
PdCl <sub>2к</sub>	-163,0	—	Rb <sub>2</sub> CO <sub>3к</sub>	-1136,0	181,3
PdO <sub>к</sub>	-85,4	39,0	Rb <sub>2</sub> CO <sub>3p-p</sub>	-1179,5	186,2
PdS <sub>к</sub>	-75,0	46,0	RbCl <sub>к</sub>	-435,4	95,9
Po <sub>к</sub>	0	62,8	RbCl <sub>p-p</sub>	-418,3	178,0
Po <sub>г</sub>	147,0	189,0	RbHCO <sub>3к</sub>	-958,0	121,1
PoO <sub>2к</sub>	-251,0	71,0	RbHCO <sub>3p-p</sub>	-943,2	212,7
Pt <sub>к</sub>	0	41,6	Rb <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-1435,6	197,4
Pt <sub>г</sub>	565,3	192,4	Rb <sub>2</sub> SO <sub>4p-p</sub>	-1411,6	263,2
PtCl <sub>2к</sub>	-123,4	220,0	RbHSO <sub>4к</sub>	-1159,0	—
PtCl <sub>3к</sub>	-182,0	—	RbHSO <sub>4p-p</sub>	-1138,5	253,1
PtCl <sub>4к</sub>	-231,8	268,0	RbNO <sub>3к</sub>	-495,1	147,3
PtF <sub>4к</sub>	-410,0	—	RbNO <sub>3p-p</sub>	-458,5	267,8
PtF <sub>6г</sub>	-676,0	348,3	RbO <sub>2к</sub>	-279,1	130,1
PtO <sub>2к</sub>	-88,0	281,0	Rb <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-338,0	125,0
PtS <sub>к</sub>	-81,6	55,1	Rb <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-410,0	160,0
PtS <sub>2к</sub>	-108,8	74,7	RbOH <sub>к</sub>	-418,8	94,0
Pu <sub>к</sub>	0	56,5	Rb <sub>2</sub> S <sub>к</sub>	-354,0	134,0
Pu <sub>г</sub>	346,0	177,0	Rb <sub>2</sub> S <sub>p-p</sub>	-469,4	228,4
PuC <sub>к</sub>	-52,7	75,0	Re <sub>к</sub>	0	36,9
PuCl <sub>3к</sub>	-960,3	159,0	Re <sub>г</sub>	769,9	188,9
PuF <sub>6к</sub>	-1857,0	220,7	Re <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1132,6	438,7
PuN <sub>к</sub>	-298,9	67,7	ReO <sub>2к</sub>	-446,0	56,5



Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
ReO <sub>3к</sub>	-602,0	80,8	SCN <sup>-</sup> <sub>р-р</sub>	76,4	144,3
Re <sub>2</sub> O <sub>7ж</sub>	-1100,0	452,0	Sb <sub>к</sub>	0	45,7
Re <sub>2</sub> O <sub>7к</sub>	-1240,1	207,1	Sb <sub>г</sub>	262,3	180,3
ReS <sub>2к</sub>	-179,2	96,0	Sb <sub>2г</sub>	235,6	254,9
Re <sub>2</sub> S <sub>7к</sub>	-451,0	204,0	SbCl <sub>3г</sub>	-314,0	338,0
Rh <sub>к</sub>	0	31,5	SbCl <sub>3к</sub>	-382,2	184,1
Rh <sub>г</sub>	556,9	185,8	SbCl <sub>5г</sub>	-394,0	402,0
RhCl <sub>3к</sub>	-299,2	159,0	SbCl <sub>5к</sub>	-440,0	301,0
Rh <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-343,0	106,0	SbH <sub>3г</sub>	145,1	232,8
Rn <sub>г</sub>	0	176,2	Sb <sub>2</sub> O <sub>3к</sub> , куб	-1720,8	132,0
Ru <sub>к</sub>	0	28,5	Sb <sub>2</sub> O <sub>3к</sub> , ромб	-709,2	141,1
Ru <sub>г</sub>	642,7	186,5	Sb <sub>2</sub> O <sub>5к</sub>	-971,0	125,1
RuCl <sub>3к</sub>	-205,0	128,0	Sb <sub>2</sub> S <sub>3к</sub>	-157,8	181,7
RuO <sub>2к</sub>	-305,0	57,0	Sc <sub>к</sub>	0	34,6
RuO <sub>4к</sub>	-239,3	146,4	Sc <sub>г</sub>	377,8	174,8
RuS <sub>2к</sub>	-226,0	48,0	ScCl <sub>3к</sub>	-925,1	194,6
S <sub>к</sub> , ромб	0	32,1	Sc <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1908,8	77,0
S <sub>г</sub>	277,2	167,8	Sc(OH) <sub>3к</sub>	-1376,0	93,0
S <sub>2г</sub>	128,6	228,2	ScPO <sub>4к</sub>	-1867,0	97,8
S <sub>3г</sub>	146,4	276,0	Sc(PO <sub>3</sub> ) <sub>3к</sub>	-3423,0	222,4
S <sub>4г</sub>	188,0	326,0	Si <sub>к</sub>	0	18,8
S <sub>5г</sub>	113,4	321,0	Si <sub>г</sub>	450,0	168,0
S <sub>6г</sub>	102,9	353,9	SiCl <sub>4г</sub>	-657,0	330,7
S <sub>6к</sub>	6,3	29,3	SiCl <sub>4к</sub>	-687,0	239,7
S <sub>7г</sub>	107,1	394,0	SiF <sub>4г</sub>	-1615,0	282,8
S <sub>8г</sub>	99,6	423,1	Si <sub>2</sub> F <sub>6г</sub>	-2383,3	391,0
SF <sub>6г</sub>	-1220,5	291,5	Si <sub>2</sub> F <sub>6к</sub>	-2427,0	219,1
SO <sub>г</sub>	6,3	222,0	SiH <sub>4г</sub>	34,3	206,4
SO <sub>2г</sub>	-296,8	248,2	Si <sub>2</sub> H <sub>6г</sub>	80,3	272,7
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> <sub>р-р</sub>	-635,5	-29,0	Si <sub>3</sub> H <sub>8г</sub>	120,9	—
SO <sub>3г</sub>	-395,7	256,8	Si <sub>3</sub> H <sub>8ж</sub>	92,5	—
SO <sub>3ж</sub>	-441,0	113,8	Si <sub>3</sub> N <sub>4к</sub>	-743,5	101,3
SO <sub>3к</sub>	-454,5	70,7	SiO <sub>2г</sub>	-322,0	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> <sub>р-р</sub>	-909,3	20,1	SiO <sub>2к</sub> , кварц	-910,0	41,5
S <sub>р-р</sub> <sup>2-</sup>	33,1	-14,6	SiO <sub>2к</sub> , тридимит	-905,2	—
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> <sub>р-р</sub>	-652,3	67,0			

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
SiO <sub>2к</sub> , кристоба- лит	-908,0	42,6	Ta <sub>к</sub>	0	41,5
SiO <sub>2к</sub> , коэсит	-905,9	40,4	Ta <sub>г</sub>	782,0	185,2
SiO <sub>2к</sub> , стишовит	-861,5	27,8	TaCl <sub>3к</sub>	-552,0	—
SiO <sub>2к</sub> , стекл	-901,4	47,9	TaCl <sub>4к</sub>	-705,0	—
SiS <sub>2к</sub>	-205,0	—	TaCl <sub>5к</sub>	-857,9	236,0
Sn <sub>к</sub> , белое	0	51,2	Ta <sub>2</sub> O <sub>5к</sub>	-2046,0	143,1
Sn <sub>г</sub>	301,2	168,5	Tc <sub>к</sub>	0	33,0
Sn <sub>к</sub> , серое	-2,1	44,1	Tc <sub>г</sub>	678,0	181,1
Sn <sup>2+</sup> <sub>р-р</sub>	-8,9	-16,7	TcO <sub>2к</sub>	-433,0	63,0
SnCl <sub>2к</sub>	-325,1	34,0	Tc <sub>2</sub> O <sub>7к</sub>	-1117,0	184,0
SnCl <sub>4к</sub>	-511,3	258,6	Te <sub>к</sub>	0	49,7
SnO <sub>к</sub>	-280,7	57,2	Te <sub>г</sub>	196,7	182,7
SnO <sub>2к</sub>	-577,6	49,0	Te <sub>2г</sub>	168,2	268,1
Sn(OH) <sub>2к</sub>	-561,1	155,0	TeCl <sub>4к</sub>	-326,4	209,0
SeO <sub>3р-р</sub> <sup>2-</sup>	-509,2	13,0	TeO <sub>2к</sub>	-322,6	79,5
SeO <sub>4р-р</sub> <sup>2-</sup>	-599,1	54,0	TeO <sub>3к</sub>	-391,2	63,5
SnS <sub>к</sub>	-100,0	77,0	Th <sub>к</sub>	0	51,8
Sr <sub>к</sub>	0	55,0	Th <sub>г</sub>	602,0	190,2
Sr <sub>г</sub>	164,4	164,6	ThCl <sub>4к</sub>	-1186,2	190,4
Sr <sup>2+</sup> <sub>р-р</sub>	-545,8	-32,6	ThO <sub>2к</sub>	-1226,4	65,2
SrCO <sub>3к</sub>	-1220,1	97,1	Th(SO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-2541,0	148,0
SrCO <sub>3р-р</sub>	-1222,9	89,5	Ti <sub>к</sub>	0	30,7
SrCrO <sub>4к</sub>	-1434,0	111,6	Ti <sub>г</sub>	473,0	180,3
SrCl <sub>2к</sub>	-828,9	114,9	TiC <sub>к</sub>	-209,0	24,7
SrCl <sub>2р-р</sub>	-880,1	80,3	TiCl <sub>2к</sub>	-513,8	87,4
Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-978,2	194,6	TiCl <sub>3к</sub>	-720,9	139,7
Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2р-р</sub>	-960,5	260,2	TiCl <sub>4г</sub>	-763,2	353,2
Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-2161,0	364,0	TiCl <sub>4ж</sub>	-804,2	252,3
SrO <sub>к</sub>	-592,0	54,4	TiN <sub>к</sub>	-323,0	30,3
Sr(OH) <sub>2к</sub>	-965,0	94,0	TiO <sub>к</sub>	-519,7	50,0
SrS <sub>к</sub>	-472,4	68,2	TiO <sub>2к</sub> , рутил	-944,0	50,6
SrSO <sub>4к</sub>	-1453,1	117,0	Ti <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1520,9	78,8
SrSO <sub>4р-р</sub>	-1455,1	-12,6	Ti <sub>3</sub> O <sub>5к</sub>	-2459,4	129,3
SrSiO <sub>3к</sub>	-1633,9	96,7	TiS <sub>к</sub>	-269,0	56,0
Sr <sub>2</sub> SiO <sub>4к</sub>	-2304,5	153,1	TiS <sub>2к</sub>	-425,0	78,0
			Ti(SO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-2180,0	—

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
Tl <sub>к</sub>	0	64,2	US <sub>к</sub>	-314,3	—
Tl <sub>г</sub>	182,2	181,0	US <sub>2к</sub> , ромб	-533,0	111,0
Tl <sub>2г</sub>	301,0	287,0	US <sub>2к</sub> , тетра	-525,0	110,0
Tl <sub>2</sub> CO <sub>3к</sub>	-700,0	155,2	U(SO <sub>4</sub> ) <sub>2к</sub>	-2368,0	161,1
TlCl <sub>к</sub>	-204,1	111,3	V <sub>к</sub>	0	28,9
TlCl <sub>3к</sub>	-315,1	325,0	V <sub>г</sub>	514,2	182,3
TlNO <sub>3к</sub>	-243,9	160,7	VCl <sub>2к</sub>	-443,0	97,0
TlNO <sub>3р-р</sub>	-202,0	272,0	VCl <sub>3к</sub>	-580,7	131,0
Tl <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-178,7	126,0	VCl <sub>4ж</sub>	-569,4	255,0
Tl <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-387,0	160,0	VO <sub>к</sub>	-431,8	38,9
TlOH <sub>к</sub>	-238,9	88,0	VO <sub>2к</sub>	-713,0	52,0
Tl <sub>2</sub> S <sub>к</sub>	-97,1	151,0	V <sub>2</sub> O <sub>3к</sub>	-1218,8	98,3
Tl <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-931,8	230,5	V <sub>2</sub> O <sub>5к</sub>	-1550,6	131,0
Tl <sub>2</sub> SO <sub>4р-р</sub>	-898,6	271,1	V <sub>3</sub> O <sub>5к</sub>	-1933,0	163,0
U <sub>к</sub>	0	50,2	VOCl <sub>к</sub>	-607,0	75,0
U <sub>г</sub>	533,0	199,8	VOCl <sub>3ж</sub>	-734,7	244,3
U <sub>р-р</sub> <sup>3+</sup>	-489,1	-188,0	W <sub>к</sub>	0	32,6
U <sub>р-р</sub> <sup>4+</sup>	-591,2	-410,0	W <sub>г</sub>	849,4	174,0
UCl <sub>3к</sub>	-866,5	159,0	WC <sub>к</sub>	-41,0	36,0
UCl <sub>4к</sub>	-1019,2	197,1	WCl <sub>5к</sub>	-518,0	230,0
UCl <sub>4р-р</sub>	-1259,8	-184,0	WCl <sub>6к</sub>	-602,0	—
UCl <sub>5к</sub>	-1035,4	242,7	WO <sub>2к</sub>	-589,7	50,5
UCl <sub>6к</sub>	-1092,0	285,8	WO <sub>3к</sub>	-842,9	75,9
UF <sub>6г</sub>	-2147,4	377,9	WO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-1172,0	117,3
UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup> <sub>р-р</sub>	-1019,0	-98,2	WS <sub>2к</sub>	-203,0	68,2
UO <sub>2г</sub>	-465,7	274,6	Xe <sub>г</sub>	0	169,7
UO <sub>2к</sub>	-1085,0	77,0	XeF <sub>2г</sub>	-107,5	259,4
UO <sub>3к</sub>	-1223,8	96,1	XeF <sub>2к</sub>	-176,0	—
U <sub>3</sub> O <sub>7к</sub>	-3427,1	250,5	XeF <sub>4г</sub>	-206,2	324,0
U <sub>3</sub> O <sub>8к</sub>	-3574,8	282,6	XeF <sub>4к</sub>	-261,5	—
U <sub>4</sub> O <sub>9к</sub>	-4510,4	334,1	XeF <sub>6г</sub>	-277,2	387,2
UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2к</sub>	-1377,0	276,0	XeO <sub>3к</sub>	401,6	—
UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · ·6H <sub>2</sub> O <sub>к</sub>	-3177,0	505,0	XeO <sub>4к</sub>	642,0	—
UO <sub>2</sub> (OH) <sub>2к</sub>	-1535,0	142,0	Y <sub>к</sub>	0	44,4
UO <sub>2</sub> SO <sub>4к</sub>	-1888,1	155,0	Y <sub>г</sub>	421,3	179,5
			YCl <sub>3к</sub>	-1000,0	—

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$Y_2O_{3к}$	-1905,3	99,1	$ZnSO_{4к}$	-982,8	110,5
$Y(OH)_{3к}$	-1431,0	103,0	$ZnSO_{4р-р}$	-1063,2	-92,0
$Zn_к$	0	41,6	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O_к$	-3077,0	389,0
$Zn_г$	130,4	161,0	$Zn_2SiO_{4к}$	-1636,7	131,4
$Zn^{2+}_{р-р}$	-153,9	-112,1	$Zr_к$	0	39,0
$ZnCO_{3к}$	-818,8	82,4	$Zr_г$	608,8	181,4
$Zn(CH_3COO)_{2к}$	-1078,0	—	$ZrC_к$	-196,9	33,0
$Zn(CH_3COO)_2 \cdot H_2O_к$	-1378,0	—	$ZrCl_{2к}$	-502,0	110,0
$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O_к$	-1673,0	—	$ZrCl_{3к-}$	701,0	138,0
$ZnCl_{2к}$	-415,1	111,5	$ZrCl_{4к}$	-980,5	181,6
$ZnCl_{2р-р}$	-488,2	0,8	$ZrN_к$	-372,0	38,9
$Zn(NO_3)_{2к}$	-483,7	—	$ZrH_{2к}$	-169,0	35,0
$Zn(NO_3)_{2р-р}$	-568,6	180,7	$ZrO_{2к}$	-1100,6	50,4
$ZnO_к$	-350,5	43,7	$ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O_к$	-1812,0	—
$Zn(OH)_{2к}$	-641,9	81,2	$ZrS_{2к}$	-567,0	—
$Zn_3(PO_4)_{2к}$	-2900,0	—	$ZrS_{3к}$	-611,0	—
$ZnS_к$	-206,0	57,7	$Zr(SO_4)_{2к}$	-2217,1	—
			$ZrSiO_{4к}$	-2033,0	84,1
			$ZrTiO_{4к}$	-2024,1	116,7

### Органические соединения

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$CH_{4г}$ , метан	-74,6	186,3
$C_2H_{2г}$ , ацетилен	227,4	200,9
$C_2H_{4г}$ , этилен	52,4	219,3
$C_2H_{6г}$ , этан	-84,0	229,2
$C_3H_{8г}$ , пропан	-103,8	270,3
$C_6H_{6г}$ , бензол	82,9	269,2
$C_6H_{6ж}$ , бензол	49,1	173,4
$C_6H_5CH_{3г}$ , толуол	50,0	320,7
$C_6H_5CH_{3ж}$ , толуол	12,0	221,0
$C_6H_{12ж}$ , циклогексан	-156,4	204,3
$C_6H_{14ж}$ , <i>n</i> -гексан	-198,7	296,1
$C_7H_{16ж}$ , <i>n</i> -гептан	-224,2	328,6
$C_8H_{10ж}$ , <i>o</i> -ксилол	-24,4	246,0

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$C_8H_{10ж}$ , <i>м</i> -ксилол	-25,4	252,2
$C_8H_{10ж}$ , <i>п</i> -ксилол	-24,4	247,7
$C_8H_{18ж}$ , <i>н</i> -октан	-250,1	360,8
$C_9H_{20ж}$ , <i>н</i> -нонан	-274,7	393,7
$C_{10}H_{8к}$ , нафталин	78,5	167,4
$C_{14}H_{10к}$ , антрацен	129,2	207,5
$C_{14}H_{10к}$ , фенантрен	116,2	215,1
$CH_2O_r$ , формальдегид	-108,6	218,8
$CH_3COOH_{ж}$ , муравьиная кислота	-425,0	129,0
$CH_3OH_r$ , метиловый спирт	-201,0	239,9
$CH_3OH_{ж}$ , метиловый спирт	-239,2	126,8
$CH_3CHO_r$ , ацетальдегид	-166,5	263,6
$CH_3CHO_{ж}$ , ацетальдегид	-192,2	160,2
$C_2H_4O_r$ , оксид этилена	-52,6	242,5
$CH_3COOH_r$ , уксусная кислота	-432,2	283,5
$CH_3COOH_{ж}$ , уксусная кислота	-484,3	159,8
$CH_3COOH_{p-p}$	-486,0	86,6
$CH_3COO^-_{p-p}$	-486,0	86,6
$CH_3COONH_{4p-p}$	-618,5	200,0
$CH_3COONa_{4p-p}$	-726,1	145,6
$C_2H_5OH_r$ , этиловый спирт	-234,8	281,6
$C_2H_5OH_{ж}$ , этиловый спирт	-277,6	160,7
$COONCOOH_r$ , щавелевая кислота	-736,8	320,6
$COONCOOH_{ж}$ , щавелевая кислота	-829,9	109,8
$C_2O_{4p-p}^{2-}$	-825,1	45,6
$CH_3CHONCOOH_{ж}$ , молочная кислота	-674,4	192,0
$CH_3COSOON_{ж}$ , виноградная кислота	-584,5	179,4
$(CH_2)_2(COON)_{2к}$ , янтарная кислота	-940,9	175,7
$HO C_6H_4COOH_{ж}$ , салициловая кислота	-585,3	178,2
$C_2H_6O_r$ , диметиловый эфир	-184,1	266,4
$C_2H_6O_r$ , этиленгликоль	-392,2	303,8
$C_2H_6O_{ж}$ , этиленгликоль	-460,0	163,2
$CH_3COCH_3_r$ , ацетон	-217,1	295,3
$CH_3COCH_3_{ж}$ , ацетон	-248,4	199,8
$C_3H_6O_{2r}$ , метилацетат	-413,3	324,4
$C_3H_6O_{2ж}$ , метилацетат	-445,9	

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/(К·моль)
$\text{CH}_2\text{ОНСНОНСН}_2\text{ОН}_{\text{ж}}$ , глицерин	-669,6	206,3
$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_{4\text{к}}$ , малеиновая кислота	-789,4	160,8
$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_{4\text{к}}$ , фумаровая кислота	-811,7	168,0
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_{2\text{ж}}$ , масляная кислота	-533,8	222,2
$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_{2\text{ж}}$ , 1,4-диоксан	-353,9	270,2
$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_{5\text{ж}}$ , этилацетат	-479,3	257,7
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_{5\text{ж}}$ , диэтиловый эфир	-279,5	172,4
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_{2\text{ж}}$ , валериановая кислота	-559,4	259,4
$\text{C}_6\text{H}_5\text{ОН}_{\text{к}}$ , фенол	-165,0	144,0
$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_{2\text{к}}$ , <i>n</i> -гидрохинон	-364,5	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}_{\text{ж}}$ , бензальдегид	-87,0	221,0
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{\text{к}}$ , бензойная кислота	-385,2	167,6
$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_{\text{ж}}$ , бензиловый спирт	-160,7	216,7
$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_{\text{к}}$ , <i>o</i> -крезол	-204,6	165,4
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6\text{к}}$ , глюкоза	-1274,4	212,1
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6\text{к}}$ , фруктоза	-1269,8	
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11\text{к}}$ , сахароза	-2226,1	360,2
$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_{2\text{к}}$ , стеариновая кислота	-947,7	
$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}_{\text{к}}$ , пальмитиновая кислота	-888,3	452,4
$\text{CH}_3\text{NO}_{2\text{г}}$ , нитрометан	-80,8	282,9
$\text{CO}(\text{NH}_2)_{2\text{к}}$ , мочеви́на, карбамид	-332,7	104,6
$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}_{\text{к}}$ , глицин	-532,6	103,5
$\text{HCONH}_{2\text{г}}$ , формамид	-186,2	248,4
$\text{CH}_3\text{CONH}_{2\text{к}}$ , ацетамид	-317,0	115,0
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_{\text{ж}}$ , пиридин	100,2	177,9
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_{5\text{к}}$ , аденин	96,9	151,0
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5\text{O}_{\text{к}}$ , гуанин	-183,9	160,2
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_{2\text{г}}$ , анилин	87,5	317,9
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_{2\text{ж}}$ , анилин	31,6	191,3
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_{2\text{г}}$ , нитробензол	68,5	348,8
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_{2\text{ж}}$ , нитробензол	15,9	224,3
$\text{CS}(\text{NH}_2)_{2\text{к}}$ , тиомочевина	-90,0	115,9

## 10.2. Стандартные электродные потенциалы реакций

(298 К, 101 325 Па), В

$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	-1,66	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,45
$\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$	0,80	$\text{I}_2 + 2e = 2\text{I}^-$	0,54
$\text{AgBr} + e = \text{Ag} + \text{Br}^-$	0,07	$\text{I}_3^- + 2e = 3\text{I}^-$	0,54
$\text{AgCl} + e = \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,22	$\text{F}_2 + 2e = 2\text{F}^-$	2,87
$\text{Au}^+ + e = \text{Au}$	1,69	$\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$	-0,44
$\text{Au}^{3+} + 2e = \text{Au}^+$	1,40	$\text{Fe}^{3+} + 3e = \text{Fe}$	-0,04
$\text{Au}^{2+} + e = \text{Au}^+$	1,80	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + e = [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	0,36
$\text{Au}^{3+} + 3e = \text{Au}$	1,50	$\text{Fe}(\text{OH})_3 + e = \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	-0,56
$\text{Ba}^{2+} + 2e = \text{Ba}$	-2,91	$\text{Ge}^{2+} + 2e = \text{Ge}$	0,24
$\text{Be}^{2+} + 2e = \text{Be}$	-1,85	$\text{Ge}^{4+} + 4e = \text{Ge}$	0,12
$\text{Bi}^{3+} + 3e = \text{Bi}$	0,31	$\text{Ge}^{4+} + 2e = \text{Ge}^{2+}$	0,00
$\text{Ca}^{2+} + 2e = \text{Ca}$	-2,87	$\text{K}^+ + e = \text{K}$	-2,93
$\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{CH}_3\text{CHO}$	-0,12	$\text{La}^{3+} + 3e = \text{La}$	-2,38
$\text{Cl}_2 + 2e = 2\text{Cl}^-$	1,36	$\text{Li}^+ + e = \text{Li}$	-3,04
$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,45	$\text{Mg}^{2+} + 2e = \text{Mg}$	-2,37
$2\text{HOCl} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,63	$\text{Mn}^{2+} + 2e = \text{Mn}$	-1,19
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{HCOOH}$	-0,20	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,22
$\text{Co}^{2+} + 2e = \text{Co}$	-0,28	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,51
$\text{Co}^{3+} + 3e = \text{Co}$	0,33	$\text{MnO}_4^- + e = \text{MnO}_4^{2-}$	0,56
$\text{Cr}^{2+} + 2e = \text{Cr}$	-0,91	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,68
$\text{Cr}^{3+} + 3e = \text{Cr}$	-0,74	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	0,60
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	-0,13	$\text{Mo}^{3+} + 3e = \text{Mo}$	-0,20
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,23	$\text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 6e = 2\text{NH}_4^+$	0,26
$\text{Cs}^+ + e = \text{Cs}$	-3,03	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e = \text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,94
$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$	0,34	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0,01
$\text{Cu}^+ + e = \text{Cu}$	0,522	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 2e = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,96
$\text{H}^+ (1 \text{ M}) + 2e = \text{H}_{2r}$	0,002	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	0,98
$\text{H}^+ (10^{-7} \text{ M, вода}) + 2e = \text{H}_{2r}$	-0,412	$\text{N}_2\text{O}_4 + 2e = 2\text{NO}_2^-$	0,87
$\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,83	$\text{N}_2\text{O}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{HNO}_2$	1,07
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{H}_2\text{O}$	1,78	$\text{N}_2\text{O}_4 + 4\text{H}^+ + 4e = 2\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,042
$\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}$	0,85	$\text{NO} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	1,602
$2\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}_2^{2+}$	0,92	$\text{NO} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{N}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	0,76
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e = 2\text{Hg}$	0,80	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	0,982
		$\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{N}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,30
		$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + e = \text{NO} + 2\text{OH}^-$	-0,462

$2\text{NO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{N}_2\text{O} + 6\text{OH}^-$	0,15	$\text{S} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{HS}^- + \text{OH}^-$	-0,48
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e = \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,93	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,442
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,962	$2\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e =$	-0,57
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 2e = \text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,80	$= \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{OH}^-$	
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0,01	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0,17
$\text{Na}^+ + e = \text{Na}$	-2,71	$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0,93
$\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}$	-0,26	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e = \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,36
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = 2\text{H}_2\text{O}$	1,23	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e = \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,31
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{O}_2$	0,70	$\text{Se} + 2e = \text{Se}^{2-}$	-0,92
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,14	$\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{Se}$	-0,08
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = 4\text{OH}^-$	0,40	$\text{SiO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{Si} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,86
$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2,08	$\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{Si} + 6\text{OH}^-$	-1,70
$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	1,24	$\text{Sn}^{2+} + 2e = \text{Sn}$	-0,14
$\text{H}_2\text{PO}_2^- + e = \text{P} + 2\text{OH}^-$	-1,82	$\text{Sr}^{2+} + 2e = \text{Sr}$	-2,90
$\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{P} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,51	$\text{Te} + 2e = \text{Te}^{2-}$	-1,14
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2e =$	-0,50	$\text{Te} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{Te}$	-0,79
$= \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$		$\text{Te}^{4+} + 4e = \text{Te}$	0,57
$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3e = \text{P} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,45	$\text{Ti}^{2+} + 2e = \text{Ti}$	-1,63
$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e =$	-0,65	$\text{Ti}^{3+} + 3e = \text{Ti}$	-1,37
$= \text{H}_2\text{P}_2\text{O}_2 + 3\text{OH}^-$		$\text{Tl}^+ + e = \text{Tl}$	-0,34
$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{P} + 5\text{OH}^-$	-1,71	$\text{TI}^{3+} + 3e = \text{TI}$	0,74
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e =$	-0,28	$\text{TI}^{3+} + 2e = \text{TI}^+$	1,25
$= \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$		$\text{U}^{3+} + 3e = \text{U}$	-1,80
$\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e =$	-1,05	$\text{V}^{2+} + 2e = \text{V}$	-1,18
$= \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$		$\text{V}^{3+} + e = \text{V}^{2+}$	-0,26
$\text{Pb}^{2+} + 2e = \text{Pb}$	-0,13	$\text{W}^{3+} + 3e = \text{W}$	0,10
$\text{Pd}^{2+} + 2e = \text{Pd}$	0,95	$\text{XeO}_3 + 6\text{H}^+ + 6e = \text{Xe} + 3\text{H}_2\text{O}$	2,10
$\text{Po}^{4+} + 4e = \text{Po}$	0,76	$\text{XeF} + e = \text{Xe} + \text{F}^-$	3,40
$\text{Pt}^{2+} + 2e = \text{Pt}$	1,18	$\text{Zn}^{2+} + 2e = \text{Zn}$	-0,76
$[\text{PtCl}_4]^{2-} + 2e = \text{Pt} + 4\text{Cl}^-$	0,76	$\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,22
$[\text{PtCl}_6]^{2-} + 2e = [\text{PtCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$	0,68	$\text{ZnOH}^+ + \text{H}^+ + 2e = \text{Zn} + \text{H}_2\text{O}$	-0,50
$\text{Ra}^{2+} + 2e = \text{Ra}$	-2,80	$\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} + 2e = \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,20
$\text{Rb}^+ + e = \text{Rb}$	-2,98	$\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2e = \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1,24
$\text{S} + 2e = \text{S}^{2-}$	-0,48	$\text{ZnO} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1,26
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{S}_{\text{pp}}$	0,14	$\text{Zr}^{4+} + 4e = \text{Zr}$	-1,45



### 10.3. Произведения растворимости (при 25°C)

Формула	ПР	Формула	ПР
AgBr	$5,35 \cdot 10^{-13}$	CaSO <sub>4</sub> · 0,5H <sub>2</sub> O	$3,10 \cdot 10^{-7}$
AgCH <sub>3</sub> COO	$1,94 \cdot 10^{-3}$	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	$3,14 \cdot 10^{-5}$
Ag <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$5,40 \cdot 10^{-12}$	Ce <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	$2,50 \cdot 10^{-29}$
Ag <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	$2,00 \cdot 10^{-7}$	CeO <sub>2</sub>	$9,10 \cdot 10^{-23}$
AgCl	$1,77 \cdot 10^{-10}$	Ce(OH) <sub>3</sub>	$6,40 \cdot 10^{-22}$
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$1,12 \cdot 10^{-12}$	CoCO <sub>3</sub>	$2,00 \cdot 10^{-10}$
AgI	$8,52 \cdot 10^{-17}$	CoC <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	$6,30 \cdot 10^{-8}$
Ag <sub>2</sub> O	$2,00 \cdot 10^{-8}$	Co(OH) <sub>2</sub>	$5,92 \cdot 10^{-15}$
Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$8,89 \cdot 10^{-17}$	Co <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,05 \cdot 10^{-35}$
Ag <sub>2</sub> S	$7,20 \cdot 10^{-50}$	CoS	$1,80 \cdot 10^{-20}$
Ag <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$1,50 \cdot 10^{-14}$	Cr(OH) <sub>3</sub>	$1,10 \cdot 10^{-30}$
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1,20 \cdot 10^{-5}$	CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$4,43 \cdot 10^{-10}$
AgSCN	$1,03 \cdot 10^{-12}$	CuCl	$1,72 \cdot 10^{-7}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$5,70 \cdot 10^{-32}$	Cu <sub>2</sub> O	$1,20 \cdot 10^{-15}$
AuCl	$1,80 \cdot 10^{-12}$	Cu(OH) <sub>2</sub>	$5,60 \cdot 10^{-20}$
Au <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$8,50 \cdot 10^{-46}$	Cu <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,40 \cdot 10^{-37}$
BaCO <sub>3</sub>	$2,58 \cdot 10^{-9}$	CuS	$1,40 \cdot 10^{-36}$
BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,10 \cdot 10^{-7}$	Cu <sub>2</sub> S	$2,30 \cdot 10^{-48}$
BaCrO <sub>4</sub>	$1,17 \cdot 10^{-10}$	FeCO <sub>3</sub>	$3,13 \cdot 10^{-11}$
BaF <sub>2</sub>	$1,84 \cdot 10^{-7}$	FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,10 \cdot 10^{-7}$
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	$4,64 \cdot 10^{-3}$	FeF <sub>2</sub>	$2,36 \cdot 10^{-6}$
Ba(OH) <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O	$2,55 \cdot 10^{-4}$	Fe(OH) <sub>2</sub>	$4,87 \cdot 10^{-17}$
Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$6,00 \cdot 10^{-39}$	Fe(OH) <sub>3</sub>	$2,79 \cdot 10^{-39}$
BaSO <sub>3</sub>	$5,00 \cdot 10^{-10}$	FePO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	$9,91 \cdot 10^{-16}$
BaSO <sub>4</sub>	$1,08 \cdot 10^{-10}$	FeS	$3,40 \cdot 10^{-17}$
Bi(OH) <sub>3</sub>	$3,00 \cdot 10^{-36}$	FeS <sub>2</sub>	$5,40 \cdot 10^{-27}$
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	$8,90 \cdot 10^{-10}$	GeO <sub>2</sub>	$1,70 \cdot 10^{-56}$
CaCO <sub>3</sub> триг	$3,36 \cdot 10^{-9}$	Hg <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$3,60 \cdot 10^{-17}$
CaCO <sub>3</sub> ромб	$4,92 \cdot 10^{-9}$	Hg <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,75 \cdot 10^{-13}$
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	$2,32 \cdot 10^{-9}$	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	$1,43 \cdot 10^{-18}$
CaF <sub>2</sub>	$3,45 \cdot 10^{-11}$	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$6,50 \cdot 10^{-7}$
CaHPO <sub>4</sub>	$2,20 \cdot 10^{-7}$	HgI <sub>2</sub>	$2,90 \cdot 10^{-29}$
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,00 \cdot 10^{-3}$	HgO	$3,30 \cdot 10^{-26}$
Ca(OH) <sub>2</sub>	$5,02 \cdot 10^{-6}$	HgS	$1,40 \cdot 10^{-45}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,07 \cdot 10^{-33}$	KClO <sub>4</sub>	$1,05 \cdot 10^{-2}$
CaSO <sub>4</sub>	$4,93 \cdot 10^{-5}$	K <sub>3</sub> [Co(NO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> ]	$4,30 \cdot 10^{-10}$

Формула	ПР	Формула	ПР
KFe[Fe(CN) <sub>6</sub> ]	$9,70 \cdot 10^{-20}$	Pb(NCS) <sub>2</sub>	$2,00 \cdot 10^{-5}$
K <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub>	$7,48 \cdot 10^{-6}$	PbO <sub>2</sub>	$3,00 \cdot 10^{-66}$
LiF	$1,84 \cdot 10^{-3}$	Pb(OH) <sub>2</sub>	$1,43 \cdot 10^{-30}$
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$8,15 \cdot 10^{-4}$	PbS	$8,70 \cdot 10^{-20}$
Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$2,37 \cdot 10^{-11}$	PbSO <sub>4</sub>	$2,53 \cdot 10^{-8}$
MgCO <sub>3</sub>	$6,82 \cdot 10^{-6}$	Pd(OH) <sub>2</sub>	$1,00 \cdot 10^{-24}$
MgCO <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O	$2,38 \cdot 10^{-6}$	PtO <sub>2</sub>	$1,60 \cdot 10^{-72}$
MgCO <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O	$3,79 \cdot 10^{-6}$	Pt(OH) <sub>2</sub>	$1,00 \cdot 10^{-25}$
MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	$4,83 \cdot 10^{-6}$	PtS	$1,20 \cdot 10^{-61}$
MgF <sub>2</sub>	$5,16 \cdot 10^{-11}$	SnO <sub>2</sub>	$4,80 \cdot 10^{-58}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$5,61 \cdot 10^{-12}$	Sn(OH) <sub>2</sub>	$5,45 \cdot 10^{-23}$
Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,04 \cdot 10^{-24}$	SnS	$3,00 \cdot 10^{-28}$
MnCO <sub>3</sub>	$2,24 \cdot 10^{-11}$	SrCO <sub>3</sub>	$5,60 \cdot 10^{-10}$
MnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	$1,70 \cdot 10^{-7}$	SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$5,60 \cdot 10^{-8}$
MnO <sub>2</sub>	$1,00 \cdot 10^{-50}$	SrF <sub>2</sub>	$4,33 \cdot 10^{-9}$
Mn(OH) <sub>2</sub>	$2,30 \cdot 10^{-13}$	SrSO <sub>4</sub>	$3,44 \cdot 10^{-7}$
MnS	$1,10 \cdot 10^{-13}$	Ti <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$4,00 \cdot 10^{-3}$
Na <sub>2</sub> [SiF <sub>6</sub> ]	$3,10 \cdot 10^{-5}$	TiO <sub>2</sub>	$1,00 \cdot 10^{-20}$
NiCO <sub>3</sub>	$1,42 \cdot 10^{-7}$	Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$2,00 \cdot 10^{-44}$
Ni(OH) <sub>2</sub>	$25,48 \cdot 10^{-16}$	Tl <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1,50 \cdot 10^{-4}$
Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$4,74 \cdot 10^{-32}$	U(OH) <sub>4</sub>	$1,00 \cdot 10^{-45}$
NiS	$9,30 \cdot 10^{-22}$	ZnCO <sub>3</sub>	$1,46 \cdot 10^{-10}$
PbBr	$26,60 \cdot 10^{-6}$	ZnCO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	$5,42 \cdot 10^{-11}$
PbCO <sub>3</sub>	$7,40 \cdot 10^{-14}$	ZnCO <sub>3</sub> · 2H <sub>2</sub> O	$1,38 \cdot 10^{-9}$
PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$9,00 \cdot 10^{-10}$	Zn(OH) <sub>2</sub>	$3,00 \cdot 10^{-17}$
PbCl <sub>2</sub>	$1,70 \cdot 10^{-5}$	Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$9,10 \cdot 10^{-33}$
PbCrO <sub>4</sub>	$7,40 \cdot 10^{-15}$	ZnS гекс	$7,90 \cdot 10^{-24}$
PbF <sub>2</sub>	$3,30 \cdot 10^{-8}$	ZnS куб	$1,20 \cdot 10^{-25}$
PbI <sub>2</sub>	$9,80 \cdot 10^{-9}$	ZrO <sub>2</sub>	$1,10 \cdot 10^{-36}$

## 10.4. Константы диссоциации электролитов в водных растворах при 25°C и ионной силе, равной нулю

### Неорганические соединения

#### Кислоты

Формула, название	$K_1, K_2, K_3, K_4$
$\text{HNO}_2$ , азотистая	$5,62 \cdot 10^{-4}$
$\text{H}_3\text{BO}_3$ , орто-борная	$5,37 \cdot 10^{-10}$ ; $< 1 \cdot 10^{-14}$
$\text{H}_2\text{GeO}_3$ , германиевая	$9,77 \cdot 10^{-10}$ ; $5,01 \cdot 10^{-13}$
$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , дихромовая	$K_2 = 2,29 \cdot 10^{-2}$
$\text{H}_2\text{SiO}_4$ , орто-кремниевая	$1,3 \cdot 10^{-10}$ ; $1,6 \cdot 10^{-12}$ ; $1,00 \cdot 10^{-12}$
$\text{H}_4\text{XeO}_6$ , ксеноновая	$1,0 \cdot 10^{-2}$ ; $1,0 \cdot 10^{-6}$ ; $1,0 \cdot 10^{-11}$
$\text{H}_2\text{MnO}_4$ , марганцовистая	$K_2 = 7,08 \cdot 10^{-11}$
$\text{H}_3\text{AsO}_4$ , мышьяковая	$5,50 \cdot 10^{-3}$ ; $1,74 \cdot 10^{-7}$ ; $5,13 \cdot 10^{-12}$
$\text{H}_3\text{AsO}_3$ , мышьяковистая	$5,13 \cdot 10^{-10}$
$\text{H}_2\text{O}_2$ , пероксид водорода	$2,40 \cdot 10^{-12}$
$\text{H}_2\text{SeO}_3$ , селенистая	$2,40 \cdot 10^{-3}$ ; $4,79 \cdot 10^{-9}$
$\text{H}_2\text{SeO}_4$ , селеновая	$K_2 = 2,00 \cdot 10^{-2}$
$\text{H}_2\text{Se}$ , селеноводородная	$1,29 \cdot 10^{-4}$ ; $1,00 \cdot 10^{-11}$
$\text{H}_2\text{SO}_4$ , серная	$K_2 = 1,02 \cdot 10^{-2}$
$\text{H}_2\text{SO}_3$ , сернистая	$1,41 \cdot 10^{-2}$ ; $6,3 \cdot 10^{-8}$
$\text{H}_2\text{S}$ , сероводородная	$8,91 \cdot 10^{-8}$ ; $1,00 \cdot 10^{-19}$
$\text{H}_6\text{TeO}_6$ , орто-теллуровая	$2,45 \cdot 10^{-8}$ ; $1,10 \cdot 10^{-11}$ ; $1,00 \cdot 10^{-15}$
$\text{H}_2\text{TeO}_3$ , теллуристая	$5,37 \cdot 10^{-7}$ ; $3,72 \cdot 10^{-9}$
$\text{H}_2\text{Te}$ , теллуrowодородная	$2,50 \cdot 10^{-3}$
$\text{HBF}_4$ , фторборная	$3,20 \cdot 10^{-1}$
$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , тиосерная	$2,51 \cdot 10^{-1}$ ; $1,91 \cdot 10^{-2}$
$\text{HNCS}$ , тиоциановая	$6,3 \cdot 10^1$
$\text{H}_2\text{CO}_3$ , угольная	$4,47 \cdot 10^{-7}$ ; $4,90 \cdot 10^{-11}$
$\text{CH}_3\text{COOH}$ , уксусная	$1,76 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_3\text{PO}_3$ , орто-фосфористая	$5,00 \cdot 10^{-2}$ ; $2,00 \cdot 10^{-7}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ , орто-фосфорная	$6,92 \cdot 10^{-3}$ ; $6,17 \cdot 10^{-8}$ ; $4,79 \cdot 10^{-13}$
$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , пиррофосфорная	$8,13 \cdot 10^{-1}$ ; $7,94 \cdot 10^{-3}$ ; $2,00 \cdot 10^{-7}$ ; $4,79 \cdot 10^{-10}$
$\text{HClO}_2$ , хлористая	$1,15 \cdot 10^{-2}$
$\text{HClO}$ , хлорноватистая	$3,98 \cdot 10^{-8}$
$\text{HClO}_4$ , хлорная	$4,00 \cdot 10^1$
$\text{H}_2\text{CrO}_4$ , хромовая	$1,82 \cdot 10^{-1}$ ; $3,24 \cdot 10^{-7}$
$\text{HCN}$ , циановодородная	$6,17 \cdot 10^{-10}$

### Основания

Формула	$K_1, K_2, K_3, K_4$
AgOH	$5,00 \cdot 10^{-3}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$7,41 \cdot 10^{-9}; 2,14 \cdot 10^{-9}; 1,05 \cdot 10^{-9}$
Ba(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 2,29 \cdot 10^{-1}$
Be(OH) <sub>2</sub>	$3,16 \cdot 10^{-7}; 5,01 \cdot 10^{-9}$
Bi(OH) <sub>3</sub>	$3,09 \cdot 10^{-12}; 1,00 \cdot 10^{-12}; 3,70 \cdot 10^{-13}$
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)	$1,26 \cdot 10^{-14}$
CS(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)	$1,00 \cdot 10^{-15}$
Ca(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 4,00 \cdot 10^{-2}$
Cd(OH) <sub>2</sub>	$8,13 \cdot 10^{-4}; 4,17 \cdot 10^{-7}$
Ce(OH) <sub>3</sub>	$K_3 = 1,00 \cdot 10^{-5}$
Cr(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 3,98 \cdot 10^{-8}$
Cr(OH) <sub>3</sub>	$K_2 = 3,55 \cdot 10^{-9}; K_3 = 8,91 \cdot 10^{-11}$
Cu(OH) <sub>2</sub>	$2,19 \cdot 10^{-7}; 6,61 \cdot 10^{-8}$
Fe(OH) <sub>2</sub>	$5,50 \cdot 10^{-8}; 1,20 \cdot 10^{-2}$
Fe(OH) <sub>3</sub>	$4,79 \cdot 10^{-11}; 1,82 \cdot 10^{-11}; 1,48 \cdot 10^{-12}$
Ga(OH) <sub>3</sub>	$1,05 \cdot 10^{-10}; 3,16 \cdot 10^{-11}; 6,46 \cdot 10^{-12}$
Hf(OH) <sub>4</sub>	$3,16 \cdot 10^{-13}; 6,31 \cdot 10^{-14}$
Hg(OH) <sub>2</sub>	$1,12 \cdot 10^{-10}; 3,80 \cdot 10^{-11}$
Hg <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 3,02 \cdot 10^{-10}$
In(OH) <sub>3</sub>	$1,32 \cdot 10^{-9}; 1,75 \cdot 10^{-10}; 3,80 \cdot 10^{-11}$
La(OH) <sub>3</sub>	$K_3 = 5,01 \cdot 10^{-4}$
LiOH	$1,60 \cdot 10^{-1}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 2,63 \cdot 10^{-3}$
Mn(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 3,89 \cdot 10^{-4}$
NH <sub>4</sub> OH	$1,78 \cdot 10^{-5}$
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O)	$1,26 \cdot 10^{-6}$
Ni(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 8,32 \cdot 10^{-4}$
Pb(OH) <sub>2</sub>	$9,56 \cdot 10^{-4}; 3,00 \cdot 10^{-8}$
Pd(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 2,04 \cdot 10^{-13}$
Sc(OH) <sub>3</sub>	$3,16 \cdot 10^{-8}; 5,01 \cdot 10^{-9}; 4,07 \cdot 10^{-10}$
Sn(OH) <sub>2</sub>	$3,47 \cdot 10^{-10}; 1,26 \cdot 10^{-12}$
Sn(OH) <sub>4</sub>	$1,66 \cdot 10^{-13}; 2,14 \cdot 10^{-14}$
Sr(OH) <sub>2</sub>	$K_2 = 1,48 \cdot 10^{-1}$
Ti(OH) <sub>4</sub>	$1,02 \cdot 10^{-11}; 3,09 \cdot 10^{-13}$
TlOH	$1,51 \cdot 10^{-1}$
Tl(OH) <sub>3</sub>	$6,61 \cdot 10^{-13}; 4,79 \cdot 10^{-13}; 1,74 \cdot 10^{-13}$
Y(OH) <sub>3</sub>	$K_3 = 1,20 \cdot 10^{-5}$
Zn(OH) <sub>2</sub>	$1,32 \cdot 10^{-5}; 4,90 \cdot 10^{-7}$
Zr(OH) <sub>4</sub>	$4,66 \cdot 10^{-14}; 1,62 \cdot 10^{-14}$

**Кислоты**

Формула	Название	$K_1, K_2, K_3$
$\text{HCOOH}$	Муравьиная, метановая	$1,78 \cdot 10^{-4}$
$\text{CH}_3\text{COOH}$	Уксусная	$1,75 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_2\text{ClCOOH}$	Монохлоруксусная	$1,40 \cdot 10^{-3}$
$\text{CHCl}_2\text{COOH}$	Дихлоруксусная	$4,47 \cdot 10^{-2}$
$\text{CCl}_3\text{COOH}$	Трихлоруксусная	$2,19 \cdot 10^{-1}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	Пропионовая	$1,34 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	<i>n</i> -Масляная	$1,48 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Валериановая, пентановая	$1,47 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Капроновая, гексановая	$1,41 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	Гептановая	$1,29 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Каприловая, октановая	$1,29 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Лауриновая, додекановая	$1,12 \cdot 10^{-5}$
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$	<i>изо</i> -Масляная	$1,44 \cdot 10^{-5}$
$(\text{CH}_3)_3\text{CCOOH}$	Триметилуксусная	$9,33 \cdot 10^{-6}$
$\text{HOOC}\text{COOH}$	Щавелевая (этандионовая)	$5,90 \cdot 10^{-2}, 6,40 \cdot 10^{-5}$
$\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$	Малоновая	$1,41 \cdot 10^{-3}, 2,00 \cdot 10^{-6}$
$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Янтарная, бутандионовая	$6,17 \cdot 10^{-5}, 2,29 \cdot 10^{-6}$
$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Адипиновая	$3,89 \cdot 10^{-5}, 3,89 \cdot 10^{-6}$
$\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$	Акриловая	$5,62 \cdot 10^{-5}$
$\text{HOOCCH}=\text{CHCOOH}$	Малеиновая	$1,20 \cdot 10^{-2}, 5,89 \cdot 10^{-7}$
$\text{HOOCH}=\text{CHCOOH}$	Фумаровая ( <i>транс</i> )	$9,54 \cdot 10^{-4}, 4,16 \cdot 10^{-5}$
$(\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{CONCOOH})$	Лимонная	$7,41 \cdot 10^{-4}, 1,73 \cdot 10^{-5}, 3,98 \cdot 10^{-7}$
$\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$	Молочная	$1,38 \cdot 10^{-4}$
$\text{HOOCCH}_2\text{ONCH}_2\text{COOH}$	Яблочная	$3,98 \cdot 10^{-4}, 7,76 \cdot 10^{-6}$
$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	Пимелиновая	$1,94 \cdot 10^{-5}, 2,63 \cdot 10^{-6}$
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2)_3\text{COOH}$	<i>изо</i> -Валериановая	$1,70 \cdot 10^{-5}$
$\text{HOOC}(\text{CHON})_2\text{COOH}$	Винная	$1,04 \cdot 10^{-3}, 4,57 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{COOH}$	Галловая, тригидробензойная (3, 4, 5)	$3,89 \cdot 10^{-5}$
$\text{CH}_2\text{OHCOOH}$	Гликолевая	$3,02 \cdot 10^{-4}$
$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	Аминоуксусная, глицин	$1,66 \cdot 10^{-10}$
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	Бензойная	$6,25 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$	<i>о</i> -Фталевая (1, 2)	$1,14 \cdot 10^{-3}, 3,70 \cdot 10^{-6}$
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$	<i>м</i> -Фталевая (1, 3)	$1,99 \cdot 10^{-4}, 2,51 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$	<i>п</i> -Фталевая (1, 4)	$2,88 \cdot 10^{-4}, 4,57 \cdot 10^{-5}$
$\text{C}_6\text{H}_4\text{ONCOOH}$	Салициловая	$1,04 \cdot 10^{-3}, 2,51 \cdot 10^{-14}$
$\text{O}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{COOH}$	<i>о</i> -Нитробензойная (1, 2)	$6,76 \cdot 10^{-3}$

Формула	Название	$K_1, K_2, K_3$
$O_2NC_6H_4COOH$	<i>m</i> -Нитробензойная (1, 3)	$3,47 \cdot 10^{-4}$
$O_2NC_6H_4COOH$	<i>n</i> -Нитробензойная (1, 4)	$3,71 \cdot 10^{-4}$
$C_6H_8O_6$	Аскорбиновая, витамин С	$9,12 \cdot 10^{-5}, 2,00 \cdot 10^{-12}$

### Основания

Формула	Название	$K_1, K_2, K_3$
$CH_3NH_2$	Метиламин	$4,57 \cdot 10^{-4}$
$(CH_3)_2NH$	Диметилмин	$5,37 \cdot 10^{-4}$
$(CH_3)_3N$	Триметиламин	$6,31 \cdot 10^{-5}$
$(C_2H_5)_2NH$	Диэтиламин	$6,92 \cdot 10^{-4}$
$(C_2H_5)_3N$	Триэтиламин	$5,62 \cdot 10^{-4}$
$C_6H_5OH$	Фенол, карболовая кислота	$1,02 \cdot 10^{-10}$
$CH_3C_6H_4OH$	<i>o</i> -Крезол (1, 2)	$5,13 \cdot 10^{-11}$
$CH_3C_6H_4OH$	<i>m</i> -Крезол (1, 3)	$8,13 \cdot 10^{-11}$
$CH_3C_6H_4OH$	<i>n</i> -Крезол (1, 4)	$5,50 \cdot 10^{-11}$
$C_6H_3(OH)_3$	Пирогаллол (1, 2, 3)	$8,91 \cdot 10^{-10}, 6,45 \cdot 10^{-12}, 1,00 \cdot 10^{-14}$
$C_6H_4(OH)_2$	Пирокатехин (1, 2)	$4,57 \cdot 10^{-10}, 2,51 \cdot 10^{-13}$
$C_6H_4(OH)_2$	Гидрохинон (1, 4)	$1,43 \cdot 10^{-10}, 3,98 \cdot 10^{-12}$
$C_6H_4(OH)_2$	Резорцин (1, 3)	$4,79 \cdot 10^{-10}, 1,94 \cdot 10^{-12}$
$C_6H_5NH_2$	Анилин	$1,34 \cdot 10^{-10}$
$C_6H_5CH_2NH_2$	Бензиламин	$2,19 \cdot 10^{-5}$
$C_6H_{11}NH_2$	Циклогексиламин	$4,37 \cdot 10^{-4}$
$(C_6H_5)_2NH$	Дифениламин	$6,17 \cdot 10^{-14}$
$HOOC_6H_2(NO_2)_3$	Пикриновая, тринитрофенол	$3,80 \cdot 10^{-2}$
$C_9H_7ON$	Оксихинолин	$8,13 \cdot 10^{-10}$
$(CH_2)_6N_4$	Уротропин	$1,99 \cdot 10^{-8}$
$CH_3C_6H_4NH_2$	<i>o</i> -Толуидин (1, 2)	$2,81 \cdot 10^{-10}$
$CH_3C_6H_4NH_2$	<i>m</i> -Толуидин (1, 3)	$5,13 \cdot 10^{-10}$
$CH_3C_6H_4NH_2$	<i>n</i> -Толуидин (1, 4)	$1,20 \cdot 10^{-9}$
$C_9H_7N$	Хинолин	$7,94 \cdot 10^{-10}$
$H_2NCH_2CH_2OH$	Этаноламин	$3,16 \cdot 10^{-5}$
$CH_3CH_2NH_2$	Этиламин	$4,47 \cdot 10^{-4}$
$H_2NC_2H_4NH_2$	Этилендиамин	$8,32 \cdot 10^{-5}, 7,24 \cdot 10^{-8}$
$C_5H_5N$	Пиридин	$1,6 \cdot 10^{-9}$
$C_4H_9N$	Пирролидин	$2,04 \cdot 10^{-3}$
	Пиперазин, диэтилендиамин	$5,37 \cdot 10^{-5}, 2,14 \cdot 10^{-9}$
	Пиперидин	$1,33 \cdot 10^{-3}$
	Пиразин	$4,47 \cdot 10^{-14}$
	Пиримидин (1, 3)	$1,70 \cdot 10^{-13}$

## 10.5. Константы нестойкости комплексных ионов (полная диссоциация)

Формула	$K_{\text{нест}}$	Формула	$K_{\text{нест}}$
$\text{AgBr}_2^-$	$4,57 \cdot 10^{-8}$	$\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})^+$	$3,47 \cdot 10^{-2}$
$\text{AgBr}_3^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$
$\text{AgBr}_4^{3-}$	$2,00 \cdot 10^{-9}$	$\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$	$1,00 \cdot 10^{-20}$
$\text{AgCl}_2^-$	$9,12 \cdot 10^{-6}$	$\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_4^{4-}$	$2,00 \cdot 10^{-10}$
$\text{AgCl}_4^{3-}$	$5,01 \cdot 10^{-6}$	$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	$7,90 \cdot 10^{-6}$
$\text{Ag}(\text{CN})_2^-$	$1,00 \cdot 10^{-21}$	$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$	$6,30 \cdot 10^{-36}$
$\text{Ag}(\text{CN})_3^{2-}$	$2,82 \cdot 10^{-21}$	$\text{Co}(\text{OH})_3^-$	$3,20 \cdot 10^{-11}$
$\text{Ag}(\text{CN})_4^{3-}$	$3,80 \cdot 10^{-20}$	$\text{CoP}_2\text{O}_7^{2-}$	$7,90 \cdot 10^{-7}$
$\text{AgI}_2^-$	$1,82 \cdot 10^{-12}$	$\text{Co}(\text{SCN})_4^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
$\text{AgI}_3^{2-}$	$2,09 \cdot 10^{-14}$	$\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$	$3,63 \cdot 10^{-16}$
$\text{AgI}_4^{3-}$	$7,94 \cdot 10^{-14}$	$\text{Cr}(\text{OH})_4^-$	$1,30 \cdot 10^{-30}$
$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	$\text{Cr}(\text{SCN})_4^-$	$7,90 \cdot 10^{-7}$
$\text{Ag}(\text{NO}_2)_2^-$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$\text{Cr}(\text{SCN})_6^{3-}$	$1,60 \cdot 10^{-4}$
$\text{Ag}(\text{OH})_2^-$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$\text{CuBr}_2^-$	$1,30 \cdot 10^{-3}$
$\text{Ag}(\text{OH})_3^{2-}$	$6,30 \cdot 10^{-6}$	$\text{CuCH}_3\text{COO}^+$	$5,89 \cdot 10^{-3}$
$\text{Ag}(\text{SCN})_2$	$5,89 \cdot 10^{-9}$	$\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$3,20 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ag}(\text{SCN})_3^{2-}$	$2,82 \cdot 10^{-10}$	$\text{CuCl}_2^-$	$3,20 \cdot 10^{-6}$
$\text{Ag}(\text{SCN})_4^{3-}$	$7,90 \cdot 10^{-11}$	$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$	$1,00 \cdot 10^{-24}$
$\text{AgSO}_4^-$	$2,04 \cdot 10^{-1}$	$\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$	$5,00 \cdot 10^{-31}$
$\text{Ag}(\text{SO}_4)_2^{3-}$	$3,16 \cdot 10^{-1}$	$\text{CuI}_2$	$1,60 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ag}(\text{SO}_4)_3^{5-}$	$1,26 \cdot 10^{-1}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$	$1,30 \cdot 10^{-11}$
$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	$3,47 \cdot 10^{-14}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	$1,26 \cdot 10^{-9}$
$\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^-$	$1,00 \cdot 10^{-13}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_5^{2+}$	$3,72 \cdot 10^{-12}$
$\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$	$5,00 \cdot 10^{-17}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$5,00 \cdot 10^{-14}$
$\text{AlF}_4^-$	$2,95 \cdot 10^{-19}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^+$	$8,71 \cdot 10^{-11}$
$\text{AlF}_6^{3-}$	$2,14 \cdot 10^{-21}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$	$4,68 \cdot 10^{-8}$
$\text{Al}(\text{OH})_4^-$	$1,00 \cdot 10^{-33}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}$	$1,02 \cdot 10^{-20}$
$\text{AlSO}_4^+$	$7,90 \cdot 10^{-6}$	$\text{Cu}(\text{NO}_2)^+$	$5,01 \cdot 10^{-2}$
$\text{AuCl}_2^-$	$3,80 \cdot 10^{-10}$	$\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$	$4,00 \cdot 10^{-17}$
$\text{AuCl}_4^-$	$5,01 \cdot 10^{-22}$	$\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{6-}$	$3,55 \cdot 10^{-13}$
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	$5,00 \cdot 10^{-39}$	$\text{Cu}(\text{SCN})_4^{2-}$	$3,02 \cdot 10^{-7}$
$\text{Au}(\text{CN})_4^-$	$1,00 \cdot 10^{-56}$	$\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	$5,37 \cdot 10^{-13}$
$\text{Au}(\text{NH}_3)_2^+$	$1,00 \cdot 10^{-27}$	$\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$	$5,13 \cdot 10^{-13}$
$\text{BaNO}_3^+$	$1,51 \cdot 10^{-1}$	$\text{FeCH}_3\text{COO}^+$	$6,30 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ca}(\text{P}_2\text{O}_7)^{2-}$	$2,51 \cdot 10^{-6}$	$\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_3^-$	$5,00 \cdot 10^{-9}$

Формула	$K_{\text{нест}}$	Формула	$K_{\text{нест}}$
$\text{FeCH}_3\text{COO}^{2+}$	$4,17 \cdot 10^{-4}$	$\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4^{6-}$	$2,45 \cdot 10^{-34}$
$\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2^+$	$7,90 \cdot 10^{-7}$	$\text{MgCH}_3\text{COO}^+$	$5,62 \cdot 10^{-2}$
$\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$	$6,30 \cdot 10^{-21}$	$\text{Mg}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$
$\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{4-}$	$6,30 \cdot 10^{-6}$	$\text{MnCH}_3\text{COO}^+$	$3,98 \cdot 10^{-2}$
$\text{FeCl}_2^+$	$7,41 \cdot 10^{-3}$	$\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$	$4,00 \cdot 10^{-20}$
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	$1,00 \cdot 10^{-35}$	$\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$1,60 \cdot 10^{-6}$
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	$1,00 \cdot 10^{-42}$	$\text{Mn}(\text{OH})_4^{2-}$	$2,00 \cdot 10^{-8}$
$\text{FeF}_4^-$	$1,82 \cdot 10^{-16}$	$\text{NiCH}_3\text{COO}^+$	$3,72 \cdot 10^{-2}$
$\text{FeF}_6^{3-}$	$7,94 \cdot 10^{-17}$	$\text{Ni}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{4-}$	$3,20 \cdot 10^{-9}$
$\text{Fe}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$2,00 \cdot 10^{-4}$	$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-31}$
$\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-10}$	$\text{Ni}(\text{CN})_6^{4-}$	$1,00 \cdot 10^{-31}$
$\text{Fe}(\text{OH})_4^-$	$4,00 \cdot 10^{-35}$	$\text{Ni}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$3,39 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{5-}$	$2,82 \cdot 10^{-6}$	$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	$2,00 \cdot 10^{-9}$
$\text{Fe}(\text{SCN})_2^{2+}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$\text{Ni}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{6-}$	$6,46 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}(\text{SCN})_4^-$	$2,95 \cdot 10^{-5}$	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_4^{2-}$	$3,20 \cdot 10^{-9}$
$\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$3,20 \cdot 10^{-7}$
$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3^{3-}$	$4,17 \cdot 10^{-6}$	$\text{PbCl}_4^{2-}$	$2,50 \cdot 10^{-2}$
$\text{HgCH}_3\text{COO}^+$	$2,82 \cdot 10^{-6}$	$\text{PbI}_4^{2-}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$
$\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_3^-$	$5,25 \cdot 10^{-14}$	$\text{Pb}(\text{OH})_3^-$	$2,50 \cdot 10^{-15}$
$\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_4^{2-}$	$9,77 \cdot 10^{-18}$	$\text{Pb}(\text{SO}_4)_2^{2-}$	$3,39 \cdot 10^{-4}$
$\text{Hg}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	$\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$	$7,41 \cdot 10^{-6}$
$\text{HgCl}_4^{2-}$	$6,03 \cdot 10^{-16}$	$\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_4^{6-}$	$6,30 \cdot 10^{-8}$
$\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-41}$	$\text{PdCH}_3\text{COO}^+$	$2,09 \cdot 10^{-3}$
$\text{Hg}(\text{CN})_6^{4-}$	$2,40 \cdot 10^{-41}$	$\text{Pd}(\text{CH}_3\text{COO})_3^-$	$3,31 \cdot 10^{-7}$
$\text{HgI}_4^{2-}$	$1,48 \cdot 10^{-30}$	$\text{Pd}(\text{CH}_3\text{COO})_4^{2-}$	$2,63 \cdot 10^{-9}$
$\text{Hg}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$5,01 \cdot 10^{-20}$	$\text{Pd}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$2,88 \cdot 10^{-7}$
$\text{Hg}_2\text{NO}_3^+$	$8,32 \cdot 10^{-1}$	$\text{PdCl}_4^{2-}$	$3,20 \cdot 10^{-16}$
$\text{HgNO}_3^+$	$4,47 \cdot 10^{-1}$	$\text{Pd}(\text{CN})_4^{2-}$	$4,00 \cdot 10^{-43}$
$\text{HgOH}^+$	$2,50 \cdot 10^{-11}$	$\text{PtBr}_4^{2-}$	$3,16 \cdot 10^{-21}$
$\text{Hg}(\text{OH})_3^-$	$1,30 \cdot 10^{-22}$	$\text{PtCl}_4^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-16}$
$\text{Hg}_2\text{OH}^+$	$1,00 \cdot 10^{-9}$	$\text{Sn}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{6-}$	$4,00 \cdot 10^{-7}$
$\text{Hg}(\text{SCN})_4^{2-}$	$6,30 \cdot 10^{-22}$	$\text{SrCH}_3\text{COO}^+$	$6,46 \cdot 10^{-2}$
$\text{Hg}(\text{SO}_4)_2^{2-}$	$3,63 \cdot 10^{-3}$	$\text{Sr}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$
$\text{Hg}_2(\text{SO}_4)_2^{2-}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	$\text{TiCl}_4^-$	$5,13 \cdot 10^{-19}$
$\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$	$1,38 \cdot 10^{-30}$	$\text{ZnCH}_3\text{COO}^+$	$2,69 \cdot 10^{-2}$
$\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_3^{4-}$	$5,50 \cdot 10^{-33}$	$\text{ZnCl}_4^{2-}$	$6,30 \cdot 10^{-1}$



Формула	$K_{\text{нест}}$	Формула	$K_{\text{нест}}$
$\text{Zn}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$	$2,82 \cdot 10^{-8}$	$\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$	$2,00 \cdot 10^{-18}$
$\text{Zn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{4-}$	$4,57 \cdot 10^{-9}$	$\text{Zn}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{8-}$	$1,00 \cdot 10^{-11}$
$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-17}$	$\text{Zn}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$	$2,57 \cdot 10^{-5}$
$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$3,20 \cdot 10^{-10}$	$\text{Zn}(\text{SCN})_4^{2-}$	$9,55 \cdot 10^{-8}$

## 10.6. Физико-химические постоянные и единицы измерения

### Десятичные приставки к названиям единиц

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
$10^{-1}$	деци	д	10	дека	да
$10^{-2}$	санти	с	$10^2$	гекто	г
$10^{-3}$	милли	м	$10^3$	кило	к
$10^{-6}$	микро	мк	$10^6$	мега	М
$10^{-9}$	нано	н	$10^9$	гига	Г
$10^{-12}$	пико	п	$10^{12}$	тера	Т

### Основные физико-химические постоянные

Скорость света в вакууме = 299 792 458 м/с.

Элементарный заряд,  $e = 1,602\,176\,53 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Отношение массы протона к массе электрона = 1836,15267261.

Энергия, соответствующая одной единице массы, равна 931,50 МэВ.

Постоянная Авогадро  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

Постоянная Фарадея  $F = 96\,485,3383$  Кл/моль.

Универсальная молярная газовая постоянная

$R = 8,314472$  Дж/(К·моль) = 1,987207 кал/(моль·град) = 0,082057 л·атм/(моль·град).

Постоянная Больцмана  $R/N_A = k = 1,3806505 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

1 эВ =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  Дж.

1 МэВ =  $10^6$  эВ =  $1,602 \cdot 10^{-13}$  Дж.

Атомная единица массы, 1 а.е.м. =  $1/12 m^{12}\text{C}$ ,  $u = 1,66053886 \cdot 10^{-27}$  кг.

Объем 1 моль идеального газа при  $P = 101\,325$  Па и  $T = 273$  К 22,413995 л/моль.

$\pi = 2,1416$ .

### Время

Час, ч — единица времени. 1 ч = 1/24 сут = 60 мин = 3600 с.

Сутки = 24 часа.

Минута = 60 с.

Секунда — единица времени, равная продолжительности 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

### Длина и площадь

Метр — единица длины. В 1983 г. за один метр была принята длина, проходимая светом в вакууме за  $1/299\,792\,458$  долю секунды. В 1960—1983 гг. было принято определять метр как длину, равную  $1\,650\,763,73$  длины в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p^{10}$  и  $5d^5$  атома  $^{86}\text{Kr}$ . До 1960 г. метром считали длину платиново-иридиевого бруса, хранящегося в Севре, близ Парижа (Франция). Первоначально с 1791 г. метр был определен как  $1 \cdot 10^{-7}$  части  $1/4$  длины земного меридиана. Меридиан — линия сечения поверхности земного шара плоскостью, проведенной через какую-либо точку земной поверхности и ось вращения Земли. За начальный меридиан принят Гринвичский (Великобритания), от которого ведется счет долгот на Земле. Долгота — сферическая координата, определяющая положение точек на поверхности Земли.

Ангстрем, Å, единица длины,  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м} = 0,1 \text{ нм} = 100 \text{ пм}$ . Введен в 1868 г. шведским физиком и астрономом А. Ангстремом (1814—1874).

Парсек — единица длины, равная  $3,263$  светового года, или  $3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$ .

Световой год — единица межзвездных расстояний, равная пути, который свет проходит за 1 год в вакууме со скоростью  $299\,792,458 \text{ км/с}$ , т.е.  $9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$ .

1 гектар, га — единица площади =  $10\,000 \text{ м}^2 = 100 \text{ ар}$ .

### Электрохимия (некоторые сведения)

Вольт, В, — единица электрического напряжения, равная разности электрических потенциалов или электродвижущей силы, ЭДС.  $1 \text{ В}$  равен электрическому напряжению, вызывающему в электрической цепи ток силой  $1 \text{ А}$  при мощности  $1 \text{ Вт}$ . Вольт связан со скоростью света  $c$  в вакууме  $1 \text{ В} = 1 \cdot 10^8 / c$  единиц СГСЭ. Вольт назван по имени итальянского физика А. Вольты (1745—1827).

Ампер, А, — единица силы электрического тока.  $1 \text{ А} = 3 \cdot 10^9$  единиц СГСЭ. Назван по имени французского физика и математика А. Ампера (1775—1836). Раньше ампер определяли силой тока, который протекает по проводнику сопротивлением  $1 \text{ Ом}$  при разности потенциалов на концах проводника в  $1 \text{ В}$ . Предпоследнее определение ампера — сила неизменяющегося электрического тока,

который, проходя через водный раствор нитрата серебра, выделяет 1,11800 мг серебра в 1 с. Последнее определение ампера — сила неизменяющегося тока, который при прохождении через два параллельных проводника бесконечной длины и ничтожного малого сечения, расположенных на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между проводниками силу, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  единицы силы МКС на 1 м длины.

Ампер-час, А·ч — единица количества электричества, равная количеству электричества, проходящего через проводник за 1 ч при силе электрического тока 1 А.  $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Кл}$ . Числом А·ч обычно выражают заряд аккумуляторов.

Ом, Ом, — единица электрического сопротивления проводника, между концами которого при силе тока 1 А возникает напряжение 1 В. Назван по имени немецкого физика Г. Ома (1787—1854). В 1826 г. Г. Ом открыл закон его имени: сила тока неразветвленной цепи пропорциональна напряжению (ЭДС) и обратно пропорциональна сопротивлению цепи.

Кулон, Кл, — единица количества электричества (электрического заряда). Кулон равен количеству электричества, проходящего через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А за время 1 с (легко запомнить: ампер-секунда).  $1 \text{ Кл} = 3 \cdot 10^9$  единиц СГСЭ. Назван по имени французского физика и инженера Ш. Кулона (1736—1806). В 1785 г. Ш. Кулон открыл закон, согласно которому сила взаимодействия двух неподвижных точечных электрических зарядов прямо пропорциональна произведению зарядов  $e$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния  $r$  между ними. (Выразите закон формулой.)

Постоянная Фарадея,  $F$  — число Фарадея, равное произведению элементарного электрического заряда электрона  $e$  на число Авогадро  $N_A$ :

$$F = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 96\,485 \text{ Кл/моль.}$$

Постоянная Фарадея определяет количество электричества, прохождение которого через раствор электролита приводит к выделению на электроде 1 моля однозарядного (одновалентного) вещества. В углеродной шкале мольных масс  $F = 96\,485,309 \text{ Кл/моль}$ . Названа по имени английского физика М. Фарадея (1791—1867).

Фарадей, Ф, — единица электрического заряда,  $1 \text{ Ф} = 96\,485,309 \text{ Кл}$ .

Закон Фарадея: масса  $m$  вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна количеству прошедшего через раствор электричества  $q$ :

$$m = qM/nF,$$

где  $M$  — мольная масса;  $n$  — заряд иона (валентность);  $F$  — постоянная Фарадея. Открыт в 1833 г. М. Фарадеем.

Закон Фарадея — количественный закон электролиза, согласно которому массы  $m$  превращенных веществ пропорциональны количеству однозарядных ( $n = 1$ ) ионов  $M$  и количеству прошедшего через электролит электричества  $q$ . Если ионы однозарядны, то на электроде выделится 1 моль металла, если ионы двухзарядны ( $n = 2$ ), выделится 0,5 моля металла, при трехзарядных ионах ( $n = 3$ ) — в три раза меньше.

Объединим выражения  $F = 96\,485$  Кл/моль и  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$ :

$$96\,485 \text{ Кл/моль} = 96\,485 \text{ А} \cdot \text{с/моль} = 26,8 \text{ А} \cdot \text{ч/моль}.$$

Масса выделившегося металла  $m$  (г), сила тока  $I$  (А), время  $t$  (с), молярная масса металла  $M$  и заряд его ионов  $n$  связаны соотношением

$$m = MIt / (nF) = MIt / (96\,485n).$$

Это уравнение позволяет вычислить количество электричества, необходимое для осаждения заданной массы металла, а также время пропускания тока известной силы.

## Энергия, мощность, сила

### Единицы измерения энергии

Единица	Дж	кал	эВ	Вт·ч	эрг
Дж	1	0,239	$6,242 \cdot 10^{18}$	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$10^7$
кал	4,184	1	$2,612 \cdot 10^{19}$	$1,162 \cdot 10^{-3}$	$4,184 \cdot 10^7$
эВ	$1,602 \cdot 10^{-19}$	$3,829 \cdot 10^{-20}$	1	$4,450 \cdot 10^{-23}$	$1,602 \cdot 10^{-12}$
Вт·ч	3600	860,4	$2,247 \cdot 10^{22}$	1	$3,600 \cdot 10^{10}$
эрг	$10^{-7}$	$2,390 \cdot 10^{-8}$	$6,242 \cdot 10^{11}$	$2,778 \cdot 10^{-11}$	1

Ньютон, Н — единица силы, сообщающая телу массой 1 кг ускорение  $1 \text{ м/с}^2$  в направлении действия силы.  $1 \text{ Н} = 10^5 \text{ дин} = 0,102 \text{ кгс}$ .

Дина, дин — единица силы.  $1 \text{ дина} = 1 \text{ г} \cdot \text{см/с}^2 = 10^{-5} \text{ Н} = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ кгс}$ .

Электронвольт, эВ — единица энергии.  $1 \text{ эВ}$  — энергия, которую приобретает частица с зарядом электрона при перемещении в электрическом поле между двумя точками с разностью потенциалов 1 В.  $1 \text{ эВ} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 96\,475,3 \text{ Дж/моль}$ .  $1 \text{ МэВ}$  (мегаэлектронвольт) =  $10^6 \text{ эВ}$ .

Эрг — единица работы, равная работе силы в 1 дин при перемещении точки приложения силы на расстоянии 1 см в направлении действия силы.  $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж} = 6,242 \cdot 10^{11} \text{ эВ}$ .

Ватт, Вт, — единица мощности, при которой за время 1 с совершается работа в 1 Дж. Ватт — единица электрической мощности, равная мощности неизменяющегося электрического тока силой 1 А при напряжении 1 В. Назван по имени английского изобретателя Дж. Уатта (1736—1819).

Лошадиная сила, л.с. — единица мощности. 1 л.с. метрическая = 735,499 Вт. В США и Великобритании 1 л.с. = 745,7 Вт. Цилиндровая мощность двигателя внутреннего сгорания определяется объемом цилиндров.

### Давление

1 атм = 760 мм рт. ст. = 101 325 Па = 1,01325 бар.

1 бар =  $10^5$  Па = 0,986923 атм.

1 торр = 1/760 атм = 1 мм рт. ст. (назван по имени Э. Торричелли).

### Температура

Абсолютная термодинамическая температура, К — градус по Кельвину

$$T \text{ К} = t^{\circ}\text{C} + 273,15.$$

Температура по Цельсию

$$t^{\circ}\text{C} = T \text{ К} - 273,15.$$

Температура по Фаренгейту (градус Фаренгейта F)

$$t^{\circ}\text{F} = 32 + 1,8 \cdot t^{\circ}\text{C}.$$

### Неметрические русские единицы

1 миля = 7 верст = 7,4676 км;

1 верста = 500 сажений = 1,0668 км;

1 сажень = 3 аршина = 7 футов = 10 соток = 2,1336 м;

1 аршин = 4 четверти = 16 вершков = 28 дюймов = 711,2 мм;

1 четверть = 4 вершка = 177,8 мм;

1 вершок = 44,45 мм;

1 линия = 10 точек = 2,54 мм;

1 десятина = 10 925,4 м<sup>2</sup>;

1 ведро = 12,2994 дм<sup>2</sup>;

1 четверть = 209,91 дм<sup>3</sup>;

1 четверик = 8 гарнцев = 1/8 четверти = 26,2387 дм<sup>3</sup>;

1 берковец = 10 пудов = 163,805 кг;

1 пуд = 40 фунтов = 16,3805 кг;

1 фунт = 32 лота = 96 золотников = 409,512 г;

1 лот = 3 золотника = 12,7973 г;

1 золотник = 96 долей = 4,26575 г;

1 доля = 44,4349 мг.

### Неметрические единицы США и Великобритании

1 миля морская британская = 1,85318 км;

1 миля морская США, международная = 1,852 км;

1 миля международная = 1,60934 км;  
1 кабельтов международный = 185,2 м;  
1 ярд = 914,4 мм;  
1 фут = 304,8 мм;  
1 дюйм = 25,4 мм;  
1 линия большая = 0,1 дюйма = 2,54 мм;  
1 линия =  $1/12$  дюйма = 2,117 мм;  
1 калибр = 254 мкм;  
1 акр, ар = 4840 кв. ярдов =  $4046,86 \text{ м}^2 = 0,4046856 \text{ га}$ ;  
1 баррель нефтяной США = 158,987 дм<sup>3</sup>;  
1 баррель сухой США = 115,627 дм<sup>3</sup>;  
1 бушель британский = 36,3687 дм<sup>3</sup>;  
1 бушель США = 35,2391 дм<sup>3</sup>;  
1 галлон британский = 4,54609 дм<sup>3</sup>;  
1 галлон жидкостной США = 3,78541 дм<sup>3</sup>;  
1 галлон сухой США = 4,40488 дм<sup>3</sup>;  
1 унция британская = 28,4131 см<sup>3</sup>;  
1 унция США = 29,5735 см<sup>3</sup>;  
1 пинта британская = 0,568261 дм<sup>3</sup>;  
1 пинта сухая США = 0,550610 дм<sup>3</sup>;  
1 пинта жидкостная США = 0,473176 дм<sup>3</sup>;  
1 унция = 28,3495 г;  
1 драхма британская = 1,77185 г;  
1 гран = 64,7989 мг.

Карат, кар — единица массы драгоценных камней и жемчуга.  
1 кар = 0,2 г. Мера содержания золота в сплавах. Чистое золото соответствует 24 кар.

Поверхностное натяжение, 1 ед. = 9,8066 Н/м.

Теплопроводность, 1 ед. = кал/см · (с · °С), Вт/(м · К).

## **10.7. Некоторые сведения по астрономии, чтобы понять, где мы живем**

В последние годы резко возрос интерес к космическим исследованиям, и трудно предсказать его состояние через несколько десятков лет. Мы живем на Земле, которая вращается вокруг Солнца. Солнечная система находится в Млечном Пути, одной из галактик, которые находятся в Метагалактике. Возможно, существует бесконечно большое число метагалактик. Все это объединено Вселенной, которая, несомненно, упорядоченная структура. Образование упорядоченных космических структур — прекрасный пример упорядочения в открытых системах. Причины структурирования неизвестны.

**Вселенная, или мироздание**, — весь мир, в котором мы живем в бесконечном пространстве и времени. Самая большая известная

на сегодня структура во Вселенной называется Великая Стена Геркулеса. Это огромная нитевидная плоская структура из галактик длиной 10 млрд световых лет и толщиной 7,2 млрд световых лет находится на расстоянии около 10 млрд световых лет от нас. Предполагают, что она возникла через 3,8 млрд лет после Большого взрыва.

Эта и некоторые подобные другие структуры нарушают принцип стандартной теории, согласно которому Вселенная должна быть однородной и изотропной. Вселенная состоит из бесконечно большого числа галактик.

**Метагалактика** — совокупность звездных систем, состоящих более чем в 1 млрд галактик, доступных для современных телескопов. Средняя плотность вещества в известной части Метагалактики оценивается  $10^{-31}$ — $10^{-30}$  г/см<sup>3</sup>. Галактики объединены в огромное образование Метагалактику. Свет от Метагалактики достигает нас за время более 10 млрд лет. В Метагалактике предполагают нахождение более  $10^{19}$  звезд. Трудно допустить, что среди звезд не найдется планета с условиями для жизни.

**Галактика** содержит более  $10^{17}$  звезд, общей массой  $10^{11}$  масс Солнца. Для земного наблюдателя звезды, собранные в галактической плоскости, сливаются в видимую картину Млечного Пути. Галактики ускоренно взаимно удаляются друг от друга. На расстоянии в 10 млн парсек расширение происходит со скоростью около 600 км/с.

**Млечный Путь** — наша Галактика, или система Млечного Пути, неярко светящаяся полоса, пересекающая звездное небо почти по кругу, состоящая из скопления звезд нашей Галактики. Светимость Млечного Пути периодически меняется.

**Солнце** — раскаленный плазменный шар, типичная звезда-карлик, масса —  $\sim 2 \cdot 10^{30}$  кг, радиус — 696 000 км, средняя плотность —  $1,416 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Температура поверхности — около 6000 К. Светимость —  $3,86 \cdot 10^{23}$  кВт. Ускорение свободного падения — 274 м/с<sup>2</sup>. Химический состав, определенный из солнечного спектра: водород — около 90%, гелий — 10%, остальных элементов — менее 0,1%. Источник энергии — превращение ядер водорода в ядра гелия в центральной области Солнца с температурой около 15 млн К. Интенсивность плазменных процессов периодически изменяется каждые 11 лет (цикл солнечной активности), вместе с образованием солнечных пятен, факелов, вспышек, протуберанцев.

Солнечная корона — внешняя часть солнечной атмосферы с температурой 1—2 млн К, состоящая из разреженной высокоионизированной плазмы. Солнечные пятна могут достигать размеров до 200 000 км. Продолжительность их существования — 10—20 суток. Число изменяется приблизительно с 11-летним периодом. Солнечная вспышка — самое мощное проявление солнечной активности

(до  $10^{25}$  Дж) — увеличение яркости продолжительностью всего 8—10 мин — выделение электронов, протонов и некоторых ионов и их выброс в межпланетное пространство. Солнечный парус — устройство для движения космического аппарата в виде металлизированной пленки-паруса, отталкивающееся под действием солнечного излучения. С 1964 г. применялся для некоторых межпланетных станций (США).

Солнце — термоядерный реактор, вырабатывает энергию при синтезе ядер гелия из ядер изотопов водорода. Солнце каждую секунду теряет 4,26 млн т массы. К окончанию своей современной деятельности через 5 млрд лет масса Солнца уменьшится всего на 0,034%. Если верхние слои земной атмосферы станут непроницаемыми для солнечного излучения или, предположим, Солнце перестанет излучать энергию, через неделю температура поверхности Земли понизится до  $0^{\circ}\text{C}$ , через 30 лет верхние слои океанов замёрзнут, но под толщей льда жидкая вода сохранится жидкой и со следами примитивной жизни. Предполагают, что для дыхания количество кислорода в воздухе сохранится несколько тысячелетий. Скорость протонов и электронов солнечного ветра у орбиты Земли — около 400 км/с. Число частиц — от нескольких до нескольких десятков в  $1\text{ см}^3$ .

**Земля** — третья от Солнца планета, находится на расстоянии 149,6 млн км от Солнца. Земля вращается вокруг Солнца по близкой к круговой эллиптической орбите со средней скоростью 29,77 км/с за период 365,24 сут. Период вращения вокруг оси равен 23 ч 56 мин 4,1 с. Вращение вокруг оси вызывает смену дня и ночи, наклон оси и период обращения вокруг Солнца — смену времен года. Солнцестояние — летнее 21—22 июня и зимнее 21—22 декабря — моменты, когда высота Солнца над горизонтом в полдень соответственно максимальна или минимальна.

Средний радиус Земли — 6371,032 км, на экваторе — 6371,160 км, на полюсах — 6356,777 км. Площадь поверхности Земли — 510,2 млн  $\text{км}^2$ . Объем —  $1,083 \cdot 10^{12}$   $\text{км}^3$ , масса —  $5976 \cdot 10^{21}$  кг, плотность — 5,518 г/ $\text{см}^3$ . Образовалась около 4,7 млрд лет назад из рассеянного в протосолнечной системе газово-пылевого вещества. В составе Земли преобладают железо — 34,6%, кислород — 29,5%, кремний — 15,2%, магний — 12,7%. Давление в центре Земли —  $3,6 \cdot 10^{11}$  Па, плотность — около 12,5 г/ $\text{см}^3$ , температура — 5000—6000 $^{\circ}\text{C}$ .

Атмосфера Земли оценивается в  $5,15 \cdot 10^{18}$  кг и состоит из смеси в основном азота (78,1%) и кислорода (21%), остальное — водяные пары, углекислый газ, благородные и другие газы.

Площадь поверхности океанов составляет 361,1 млн  $\text{км}^2$ , или 70,8% поверхности Земли. Объем воды — 1370 млн  $\text{км}^3$ , средняя соленость — 35 г/л. Средняя глубина океана — около 3800 м, наибольшая — 11 022 м в Мариинском желобе в западной части Тихого океана длиной 1340 км.



Площадь поверхности суши равна 149,1 млн км<sup>2</sup>, или 29,2% поверхности Земли. Максимальная температура поверхности суши — 57–58°C в тропических пустынях Африки и Южной Америки. Минимальная температура — около –90°C в центральных районах Антарктиды. Суша поднята над поверхностью океана в среднем на 875 м. Горы занимают свыше 1/3 поверхности суши. Наибольшая высота — гора Джомолунгма (8848 м). Пустыни покрывают около 20% площади суши, саванны и редколесье — около 20%, леса — около 30%, ледники — свыше 10%. Сельскохозяйственные угодья занимают свыше 10%. Возраст наиболее древних горных пород составляет свыше 4,5 млрд лет. Геологическая история Земли делится на два неравных этапа: докембрий (свыше 5/6 времени) и фанерозой (последние 570 млн лет).

Солнце — основной источник энергии для всех процессов на Земле. Биосфера Земли существует и развивается за счет солнечной энергии. Земля получает около  $2 \cdot 10^{17}$  Вт энергии. Биосфера, когда возникла жизнь, образовалась 3–3,5 млрд лет назад. Человек появился около 3 млн лет назад. Рост населения Земли: 1000 г. — 275 млн, 1900 г. — 1,6 млрд, 1988 г. — 5 млрд, 1994 г. — 5,5 млрд, 1999 г. — 6 млрд, 2006 г. — 6 млрд, 2011 г. — 7 млрд. Планеты и их спутники образовались 4,5 млрд лет назад.

На многие земные процессы влияет излучение Солнца. Солнце обуславливает периодичность изменения явлений на Земле. Фотосинтез — важнейший биохимический процесс. Гелиотропизм — движение органов растений под влиянием солнечного света. Следует опасаться ожогов кожи при загорании, могущих вызвать опухоли. Несмотря на это, в медицине используется солнцелечение (гелиотерапия) от некоторых заболеваний кожи, туберкулеза и др.

**Луна** — спутник Земли, вращается вокруг Земли на расстоянии 384 400 км, масса —  $7,35 \cdot 10^{22}$  кг, средний радиус — 1738 км, ускорение силы тяжести — 1,62 м/с<sup>2</sup>, средняя плотность — 3,34 г/см<sup>3</sup>. Лунный грунт — риголит. Температура на поверхности — 100–400 К. Первый человек вступил на поверхность Луны 21 июля 1969 г. (Н. Армстронг, США).

Раньше предполагали, что Луна образовалась от удара по касательной прилетевшего космического тела. Сегодня предполагают, что ранняя расплавленная Земля взорвалась, возможно, из-за накопления радиоактивных ядер, и Луна образовалась из обломка, получившегося в результате этого взрыва. Благодаря малой гравитации Луны в ее породах сохранились водород и гелий, которые могут быть использованы как топливо в термоядерных реакторах. Ученые рассчитывают на дейтерий и тритий. Также предполагается использовать изотопы гелия-4 и гелия-3, которого содержится в 10 000 раз меньше. Гелий-3 выбрасывается из Солнца и оседает на Луне. На Землю он не проникает из-за ее магнитного поля. За

4 млрд лет Луна могла накопить значительные количества гелия.  
<sup>3</sup>Не будет более удобен для использования при слиянии его ядра с ядром дейтерия, так как в ядерной реакции будет образовываться низкий поток нейтронов. Использование гелия-3 затрудняется необходимостью достичь температуры в миллиард градусов, стоимостью его добычи на Луне и доставки на Землю, если не удастся передавать энергию с Луны на Землю.

## **Глава 11**

# **НЕМНОГО ОБ ИСТОРИЧЕСКИХ СОБЫТИЯХ В ХИМИИ**

В этой главе приведены некоторые сведения о жизни и деятельности трех ученых, внесших огромный вклад в развитие химии. Эти ученые показали удивительное разнообразие своих интересов, сказавшееся на развитии их мышления и результатах научных достижений.

### **11.1. Герман Иванович Гесс**

Герман Иванович Гесс (1802—1850) — российский химик, профессор Петербургского горного института, академик Петербургской академии наук. Гесс родился в Женеве. Его отец, швейцарец, был художником. Когда Герману исполнилось три года, отец, мать и он переехали в Россию, где в усадьбе богатого русского семейства под Петербургом родители получили места гувернера и гувернантки. Он в совершенстве овладел несколькими языками и получил обширные знания в области естественных и гуманитарных наук.

В 1822 г. двадцатилетний Гесс, желая изучить медицину, поступил на медицинский факультет Дерптского университета (г. Тарту), где интересовался физикой, геологией, минералогией и аналитической химией минералов и с увлечением посещал лекции по общей и органической химии и фармации (лекарства). В октябре 1825 г. Гесс окончил университет, блестяще защитил диссертацию и получил степень доктора медицины. Для диссертации на степень доктора медицины он выбрал тему о химическом составе и лечебных свойствах минеральных вод России.

Когда Гесс был студентом, он получал стипендию, что заставляло после окончания университета отбывать службу по назначению. Через год Гесс прибыл на работу врачом в сибирский город Иркутск, проехав на лошадях тысячи километров. Он был поражен, когда обнаружил, что Сибирь — это страна, населенная не преступниками и варварами, а народом с прекрасными способностями и восприимчивостью к просвещению.

Кроме врачебной деятельности (он боролся с эпидемией глазных заболеваний), Гесс сразу же начал изучение горячих источников Байкала. В научных экспедициях Гесс ездил верхом, так как местные лошади, по его мнению, были превосходны. Совершая длительные экспедиции в районе Байкала, Гесс проводил также геологические исследования, собирал и исследовал минералы.

По заданию губернатора Гесс занялся исследованием поваренной соли, добываемой в Иркутской губернии. Эта соль при хранении сильно размокала и растекалась, что приводило к ее потерям, вызывала у населения заболевания, и ею нельзя было солить рыбу, так как она почему-то быстро портилась. Проведя анализы соли, Гесс понял, что соль содержит значительные количества хлоридов кальция, магния и алюминия, которые делали соль гигроскопичной. Для улучшения качества соли Гесс разработал методики определения содержания примесей в солевых растворах при помощи ареометра (измерение плотности), химической очистки и кристаллизации соли из раствора.

В Иркутске Гесс проработал три года и здесь же окончательно решил посвятить себя химии. Его первые химические и минералогические работы привлекли внимание академических кругов, и в 1828 г. Гесс был избран адъюнктом (помощником профессора) по химии Петербургской академии наук. Получив это радостное известие, Гесс выехал из Иркутска 5 марта 1829 г. и 29 марта был уже в Москве, а в начале апреля — в Петербурге.

В это же время Гесс женился, и в 1830—1839 гг. у него родились четыре дочери.

Успешная деятельность молодого химика (он изобрел гигрометр, прибор для определения влажности, определил содержание брома в воде источников Старой Руссы, провел анализ невской воды) заставила Академию удовлетворить его просьбу о создании новой химической лаборатории при Академии. 10 февраля 1830 г. в главном здании Академии наук на набережной Невы лаборатория была открыта.

В августе 1830 г. Гесс был избран экстраординарным академиком. 11 октября 1831 г. открылся Петербургский технологический институт, куда Гесс был назначен инспектором классов. Он составил учебный план, по которому студентам предписывалось наиболее подробно и тщательно изучать прикладную химию, механику и общую технологию. В 1831 г. Гесс изучал адсорбцию водорода мелкораздробленной платиной и ее каталитические свойства в реакции водорода с кислородом.

В 1831 г. Гесс в возрасте 29 лет выпустил первым изданием 1200 экземпляров учебника «Основания чистой химии». Это был единственный в то время учебник химии, который показывал ее последние достижения и обсуждал дальнейшее развитие. По этому учебнику изучал химию химик и композитор А. П. Бородин. Через три

десять лет на смену этому учебнику придет учебник «Основы химии» Д. И. Менделеева, который сам изучал химию по Гессу.

Все учебники химии до Гесса представляли собой книги, составленные из многочисленных справок и рецептов приготовления веществ. Учебник Гесса был не справочником, а книгой с многочисленными объяснениями, не предлагавшимися другими авторами. Другим нововведением было широкое использование химических уравнений и введение русской химической терминологии, которая отчасти сохранилась сегодня.

В учебнике Гесс пытался определить последовательность изучения химических элементов. Для этого нужно было расположить их в соответствии с какой-либо классификацией. Гесс видел, что между элементами существуют аналогии, позволяющие их классифицировать и тем самым обсуждать в учебнике друг за другом в определенном порядке.

Он разделил соединения на два класса — соединения металлов и соединения неметаллов. Неметаллы он рассматривал по их важности в технологии того времени — кислород, водород, азот, фосфор, сера. Далее Гесс располагал хлор, бром, иод и фтор. По химическим свойствам он составил 5 групп элементов:

- 1 — иод, бром, хлор, фтор;
- 2 — теллур, селен, сера, кислород;
- 3 — водород;
- 4 — углерод, бор, кремний;
- 5 — азот, фосфор, мышьяк.

Гесс считал свою классификацию элементов далекой от совершенства.

Многие свои новые идеи Гесс изложил в учебнике, например о процессах растворения и природе растворов. Он рассматривал растворение как «особенное явление сцепления растворяющего тела с растворимым». Вода при растворении в ней веществ соединяется с ними.

Последнее седьмое издание учебника вышло в 1849 г. за год до смерти Гесса. В своем учебнике химии Гесс не подражал ни одному из авторов немногочисленных учебников того времени! Этот учебник сыграл значительную роль в формировании взглядов Д. И. Менделеева и А. М. Бутлерова.

В 1832 г. Гесс был избран профессором химии и технологии Главного педагогического института, в котором позже учился Д. И. Менделеев. Почти одновременно Гесс получил кафедру в Горном институте, профессором которого он пробыл 18 лет, вплоть до своей смерти. В мае 1834 г. Гесс был избран ординарным (обычным) академиком. Он поставил перед собой задачу поднять научный уровень химической лаборатории Академии наук, которая делила средства на оборудование и реактивы.

Позже, в 1838 г., Гесс начал преподавать химию (сначала аналитическую и неорганическую, а затем и органическую) в Михайловском артиллерийском училище, где была открыта химическая лаборатория, работой которой руководил Гесс. К этому списку педагогических обязанностей Гесса следует добавить чтение публичных популярных лекций, чтобы убедить общество в большом значении химии для жизни и привлечь молодежь к изучению химии. На каждой его лекции было более 200 человек «всех званий».

Особая заслуга Гесса в преподавании химии состоит в том, что он впервые широко ввел в учебный процесс систематические лабораторные занятия. Гесс стремился развить у учащихся любовь к самостоятельным химическим исследованиям.

В 1834—1835 гг. Гесс начал заниматься органическими веществами, химия которых в то время интенсивно развивалась. Он утверждал зависимость свойств органических соединений от их строения: «Различное расположение атомов производит различие не только в форме, но и в свойствах тел».

Гесс разработал метод анализа органических веществ сжиганием в кислороде. Он придумал конструкцию спиртовой горелки для нагревания стеклянной трубки, в которой анализируемое вещество сгорало в токе кислорода. Он предложил способ очистки кислорода: вначале кислород пропускается через раствор гидроксида натрия и затем через склянку с раствором хлорида кальция.

Гесс впервые произвел анализ бакинских горючих газов, которые ему привезли с нефтяных промыслов в бутылках. Газ, по заключению Гесса, содержал метан, 1—5% углекислого газа (тогда назывался угольной кислотой) и пары нефти. Немного позже он провел изучение нефти и обнаружил, что углеводороды нефти можно разделить на две группы по их отношению к серной кислоте: одни обладают большой устойчивостью к серной кислоте, другие активно с ней реагируют.

В 1835 г. Гесс в соавторстве с другими химиками выпустил небольшое руководство под интересным названием: «Краткий обзор химического именословия». Благодаря Гессу была принята химическая номенклатура, которая дошла с изменениями до наших дней.

1836 г. — важнейший год в истории химии и биографии Гесса. В этом году он впервые в статье кратко сообщил о независимости теплоты реакции от пути процесса. Через четыре года свой закон Гесс опубликовал во французском журнале, что полностью закрепило его приоритет в открытии закона, названного его именем, поэтому 1840 г. считается годом открытия «закона постоянства сумм тепла».

Гесс установил, что тепловой эффект реакции определяется лишь начальным и конечным состоянием системы и не зависит от ее промежуточных состояний. В своих исследованиях Гесс пользовал-

ся ледяным калориметром, изобретенным французским химиком Антуаном Лавуазье (1743—1794) и французским физиком, математиком и астрономом Пьером Лапласом (1749—1827). О тепловом эффекте судили по количеству образовавшейся воды от таяния льда. Работать с этим прибором можно было при наступлении холодов или пока в ледниках сохранялся лед. Вопрос о строении веществ сильнейшим образом интересовал Гесса, и он был уверен, что определение тепловых эффектов позволит получить знания о составе и строении веществ.

В 1839 г. Гесс совместно с петербургским физиком и электротехником Борисом Якоби (1801—1874) предложил использовать для освещения смесь водорода и кислорода, получаемых при электролизе воды, и направлять горящую струю на кусок карбоната кальция или гидроксида кальция.

В 1843 г. Гесс опубликовал брошюру и в 1847 г. книгу об определении концентрации спирта по его плотности. Работа выполнялась по поручению министерства финансов.

В 1847 г. Гесс разработал простой и дешевый способ выделения платины из платиновой руды. Вместо 8—10-кратного растворения руды в «царской водке» (смесь соляной и серной кислот) он рекомендовал сплавление руды с цинком, затем сплав растворялся в серной и потом в азотной кислотах. При этом в раствор переходили все посторонние металлы, кроме иридия и осмия, которые удалялись действием «царской водки».

Исследуя платину, Гесс пытался объяснить, почему при внесении платины в смесь кислорода и водорода происходит воспламенение смеси. Он увлекся контактной теорией Вольта и думал, что воспламенение происходит не из-за выделения теплоты при поглощении газов платиной, а из-за возникновения электрических зарядов.

Гессу часто приходилось решать различные технические вопросы, например освещения города. Он исследовал состав кавказской нефти и выплавку чугуна в доменной печи. Открыл несколько новых минералов и сахарную кислоту  $\text{HOOC}(\text{CHON})_4\text{COOH}$ , которая получается окислением сахарозы или глюкозы.

Гесс был широкообразованным ученым. Он был гостеприимным, по вторникам дома у него собирались друзья — химики, математики, биологи и др., и делали интересные и понятные всем доклады о последних достижениях и проблемах науки. Мышление Гесса было гибким и разносторонним. Гесс был чистосердечным, благородным и добрым человеком, но иногда вспыльчивым.

Г. И. Гесс прожил недолгую жизнь. После тяжелой и продолжительной болезни в возрасте 48 лет в ночь с 30 ноября на 1 декабря 1850 г. Герман Иванович Гесс скончался. Он похоронен на Смоленском кладбище в Петербурге, где на памятнике выбито его нерусское имя «HERRMANN HESS».



За четыре месяца до смерти Гесса в Главный педагогический институт поступил Д. И. Менделеев, ему не удалось прослушать лекций Гесса, но он занимался по «Основаниям чистой химии» и свой будущий учебник «Основы химии» написал под влиянием идей Гесса.

В истории химии Г. И. Гесс не находится в списке великих химиков, но если посмотреть, что он сделал для химии, и сравнить с достижениями других химиков, то вполне можно назвать его великим химиком.

*(По литературным источникам)*

## 11.2. Воздухоплавание Д. И. Менделеева

Великий русский ученый-энциклопедист Д. И. Менделеев (1834—1907), когда был на Парижской выставке в 1872 г., поднимался в воздух на привязанном аэростате. 19 августа (7 августа по старому стилю) 1887 г. должно было произойти полное солнечное затмение, которое можно было наблюдать даже в Боблове, где находилась усадьба Менделеева. Это событие крайне редкое — последний раз в Москве оно произошло за четыре века до этого (7 июня 1415 г. и 25 февраля 1476 г.). А следующее ожидалось только через два с половиной века. Ученые были заинтересованы этим космическим явлением.

Менделеев по случаю затмения пригласил к себе в Боблово коллег, с которыми собирался провести наблюдения и измерения, и просто друзей. Немногим более чем за неделю до затмения Менделеев получил телеграмму от Русского технического общества с приглашением подняться в Твери на воздушном шаре для наблюдения затмения.

Менделеев представил себе, что все пропадет, если будет облачная погода. Поэтому он предложил подняться на воздушном шаре выше облачности. Русское техническое общество договорилось о предоставлении воздушного шара. Полет предполагалось осуществить в Твери, где был газовый завод — шар должен был быть заполнен светильным газом.

Менделеев знал, что подъемная сила метана меньше подъемной силы водорода, и он послал телеграмму в Техническое общество с просьбой к военному министру отпустить в Клин «команду лучшего водородного шара» с военным аэростатом.

**(В-11-1.** В одной книге было написано, что подъемная сила метана в четыре раза меньше, чем у водорода. Верно ли это?)

На следующий день Менделеев получает телеграфом положительный ответ. Уже 4 августа в Клин из Петербурга стало поступать оборудование. 6 августа Менделеев с художником И. Репиным выехали из Боблова в Клин. На пустыре уже шла интенсивная подготовка к полету. Солдаты устанавливали высокий забор для



предохранения от ветра, несли к приборам в корзинах бутылки с серной кислотой для получения водорода, качали воду из пруда. На земле лежало полотнище шара, рядом стояла корзина.

Репин с мольбертом выбрал место для зарисовок подготовки к полету и старту. Фотографы устанавливали огромные деревянные с растягивающимися кожаными мехами фотографические аппараты.

Хотя Менделеева просили не вмешиваться в подготовку к полету, он старался вникнуть во все детали этого дела. Среди зрителей он увидел сына Володю. Вечером на ночлег Менделеев отправился в дом клинского головы. Перед сном он еще раз проверил часы, приборы, просмотрел карту. Попросил разбудить его в четыре часа утра.

Утром следующего дня, проснувшись, Менделеев увидел, что небо было затянуто низкими тучами и моросил дождь. Тем временем в Клин прибывали поезда из Москвы с желающими наблюдать за затмением и подъемом шара. В шесть часов утра дождь прекратился, но наполненный водородом шар сильно намок и под тяжестью мокрого полотна не мог приобрести выпуклую форму. Командир аэростата отдал приказ крепить корзину.

В 6 ч 25 мин 19 августа 1887 г. к шару подошел встреченный аплодисментами и приветственными выкриками Менделеев. Менделеев и командир залезают в корзину. Затмение начинается, и становится темнее. Аэронавты в корзине, жестикулируя, что-то обсуждают. Вдруг из корзины выпрыгивает командир и приказывает солдатам, удерживающим шар, отдавать концы. Под крики «Ура!» шар начал слишком медленно подниматься. До полного затмения остаются минуты. Чтобы быстрее пройти облака, Менделееву нужно сбрасывать балластный песок, но он промок, слипся и не высыпался струей. Менделеев стал пригорошнями выбрасывать мокрый песок за борт. Шар начал подниматься быстрее.

Некоторое время шар плыл в сплошном тумане тучи. Вдруг туман закончился, но светлее не стало — свершилось полное солнечное затмение. Секунды оставались до начала выхода Солнца из тени Луны. «То, что я видел, можно описать в очень немногих словах. Крутом солнца я увидел светлый ореол... чистого серебристого цвета... Ни красноватого, ни фиолетового, ни желтого оттенка я не видел в короне. Она была вся цвета одного и того же, но напряженность, интенсивность или яркость света уменьшалась от черного круга луны... Размеры короны... были неодинаковы по разным радиусам. В самом широком месте толщина кольца была не более радиуса луны. Никаких лучей, сияний или чего-нибудь подобного венчику, который иногда рисуют для изображения короны, мои глаза не видели... Никаких звезд я не заметил...»

(В-11-2. Почему наблюдатели на поверхности Земли видят при солнечном затмении разноцветные оттенки, а Д. И. Менделеев увидел корону чистого серебристого цвета?)

Несколько секунд Менделеев не мог оторваться от зрелища, пока не вспомнил о своих обязанностях. Он схватил корзину с приборами, рывком открыл ее и достал приборы. Когда он направил на диск Луны угломер, облако заслонило Солнце и Луну, и измерение пропало. Барограф показывал высоту в 1,5 версты (1 верста = 1,067 км). Переход от сумерек к рассвету произошел мгновенно, и сразу наступил облачный день, который быстро превратился в ясный солнечный день. Менделеев записал время окончания затмения — 6 ч 42 мин 7 августа 1887 г.

Начался свободный полет шара. Температура воздуха была минус 1,2°С. Однако Менделеев не ощущал холода. У Менделеева было время осмотреть корзину и шар. Веревки, которые удерживали шар у земли, свисали с борта корзины и перепутались. Менделеев втянул тяжелые мокрые веревки в корзину. Он обнаружил, что веревка клапана выпуска газа для снижения шара запуталась в стропах. Чтобы ее распутать, Менделееву пришлось карабкаться вверх к клапану. Он боялся головокружения, но все было благополучно и, подтянувшись к самому клапану, он распутал веревку. Это было очень важным делом, потому что шар постепенно высыхал и поднимался все выше и выше.

Присев на последний оставшийся мешок с песком, Менделеев неожиданно нашел бутылку с еще теплым чаем и булку.

В 7 ч 20 мин на горизонте из-под облаков появился край земли. Шар, высыхая, продолжал подниматься и достиг максимальной высоты 3,5 версты. Облака исчезли. Когда шар находился над облаками, стояла абсолютная тишина, теперь же Менделеев слышал звуки с земли — разговоры людей, лай собак, мычание коров.

Из одной деревни Менделеева позвали позавтракать свежей рыбой: «Спускайся, свежая рыба есть».

В 8 ч 45 мин под аэростатом проплыло большое село Талдом. Менделеев постепенно выпускал газ из шара, и он медленно спускался. Менделеев искал место посадки. Он написал на листе бумаги записку с просьбой собрать народ к месту посадки шара и бросил ее, когда пролетал совсем низко над какой-то деревней. Непонятно, почему, но записка летела рядом с шаром до самого приземления и упала на дорогу, по которой Менделеев ехал в обратный путь. Менделеев остановился, поднял сложенный вдвое листок и сохранил его на память.

Можно только удивляться, как совершенно неопытный в аэронавтике человек смог благополучно посадить воздушный шар. Трудность состояла в том, что поля чередовались с лесами и нужно было пролететь как можно ниже над лесом, не касаясь верхушек деревьев, и после этого постараться быстро опуститься на поле, не ударившись в деревья приближающегося леса. Менделееву приходилось то открывать клапан, чтобы опуститься, то высыпать пе-

сок, чтобы подняться. На верхушки деревьев и на крышу дома ему приземляться не хотелось.

Наконец Менделеев разглядел деревню, за которой был небольшой лес, а за ним ровная поляна. Манипулируя клапаном и песком, Менделеев перелетел лес и открыл, как мог, больше клапан. Крестьяне бежали за шаром.

Впереди быстрее всех бежал молодой парень. Ему Менделеев крикнул, чтобы он хватал веревку и привязал ее к ближайшему дереву. Крестьянин успел схватить веревку и повис на ней. Его приподняло, бросило на землю, но он крепко держал веревку и смог, обжав деревце, замотать ее вокруг ствола.

Шар прикоснулся к земле, подпрыгнул и опустился на землю. Менделеев все еще держал клапан открытым, чтобы шар не сдувало ветром и чтобы выпустить водород, боясь взрыва от курения кого-нибудь из крестьян.

Первым к корзине подбежал мальчик лет шестнадцати. Менделеев попросил его крепко держать веревку от клапана и тянуть на себя. Шар почти полностью осел на землю. Менделеев вылез из корзины, уже окруженной крестьянами, удивленно смотревшими на опустившегося с неба человека. Менделеев прочно встал на землю, снял шапку, перекрестился и поздоровался с крестьянами. Крестьяне, никогда в жизни не выдавшие воздушные шары, все глубоко религиозные, принимали Менделеева как некое божественное начало, спустившееся с неба.

Д. И. Менделеев во время полета из Клина на военном аэростате продолжительностью 3 ч 36 мин поднялся до высоты 3350 м.

(По книге: *Смирнов Г.* Менделеев.  
М.: Молодая гвардия, 1974.)

### 11.3. Сванте Аррениус

Аррениус Сванте А. (1859—1927) — шведский химик и физико-химик, ученый с редчайшей разносторонностью научных интересов. Аррениус родился в Швеции 19 февраля 1859 г. близ небольшого города Упсалы в замке, управляющим которого служил его отец. После рождения сына отец переселился в Упсалу, где стал казначеем в Упсальском университете. В этом университете были богатая библиотека, большой ботанический сад, музеи и хорошо оборудованные лаборатории. У отца было небольшое имение, что позволило ему скопить небольшое состояние и дать детям хорошее образование. С детства Аррениус был вундеркиндом. В три года он научился читать, а в шесть лет проводил сложные денежные расчеты для своего отца.

В 1876 г. семнадцатилетний Аррениус поступил в Упсальский университет. Через два года он сдает экзамен на степень кандидата

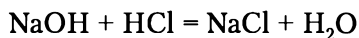
философии. Он усиленно занимается физикой, желая стать доцентом университета.

В 1882 г., начав изучение электропроводности водных растворов электролитов с целью разработки метода определения их молярных масс, он обнаруживает, что электропроводность возрастает с разбавлением раствора. Это наводит его на мысль о диссоциации электролитов, тем более что он знает: некоторые газы при высоких температурах обнаруживают отклонения от закона Авогадро из-за диссоциации их молекул. В 1890 г. Аррениус обнаруживает, что электролитическая диссоциация сопровождается выделением незначительного количества теплоты. Это было неожиданным, так как считалось, что при повышении температуры диссоциация должна усиливаться. **(В-11-3. Каково ваше мнение? Возможно ли такое, чтобы при разрыве связей между частями молекулы (ионами) теплота выделялась, а не поглощалась? Каков источник этой теплоты?)**

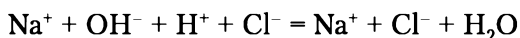
Теория электролитической диссоциации объясняет огромное число фактов из химии, геологии, биологии. Но с первых дней ее зарождения и до окончательного признания у нее было очень много противников. Так, Д. И. Менделеев до конца своих дней не признавал эту теорию, хотя выступал очень корректно и осторожно.

**(В-11-4. Представьте себя на месте Аррениуса и ответьте на следующие вопросы его оппонентов. Откуда берется энергия, необходимая для разделения вещества на ионы? Почему самые прочные соединения оказываются наиболее диссоциированными в растворе (аргумент Д. И. Менделеева)? Почему противоположно заряженные ионы не соединяются? Почему чрезвычайно подвижные ионы не в состоянии вырваться с поверхности раствора? Почему электролит испаряется в виде молекул, а не ионов (например, хлороводород или уксусная кислота)? Почему не удастся разделить ионы диффузией через перегородку, ведь у них разные скорости и размеры и они должны поэтому проходить в различном количестве? Вы, наверное, быстро нашли ответы на вопросы. Почему это вам удалось сделать сравнительно легко, а Аррениусу на их решение понадобились годы? (Самый трудный вопрос — последний. На него нашел ответ В. Нернст. Подсказка: двойной электрический слой.))**

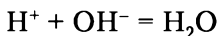
При Аррениусе уравнение реакции между гидроксидом натрия и хлороводородом в водном растворе записывалось в виде



Самое удивительное, что больше чем через век после открытия теории электролитической диссоциации в наших учебниках химии вы продолжаете видеть такие же уравнения. По Аррениусу формулы сильных электролитов следует записывать формулами ионов:



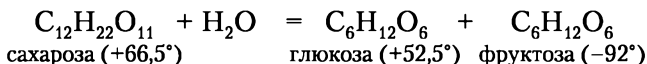
Но еще лучше записать это уравнение реакции нейтрализации в сокращенном виде:



В 1889 г. Аррениус определил теплоту диссоциации воды (13,9 ккал/моль = 58,2 кДж/моль) и нашел, что она равна теплоте нейтрализации сильных кислот сильными основаниями. В 1890 г. Аррениус предложил теорию гидролиза (записывается уравнение реакции иона и молекулы воды с образованием слабого электролита и иона, обуславливающего среду раствора).

Аррениус обнаружил также, что скорость инверсии сахара в присутствии кислоты возрастает при прибавлении нейтральных солей. Это явление он объяснил усилением диссоциации кислоты. **(В-11-5. Каково ваше мнение?)**

В химии инверсия имеет несколько значений, одно из которых говорит о гидролизе сахарозы (сахара):



При прохождении реакции происходит изменение направления вращения плоскости поляризованного луча раствором. Раствор сахарозы имеет правое вращение +66,5°. Раствор глюкозы имеет правое вращение +52,5°, а раствор фруктозы имеет левый угол вращения -92°. Угол вращения смеси глюкозы и фруктозы равен 52,5 - 92 = -39,5°. Таким образом, при гидролизе сахарозы угол вращения плоскости поляризации изменяется от +66,5° до -39,5°, что позволяет определять концентрации сахарозы, фруктозы и глюкозы в растворе. Смесь глюкозы и фруктозы, полученную гидролизом сахарозы, называют инвертным сахаром и искусственным медом.

Понятие «инверсия» широко применяется во многих областях жизни. В частности, инверсией является изменение привычного порядка слов в предложении при стихосложении (например, у А. С. Пушкина: «Минутных жизни впечатлений не сохранит душа моя...»).

Представление о существовании в растворе недиссоциированных и диссоциированных молекул навело Аррениуса на мысль об образовании в реакционной среде активных частиц, которые и участвуют в реакции. В 1889 г. он выводит свое знаменитое уравнение, вводит понятие об энергии активации (активирования) и объясняет причину повышения скорости реакции с ростом температуры.

Вы не забыли формулу  $k = Ce^{-E_a/(RT)}$ ?

Аррениус показал, что скорость химической реакции (константа скорости  $k$ ) пропорциональна числу молекул, находящихся в активированном состоянии. Скорость реакции зависит от числа столкновений между активными молекулами. С ростом температуры скорость реакции растет.

В 1893 г. Аррениус познакомился с фрейлин С. Рудбек. В письме к В. Оствальду Аррениус писал, что он пригласил в качестве ассистентки девушку, которая должна помогать ему в научной работе, и что она сдала с отличием кандидатские экзамены. «Притом она не только обладала (и обладает) теоретическими познаниями, но и в практическом отношении превосходит всех самых способных девушек, каких мне приходилось видеть, — так, например, она в течение семи лет жила вполне самостоятельно и, несмотря на это, в последние три года занималась с успехом... Дело в том, что родители старались удержать ее от занятий, к которым она всегда имела величайшую склонность. Особенно ее интересует физическая химия, но у нее вообще очень разносторонние научные интересы. Кроме того, у нее редкое здоровье и благодаря этому оптимистический взгляд на жизнь и приветливое отношение к людям. Видясь ежедневно с этой девушкой, одаренной наилучшими качествами, я постепенно проникался все возрастающим восхищением ею и, наконец, попросил ее руки. После всяческих переговоров эта попытка увенчалась полным успехом. Теперь мы оба надеемся, и у нас есть на то все основания, прожить вместе долгую жизнь, полную самого глубокого и чистого счастья. Через несколько месяцев мы предполагаем официально обручиться, а примерно через год мы, надеюсь, поженимся. Кто мог бы еще полгода назад представить себе самым отдаленным образом, что я когда-нибудь смогу влюбиться!» В 1894 г. Аррениус и С. Рудбек поженились.

В 1895 г. Аррениус был избран почетным членом Немецкого электрохимического общества. Это было его первым научным отличием. Постепенно Аррениус приобретал почет, который непрерывно возрастал до его последних дней. В то же время трудности сопровождали всю его жизнь. В 1899 г. он был выдвинут кандидатом в академики по химии, но отказался участвовать в выборах, опасаясь, что его не выберут, что могло лишить его полученной с огромным трудом должности профессора физики. Лишь в 1901 г. Аррениуса избрали в академики, и опять же с неприятностями (часть академиков выдвигала другого человека).

От вопросов диссоциации молекул и их активации Аррениус в 1890-х гг. переходит к изучению вопросов диссоциации под действием солнечных лучей, далее к вопросу о состоянии земной атмосферы, и, наконец, к космической химии и происхождению жизни на Земле.

В 1896 г. Аррениус написал статью о влиянии углекислого газа на температуру нижних слоев атмосферы Земли. В периоды повышенной вулканической деятельности содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере возрастает и соответственно повышается температура атмосферы (В-11-6. Почему?). Одновременно возрастает содержание водяных паров, что еще более усиливает эффект повышения температуры.



(В-11-7. Как сейчас называется этот эффект, о котором так много говорят экологи, химики, физики, метеорологи? Какова наиболее уязвимая сторона объяснения этого эффекта?) Некоторые ученые считают, что значительное влияние на проявление этого эффекта оказывает заболачивание почв (В-11-8. Почему?) и экологически несовершенная добыча нефти и природного газа.

Воспользовавшись положениями теории давления света, Аррениус объяснил существование зодиакального света, кометных хвостов, солнечной короны, полярных сияний.

Зодиакальный свет — свечение ночного неба из-за находящейся в космическом пространстве пыли, которая рассеивает солнечный свет. Зодиакальный свет виден вечером на западе и утром на востоке.

От гипотезы переноса космической пыли давлением световых лучей Аррениус перешел к разработке теории панспермии, утверждавшей, что жизнь была перенесена на Землю с других планет спорами и зародышами жизни силой светового давления. (В-11-9. Как вы относитесь к такому объяснению происхождения жизни на Земле? Каковы аргументы «за» и «против» этой теории?)

Аррениус считал, что простейшие формы жизни (споры или бактерии) могут с обитаемых миров разноситься давлением света по пространству Вселенной и попадать на еще необитаемые планеты. Низкая температура пространства действует на переносимые формы жизни благоприятно, так как это способствует сохранению их жизнедеятельности после повышения температуры.

Но откуда первоначально взялись зародыши жизни? Этого Аррениус объяснить не смог (вспомните теорию самоорганизации И. Пригожина).

Аррениус утверждал: мир бесконечен в пространстве и во времени. Тепловой смерти Вселенной быть не может. Если будет смерть, то должно быть и начало!

В 1915 г. Аррениус написал книгу «Количественные законы биологической химии». Вдумайтесь в смелость названия книги! В русском переводе она вышла в 1925 г. — ее можно прочитать!

Несмотря на отличное здоровье и огромную трудоспособность, в последние годы жизни его здоровье стало ухудшаться. Он работал ночами. Переутомление привело в 1925 г. к кровоизлиянию в мозг. Еще два года Аррениус смог работать, но 2 октября 1927 г. после кратковременной болезни на 68 году жизни он скончался. Аррениус похоронен в своем родном городе Упсале.

Аррениус был добродушным человеком и с юмором, но в нем прощупалась ярость, когда постигали на истину и свободу. Его научные интересы простирались от атомов до галактик. Его ум находил многосторонние связи между, казалось бы, несвязанными явлениями.

## Литература

1. Волков, А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. — Мн. : Современная школа, 2005.
2. Грандберг, И. И. Органическая химия : учебник для бакалавров / И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. — 8-е изд. — М. : Юрайт, 2013.
3. Жмурко, Г. П. Общая химия / Г. П. Жмурко, Е. Ф. Казакова, В. Н. Кузнецов, А. В. Яценко ; под ред. С. Ф. Дунаева. — М. : Академия, 2011.
4. Зайцев, О. С. Задачи, упражнения и вопросы по химии / О. С. Зайцев. — М. : Химия, 1996.
5. Зайцев, О. С. Исследовательский практикум по общей химии / О. С. Зайцев. — М. : Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 1994.
6. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. — 6-е изд. — М. : Химия, 1989.
7. Некрасов, Б. В. Курс общей химии / Б. В. Некрасов. — 14-е изд. — М. : Госхимиздат, 1962.
8. Номенклатурные правила ИЮПАК по химии : пер. с англ. — Т. 1—4. — М. : 1979—1985.
9. Сталл, Д. Химическая термодинамика органических соединений / Д. Сталл, Э. Вестрам, Г. Зинке. — М. : Мир, 1971.
10. Термические константы веществ : справочник / под ред. В. П. Глушко. — М. : ВИНТИ, 1965—1982.
11. Химическая энциклопедия. — Т. 1—5. — М. : Российская энциклопедия, 1988—1998.
12. Handbook of Chemistry and Physics. — 84<sup>th</sup> ed. — CRC Press, 2003.



## Приложение

Прочитайте сказку «Щедрое дерево» американского автора Шела Сильверстайна. Перед текстом перечислены некоторые вопросы, на которые ответьте после прочтения сказки.

Вначале — несколько слов об авторе. Сильверстайн Шелдон, Шел (1930, Чикаго — 1999, Флорида) — американский поэт, автор детских книг и юмористической прозы для взрослых, карикатурист, музыкант, певец. После одного года занятий в Чикагском художественном институте перешел на военную службу и тогда же опубликовал первый сборник комиксов. Затем работал в журналах карикатуристом и подрабатывал продажей хот-догов. Как писатель Сильверстайн необычайно разносторонен. Он сочинял стихотворения, используя разговорную речь с жаргонными и даже нецензурными выражениями, переделал на современный язык «Гамлета». Его произведения переведены более чем на 30 языков.

### Вопросы

Какие термодинамические, кинетические и структурные идеи химии можно найти в этой сказке? О чем (в двух словах) эта сказка? Кто главный герой — мальчик или яблоня? Это грустная или не грустная сказка? Оптимистическая или пессимистическая? Жизнерадостная или нерадостная сказка? Что вы видите в поведении мальчика — любовь или эгоизм? Не кажется ли вам, что любовь яблони — глупость?

Вам захотелось заплакать? В каком месте сказки глаза стали влажными? Почему так действует на человека эта сказочная история? Каков философский смысл этого краткого произведения? Смогли бы вы написать продолжение сказки? Приведите какой-либо пример из жизни по теме этой сказки. Обратите внимание на то, что многие предложения начинаются с «И». Почему?

Прочитайте еще раз последние несколько строчек сказки. Как вы относитесь к этому все-таки грустному окончанию? Зачем автор так заканчивает свою сказку? А как бы вы ее закончили? Что такое счастье? Может ли оно быть постоянным? Когда люди бывают счастливыми? Что нужно, чтобы чувствовать себя счастливым? Представьте себя героями сказки — мальчиком и яблоней. Дайте

прочитать сказку своим родителям. Что вы скажете о характере своих родителей по их мнению о сказке? Вы смогли бы написать подобную сказку? Попробуйте придумать что-то подобное.

*Шел Сильверстайн*

### **Щедрое дерево**

Жила в лесу дикая яблоня. И любила яблоня маленького-маленького мальчика. И мальчик каждый день приходил к яблоне, собирал ее листья и сплетал из них венок, чтобы играть в лесного короля. Он взбирался по стволу яблони, качался на ее ветвях и ел яблоки. И они играли в прятки, и, когда мальчик устал, он засыпал в тени ее ветвей. И мальчик очень любил яблоню. И яблоня была счастлива.

Но шло время. И мальчик подрастал, и все чаще яблоня теперь оставалась одна.

И однажды пришел мальчик к яблоне. И яблоня сказала:

— Иди сюда, мальчик, взберись по моему стволу, покачайся на моих ветвях, поешь моих яблок, поиграй со мной в тени, нам будет хорошо и ты будешь счастлив!

— Я уже слишком взрослый, чтобы лазить по деревьям и качаться на ветвях, — ответил мальчик. — Мне хотелось бы других развлечений. Я хочу покупать вещи. Но на это нужны деньги, а разве ты можешь мне дать их?

— Прости, — вздохнула яблоня. — Я бы рада, но у меня нет денег, одни только листья и яблоки. Возьми мои яблоки, мальчик, продай их в городе. И ты получишь за них деньги и будешь счастлив!

И мальчик залез на яблоню, и сорвал все яблоки, и унес их с собой. И яблоня была счастлива.

После этого мальчик долго не приходил, и яблоня загрустила. И когда однажды мальчик пришел, яблоня так и задрожала от радости и сказала:

— Иди скорей сюда, мальчик! — воскликнула она. — Взберись по моему стволу, покачайся на моих ветвях, ты будешь счастлив и нам будет хорошо!

— У меня слишком много забот, чтобы лазить по деревьям, — ответил мальчик. — Мне нужен теплый дом. Мне хотелось бы иметь семью, завести детей. Но для этого нужен дом, а у меня нет дома. Ты можешь дать мне дом?

— Я бы рада, — вздохнула яблоня, — но у меня нет дома. Мой дом — мой лес. Но зато у меня есть ветки. Сруби их и построй себе дом. И ты будешь счастлив.

И мальчик срубил ее ветви, и унес их с собой, и построил себе дом. И яблоня была счастлива.

Прошло много времени. Мальчик исчез на долгое-долгое время. И когда мальчик снова вернулся, пришел к яблоне. И она была так счастлива, что едва могла говорить.

— Иди сюда, мальчик, — прошептала она, — иди, поиграй.

— Я слишком стар и печален, чтобы играть, — ответил мальчик. — Мне нужна лодка, чтобы уплыть далеко и стать счастливым. — И мальчик спилил ствол яблони и построил себе лодку, и уплыл далеко-далеко. И яблоня была счастлива, но не совсем. Опять прошло много времени, и мальчик вернулся к яблоне.

— Прости, мальчик, — вздохнула яблоня, — но я ничего больше не могу тебе дать. У меня не осталось яблок.

— На что мне яблоки? — ответил мальчик. — У меня почти не осталось зубов.

— У меня не осталось ветвей, — сказала яблоня. — Ты не сможешь покачаться на них.

— Я слишком стар, чтобы качаться на ветках, — ответил мальчик.

— У меня не осталось ствола, — сказала яблоня. — И тебе не по чему больше взбираться вверх.

— Я слишком устал и стар, чтобы взбираться вверх, — ответил мальчик.

— Прости, — вздохнула яблоня, — мне бы очень хотелось дать тебе хоть что-нибудь, но у меня ничего не осталось. Я теперь только старый пенёк. Прости.

— А мне теперь много и не нужно, — ответил мальчик. — Мне бы теперь только тихое и спокойное место, чтобы посидеть и отдохнуть. Я очень устал.

— Ну что ж, — сказала яблоня, выпрямляясь, насколько возможно, — старый пенёк как раз годится, чтобы посидеть и отдохнуть. Иди сюда, мальчик, садись и отдыхай.

Так мальчик и сделал.

И яблоня была счастлива...

**Наши книги можно приобрести:**

**Учебным заведениям и библиотекам:**

в отделе по работе с вузами

тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [vuz@urait.ru](mailto:vuz@urait.ru)

**Частным лицам:**

список магазинов смотрите на сайте [urait.ru](http://urait.ru)

в разделе «Частным лицам»

**Магазинам и корпоративным клиентам:**

в отделе продаж

тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [sales@urait.ru](mailto:sales@urait.ru)

**Отзывы об издании присылайте в редакцию**

e-mail: [gred@urait.ru](mailto:gred@urait.ru)

**Новые издания и дополнительные материалы доступны  
на образовательной платформе «Юрайт» [urait.ru](http://urait.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

*Учебное издание*

**Зайцев Олег Серафимович**

# **ХИМИЯ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ И СБОРНИК ЗАДАЧ**

**Учебное пособие для вузов**

Формат 60×90 1/16.

Гарнитура «Charter». Печать цифровая.

Усл. печ. л. 12,63

**ООО «Издательство Юрайт»**

111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.

Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: [izdat@urait.ru](mailto:izdat@urait.ru), [www.urait.ru](http://www.urait.ru)