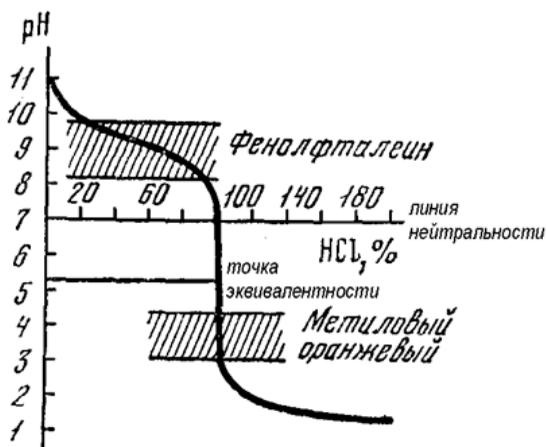


## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Методические указания к выполнению расчетно-графических заданий для студентов заочной формы обучения направления 18.03.01 – Химическая технология



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова  
Кафедра теоретической и прикладной химии

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

## **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

Методические указания к выполнению расчетно-графических  
заданий для студентов заочной формы обучения направления  
18.03.01 – Химическая технология

Белгород  
2018

УДК 543 (07)  
ББК 24.4я7  
А64

Составитель: канд. техн. наук, доц. В. А. Полуэктова

Рецензент д-р техн. наук, проф. Г. И. Тарасова

**А64 Аналитическая химия** : методические указания к выполнению расчетно-графических заданий для студентов заочной формы обучения направления 18.03.01 – Химическая технология / сост.: В. А. Полуэктова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 48 с.

В методических указаниях представлены основные сведения и рекомендации, необходимые для выполнения расчетно-графических заданий, варианты заданий и примеры расчетов по наиболее распространенным методам химического анализа.

Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения направления 18.03.01 – Химическая технология.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 543 (07)  
ББК 24.4я7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с учебным планом выдаются расчетно-графическое задание по теме «Расчет и построение кривой титрования в методе нейтрализации» и расчетные задания по всем темам курса.

Целью выполнения расчетно-графических заданий является закрепление теоретического материала, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и справочной литературой, навыков самостоятельного ведения расчетов. Оценка результатов самостоятельной работы осуществляется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателя.

Задачей выполняемого по дисциплине РГЗ является получение навыков решения аналитических задач по основным разделам дисциплины, в том числе получение навыков вычисления рН растворов различного состава – сильных и слабых кислот и оснований, гидролизующихся солей и буферных растворов, а также и построение и анализ кривых кислотно-основного титрования разных типов.

Номера расчетно-графических заданий выдаются студенту индивидуально по первым буквам фамилии (первые два задания), имени (третье и четвертое задания) и отчеству (пятое и шестое задания) (см. прил.3). Студенты должны решить 6 предложенных заданий, в том числе построить кривую титрования, проанализировать её и подобрать индикатор.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО ТЕМАМ КУРСА

### 1. Метод нейтрализации (кислотно-основное титрование)

**Задача 1.** Рассчитайте навеску NaOH, содержащего 8 % индифферентных примесей, необходимую для приготовления 250,0 см<sup>3</sup> 0,1 М раствора.

*Решение.* Для приготовления 250,0 см<sup>3</sup> 0,1 моль/л раствора щелочи необходимо взять чистого NaOH (если бы препарат не содержал примесей):

$$a_{расч} = \frac{N \cdot V \cdot M_f}{1000},$$

$$a_{расч} = \frac{0,1 \cdot 250 \cdot 40}{1000} = 1,00 \text{ г.}$$

Однако необходимо учесть примеси, содержащиеся в щелочи, следовательно, навеска должна быть увеличена на 8 %, поэтому для приготовления указанного раствора берут навеску:

$$a = a_{расч.} + a_{примесей}$$

$$a (\text{NaOH}) = 1,00 + 0,08 = 1,08 \text{ г.}$$

*Ответ:* 1,08 г.

**Задача 2.** Чему равен титр раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, если в 250 см<sup>3</sup> раствора содержится 2,5 г этого вещества?

*Решение.* Титром раствора называется масса вещества, содержащегося в 1 см<sup>3</sup> раствора и вычисляется по формуле:

$$T = \frac{a}{V}, \text{ г/см}^3$$

$$T_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{2,5}{250,0} = 0,0100 \text{ г/см}^3$$

*Ответ:* 0,0100 г/см<sup>3</sup>.

**Задача 3.** На титрование  $25,00 \text{ см}^3 \text{ NaOH}$  пошло  $20,00 \text{ см}^3 0,1 \text{ н.}$  раствора  $\text{HCl}$ . Какова нормальность  $\text{NaOH}$ ?

*Решение.* Воспользуемся правилом пропорциональности:

$$N_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} = N_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}, \quad \text{отсюда}$$

$$N_{\text{NaOH}} = \frac{N_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,1 \cdot 20,00}{25,00} = 0,08 \text{ моль - экв/л}$$

*Ответ:* 0,08 моль-экв/л.

**Задача 4.** К раствору, содержащему  $0,7500 \text{ г } \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , прибавили  $25,00 \text{ см}^3$  раствора  $\text{KOH}$ , а затем избыток последнего оттитровали  $4,02 \text{ см}^3$  раствора  $\text{HCl}$  с концентрацией  $0,1250$  моль-экв/л. Рассчитайте молярную концентрацию раствора  $\text{KOH}$ .

*Решение.* Используем расчетную формулу для обратного титрования, в которой содержание определяемого вещества находят по разности между количеством прибавленного реагента и оставшимся в растворе после того, как это вещество прореагирует с прибавленным реагентом:

$$a_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{N_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} - N_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{1000} \cdot M_{f(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}$$

$$M_{f(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = \frac{126,06}{2} = 63,03 \text{ г/моль - экв}$$

Отсюда находим значение  $N_{\text{KOH}}$  после преобразований и подстановки соответствующих значений:

$$N_{\text{KOH}} = \frac{\left( \frac{0,7500 \cdot 1000}{63,03} + 0,1250 \cdot 4,02 \right)}{25,00} = 0,4962 \text{ моль - экв/л}$$

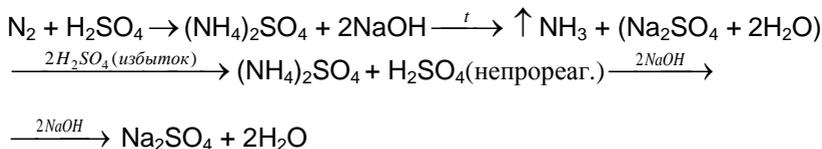
$$M_{\text{KOH}} = N_{\text{KOH}} = 0,4962 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* 0,4962 моль/л.

**Задача 5.** Из навески органического вещества массой  $0,5254 \text{ г}$  азот перевели с помощью концентрированной серной кислоты в соответствующую соль. При кипячении полученной соли с концентрированной щелочью выделившийся аммиак поглощен  $23,72 \text{ см}^3$  раствором

серной кислоты с концентрацией 0,1086 моль-экв/л, а оставшуюся после реакции кислоту оттитровали раствором гидроксида натрия концентрации 0,09682 моль/л. На титрование израсходовано 14,34 см<sup>3</sup> щелочи. Вычислите массовую долю азота в навеске.

*Решение.* Для определения азота в органическом соединении используют метод нейтрализации по остатку (обратное титрование).



В этом случае количество моль-эквивалентов азота в органическом соединении будет равно:

$$n_{\text{N}_2} = n_{\text{NH}_3} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} - n_{\text{NaOH}}$$

$$\text{где } n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{1000}$$

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{N_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{1000}$$

Для вычисления массовой доли азота в органическом соединении в процентах используем формулу, где разность определяет количество прореагировавшей с аммиаком  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с образованием в ходе анализа эквивалентного количества соли, содержащей такое же количество моль-эквивалентов азота:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{N}_2(\%)} &= \frac{N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4} - N_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{1000} \cdot M_{f(\text{N}_2)} \cdot \frac{100}{a} \\ \omega_{\text{N}_2(\%)} &= \frac{23,72 \cdot 0,1086 - 0,09682 \cdot 14,34}{1000} \cdot 4,66 \cdot \frac{100}{0,5254} = 1,05 \% \end{aligned}$$

*Ответ:* 1,05%.

**Теоретические сведения  
для выполнения расчетно-графического задания по теме  
«Кривые кислотно-основного титрования»**

В процессе титрования растворов кислот или оснований рН титруемого раствора непрерывно изменяется в зависимости от объема прибавленного титранта. Каждый процесс нейтрализации кислоты основанием (или наоборот) можно представить графически в виде кривой титрования. На оси абсцисс откладывают содержание (массовые доли в процентах) или объем (в миллилитрах) прибавленного стандартного раствора кислоты или щелочи, а на оси ординат – соответствующие значения рН раствора, рассчитанные в различные моменты титрования.

Типы кривых кислотно-основного титрования приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Типы кривых титрования**

Тип кривой титрования	Определяемое вещество	Титрант
1	Сильная кислота	Сильное основание
2	Сильное основание	Сильная кислота
3	Слабая кислота	Сильное основание
4	Сильное основание	Слабая кислота
5	Слабое основание	Сильная кислота
6	Сильная кислота	Слабое основание
7	Слабая кислота	Слабое основание
8	Слабое основание	Слабая кислота

Кривые титрования дают возможность проследить изменение рН раствора в различные моменты титрования, установить конец титрования и сделать правильный выбор индикатора для нахождения точки эквивалентности, что является самым важным в методе нейтрализации.

По мере титрования растворов кислоты или основания соответствующим титрантом происходит изменение среды из кислой в щелочную, или, соответственно, из щелочной в кислую. Если в начале титрования рН раствора изменяется медленно, то вблизи точки экви-

валентности происходит более или менее резкое изменение рН и наблюдается *скачок титрования*. В случае титрования слабой кислоты слабым основанием этот скачок не имеет ярко выраженного характера.

Скачок титрования соответствует объему прибавленного титранта вблизи точки эквивалентности (например, если титруют 100 мл одноосновной кислоты раствором щелочи той же концентрации, то скачок титрования начинается при 99,9 мл и заканчивается при 100,1 мл прибавленного титранта).

По величине скачка титрования судят о возможности выполнения данного титрования. Если скачок на кривой титрования мал или вообще вырожден в точку перегиба, то титрование выбранного вещества данным титрантом невозможно. Обычно в качестве титрантов используют сильные электролиты – растворы сильных кислот и щелочей.

Вид кривых титрования определяется характером титруемого вещества и используемого титранта. На рис. 1 представлены виды кривых титрования различных кислот щелочью.

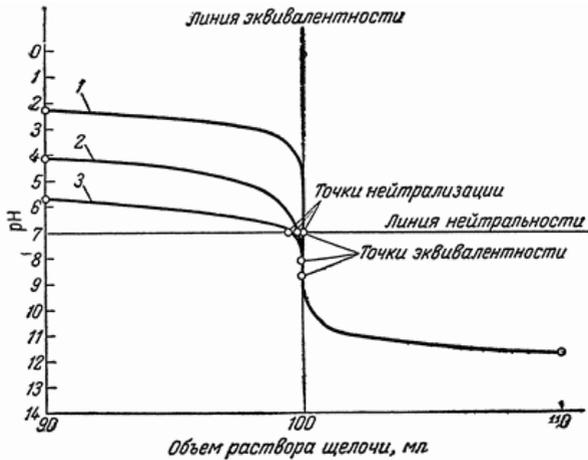


Рис. 1. Виды кривых нейтрализации растворов кислот, различающихся значениями рК:

1 – HCl; 2 – CH<sub>3</sub>COOH; 3 – кислоты слабее CH<sub>3</sub>COOH

Предположим, что для титрования взято 100 мл 0,1 н раствора HCl, который титруется 0,1 н раствором NaOH. В процессе титрования происходит снижение концентрации раствора HCl из-за непрерывной нейтрализации кислоты. Скачок титрования начинается при добавлении 99,9 мл титранта и заканчивается при 100,1 мл прибавленного тит-

ранта. В точке "100" наступает полная нейтрализация кислоты. Так как соль сильного основания и сильной кислоты не способна к гидролизу, величина рН этой точки (точки эквивалентности) равна семи. При дальнейшем титровании в растворе накапливается избыток щелочи.

Значения рН раствора, соответствующие различным моментам титрования, вычисляют по формулам, выражающим значения концентраций водородных ионов (рН титруемого раствора) в воде, водных растворах кислот, оснований, буферных смесей и гидролизующихся солей в зависимости от состава раствора при титровании в разные его моменты.

### Расчет рН в растворах различных электролитов

**Сильные кислоты.** В водных растворах сильных кислот протолитическое равновесие полностью смещено вправо, и поэтому концентрация ионов водорода в растворах сильных кислот равна концентрации кислоты, а концентрация аниона не зависит от кислотности раствора.

$$[\text{H}^+] = C_{\text{к-ты}};$$

$$\text{pH} = -\lg C_{\text{к-ты}} = \text{p}C_{\text{к-ты}}.$$

**Сильные основания.** Так как они диссоциированы также практически нацело, в растворах сильных оснований концентрация  $\text{OH}^-$  - ионов равна концентрации соответствующего гидроксида:

$$[\text{OH}^-] = C_{\text{осн}},$$

$$\text{pOH} = \text{p}C_{\text{осн}},$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14,$$

$$\text{pH} = 14 - \text{p}C_{\text{осн}}.$$

**Слабые кислоты.** В водном растворе слабые кислоты диссоциированы лишь частично. Например, в водном растворе уксусной кислоты существует равновесие:



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

В соответствии с уравнением диссоциации  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  равна  $[\text{H}^+]$  Равновесную концентрацию слабой кислоты  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$  можно приближенно считать равной общей концентрации (обозначаемой  $C_{\text{к-ты}}$ ) и тогда выражение для константы диссоциации слабой кислоты приобретает следующий вид:

$$K_{\text{к-ты}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{к-ты}}},$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{к-ты}} \cdot C_{\text{к-ты}}},$$

$$-\lg [\text{H}^+] = -\frac{1}{2} \lg(K_{\text{к-ты}} + C_{\text{к-ты}}),$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{\text{к-ты}} + \text{p}C_{\text{к-ты}}).$$

**Слабые основания.** Равновесия в растворах слабых электролитов рассчитываются аналогично. Например, в растворе  $\text{NH}_4\text{OH}$  существует равновесие:



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

$$K_{\text{осн}} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C_{\text{осн}}},$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{\text{осн}} \cdot C_{\text{осн}}},$$

$$-\lg [\text{OH}^-] = -\frac{1}{2} \lg(K_{\text{осн}} + C_{\text{осн}}),$$

$$\text{pOH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{\text{осн}} + \text{p}C_{\text{осн}}),$$

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} (\text{p}K_{\text{осн}} + \text{p}C_{\text{осн}}).$$

**Кислотный буфер.** Равновесие в растворе ацетатного буферного раствора ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) можно представить схемой:



Здесь основным поставщиком анионов является сильный электролит – ацетат натрия, так как слабая уксусная кислота образует при диссоциации незначительное количество  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , то

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = C_{\text{соли}},$$

т.е. концентрация аниона в буферной смеси равна концентрации соли.

Но так как диссоциация слабой кислоты невелика и, к тому же подавляется присутствием одноименных ионов соли, то можно приравнять концентрацию недиссоциированных молекул слабой кислоты к ее общей концентрации.

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = C_{\text{к-ты}}.$$

Вследствие этого для равновесия в ацетатном буфере имеем следующее выражение константы диссоциации:

$$K_{\text{к-ты}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{C_{\text{соли}} \cdot [\text{H}^+]}{C_{\text{к-ты}}} \text{ или}$$

$$[\text{H}^+] = K_{\text{к-ты}} \cdot \frac{C_{\text{к-ты}}}{C_{\text{соли}}},$$

т.к.  $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$ , то

$$\text{pH} = -\lg K_{\text{к-ты}} - \lg \frac{C_{\text{к-ты}}}{C_{\text{соли}}} = \text{p}K_{\text{к-ты}} - \lg \frac{C_{\text{к-ты}}}{C_{\text{соли}}},$$

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{к-ты}} + \lg \frac{C_{\text{соли}}}{C_{\text{к-ты}}} \text{ или}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{к-ты}} - \text{p}C_{\text{соли}} + \text{p}C_{\text{к-ты}}.$$

**Основной буфер.** Например, в буферном растворе, состоящем из гидроксида аммония и хлорида аммония, имеем:



$$K_{\text{осн}} = \frac{[\text{NH}_4^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} = \frac{C_{\text{соли}} \cdot [\text{OH}^-]}{C_{\text{осн}}} \text{ или}$$

$$[\text{OH}^-] = K_{\text{осн}} \cdot \frac{C_{\text{осн}}}{C_{\text{соли}}},$$

$$\text{pOH} = -\lg K_{\text{осн}} - \lg \frac{C_{\text{осн}}}{C_{\text{соли}}} = \text{p}K_{\text{осн}} - \lg \frac{C_{\text{осн}}}{C_{\text{соли}}},$$

Для перехода от концентрации ионов  $[\text{OH}^-]$  к pH используем выражение для ионного произведения воды:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad \text{или} \quad \text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

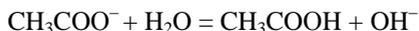
$$\text{pH} = 14 - \text{p}K_{\text{осн}} + \lg C_{\text{осн}} - \lg C_{\text{соли}},$$

$$\text{pH} = 14 - \text{p}K_{\text{осн}} - \lg \frac{C_{\text{соли}}}{C_{\text{осн}}} \quad \text{или}$$

$$\text{pH} = 14 - \text{p}K_{\text{осн}} + \text{p}C_{\text{соли}} - \text{p}C_{\text{осн}}$$

Здесь  $K_{\text{осн}}$  ( $K_b$ ) – константа основности, а  $\text{p}K_{\text{осн}}$  – ее силовой показатель.

**Гидролиз по аниону.** Соли, образованные катионами сильных оснований и анионами слабых кислот, гидролизуются по аниону.



Константа равновесия этого процесса выражается уравнением:

$$K = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} \quad \text{или}$$

$$K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]},$$

так как  $[\text{H}_2\text{O}]$  в растворе постоянна, а произведение двух констант  $K \cdot [\text{H}_2\text{O}]$  – тоже величина постоянная, то получим новую величину – *константу гидролиза соли*:

$$K_{\text{гидр}} = K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}.$$

Числовое значение  $K_{\text{гидр}}$  можно найти на основе двух величин – ионного произведения воды и константы диссоциации уксусной кислоты:

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_W, \quad \text{откуда}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_W}{[\text{H}^+]},$$

$$K_{\text{гидр}} = K_W \cdot \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \text{или}$$

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

Для получения формулы вычисления pH среды, образующейся в результате гидролиза солей слабых кислот и сильных оснований, проведем несложные преобразования:

$[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{OH}^-]$  – так как при гидролизе получают одинаковые концентрации этих ионов;

$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = C_{\text{соли}}$  – так как имеем соль – сильный электролит.

В результате получим:

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_W}{K_{\text{к-ты}}} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C_{\text{соли}}},$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_W \cdot \frac{C_{\text{соли}}}{K_{\text{к-ты}}}},$$

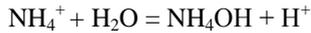
$$[\text{H}^+] = \frac{K_W}{[\text{OH}^-]},$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_W - \text{p}C_{\text{соли}} + \text{p}K_{\text{к-ты}}),$$

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}\text{p}K_{\text{к-ты}} + \frac{1}{2}\lg C_{\text{соли}}.$$

**Гидролиз по катиону.** Соли, образованные катионами слабых ос-

нований и анионами сильных кислот, гидролизуются по катиону.



Константа равновесия этого процесса выражается уравнением:

$$K = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} \text{ или}$$

$$K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]},$$

$$K_{\text{гидр}} = K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{NH}_4\text{OH}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

Числовое значение  $K_{\text{гидр}}$  находим аналогично:

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w, \text{ откуда } [\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]},$$

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

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{осн}}},$$

так как  $[\text{NH}_4\text{OH}] = [\text{OH}^-]$ ,  $[\text{NH}_4^+] = C_{\text{соли}}$ ,

$$\text{то получим: } K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{осн}}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{соли}}},$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_w \cdot \frac{C_{\text{соли}}}{K_{\text{осн}}}},$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_w - \text{p}K_{\text{осн}} + \text{p}C_{\text{соли}}),$$

$$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_{\text{осн}} - \frac{1}{2} \lg C_{\text{соли}}.$$

Полученные формулы для расчета pH различных электролитов сведены в табл. 2.

Таблица 2

### Формулы для расчета pH

Тип электролита	Расчетная формула
Сильная кислота	$pH = -\lg C_{\text{к-ты}} = pC_{\text{к-ты}}$
Сильная основание	$pH = 14 - pC_{\text{осн}}$
Слабая кислота	$pH = \frac{1}{2} (pK_{\text{к-ты}} + pC_{\text{к-ты}})$
Слабое основание	$pH = 14 - \frac{1}{2} (pK_{\text{осн}} + pC_{\text{осн}})$
Кислотный буфер	$pH = pK_{\text{к-ты}} + \lg \frac{C_{\text{соли}}}{C_{\text{к-ты}}}$
Основной буфер	$pH = 14 - pK_{\text{осн}} - \lg \frac{C_{\text{соли}}}{C_{\text{осн}}}$
Гидролиз соли, образованной сильным основанием и слабой кислотой	$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_{\text{к-ты}} + \frac{1}{2} \lg C_{\text{соли}}$
Гидролиз соли, образованной слабым основанием и сильной кислотой	$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_{\text{осн}} - \frac{1}{2} \lg C_{\text{соли}}$

При расчетах необходимо учитывать разбавление титруемого раствора в процессе титрования, концентрация которого изменяется по следующим формулам:

– до точки эквивалентности (левая ветвь кривой):

$$C = \frac{(100 - V) \cdot N}{100 + V};$$

– в точке эквивалентности (соответствует объему прибавленного титранта 100 мл):

$$C = \frac{100 \cdot N}{200};$$

– после точки эквивалентности (правая ветвь кривой):

$$C = \frac{(V - 100) \cdot N}{100 + V},$$

где  $V$  – объем прибавленного титранта, мл; «100» – объем исходного раствора, мл;  $C$  – концентрация титруемого раствора в различные моменты титрования;  $N$  – исходная нормальная концентрация титранта.

### Правила выбора индикатора для титрования

1. Интервал перехода окраски  $\Delta pH$  выбранного индикатора должен совпадать со скачком титрования (или входить в его область).
2. Показатель титрования индикатора  $pT$  должен приблизительно соответствовать значению  $pH$  в точке эквивалентности.

Но даже при правильном выборе индикатора конечная точка титрования (изменение окраски индикатора) не всегда совпадает с точкой эквивалентности, т.е. допускается погрешность, называемая *индикаторной ошибкой титрования*. Индикаторная ошибка титрования должна быть незначительной.

### Индикаторные ошибки титрования

Иногда индикаторную ошибку титрования называют просто ошибкой титрования, т.е. величина, найденная в конечной точке, за вычетом величины, отвечающей точке эквивалентности. Такое определение универсально и справедливо для всех титриметрических методов. Эти ошибки обусловлены тем, что титрование должно быть закончено при  $pH = 7$ , а практически при использовании индикаторов оно заканчивается либо в кислой, либо в щелочной средах.

–  $H^+$ -ошибка – водородная ошибка титрования обусловлена недотитрованием сильной кислоты сильной щелочью ( $H^+_{нед}$ ) или перетитрованием сильного основания сильной кислотой ( $H^+_{пер}$ ). Эта ошибка обусловлена присутствием  $H^+$ -ионов в конечной точке титрования.

–  $OH^-$ -ошибка – гидроксильная ошибка обусловлена недотитрованием сильного основания сильной кислотой (отрицательная ошибка) или перетитрованием сильной кислоты сильным основанием (положительная ошибка).

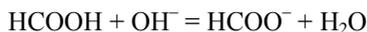
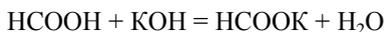
–  $HAp$ -ошибка – кислотная ошибка, вызываемая присутствием в титруемом растворе в конце титрования нейтральных молекул недотитрованной слабой кислоты.

–  $KtOH$ -ошибка – щелочная ошибка, вызываемая присутствием в титруемом растворе по окончании титрования нейтральных молекул недотитрованного слабого основания.

## Примеры выполнения расчетно-графического задания (расчет значений pH и построение кривой титрования)

### Титрование слабой кислоты раствором щелочи

Уравнение реакции титрования кислоты щелочью:



Исходные данные:

- начальный объем  $V_{\text{НСООН}} = 100,0$  мл;
- молярная концентрация  $C_{\text{НСООН}} = C_{\text{КОН}} = 0,05$  моль/л;
- показатель константы диссоциации НСООН:  $\text{pK} = 3,75$ .

1. В начале титрования имеем только слабую кислоту, так как константа диссоциации  $K < 2 \cdot 10^{-2}$ . Константу диссоциации НСООН можно взять из справочника [1] или рассчитать по значению  $\text{pK}$  (см табл. 4).

$$\text{pK} = -\lg K,$$

$$K = 10^{-\text{pK}} = 1,77 \cdot 10^{-4}.$$

Объем титранта в начальный момент  $V_{\text{КОН}} = 0$  мл:

$$\text{pH} = 1/2(\text{pK} + \text{pC}) = 1/2(3,75 + 1,30) = 2,53.$$

2. В процессе титрования слабой кислоты щелочью образуется кислотный (формиатный) буферный раствор, состоящий из неоттитрованной муравьиной кислоты и образующейся в процессе титрования соли (НСООК):

$$\text{pH} = \text{pK} - \lg C_{\text{кисл.}} + \lg C_{\text{соли}}$$

а)  $V_{\text{КОН}} = 10$  мл:

$$\text{pH} = 3,75 - \lg((100-10) \cdot 0,05 / (100+10)) + \lg(10 \cdot 0,05 / 110) = 2,80;$$

б)  $V_{\text{КОН}} = 50$  мл:

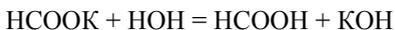
$$\text{pH} = 3,75 - \lg((100-50) \cdot 0,05 / (100+50)) + \lg(50 \cdot 0,05 / 150) = 3,75;$$

в)  $V_{\text{КОН}} = 99,9$  мл – начало скачка титрования (рис. 2):

$$pH = 3,75 - \lg((100 - 99,9) \cdot 0,05 / 100 + 99,9) + \lg(99,9 \cdot 0,05 / 199,9) = 7,28.$$

3. В точке эквивалентности вся кислота израсходована на образование соли, гидролизующейся по аниону с образованием ионов  $\text{OH}^-$ , – слабощелочная среда:

$$V_{\text{KOH}} = V_{\text{HCOOH}} = 100,0 \text{ мл:}$$



$$pH = \frac{1}{2} (14 + pK - pC_{\text{соли}}) = 7 + \frac{1}{2} pK + \frac{1}{2} \lg C_{\text{соли}},$$

$$pH = 7 + \frac{1}{2} \cdot 3,75 + \frac{1}{2} \lg(100 \cdot 0,05 / 200) = 8,07.$$

4. После точки эквивалентности имеем избыток добавленной при титровании щелочи:

$$pH = 14 - pOH, \text{ где } pOH = -\lg C_{\text{KOH}}$$

а)  $V_{\text{KOH}} = 100,1$  мл – конец скачка титрования:

$$pH = 14 - (-\lg(0,1 \cdot 0,05 / 200,1)) = 9,40;$$

б)  $V_{\text{KOH}} = 110,0$  мл:

$$pH = 14 - (-\lg(10,0 \cdot 0,05 / 210,0)) = 11,38.$$

Рассчитанные значения pH записываем в сводную табл. 3 и строим кривую титрования (рис. 2).

Таблица 3

### Значения pH в различные моменты титрования

$V, \text{ мл}$	0	10	50	99,9	100	100,1	110
pH	2,53	2,80	3,75	7,28	8,07	9,40	11,38

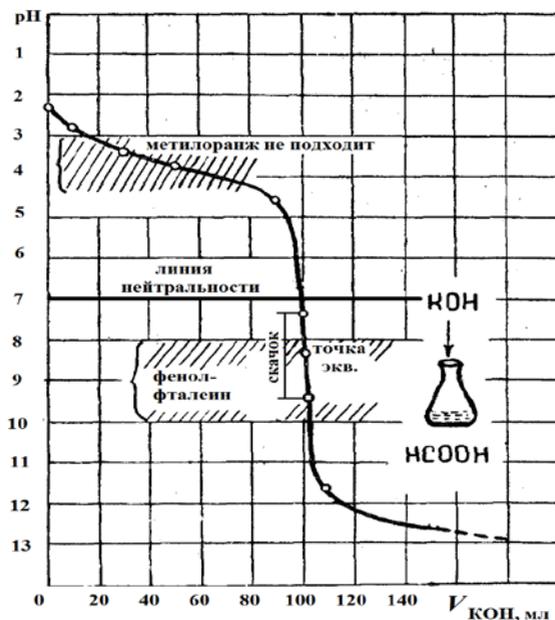
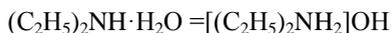


Рис. 2. Кривая титрования муравьиной кислоты щелочью

### Титрование слабого основания сильной кислотой

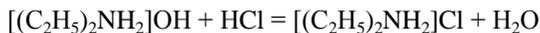
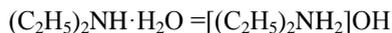
В качестве слабого основания возьмем водный раствор диэтиламина:



Исходные данные:

- начальный объем  $V_{\text{осн}} = 100,0$  мл;
- молярная концентрация  $C_{\text{осн}} = C_{\text{HCl}} = 0,05$  моль/л;
- показатель константы диссоциации  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ :  $\text{p}K = -\lg K = 3,02$ .

Реакция титрования водного раствора диэтиламина хлористоводородной кислотой:



1. В начале титрования имеем только слабое основание  
 $V_{\text{HCl}} = 0$ :

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2}(\text{p}K + \text{p}C) = 14 - \frac{1}{2}(3,02 + 1,30) = 11,84.$$

2. В процессе титрования слабого основания сильной кислотой образуется основной буферный раствор, состоящий из неоттитрованного слабого основания и образующейся в процессе титрования соли:

$$\text{pH} = 14 - \text{pK} + \lg C_{\text{осн}} - \lg C_{\text{соли}}$$

а)  $V_{\text{HCl}} = 10,0$  мл:

$$\text{pH} = 14 - 3,02 + \lg((100 - 10) \cdot 0,05 / (100 + 10)) - \lg(10 \cdot 0,05 / 110) = 11,93;$$

б)  $V_{\text{HCl}} = 50,0$  мл:

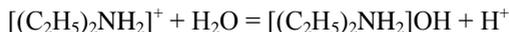
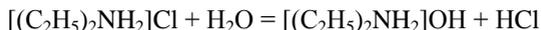
$$\text{pH} = 14 - 3,02 + \lg((100 - 50) \cdot 0,05 / (100 + 50)) - \lg(50 \cdot 0,05 / 150) = 10,98;$$

в)  $V_{\text{HCl}} = 99,9$  мл – начало скачка титрования:

$$\text{pH} = 14 - 3,02 + \lg((100 - 99,9) \cdot 0,05 / (100 + 99,9)) - \lg(99,9 \cdot 0,05 / 199,9) = 7,98.$$

3. В точке эквивалентности вся кислота израсходована на образование соли, гидролизующейся по катиону с образованием слабокислой среды:

$$V_{\text{осн}} = V_{\text{HCl}} = 100,0 \text{ мл:}$$



$$\text{pH} = \frac{1}{2} (14 - \text{pK} + \text{p}C_{\text{соли}}) = 7 - \frac{1}{2} \text{pK} - \frac{1}{2} \lg C_{\text{соли}}$$

$$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \cdot 3,02 - \frac{1}{2} \lg(100 \cdot 0,05 / 200) = 6,29.$$

4. После точки эквивалентности имеем избыток добавленной при титровании кислоты:

$$\text{pH} = -\lg C_{\text{HCl}}, \text{ где } C_{\text{HCl}} = [\text{H}^+], \text{ т.к. кислота сильная.}$$

а)  $V_{\text{HCl}} = 100,1$  мл – конец скачка титрования:

$$\text{pH} = -\lg(0,1 \cdot 0,05 / 200,1) = 4,60;$$

б)  $V_{\text{HCl}} = 110,0$  мл:

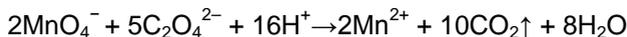
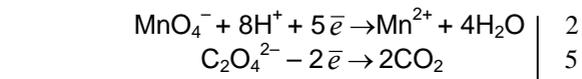
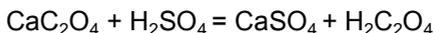
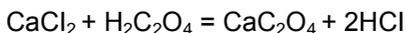
$$\text{pH} = -\lg(10,0 \cdot 0,05 / 210,0) = 2,62.$$

Рассчитанные значения pH заносим в сводную таблицу (аналогичную табл. 3), строим кривую титрования и подбираем индикатор.

## 2. Методы редоксиметрии (окислительно-восстановительное титрование)

**Задача 1.** Навеска 0,1602 г известняка была растворена в соляной кислоте, после чего ионы кальция осадили в виде оксалата кальция, который затем растворили в разбавленной серной кислоте и оттитровали 20,75 см<sup>3</sup> раствора перманганата калия, титр которого по CaCO<sub>3</sub> равен 0,006020. Рассчитайте массовую долю CaCO<sub>3</sub> в известняке.

*Решение.* В перманганатометрии при анализе известняка протекают следующие реакции:



В косвенном титровании по заместителю количество определяемого вещества – карбоната кальция – эквивалентно количеству его заместителя – щавелевой кислоты (оксалат-ионов), которое, в свою очередь, эквивалентно затраченному на титрование количеству перманганата калия. Поэтому находим массу известняка по формуле:

$$m_{\text{CaCO}_3} = T_{\text{KMnO}_4/\text{CaCO}_3} \cdot V_{\text{KMnO}_4} = 0,006020 \cdot 20,75 = 0,1249 \text{ г}$$

Массовая доля CaCO<sub>3</sub> в известняке:

$$\omega_{\text{CaCO}_3} = m_{\text{CaCO}_3} \cdot \frac{100}{a} = 0,1249 \cdot \frac{100}{0,1602} = 77,97\%$$

*Ответ:* 77,97%

**Задача 2.** Какую навеску перманганата калия необходимо взять для приготовления 200 см<sup>3</sup> раствора с концентрацией 0,05 моль-экв/л,

если титрование проводить: а) в сильноокислой среде; б) в нейтральной, слабощелочной или слабоокислой среде?

*Решение.*  $\text{KMnO}_4$  проявляет окислительные свойства, восстанавливаясь в зависимости от среды до  $\text{Mn}^{2+}$  (кислая среда) или  $\text{Mn}^{+4}$  ( $\text{MnO}_2$ ) в нейтральной, слабощелочной или слабоокислой среде с участием соответственно пяти или трех электронов по ранее приведенным уравнениям реакций.

Молярную массу эквивалента находят по формуле:

$$M_{f(\text{KMnO}_4)} = M \cdot f,$$

где  $M = 158,04$  г/моль, а  $f$  – фактор эквивалентности, зависящий от числа присоединенных электронов, поэтому:

$$\text{а) } M_{f(\text{KMnO}_4)} = \frac{M_{(\text{KMnO}_4)}}{5} = \frac{158,04}{5} = 31,61 \text{ г/моль - экв.};$$

$$\text{б) } M_{f(\text{KMnO}_4)} = \frac{M_{(\text{KMnO}_4)}}{3} = \frac{158,04}{3} = 52,68 \text{ г/моль - экв.}.$$

Расчет навески вещества проводят по формуле:

$$a_{\text{KMnO}_4} = \frac{N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} \cdot M_{f(\text{KMnO}_4)}}{1000},$$

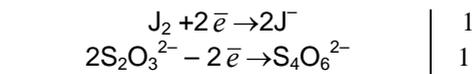
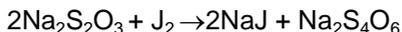
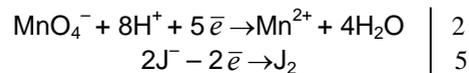
$$\text{а) } a_{\text{KMnO}_4} = \frac{0,05 \cdot 200 \cdot 31,61}{1000} = 0,3161 \text{ г};$$

$$\text{б) } a_{\text{KMnO}_4} = \frac{0,05 \cdot 200 \cdot 52,68}{1000} = 0,5268 \text{ г}.$$

*Ответ:* а) 0,3161 г; б) 0,5268 г.

**Задача 3.** К подкисленному серной кислотой раствору  $\text{KI}$  добавили  $20 \text{ см}^3$  раствора  $\text{KMnO}_4$  с концентрацией  $0,1085$  моль-экв./л. На титрование выделившегося иода пошло  $23,45 \text{ см}^3$  раствора тиосульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Вычислите молярную концентрацию раствора тиосульфата натрия.

*Решение.* При решении подобных задач необходимо привести соответствующие окислительно-восстановительные реакции:



По закону эквивалентов  $n_{\text{KMnO}_4} = n_{\text{I}_2} = n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ .

Далее, используя правило пропорциональности, найдем нормальность раствора тиосульфата натрия

$$N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4},$$

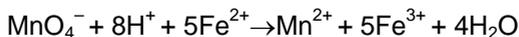
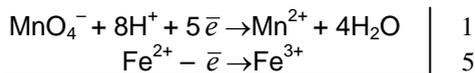
$$N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4}}{V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}} = \frac{0,1085 \cdot 20}{23,45} = 0,09254,$$

$$\text{т.к. } M_{f(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} = \frac{2M}{2}, \text{ то } C_M = C_H = 0,09254 \text{ моль/л.}$$

*Ответ:* 0,09254 моль/л.

**Задача 4.** Навеску образца массой 0,1000 г с массовой долей ( $\omega$ ) железа 99,98% растворили в серной кислоте без доступа воздуха и оттитровали раствором  $\text{KMnO}_4$  концентрации 0,1 моль-экв/л. Определить объем  $\text{KMnO}_4$ , израсходованный на титрование.

*Решение.* При решении подобных задач необходимо привести соответствующие окислительно-восстановительные реакции:



$$\omega_{\text{Fe}} = \frac{N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} \cdot M_{f(\text{Fe})}}{1000} \cdot \frac{100}{a},$$

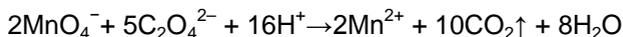
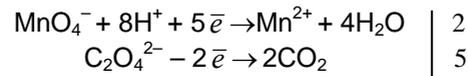
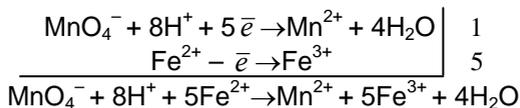
$$99,98 = \frac{0,1 \cdot V_{\text{KMnO}_4} \cdot 56}{1000} \cdot \frac{100}{0,1},$$

$$V_{\text{KMnO}_4} = 17,85 \text{ см}^3.$$

*Ответ:* 17,85 см<sup>3</sup>.

**Задача 5.** Навеску сплава массой 1,0000 г, содержащего железо, обработали раствором серной кислоты. К раствору добавили 25 см<sup>3</sup> 0,2 н. раствора  $\text{KMnO}_4$ , на титрование избытка которого израсходовали 5 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Рассчитайте содержание  $\text{Fe}$  ( $\omega$ , %) в образце.

*Решение.* При решении подобных задач необходимо привести соответствующие окислительно-восстановительные реакции:



Содержание  $\text{Fe}$  ( $\omega$ , %) в образце рассчитываем по формуле для обратного титрования:

$$\omega_{\text{Fe}} = \frac{N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} - N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{1000} \cdot M_{f(\text{Fe})} \cdot \frac{100}{a},$$

$$\omega_{\text{Fe}} = \frac{0,2 \cdot 25 - 0,1 \cdot 5}{1000} \cdot 56 \cdot \frac{100}{1} = 25,2\%.$$

*Ответ:* 25,2%.

### 3. Метод комплексонометрии (комплексонометрическое титрование)

**Задача 1.** Какова жесткость воды, содержащей в 1 дм<sup>3</sup> 0,6 г CaCl<sub>2</sub>.

*Решение:* жесткость воды ( $J_{\text{воды}}$ ) определяется содержанием ммоль-экв ионов кальция и магния в 1 дм<sup>3</sup>.

Определим содержание ионов [Ca<sup>2+</sup>]

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{g_{\text{CaCl}_2} \cdot M_{\text{Ca}^{2+}}}{M_{\text{CaCl}_2}} = \frac{0,6 \cdot 40,08}{110,986} = 0,2167 \text{ г} = 216,7 \text{ мг.}$$

Находим жесткость воды

$$J = \frac{C_{\text{Ca}^{2+}}}{M_{f(\text{Ca}^{2+})}} = \frac{216,7}{20,04} = 10,81 \text{ ммоль - экв/л,}$$

$$\text{Здесь } M_{f(\text{Ca}^{2+})} = \frac{M_{\text{Ca}^{2+}}}{2} = \frac{40,08}{2} = 20,04 \text{ г/моль - экв.}$$

*Ответ:*  $J = 10,81$  ммоль-экв/л.

**Задача 2.** В 250 см<sup>3</sup> воды содержится 4,60 мг ионов Ca<sup>2+</sup> и 2,40 мг ионов Mg<sup>2+</sup>. Определите общую жесткость воды.

*Решение:* Определяем количество миллиграммов ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в 1 дм<sup>3</sup> воды

$$C_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{1000 \cdot 4,60}{250} = 18,40 \text{ мг/дм}^3,$$

$$C_{\text{Mg}^{2+}} = \frac{1000 \cdot 2,40}{250} = 9,60 \text{ мг/дм}^3.$$

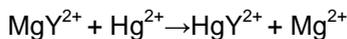
Находим общую жесткость, моль-экв/л:

$$J_{\text{общ}} = \frac{18,40}{20,04} + \frac{9,60}{12,15} = 0,9182 + 0,7895 = 1,7077 \text{ ммоль - экв/л,}$$

Здесь 1 ммоль-экв/л соответствует 20,04 мг/дм<sup>3</sup> ионов кальция или 12,16 мг/дм<sup>3</sup> ионов магния.

*Ответ:*  $J_{\text{общ}} = 1,7077$  ммоль-экв/л.

**Задача 3.** На титрование  $20,00 \text{ см}^3$  раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  после добавления избытка  $\text{Na}_2\text{MgY}$  (комплексоната магния) и протекания реакции замещения



затрачено  $19,85 \text{ см}^3$   $0,05 \text{ М}$  ЭДТА ( $K=1,0550$ ). Вычислите концентрацию ( $\text{г/дм}^3$ ) раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ .

*Решение:* при титровании по методу замещения

$$n(\text{Hg}^{2+}) = n(\text{Mg}^{2+}) = n(\text{ЭДТА}).$$

Выразим количество вещества ЭДТА (моль-экв) с учетом условия задачи

$$n(\text{ЭДТА}) = \frac{N \cdot K \cdot V}{1000}.$$

Тогда массу определяемого вещества можно представить формулой

$$m(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = \frac{N_{\text{ЭДТА}} \cdot K \cdot V_{\text{ЭДТА}}}{1000} M_f(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2).$$

Концентрацию исходного раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  можно выразить в виде

$$x = \frac{N_{\text{ЭДТА}} \cdot K \cdot V_{\text{ЭДТА}}}{1000} M_f(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) \cdot \frac{1000}{V(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2)}.$$

После подстановки числовых значений получаем:

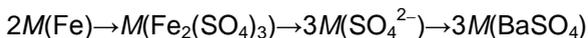
$$x = \frac{(0,05 \cdot 2) \cdot 1,055 \cdot 19,85}{1000} \cdot \frac{324,60}{2} \cdot \frac{1000}{20,00} = 16,99 \text{ г/л}.$$

*Ответ:* 16,99 г/л.

#### 4. Гравиметрические методы анализа

**Задача 1.** При определении железа в препарате сульфата железа (III) взвешивают  $\text{BaSO}_4$ . Запишите выражение для гравиметрического фактора.

*Решение:* между Fe и BaSO<sub>4</sub> существует стехиометрическое соотношение

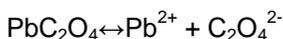


Гравиметрический фактор будет равен

$$F = \frac{2M(\text{Fe})}{3M(\text{BaSO}_4)}$$

**Задача 2.** Вычислите растворимость PbC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> в воде.

*Решение:* при растворении PbC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> в воде протекает диссоциация по уравнению:



$$\text{ПР}_{\text{PbC}_2\text{O}_4} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$$

Если  $P$  – растворимость PbC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (моль/л), то

$$P = [\text{Pb}^{2+}] = [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = \sqrt{\text{ПР}_{\text{PbC}_2\text{O}_4}} = \sqrt{4,8 \cdot 10^{-10}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

*Ответ:*  $2,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**Задача 3.** Выпадет ли осадок при смешении равных объемов 0,05М раствора ацетата свинца Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> и 0,5М раствора хлорида калия KCl?

*Решение:* концентрации ионов свинца и хлора в момент смешивания равных объемом уменьшаться в два раза:

$$[\text{Pb}^{2+}] = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л, } [\text{Cl}^-] = 2,5 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л.}$$

Произведение концентраций ионов в этом случае равно:

$$[\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]^2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot (2,5 \cdot 10^{-1})^2 = 1,56 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{ПР}_{\text{PbCl}_2} = 1,6 \cdot 10^{-5} \quad (\text{прил.1.})$$

*Ответ:* полученная величина произведения концентраций ионов почти в 100 раз превышает величину произведения растворимости. Поэтому раствор окажется пересыщенным в отношении данной соли и часть PbCl<sub>2</sub> выпадает в осадок.

**Задача 4.** Вычислите растворимость  $\text{BaSO}_4$  в присутствии 0,1 М раствора  $\text{KCl}$ .

*Решение:* определяем ионную силу раствора:

$$I = \frac{1}{2} \sum C_i \cdot z_i^2 = \frac{1}{2} (C_{\text{Ba}^{2+}} \cdot z_{\text{Ba}^{2+}}^2 + C_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot z_{\text{SO}_4^{2-}}^2 + C_{\text{K}^+} \cdot z_{\text{K}^+}^2 + C_{\text{Cl}^-} \cdot z_{\text{Cl}^-}^2) =$$

$$\frac{1}{2} (1,05 \cdot 10^{-5} \cdot 4 + 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot 4 + 10^{-1} + 10^{-1}) = 10^{-1}.$$

Значения коэффициента активности  $\gamma$  для рассчитанной ионной силы раствора находят по справочнику или путем расчета на основании формулы Дебая-Хюккеля:

$$\lg \gamma = -0,5z^2 \cdot \sqrt{I},$$

$$\gamma_{\pm} = \gamma_{\text{Ba}^{2+}} = \gamma_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,33.$$

Так как  $\text{PP}_a = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] \cdot \gamma_{\text{Ba}^{2+}} \cdot \gamma_{\text{SO}_4^{2-}}$ , то

$$[\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = \frac{\text{PP}_a}{\gamma_{\text{Ba}^{2+}} \cdot \gamma_{\text{SO}_4^{2-}}},$$

$$[\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = P^2,$$

$$P = \sqrt{\frac{\text{PP}}{\gamma_{\pm}^2}} = \frac{1}{\gamma} \sqrt{\text{PP}},$$

$$P = \frac{1}{0,33} \sqrt{1,1 \cdot 10^{-10}} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л},$$

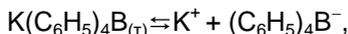
следовательно, растворимость  $\text{BaSO}_4$  в присутствии электролита с разноименными ионами ( $\text{KCl}$ ) повышается:

$$\frac{1,05 \cdot 10^{-5}}{3,2 \cdot 10^{-5}} = 3 \text{ раза.}$$

*Ответ:*  $3,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**Задача 5.** Вычислите потери (г, %) при промывании 0,5000 г осадка тетрафенилбората калия  $K(C_6H_5)_4B$  ( $M = 358,33$  г/моль) 250,0 см<sup>3</sup> воды.

*Решение:* равновесие в растворе над осадком



$$PP = [K^+] [(C_6H_5)_4B^-] = 2,25 \cdot 10^{-8} \text{ (прил. 3)}.$$

Если  $P$  – растворимость осадка (моль/л), то  $P = [K^+] = [(C_6H_5)_4B^-]$ ,

$$P^2 = 2,25 \cdot 10^{-8},$$

$$P = \sqrt{2,25 \cdot 10^{-8}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л,}$$

Потери за счет растворимости равны:

$$\frac{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 358,33 \cdot 250,0}{1000} = 0,0134 \text{ г,}$$

$$\text{или } \frac{0,0134 \cdot 100}{0,5000} = 2,69\%.$$

*Ответ:* 0,0134 г, 2,69%.

### РАСЧЕТНЫЕ И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Навеску  $Na_2CO_3$  0,5300 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,00 см<sup>3</sup>. На титрование 25,00 см<sup>3</sup> этого раствора израсходовали 24,50 см<sup>3</sup> раствора  $HCl$  в присутствии метилового оранжевого. Вычислите нормальную концентрацию раствора карбоната натрия и молярную концентрацию раствора  $HCl$ .

Как титруется сода с различными индикаторами (с фенолфталеином и метилоранжем)?

2. Какую навеску щелочи, содержащую 8% индифферентных примесей, следует взять для приготовления: а) 1 дм<sup>3</sup> раствора с титром 0,00500; б) 1,5 дм<sup>3</sup> раствора с титром по оксиду кальция 0,00350?

Как можно определить примеси карбонатов в щелочи (приведите методику и химизм определения)?

3. Растворением навески тетрабората натрия (буры) 0,6227 г приготовили 200,00 см<sup>3</sup> раствора. 20 см<sup>3</sup> этого раствора оттитровали 19,50 см<sup>3</sup> раствора HCl. Вычислите нормальность раствора буры и молярность раствора кислоты.  
Опишите использование буры как установочного вещества в методе нейтрализации.
4. Навеска уксусной кислоты 1,000 г растворена в мерной колбе вместимостью 200,00 см<sup>3</sup>. На титрование 20,00 см<sup>3</sup> этого раствора израсходовали 15,50 см<sup>3</sup> раствора гидроксида натрия с титром 0,004088. Вычислите массовую долю уксусной кислоты в образце и приведите методику титрования с использованием метода пипетирования и метода отдельных навесок.
5. При титровании 20,00 см<sup>3</sup> раствора соды в присутствии метилового оранжевого пошло 19,16 см<sup>3</sup> 0,9916M раствора HCl. Вычислите массовую долю Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в растворе, если плотность раствора 1,050 г/см<sup>3</sup>. Проведите расчеты с использованием этих данных и дайте пояснения. Как титруется сода с фенолфталеином?
6. Какой объем серной кислоты плотностью 1,07 г/см<sup>3</sup> с массовой долей H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% нужно взять для анализа, чтобы на ее титрование пошло 20,02 см<sup>3</sup> 0,2M раствора едкого натра, для которого поправочный коэффициент 1,0036?  
Опишите сущность алкалиметрии.
7. Какую массу раствора аммиака плотностью 0,91 г/см<sup>3</sup> нужно взять, чтобы на титрование этого раствора расходовалось 35,07 см<sup>3</sup> 0,5004 M раствора серной кислоты?  
Как определяется аммиак обратным титрованием?
8. Какова массовая доля N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в азотной кислоте, если для титрования 2,1360 г этого раствора расходуется 18,30 см<sup>3</sup> гидроксида натрия с титром 0,004153?  
Опишите сущность ацидиметрии.
9. Для установления точной концентрации пипеткой отобрали 25 см<sup>3</sup> раствора едкого натра, на титрование которого затратили 23,61 см<sup>3</sup> раствора соляной кислоты с титром 0,004023. Вычислите титр раствора щелочи и титр щелочи по соляной кислоте.  
Объясните, как связаны между собой понятия титр и титр по определяемому веществу.
10. К 0,7504 г вещества H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, растворенного в воде, добавили 25 см<sup>3</sup> раствора гидроксида калия, а избыток последнего оттитровали 4,02 см<sup>3</sup> 0,1250 M раствора HCl. Рассчитайте молярную концентрацию раствора KOH.  
Какие требования предъявляют к установочным веществам?

11. К анализируемому раствору хлорида аммония прибавили 25,00 см<sup>3</sup> раствора гидроксида натрия с титром 0,004500. Затем кипячением удалили из раствора аммиак, а избыток щелочи оттитровали 10,50 см<sup>3</sup> раствора HCl с титром 0,003650. Вычислите массу аммиака в анализируемом растворе.  
Как проводят анализ вещества с использованием обратного титрования, в каких случаях его используют?
12. Какую навеску каустической соды следует взять для анализа на содержание NaOH, чтобы на титрование полученного из нее раствора расходовалось 30,02 см<sup>3</sup> 0,5006 М раствора HCl?  
Охарактеризуйте карбонат натрия как установочное вещество для кислот.
13. Навеска 1,6160 г технического сульфата аммония для определения содержания в нем аммиака растворена в мерной колбе вместимостью 250 см<sup>3</sup>. При кипячении 25,00 см<sup>3</sup> полученного раствора с концентрированным раствором гидроксида натрия выделяющийся аммиак был поглощен титрованным раствором серной кислоты, а ее избыток оттитрован щелочью. Рассчитайте процентное содержание аммиака в (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, если для поглощения аммиака было взято 40,00 см<sup>3</sup> 0,1020 н. раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, а на обратное титрование израсходовано 17,00 см<sup>3</sup> 0,09690 н раствора NaOH. Приведите методику и химизм определения аммиака.
14. В прибор для определения аммонийных солей методом отгонки прилили 25 см<sup>3</sup> раствора NH<sub>4</sub>Cl и обработали концентрированным раствором NaOH. Аммиак отогнали в 50 см<sup>3</sup> раствора HCl, титр которого (T<sub>HCl</sub>) равен 0,003046 г/см<sup>3</sup>. Затем избыток HCl оттитровали 23,05 см<sup>3</sup> раствора щелочи с T<sub>NaOH</sub> = 0.004015 г/см<sup>3</sup>. Сколько граммов хлорида аммония содержится во взятой пробе?
15. Какие установочные вещества для кислот известны и какие требования к ним предъявляются? Охарактеризуйте подробно достоинства и недостатки тетрабората натрия как установочного вещества; напишите уравнение реакции с HCl, обоснуйте, путем расчета выбор индикатора.
16. Технический карбонат натрия содержит около 90% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и инертные примеси. Какую навеску пробы следует взять, чтобы на титрование ее с индикатором фенолфталеином пошло не более 25 см<sup>3</sup> раствора HCl (T<sub>HCl/Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></sub> = 0,01025). Приведите методику титрования.
17. Навеска 1,6160 г технического (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> для определения содержания в нем NH<sub>3</sub> растворена в мерной колбе вместимостью 250 см<sup>3</sup>. При кипячении 25,00 см<sup>3</sup> полученного раствора с концен-

трированным раствором  $\text{NaOH}$  выделяющийся аммиак поглощен титрованным раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Избыток серной кислоты оттитрован раствором  $\text{NaOH}$ . Рассчитайте процентное содержание аммиака в  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , если для поглощения  $\text{NH}_3$  было взято  $40,00 \text{ см}^3$   $0,0120 \text{ н.}$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , а на обратное титрование израсходовано  $17,00 \text{ см}^3$   $0,09690 \text{ н.}$  раствора  $\text{NaOH}$ . Приведите методику титрования.

18. Образец оксида магния в количестве  $0,1635 \text{ г}$  растворили в  $40 \text{ см}^3$  раствора хлористоводородной кислоты ( $T_{\text{HCl}}=0.003646 \text{ см}^3$ ). Избыток кислоты оттитрован  $5,50 \text{ см}^3$  раствора щелочи с  $T=0,004040 \text{ г/см}^3$ . Какое процентное содержание  $\text{MgO}$  было в образце?

Опишите сущность алкалиметрии.

19. Азот из навески  $0,8880 \text{ г}$  органического вещества действием концентрированной серной кислотой перевели в  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , при кипячении которого с концентрированной щелочью получен аммиак. Выделившийся  $\text{NH}_3$  поглощен  $0,1200 \text{ н.}$  раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , взятым в количестве  $50,0 \text{ см}^3$ . Сколько процентов азота содержит органическое вещество, если на титрование избытка серной кислоты израсходовано  $12,0 \text{ см}^3$   $0,09800 \text{ н.}$  раствора  $\text{NaOH}$ ?

Приведите соответствующие уравнения реакций и объясните способ титрования и методику определения.

20. Найдите нормальность раствора едкого натра, если на титрование  $16,78 \text{ см}^3$  этого раствора затрачено  $17,21 \text{ см}^3$  раствора хлористоводородной кислоты с титром  $0,003604$ .

Опишите метод определения нормальности  $\text{HCl}$  по тетраборату натрия.

21. В распоряжении аналитика имеется  $500 \text{ см}^3$  раствора аммиака с концентрацией  $\text{NH}_3$ , равной  $1 \text{ моль/л}$ . Как из этого раствора приготовить буферный раствор с  $\text{pH} = 8,25$ ?

22. Насыщенный при  $293 \text{ К}$  раствор бензойной кислоты имеет  $\text{pH} = 3$ . Рассчитайте растворимость бензойной кислоты (в  $\text{г}$  на  $100 \text{ см}^3$  раствора).

23. Растворимость  $\text{CO}_2$  в воде составляет  $0,034 \text{ моль/л}$ , а  $\text{pH}$  такого раствора равна  $3,7$ . Рассчитайте константу диссоциации угольной кислоты, считая, что весь  $\text{CO}_2$  при растворении переходит в  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

24. Раствор  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  с концентрацией  $0,4 \text{ моль/л}$  имеет  $\text{pH} = 4,8$ . Рассчитайте константу диссоциации аммиака.

25. Раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  используется в качестве группового реактива на IV аналитическую группу катионов. Рассчитайте приближен-

- ное значение pH и равновесную концентрацию карбонат-ионов в растворе этой соли при ее исходной концентрации 0,1 моль/л.
26. Сколько граммов ацетата натрия необходимо добавить к 2,0 дм<sup>3</sup> раствора СН<sub>3</sub>СООН с концентрацией 0,316 моль/л, чтобы получить буферный раствор с pH = 4,87? Изменением, объема при растворении соли можно пренебречь.
  27. Сколько миллилитров раствора с концентрацией NaOH 0,1 моль/л необходимо добавить к 200 мл раствора с концентрацией C(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH) = 5·10<sup>-2</sup> моль/л, чтобы получить раствор с pH = 4?
  28. Считая, что кислотность желудочного сока (pH = 1,85 ± 0,15) практически полностью обеспечивается соляной кислотой, рассчитайте ее концентрацию в желудочном соке. Как изменится кислотность сока, если к 100 см<sup>3</sup> его прибавить: а) 10 см<sup>3</sup> раствора с концентрацией NH<sub>4</sub>OH 0,1 моль/л; б) 10 см<sup>3</sup> раствора с концентрацией СН<sub>3</sub>СООН 0,5 моль/л, если к 100 см<sup>3</sup> его прибавить 10 см<sup>3</sup> раствора NaOH с концентрацией 0,1 моль/л?
  29. Вычислите концентрацию водородных ионов и водородный показатель раствора муравьиной кислоты, степень диссоциации которой в этом растворе 5,2 %.
  30. Заменитель сахара сахарин проявляет слабокислотные свойства (pK<sub>б</sub> = 11,68). Рассчитайте pH в растворе сахарина с концентрацией 0,1 моль/л.
  31. Считая, что при укусе муравья вносится 10<sup>-6</sup> моль муравьиной кислоты и объем первоначально образующегося раствора равен 10<sup>-3</sup> см<sup>3</sup>, рассчитайте pH в месте укуса.
  32. Морфин представляет собой слабое органическое основание (pK=6,1). Рассчитайте pH раствора морфина с концентрацией 0,1 моль/л.
  33. В качестве одного из стандартных растворов, используемых при измерении pH, рекомендуется раствор бифталата калия C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(COOH)(COOK) с концентрацией 0,05 моль/л. Рассчитайте приближенное значение pH этого раствора.
  34. Вычислите концентрацию водородных ионов и pH в 0,01 н. растворе бензойной кислоты (K=6,6·10<sup>-5</sup>) и в 0,11%-ном растворе гидроксида бария.
  35. Аскорбиновая кислота (витамин С) C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>O<sub>6</sub> имеет константу диссоциации, равную 8·10<sup>-5</sup>. Рассчитайте pH раствора, полученного растворением таблетки витамина С массой 0,5 г в 200 см<sup>3</sup> воды.
  36. Бензойную кислоту C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH можно использовать для консервирования пищевых продуктов. Сколько граммов кислоты содержится в 3 дм<sup>3</sup> раствора этой кислоты с pH = 2,8?

37. Диметиламин  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$  используется как инсектицид. Рассчитайте pH водного раствора этого вещества, если  $C((\text{CH}_3)_2\text{NH}) = 0,1$  моль/л и  $pK = 3,27$ .
38. Новокаин представляет собой соль слабого органического основания ( $pK_b = 5,05$ ) и хлористоводородной кислоты. Рассчитайте pH водного раствора новокаина с его концентрацией 0,01 моль/л.
39. Рассчитайте pH фосфатного буферного раствора с концентрацией  $C(\text{KH}_2\text{PO}_4) = C(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,025$  моль/л. (необходимые данные взять из справочника).
40. Рассчитайте pH раствора полученного растворением 2 г NaOH в  $500 \text{ см}^3$  0,2 н. раствора уксусной кислоты.
- 41–60. Задания на расчет pH, построение и анализ кривых титрования с последующим выбором индикатора.

Работу над заданием следует проводить поэтапно. Для этого нужно после определения своего варианта задания (прил. 3) по исходным данным (табл. 4):

- 1) определить тип кривой титрования и выбрать титрант – сильный электролит;
- 2) привести уравнения реакций титрования и гидролиза образующейся соли;
- 3) провести расчет значений pH по формулам, выбор которых связать с составом титруемого раствора (объем титруемого раствора  $100 \text{ см}^3$ , концентрация 0,1 моль/л);
- 4) составить таблицу значений рассчитанных значений pH, соответствующим следующим объемам  $V$  ( $\text{см}^3$ ) прибавленного титранта: 0; 10; 50; 90; 99; 99,9; 100; 100,1; 101;  $110 \text{ см}^3$ .
- 5) построить кривую кислотно-основного титрования, указать  $TЭ$  и значение pH в точке эквивалентности, скачок титрования, точку нейтрализации;
- 6) подобрать по прил. 2 или справочнику [1] два индикатора для данного титрования.
- 7) определить тип индикаторной ошибки.

Таблица 4

#### Варианты задания по кривым кислотно-основного титрования

№ варианта	Титруемое соединение	Формула	pK
1	2	3	4
41.	Бензойная кислота	$\text{C}_6\text{H}_5\text{—COOH}$	4,212
42.	Изомасляная кислота	$\text{CH}_3\text{—CH}(\text{CH}_3)\text{—COOH}$	4,848

Окончание табл. 4

1	2	3	4
43.	Масляная кислота	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$	4,820
44.	Миндальная кислота	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH(OH)-COOH}$	3,411
45.	Молочная кислота	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$	3,860
46.	Муравьиная кислота	$\text{HCOOH}$	3,752
47.	Фенилуксусная кислота	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{-COOH}$	4,312
48.	Фторуксусная кислота	$\text{F-CH}_2\text{-COOH}$	2,584
49.	Уксусная кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}$	4,76
50.	Глицериновая кислота	$\text{CH}_2\text{(OH)-CH(OH)-COOH}$	3,52
51.	Антраниловая кислота	$\text{H}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$	4,99
52.	Акриловая кислота	$\text{CH}_2=\text{CH-COOH}$	4,26
53.	Кротоновая кислота	$\text{CH}_3\text{-CH=CH-COOH}$	4,70
54.	Салициловая кислота	$\text{HO-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$	2,97
55.	Гидроксид аммония	$\text{NH}_4\text{OH}$	4,755
56.	Диметиламин	$(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$	2,97
57.	Диэтиламин	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$	3,02
58.	Метиламин	$\text{CH}_3\text{-NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	2,28
59.	Триметиламин	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{H}_2\text{O}$	4,09
60.	Этиламин	$\text{C}_2\text{H}_5\text{-NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$	3,33

61. Навеску образца 0,1000 г с массовой долей железа 99,98% растворили в серной кислоте без доступа воздуха и оттитровали 0,1000 н. раствором  $\text{KMnO}_4$ . Определите объем  $\text{KMnO}_4$ , израсходованный на титрование.
62. Определите массовую долю нитрита натрия в техническом образце, если после растворения 1,3074 г этого образца в 500 см<sup>3</sup> на титрование 25 см<sup>3</sup> раствора перманганата калия с нормальностью 0,1 моль/дм<sup>3</sup> и поправочным коэффициентом 0,9815 затрачивается 35,11 см<sup>3</sup> этого раствора.
63. Сколько процентов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  содержит образец, если его навеску 0,1700 г после растворения оттитровали 42,50 см<sup>3</sup> раствора  $\text{KMnO}_4$  с титром  $T_{\text{KMnO}_4/\text{Sb}}=0,006124$ ?
64. Из 1,4500 г технического  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  приготовили 200 см<sup>3</sup> раствора. На титрование 20,00 см<sup>3</sup> раствора израсходовали 16,20

- см<sup>3</sup> раствора иода, титр которого по As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> равен 0,002473 г/см<sup>3</sup>. Определите массовую долю Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в образце.
65. К подкисленному серной кислотой раствору иодида калия добавили 20,00 см<sup>3</sup> 0,1085 н. раствора KMnO<sub>4</sub>. На титрование выделившегося иода пошло 23,45 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата натрия. Вычислите молярную концентрацию раствора тиосульфата.
  66. К навеске 0,1122 г K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> добавили в избытке KI и серную кислоту. На титрование выделившегося иода пошло 22,35 см<sup>3</sup> раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Вычислите молярную концентрацию раствора тиосульфата натрия и его титр по иоду.
  67. На титрование 50 см<sup>3</sup> раствора щавелевой кислоты расходуются 21,16 см<sup>3</sup> раствора KOH с титром 0,01220 г/см<sup>3</sup>. 20 см<sup>3</sup> того же раствора кислоты оттитровано 19,34 см<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub>. Вычислите титр раствора перманганата по кислороду.
  68. Рассчитайте массу Mn<sup>+2</sup> в растворе, если на его титрование MnO<sub>2</sub> в слабощелочной среде затрачено 21,20 см<sup>3</sup> рабочего раствора KMnO<sub>4</sub>, нормальная концентрация которого при использовании в кислой среде составляет 0,1010 моль/л.
  69. Рассчитайте количество иодата калия в растворе, если после замещения его на I<sub>2</sub> действием избытка KI и кислоты на титрование затрачено 21,45 см<sup>3</sup> 0,1010 М раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
  70. Навеску 0,1500 г известняка растворили в соляной кислоте, затем Ca<sup>+2</sup> осадили в виде CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, промытый осадок растворили в разбавленной серной кислоте и оттитровали 18,85 см<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub> с титром по CaCO<sub>3</sub> 0,00600 г/см<sup>3</sup>. Рассчитайте массовую долю CaCO<sub>3</sub> известняке.
  71. Вычислите нормальность раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, если 1,000 см<sup>3</sup> раствора K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> эквивалентен 0,005584 г Fe, при взаимодействии 20,00 см<sup>3</sup> раствора K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> с KI выделяется такое количество I<sub>2</sub>, которое оттитровывается 32,46 см<sup>3</sup> раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
  72. Рассчитайте навеску K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, чтобы на титрование I<sub>2</sub>, выделившегося после взаимодействия его с избытком KI израсходовать 32,45 см<sup>3</sup> раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с титром по I<sub>2</sub> 0,01270.
  73. Навеску 4,8900 г технического FeCl<sub>3</sub> растворили в мерной колбе емкостью 250 см<sup>3</sup>. К 25,00 см<sup>3</sup> раствора в кислой среде добавили KI. Выделившийся I<sub>2</sub> оттитровали 32,10 см<sup>3</sup> 0,09230 н. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Вычислите массовую долю FeCl<sub>3</sub> в образце.
  74. Плотность раствора KClO<sub>3</sub> составляет 1,02 г/см<sup>3</sup>. К 2,50 см<sup>3</sup> этого раствора прибавлено 25,0 см<sup>3</sup> 0,120 М раствора FeSO<sub>4</sub>,

- на титрование остатка  $\text{FeSO}_4$  пошло  $4,95 \text{ см}^3$   $0,140 \text{ н.}$  раствора  $\text{KMnO}_4$ . Вычислите массовую  $\text{KClO}_3$  в растворе.
75. К  $25,00 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{S}$  прибавили  $50,00 \text{ см}^3$   $0,01960 \text{ н.}$   $\text{I}_2$ , избыток которого оттитровали  $11,00 \text{ см}^3$   $0,02040 \text{ н.}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Сколько граммов  $\text{H}_2\text{S}$  содержалось в  $1 \text{ дм}^3$  исследуемого раствора?
76. К раствору, содержащему  $0,1510 \text{ г}$  технического  $\text{KClO}_3$ , прилили  $100,0 \text{ см}^3$   $0,09852 \text{ н.}$   $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , избыток  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  оттитровали  $48,60 \text{ см}^3$   $0,05320 \text{ н.}$   $\text{KMnO}_4$ . Вычислите массовую долю  $\text{KClO}_3$  в образце.
77. Сколько  $\text{см}^3$   $0,10 \text{ М}$  раствора  $\text{FeSO}_4$  следует взять для восстановления  $\text{KClO}_3$  в  $0,10 \text{ г}$  соли, содержащей по массе  $35\%$  активного кислорода, если на титрование избытка  $\text{FeSO}_4$  должно расходоваться около  $5,0 \text{ см}^3$  раствора  $\text{KMnO}_4$ .  $T_{\text{KMnO}_4/\text{O}_2} = 0,000800 \text{ г/см}^3$ ?
78. На кислый раствор, содержащий  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  и  $\text{Fe}^{+3}$ , действуют сероводородом. Какие реакции и в какой последовательности будут происходить при этом (использовать справочные данные)?
79. Навеска  $0,2000 \text{ г}$  руды, содержащей и  $\text{MnO}_2$ , обработана избытком смеси  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Щавелевой кислоты было взято  $25,00 \text{ см}^3$  и на титрование не вошедшего в реакцию избытка ее израсходовано  $20,00 \text{ см}^3$   $0,02000 \text{ н.}$  раствора  $\text{KMnO}_4$ . Найти процентное содержание  $\text{Mn}$  в руде, если известно, что на  $25,00 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  расходуется  $45,00 \text{ см}^3$  раствора  $\text{KMnO}_4$ .
80. Навеску стали  $0,2548 \text{ г}$ , содержащей  $1,09 \text{ г}$  марганца, растворили, окислили до  $\text{MnO}_2$  и оттитровали  $18,50 \text{ см}^3$  раствора  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$ . Рассчитать титр  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$  по марганцу.
81. Какое значение  $\text{pH}$  при комплексометрических определениях? Разберите на примере цинка (уравнения реакций,  $\text{pH}$  раствора). Опишите механизм действия металлоиндикатора?
82. Как определить кальций комплексометрическим методом (приведите уравнения реакций,  $\text{pH}$  среды, индикатор)? Что такое комплексоны?
83. Способы фиксирования точки эквивалентности при комплексометрическом титровании. На чем основано применение эриохром черного Т в качестве индикатора при комплексометрическом определении? Опишите схему определения цинка комплексометрическим методом.

84. Приведите примеры образования внутрикомплексных соединений в комплексометрическом титровании при определении ионов железа (II). Какое строение они имеют? Какую роль играет рН раствора при определении?
85. Опишите свойства комплексона III. На чем основано его применение при анализе катионов? Перечислите условия комплексометрического определения  $Mg^{+2}$ .
86. Как определить жесткость воды комплексометрическим методом? Напишите уравнения реакций, укажите рН среды, применяемый индикатор, титрованные растворы и расчет результатов анализа. Какое влияние оказывает рН раствора на равновесие реакции ионов  $Ca^{2+}$  с комплексом III?
87. В чем сущность комплексометрического титрования катионов? Напишите основные реакции метода, стандартные и установочные растворы. Что такое металлоиндикаторы? Какие буверные смеси применяются?
88. Какие органические реактивы получили названия комплексонов? Какие соединения образуют комплексоны с катионами? Как определить ионы магния комплексометрическим методом? Напишите уравнения реакций, назовите применяемый индикатор.
89. В каких случаях при комплексометрическом титровании катионов используют способ обратного титрования? Приведите пример и опишите схему определения с уравнениями протекающих реакций.
90. Навеску карбоната натрия массой 0,2458 г растворили в воде и добавили  $20\text{ см}^3$  0,045 М раствора сульфата магния. Избыток последнего оттитровали  $15\text{ см}^3$  раствора комплексона III, причем  $1\text{ см}^3$  сульфата магния эквивалентен  $1,25\text{ см}^3$  комплексона III. Напишите уравнения реакций и опишите схему анализа.
91. Раствор комплексона III приготовили растворением 3,85 г очищенного и высушенного  $Na_2H_2Y$  в  $1,00\text{ дм}^3$  воды. Рассчитайте молярную концентрацию и титр полученного раствора, учитывая, что растворенное вещество содержит 0,3% влаги. Укажите применяемые комплексоны и строение образующегося с комплексом III внутрикомплексного соединения с ионами кальция.
92. Раствор комплексона III приготовили растворением 4,45 г очищенного комплексона  $Na_2H_2Y \cdot 2\text{ H}_2O$  в  $1,00\text{ л}$  воды. Рассчитайте молярную концентрацию и титр полученного рас-

- твора по  $\text{CaO}$ , учитывая, что растворенное вещество содержит 0,5% влаги.
93. Рассчитать общую жесткость воды, содержащей в  $200,0 \text{ см}^3$   $0,0424 \text{ г Ca}^{+2}$  и  $0,00484 \text{ г Mg}^{+2}$ . Какие реакции протекают при комплексометрическом определении этих ионов? Для чего в анализе используют аммиачно-хлоридный буфер?
  94. Раствор  $\text{CaCl}_2$ , pH которого доведен до 12, оттитрован  $20,50 \text{ см}^3$   $0,045 \text{ М}$  раствором комплексона III в присутствии мурексида. Рассчитайте массу кальция в растворе. Приведите уравнения реакции натриевой соли.
  95. Навеску массой  $0,1500 \text{ г MgSO}_4$  и оттитровали комплексоном III с эриохром черным Т. На титрование израсходовано  $20,00 \text{ см}^3$  титранта. Определите нормальную концентрацию и титр комплексона III и приведите уравнения реакций определения.
  96. Жесткость морской воды, определяемая ионами магния, составила  $4,0 \text{ ммоль-экв/дм}^3$ . Сколько магния содержится в  $0,5 \text{ дм}^3$  такой воды? Какие реакции протекают при комплексометрическом определении?
  97. Определите жесткость воды, содержащей в  $250 \text{ см}^3$   $0,020 \text{ г Ca}^{+2}$  и  $0,024 \text{ г Mg}^{+2}$ . Какую роль играет среда при определении этих ионов?
  98. На титрование аликвоты  $25 \text{ см}^3$  природной воды израсходовано  $4,40 \text{ см}^3$   $0,05 \text{ н.}$  раствора комплексона III с поправочным коэффициентом  $0,9600$ . Определите жесткость воды и укажите химизм ее определения.
  99. Жесткость воды, равная  $5,00 \text{ ммоль-экв/л}$ , обусловлена преимущественно содержанием ионов кальция. Приведите химизм комплексометрического определения  $\text{Ca}^{+2}$  и определите их содержание в  $500 \text{ см}^3$  воды.
  100. Рассчитайте нормальную концентрацию ионов магния в  $\text{ммоль-экв/л}$ , обуславливающих жесткость воды, если при титровании  $100,0 \text{ см}^3$  пробы при  $\text{pH}=10$  в присутствии хромогена черного Т до синей окраски затрачено  $18,45 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$  раствора комплексона III; приведите уравнения реакций.
  101. Как повлияет на растворимость оксалата кальция присутствие в растворе  $0,1 \text{ М KCl}$ ?  $\text{PP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4} = 2,6 \cdot 10^{-9}$ .
  102. В какой последовательности и при какой концентрации карбонат-ионов будет происходить осаждение карбонатов при постепенном приливании соды к смеси ионов  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$  и  $\text{Ca}^{+2}$ , взятых в одинаковых количествах  $0,5 \text{ М}$  растворов? ( $\text{PP}_{\text{BaCO}_3} = 5,1 \cdot 10^{-9}$ ,  $\text{PP}_{\text{SrCO}_3} = 1,1 \cdot 10^{-10}$  и  $\text{PP}_{\text{CaCO}_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$ ).

103. Вычислите, при какой концентрации карбонат-ионов возможно превращение осадка  $\text{BaSO}_4$  в  $\text{BaCO}_3$ , если  $\text{PP}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$ ,  $\text{PP}_{\text{BaCO}_3} = 5,1 \cdot 10^{-9}$ .
104. Произведение растворимости  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$  при  $25^\circ\text{C}$  равно  $7,9 \cdot 10^{-43}$ . Вычислите растворимость этой соли в г/л и концентрацию каждого из ионов в насыщенном растворе при той же температуре.
105. Произведение растворимости оксалата кальция при  $18^\circ\text{C}$  равно  $1,78 \cdot 10^{-9}$ . Определите: а) растворимость этой соли в 0,05 М растворе  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ , б) во сколько раз эта растворимость отличается от растворимости в чистой воде?
106. Произведение растворимости хлорида серебра при  $25^\circ\text{C}$  равно  $1,56 \cdot 10^{-10}$ . Во сколько раз уменьшится концентрация  $\text{AgCl}$ , если к его насыщенному водному раствору прибавить  $\text{KCl}$  в таком количестве, чтобы молярность последнего равнялась 0,1?
107. Имеется раствор, в 1  $\text{дм}^3$  которого содержится 20 мг  $\text{Ag}^{+2}$  и 20 мг  $\text{Pb}^{+2}$ . Какая соль выпадает в осадок раньше, если к этому раствору прибавлять по каплям  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ?  $\text{PP}_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 4,05 \cdot 10^{-12}$ , а  $\text{PP}_{\text{Pb}_2\text{CrO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-14}$  ( $25^\circ\text{C}$ ).
108. Вычислить действие солевого эффекта на растворимость роданида серебра ( $\text{PP} = 1,1 \cdot 10^{-12}$ ) в присутствии 0,05М раствора нитрата калия.
109. Вычислить растворимость  $\text{AgI}$  в 0,01М растворе  $\text{KNO}_3$  ( $\text{PP} = 8,3 \cdot 10^{-17}$ ). Во сколько раз растворимость  $\text{AgI}$  в этом растворе больше, чем в воде?
110. Вычислить растворимость сульфида железа (II) в растворе, содержащем  $\text{MgSO}_4$  в количестве 4,4 г/ $\text{дм}^3$ . Во сколько раз эта растворимость больше, чем в воде?  $\text{PP}_{\text{FeS}} = 3,2 \cdot 10^{-18}$ .
111. Вычислить фактор пересчета для анализа магнетита на содержание в нем  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  при определении, которое заканчивается взвешиванием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
112. При каких значениях pH и какой из осадков –  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  или  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  будет выпадать первым при добавлении растворителя  $\text{NaOH}$  к смеси, содержащей 0,1 моль/л  $\text{MnCl}_2$  и 0,001 моль/л  $\text{FeCl}_3$ ? ( $\text{PP}_{\text{Mn}(\text{OH})_2} = 4 \cdot 10^{-14}$ ,  $\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 3,8 \cdot 10^{-38}$ ).
113. Может ли образоваться осадок  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  в растворе, содержащем 1·10<sup>-3</sup> моль/л  $\text{CaCl}_2$ , 2·10<sup>-3</sup> моль/л  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  и 0,5 моль/л  $\text{HCl}$ ?
114. При каком pH начинается осаждение  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  из раствора с концентрацией  $\text{Mg}^{2+}$  0,1 моль/л? При каком pH достигается практически полное осаждение ионов  $\text{Mg}^{2+}$  в виде  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ?

- (Под практически полным осаждением следует понимать снижение концентрации осаждаемого иона до  $1 \cdot 10^{-6}$  моль/л).
115. В  $250 \text{ см}^3$  воды растворяется  $2,42 \cdot 10^{-2}$  г  $\text{SrSO}_4$ . Рассчитайте произведение растворимости  $\text{SrSO}_4$ . Рассчитайте растворимость в  $\text{SrSO}_4$  растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л.
  116. В  $100 \text{ см}^3$  раствора  $\text{NaF}$  ( $C = 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л) растворяется 112,5 мг  $\text{BaF}_2$ . Рассчитайте произведение растворимости  $\text{BaF}_2$ .
  117. В растворе присутствуют ионы  $\text{Fe}^{+2}$  и  $\text{Fe}^{+3}$  в концентрации 0,1 моль/л. Какой из этих ионов и при какой концентрации сульфид-ионов начнет осаждаться первым при постепенном увеличении концентрации  $\text{S}^{2-}$ ?
  118. Рассчитайте равновесную концентрацию фторид-ионов в природной воде с  $\text{pH}=7,5$  и  $[\text{Ca}^{2+}] = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л, считая, что концентрация  $\text{F}^-$  обусловлена растворимостью  $\text{CaF}_2$ .
  119. Ионы  $\text{Ag}^+$  обладают явно выраженными бактерицидными свойствами при  $[\text{Ag}^+] \geq 1 \cdot 10^{-9}$  моль/л. Будет ли обладать бактерицидными свойствами (за счет  $\text{Ag}^+$ ) морская вода, насыщенная по отношению к  $\text{AgCl}$  и содержащая хлорид-ионы в концентрации  $19 \text{ г/дм}^3$ ?
  120. Сколько миллиграммов  $\text{BaSO}_4$  можно перевести в  $\text{BaSO}_3$  путем одноразового кипячения с  $5 \text{ см}^3$  раствора с концентрацией  $\text{CO}_3^{2-}$  2 моль/л?

### Библиографический список

1. Справочное руководство по аналитической химии и физико-химическим методам анализа: Учеб. пособие / И. В. Тикунова, Н. В. Дробницкая, А. И. Артеменко и др. М.: Высш. Шк., 2009. – 413 с.
2. Аналитическая химия: методические указания к выполнению контрольных работ и расчетно-графических заданий для студентов заочной формы обучения специальности 240304 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / сост.: Н.В. Дробницкая, Т.Н. Щеголева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. – 60 с.
3. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: методические указания к выполнению расчетно-графических заданий для студентов очной формы обучения направления 18.03.01 – Химическая технология / сост.: В. А. Полуэктова, Н. В. Дробницкая. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 26 с.
4. Полуэктова, В. А. Лабораторный практикум по качественному и количественному анализу: учеб. пособие / В. А. Полуэктова, Л. В. Денисова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 263 с.
5. Дробницкая, Н.В. Аналитическая химия (химические методы анализа): учебное пособие - Белгород: изд-во БГТУ, 2015. –179 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Произведения растворимости  
некоторых малорастворимых веществ

Формула вещества	ПР	Формула вещества	ПР
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	Cd(OH) <sub>2</sub>	$2,2 \cdot 10^{-14}$
AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	Cu(OH) <sub>2</sub>	$5,0 \cdot 10^{-20}$
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-12}$	CaF <sub>2</sub>	$4,0 \cdot 10^{-11}$
AgCl	$1,8 \cdot 10^{-10}$	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,3 \cdot 10^{-9}$
BaSO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-10}$	CaSO <sub>4</sub>	$2,4 \cdot 10^{-5}$
BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-7}$	Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$3,2 \cdot 10^{-9}$
CaCrO <sub>4</sub>	$7,1 \cdot 10^{-4}$	MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$8,6 \cdot 10^{-5}$
CaCO <sub>3</sub>	$3,8 \cdot 10^{-9}$	MgCO <sub>3</sub>	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$10^{-29}$	MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>	$2,5 \cdot 10^{-13}$
CuBr	$5,25 \cdot 10^{-9}$	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1 \cdot 10^{-13}$
CuCO <sub>3</sub>	$2,5 \cdot 10^{-10}$	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	$2,8 \cdot 10^{-4}$
CuCl	$1,2 \cdot 10^{-6}$	Ni(C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	$2,3 \cdot 10^{-25}$
CuI	$1,1 \cdot 10^{-12}$	NiCO <sub>3</sub>	$1,3 \cdot 10^{-7}$
CuS	$6,3 \cdot 10^{-36}$	Ni <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	$1,7 \cdot 10^{-13}$
Cu <sub>2</sub> S	$2,5 \cdot 10^{-48}$	PbBr <sub>2</sub>	$9,1 \cdot 10^{-6}$
FeCO <sub>3</sub>	$2,5 \cdot 10^{-11}$	PbCO <sub>3</sub>	$7,5 \cdot 10^{-14}$
Fe(OH) <sub>3</sub> (свежеосажд.)	$6,3 \cdot 10^{-38}$	PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$4,8 \cdot 10^{-10}$
Fe(OH) <sub>3</sub> (после стар.)	$6,3 \cdot 10^{-39}$	PbCl <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-5}$
FeS	$5 \cdot 10^{-18}$	PbCrO <sub>4</sub>	$1,8 \cdot 10^{-14}$
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	$1,3 \cdot 10^{-18}$	PbI <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-9}$
Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	$4,5 \cdot 10^{-29}$	Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$7,9 \cdot 10^{-43}$
HgS	$1,6 \cdot 10^{-52}$	PbS	$2,5 \cdot 10^{-27}$
Hg <sub>2</sub> S	$1 \cdot 10^{-47}$	PbSO <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-8}$
KBF <sub>4</sub>	$2 \cdot 10^{-3}$	Sn(OH) <sub>4</sub>	$1 \cdot 10^{-57}$
KClO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-2}$	SnS	$2,5 \cdot 10^{-27}$
KIO <sub>4</sub>	$8,3 \cdot 10^{-4}$	SrSO <sub>4</sub>	$3,2 \cdot 10^{-7}$
K(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> B	$2,25 \cdot 10^{-8}$		

**Важнейшие кислотно-основные индикаторы**

№ п/п	Индикатор	Интервал перехода pH и окраска индикатора
1	Пикриновая кислота	0,0 – 1,3 бесцветная – желтая
2	Метиловый зеленый	0,1 – 2,0 желтая – зелено-голубая
3	Метиловый фиолетовый, 2-й переход	1,0 – 1,5 зеленая – синяя
4	Тимоловый синий (тимолсульфоталеин), 1-й переход	1,2 – 2,8 красная – желтая
5	Метиловый оранжевый	3,1 – 4,4 красная – оранжево-желтая
6	Бромфеноловый синий (тетрабромфенолсульфоталеин)	3,0 – 4,8 желтая – пурпурная
7	Ализариновый красный С (ализарин)	3,7 – 5,2 желтая – фиолетовая
8	Бромкрезоловый синий (бромкрезоловый зеленый)	3,9 – 5,4 желтая – синяя
9	Метиловый красный	4,4 – 6,2 красная – желтая
10	Бромфеноловый красный (дибромфенолсульфоталеин)	5,0 – 6,8 желтая – красная
11	<i>n</i> -Нитрофенол	5,6 – 7,6 бесцветная – желтая
12	Бромтимоловый синий (дибромтимолсульфоталеин)	6,0 – 7,6 желтая – синяя
13	Феноловый красный (фенолсульфоталеин)	6,8 – 8,2 желтая – красная
14	Тропеолин 000	7,6 – 8,9 желто-зеленая – розовая
15	Ксиленоловый синий, 2-й переход	8,0 – 9,6 желтая – синяя
16	Фенолфталейн	8,0 – 10,0 бесцветная – пурпурная
17	Тимолфталейн	9,3 – 10,5 бесцветная – синяя
18	Ализариновый красный С, 2-й переход	10,0 – 12,0 фиолетовая – бледно-желтая
19	Индигокармин (индигосульфат натрия)	11,6 – 14,0 синяя – желтая

### Номера расчетно-графических заданий

Номера заданий по буквам ФИО						
Буквы алфавита  № задания п/п	Первая буква фамилии		Первая буква имени		Первая буква отчества	
	1	2	3	4	5	6
А	1	21	41	61	81	101
Б	2	22	42	62	82	102
В	3	23	43	63	83	103
Г	4	24	44	64	84	104
Д, Е	5	25	45	65	85	105
Ж, З	6	26	46	66	86	106
И, К	7	27	47	67	87	107
Л	8	28	48	68	88	108
М	9	29	49	69	89	109
Н	10	30	50	70	90	110
О	11	31	51	71	91	111
П	12	32	52	72	92	112
Р	13	33	53	73	93	113
С	14	34	54	74	94	114
Т	15	35	55	75	95	115
У, Ф	16	36	56	76	96	116
Х, Ц	17	37	57	77	97	117
Ч, Ш	18	38	58	78	98	118
Щ, Э	19	39	59	79	99	119
Ю, Я	20	40	60	80	100	120

Например, Сидоров Петр Иванович должен выполнять задания 14, 34, 52, 72, 87, 107.

## Содержание

Введение .....	3
<b>Примеры решения задач и расчетно-графических заданий по темам курса</b> .....	4
1. Метод нейтрализации (кислотно-основное титрование) .....	4
Теоретические сведения для выполнения расчетно-графического задания по теме «Кривые кислотно-основного титрования» .....	7
Расчет pH в растворах различных электролитов .....	9
Правила выбора индикатора для титрования .....	16
Индикаторные ошибки титрования .....	16
Примеры выполнения расчетно-графического задания (расчет значений pH и построение кривой титрования) .....	17
Титрование слабой кислоты раствором щелочи .....	17
Титрование слабого основания сильной кислотой .....	19
2. Методы редоксиметрии (окислительно-восстановительное титрование) .....	21
3. Метод комплексометрии (комплексометрическое титрование) .....	25
4. Гравиметрические методы анализа .....	26
<b>Расчетные и расчетно-графические задания для самостоятельной работы</b> .....	29
Библиографический список .....	42
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	43
<i>Приложение 1</i> .....	43
Произведения растворимости некоторых малорастворимых веществ .....	43
<i>Приложение 2</i> .....	44
Важнейшие кислотно-основные индикаторы .....	44
<i>Приложение 3</i> .....	45
<b>Номера расчетно-графических заданий</b> .....	45

