

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ФХМА

ЧАСТЬ I

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Нижекамск
2011

УДК 543,5
Г 49

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Сафиуллина Т.Р., кандидат химических наук, доцент;
Вдовина С.В., кандидат химических наук, доцент.

Гиниятуллин, Н.Г.

Г 49 Аналитическая химия и ФХМА. Часть I : методические указания и задания для самостоятельной работы / Н.Г. Гиниятуллин, Т.И. Ахметова, И.В. Ковалевская. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2011. - 73 с.

Методические указания и контрольные задания содержат теоретические основы аналитической химии, решения типовых задач с подробными объяснениями и 80 вариантов заданий для самостоятельной работы студентов.

Предназначены для студентов технологических специальностей: ХТОВ, ХТВМС, ХТППиЭ, ТПП и бакалавриата по направлению «Химическая технология».

Подготовлены на кафедре химии Нижнекамского химико-технологического института (филиала) КНИТУ.

УДК 543,5

© Гиниятуллин Н.Г., Ахметова Т.И.,
Ковалевская И.В., 2011

© Нижнекамский химико-технологический
институт (филиал) ФГБОУ ВП «КНИТУ», 2011

1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Выполнение контрольной работы является необходимым этапом самостоятельной работы студента при изучении курса «Аналитическая химия». Зачтенная преподавателем контрольная работа служит основанием для допуска к сдаче экзамена.

При оформлении контрольной работы следует придерживаться следующих правил:

- все задачи должны строго соответствовать варианту и быть решены в последовательности, указанной в таблице вариантов (номер варианта следует согласовывать в деканате);

- на обложке тетради должен быть указан номер варианта, а перед описанием задачи – номер задачи;

- условия задач должны быть переписаны в тетрадь полностью;

- решения задач должны содержать краткие объяснения и комментарии к выполненным арифметическим действиям, ссылки на использованные при решении законы и правила;

- следует привести размерности входящих в уравнение величин;

- для построения кривых титрования следует привести таблицу данных;

- кривые титрования необходимо оформить на миллиметровой бумаге или клетчатой бумаге ученической тетради, соблюдая следующие правила: а) *размер графика должен быть не менее половины листа тетради;* б) *на осях координат отмечаются через равные интервалы масштабные единицы;* в) *точки должны четко наноситься на график в соответствии с выбранным масштабом.*

Прежде чем приступить к решению той или иной задачи, следует изучить теоретические основы данного раздела и усвоить тот объем теоретического материала, который необходим для решения задачи, используя при этом рекомендуемые учебные пособия (см. ниже), лекции, а также примеры, представленные в настоящем пособии.

Значащие цифры и правила округления

Вычисление результатов анализа является важнейшим следствием работы. Результаты анализа следует выражать только значащими цифрами. Значащими цифрами по определению являются все достоверно известные цифры данного числа плюс первая недостоверная цифра. Если конкретные данные отсутствуют, недостоверность последней цифры числа принимают равной ± 1 .

Обращение с нулями. Особенно внимательными надо быть при отнесении нулей к значащим или незначащим цифрам. Нули, стоящие между другими цифрами, как, например, в числе 10,04, являются значащими. Нули, поставленные в начале числа, например, 0,104 или 0,0014, не являются значащими, так как они показывают только место запятой в десятичной дроби. Например, массу образца можно выразить в граммах и в миллиграммах (0,0105 г или 10,5 мг), при этом недостоверность массы и количества значащих цифр остается неизменным. Недостоверность последней значащей цифры в выражении массы по-прежнему составляет ± 1 ($\pm 0,0001$ г или 0,1 мг).

Нули в конце числа обычно считаются значащими. Если же такой нуль не является значащим и используется только для указания места запятой в десятичной дроби, его следует исключить и записать число, применяя умножение на 10^n . Например, в числе 11000, записанном именно в такой форме, значащими считаются все пять цифр. Если же полагать, что значащими являются только три, число следует записать в виде $1,10 \cdot 10^4$. Абсолютная недостоверность числа в первом случае считается ± 1 , во втором случае она составляет $\pm 1 \cdot 10^2$, или 100.

Округление чисел. Верная запись содержит только одну недостоверную цифру. Достоверными цифрами результата являются только те, которые получены в результате математических действий над достоверными цифрами. Все остальные цифры результата являются недостоверными. Точность результата вычисления не может быть выше точности наименее точного числа, участвующего в вычислении.

Недопустимо проводить вычисления с большой точностью, если данная задача не требует этого.

Например, число анализов – величина точная. Объем раствора, измеренный по бюретке – величина приближенная. В приближенных числах значащими называются все достоверно известные цифры плюс первая из недостоверных. Следовательно, все цифры следует округлять до первой недостоверной цифры.

Измерение массы вещества на аналитических весах производится до четвертого знака после запятой с погрешностью $\pm 0,0002$ г. Массовые проценты вычисляются с записью до второго знака после запятой. Измерение объемов по бюретке производится с записью до второго знака после запятой. Молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента в растворе вычисляют до четвертого знака после запятой, а титр вещества – до шестого знака после запятой.

Если за первой недостоверной цифрой следует цифра 5, округление проводят в сторону ближайшего четного числа. Например, 10,245 следует округлить до 10,24, а число 10,255 – до 10,26. Рекомендуется округлять конечный результат после выполнения всех арифметических действий.

Таблица 1 - Задания к контрольной работе по вариантам

<i>Вариант контрольной работы</i>	Номера задач по темам									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
01	1	26	51	76	101	126	151	176	201	226
02	2	27	52	77	102	127	152	177	202	227
03	3	28	53	78	103	128	153	178	203	228
04	4	29	54	79	104	129	154	179	204	229
05	5	30	55	80	105	130	155	180	205	230
06	6	31	56	81	106	131	156	181	206	231
07	7	32	57	82	107	132	157	182	207	232
08	8	33	58	83	108	133	158	183	208	233
09	9	34	59	84	109	134	159	184	209	234
10	10	35	60	85	110	135	160	185	210	235
11	11	36	61	86	111	136	161	186	211	236
12	12	37	62	87	112	137	162	187	212	237
13	13	38	63	88	113	138	163	188	213	238
14	14	39	64	89	114	139	164	189	214	239
15	15	40	65	90	115	140	165	190	215	240
16	16	41	66	91	116	141	166	191	216	241
17	17	42	67	92	117	142	167	192	217	242
18	18	43	68	93	118	143	168	193	218	243
19	19	44	69	94	119	144	169	194	219	244
20	20	45	70	95	120	145	170	195	220	245
21	21	46	71	96	121	146	171	196	221	246
22	22	47	72	97	122	147	172	197	222	247
23	23	48	73	98	123	148	173	198	223	248
24	24	49	74	99	124	149	174	199	224	249
25	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
26	1	27	53	79	105	131	157	183	209	235
27	2	28	54	80	106	132	158	184	210	236
28	3	29	55	81	107	133	159	185	211	237
29	4	30	56	82	108	134	160	186	212	238
30	5	31	57	83	109	135	161	187	213	239
31	6	32	58	84	110	136	162	188	214	240
32	7	33	59	85	111	137	163	189	215	241
33	8	34	60	86	112	138	164	190	216	242
34	9	35	61	87	113	139	165	191	217	243
35	10	36	62	88	114	140	166	192	218	244
36	11	37	63	89	115	141	167	193	219	245
37	12	38	64	90	116	142	168	194	220	246
38	13	39	65	91	117	143	169	195	221	247
39	14	40	66	92	118	144	170	196	222	248
40	15	41	67	93	119	145	171	197	223	249

продолжение табл. 1

Вариант контрольной работы	Номера задач по темам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	16	42	68	94	120	146	172	198	224	250
42	17	43	69	95	121	147	173	199	225	235
43	18	44	70	96	122	148	174	200	209	236
44	19	45	71	97	123	149	175	183	210	237
45	20	46	72	98	124	150	157	184	211	238
46	21	47	73	99	125	131	158	185	212	239
47	22	48	74	100	105	132	159	186	213	240
48	23	49	75	79	106	133	160	187	214	241
49	24	50	76	80	107	134	161	188	215	242
50	25	27	77	81	108	135	162	189	216	243
51	1	28	55	82	109	136	151	177	203	229
52	2	29	56	83	110	137	152	178	204	230
53	3	30	57	84	111	138	153	179	205	231
54	4	31	58	85	112	139	154	180	206	232
55	5	32	59	86	113	140	155	181	207	233
56	6	33	60	87	114	141	156	182	208	234
57	7	34	61	88	115	142	157	183	209	235
58	8	35	62	89	116	143	158	184	210	236
59	9	36	63	90	117	144	159	185	211	237
60	10	37	64	91	118	145	160	186	212	238
61	11	38	65	92	119	146	161	187	213	239
62	12	39	66	93	120	147	162	188	214	240
63	13	40	67	94	121	148	163	189	215	241
64	14	41	68	95	122	149	164	190	216	242
65	15	42	69	96	123	150	165	191	217	243
66	16	43	70	97	124	131	166	192	218	244
67	17	44	71	98	125	132	167	193	219	245
68	18	45	72	99	105	133	168	194	220	246
69	19	46	73	100	106	134	169	195	221	247
70	20	47	74	79	107	135	170	196	222	248
71	21	48	75	80	108	136	171	197	223	249
72	22	49	53	81	109	137	172	198	224	250
73	23	50	54	82	110	138	173	199	225	235
74	24	27	55	83	111	139	174	200	209	236
75	25	28	56	84	112	140	175	183	210	237
76	1	29	57	85	113	141	157	184	211	238
77	2	30	58	86	114	142	158	185	212	239
78	3	31	59	87	115	143	159	186	213	240
79	4	32	60	88	116	144	160	187	214	241
80	5	33	61	89	117	145	161	188	215	242

В о п р о с ы к э к з а м е н у

1. Предмет и задачи аналитической химии. Качественный и количественный анализ. Классификация методов аналитической химии. Роль аналитической химии в решении различных народнохозяйственных задач.

2. Расчет pH и pOH в растворах кислот и оснований.

3. Буферные растворы, их классификация. Принцип действия буферных растворов. Буферная емкость. Расчет pH . Применение буферных растворов в химическом анализе.

4. Равновесие в растворах гидролизующихся солей. Расчет pH растворов солей, гидролизующихся по катиону и аниону.

5. Классификация титриметрических методов анализа. Методы титрования: прямое, обратное, титрование заместителя.

6. Принцип эквивалентности в титриметрии. Молярная масса эквивалента вещества в обменных и редокс реакциях.

7. Концентрация растворов и способы их выражения: доля (массовая, объемная, мольная), доля в процентах, молярная, молярная концентрация эквивалента (нормальная), массовая (титр).

8. Сущность процесса кислотно-основного титрования. Графическое представление процесса титрования (кривые титрования). Скачок титрования. Точка эквивалентности и конечная точка титрования.

9. Индикаторы кислотно-основного титрования. Правила выбора индикатора.

10. Кривые титрования растворов сильных однопротонных кислот типа хлороводородной растворами сильных оснований, и наоборот. Скачок титрования и его характеристика. Выбор индикатора по скачку титрования.

11. Кривые титрования растворов слабых однопротонных кислот типа уксусной растворами сильных оснований. Скачок титрования и его характеристика. Выбор индикатора по скачку титрования.

12. Окислительно-восстановительные реакции (редокс реакции). Типы редокс реакций. Примеры окислительно-восстановительных реакций, используемых в аналитической

химии.

13. Влияние различных факторов на величину редокс потенциала, на скорость и направление окислительно-восстановительных реакций. Уравнение Нернста.

14. Сущность редокс методов и их классификация. Понятие об оксидиметрии и редоксометрии. Кривые титрования в окислительно-восстановительных методах и выводы из них.

15. Методы установления точки эквивалентности в редокс методах. Редокс индикаторы. Специфические индикаторы. Безиндикаторное титрование при наличии окраски одного из компонентов редокс реакции.

16. Перманганатометрия. Стандартизация раствора перманганата калия. Преимущества и недостатки метода. Применение метода.

17. Комплексные соединения в аналитической химии. Аминополикарбоновые кислоты как титранты.

18. Комплексонометрическое титрование. Индикаторы комплексонометрического титрования, механизм их действия. Применение метода.

Примечание 1 – Перечень будет дополнен вопросами по курсу «Аналитическая химия. Часть-II. Физико-химические методы анализа».

Л и т е р а т у р а

1. Васильев, В.П. Аналитическая химия. Кн. 1. Титриметрические и гравиметрический методы анализа: учебник для вузов, обуч. по хим.-технол. спец. / В.П. Васильев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Дрофа, 2002. – 368 с.: ил.

2. Васильев, В.П. Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач : пособие для вузов / В.П. Васильев, Л.А. Кочергина, Т.Д. Орлова; под ред. В.П. Васильева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Дрофа, 2003. – 320 с.

3. Золотов, Ю.А. Основы аналитической химии : в 2 кн. Кн 2. Методы химического анализа : учебник для вузов / Ю.А.

Золотов [и др.] ; под ред. Ю.А. Золотова – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2002. – 494 с.: ил.

4. Фадеева, В.И. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы : учебное пособие для вузов / В.И. Фадеева [и др.] ; под ред. Ю.А. Золотова. – М. : Высш. шк., 2002. – 412 с.

5. Гиниятуллин, Н.Г. Аналитическая химия : учебное пособие / Н.Г. Гиниятуллин. – Казань: РИЦ «Школа», 2007. – 172 с.

6. Лурье, Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

7. Иванова, М.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа : учебное пособие / М.А. Иванова [и др.]. – М. : «РИОР», 2006. – 289 с.

2 КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

2.1 Единицы количества вещества и способы выражения концентрации

Единицы количества вещества

Моль (n). За единицу количества вещества принят один моль. Это такое количество вещества, которое содержит столько условных частиц, сколько атомов содержится в $0,012 \text{ кг } \text{C}^{12}$, т.е. $6,02045 \cdot 10^{23}$ (постоянная Авогадро N_A).

Условной частицей может быть ион, молекула, электрон, группы частиц. Одни условные частицы существуют реально (молекула), другие чисто условно (молекула NaCl в растворе, половина молекулы). Единица **моль** условных частиц удобна и обычно используется для выражения количества микро-объектов. Запись $n(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4) = 0,05 \text{ моль}$ означает

$6,02045 \cdot 10^{23} \cdot 0,05$ условных частиц $\frac{1}{5} \text{KMnO}_4$.

Молярная масса (M) – это масса 1 моль вещества. Если имеется вещество массой m , то $M=m/n$, где n - количество вещества. Размерность молярной массы г/моль.

Численно молярная масса равна относительной молекулярной массе т.е. суммарной массе всех атомов в частице. Относительная молекулярная масса — безразмерная величина.

Пример. Какое количество вещества содержится в оксиде серы (VI) массой 12 г?

Решение. Молярная масса оксида серы SO_3 составляет, г/моль:

$$M_{\text{SO}_3} = M_{\text{S}} + 3M_{\text{O}} = 32 + 3 \cdot 16 = 80$$

Определяем количество вещества SO_3 , моль:

$$n_{\text{SO}_3} = \frac{m_{\text{SO}_3}}{M_{\text{SO}_3}} = \frac{12}{80} = 0,15$$

Молярный объем (V_0) – это объем одного моль вещества при нормальных условиях. Обычно эту величину используют для газов, в этом случае $V_0 = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

Молярный заряд (Q) – это общий заряд одного моль вещества. Для однозарядных частиц $Q = 96485 \text{ Кл/моль}$ (число Фарадея, F), для z -зарядных частиц $Q = zF$.

Способы выражения концентрации

Молярная концентрация, c_B , моль/дм³, ммоль/см³ – это отношение числа молей растворенного вещества к объему его раствора.

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M_B V},$$

где n_B – количество растворенного вещества, моль;

V – объём раствора, дм³;

m_B – масса растворенного вещества, г;

M_B – молярная масса вещества, г/моль.

Этот термин распространяется на любой вид условных частиц (атомы, ионы, молекулы, части молекул и т.д.). В аналитической практике молярную концентрацию выражают в моль/дм³. Например $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$; $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$.

Массовая концентрация – это отношение массы растворенного вещества « m » к объему раствора « V », единицы измерения: кг/дм³; а также кратные и дольные единицы. Массовую концентрацию, выраженную в г/см³ называют **титром (T_B)**. Эта единица дала название классическому методу анализа – титриметрия.

Титр вещества (T_B , г/см³) – это число граммов растворенного вещества (m_B) в 1 см³ раствора V :

$$T_B = \frac{m_B}{V_B},$$

Титр связан с молярной концентрацией эквивалента $c(\frac{1}{z}B)$ формулой:

$$c(\frac{1}{z}B) = \frac{T_B \cdot 1000}{M(\frac{1}{z}B)},$$

с молярной концентрацией раствора C_x :

$$T_B = \frac{c_B \cdot M_B}{1000}.$$

При массовых анализах очень удобно выражать концентрацию рабочих растворов через так называемый *титр по определяемому веществу*. Он показывает массу (г) определяемого вещества, которая соответствует 1 см³ рабочего раствора.

Титр по определяемому компоненту связан с молярной концентрацией эквивалента раствора формулой:

$$T_{A/B} = \frac{c(\frac{1}{z}A) \cdot M(\frac{1}{z}B)}{1000}.$$

Например, титр рабочего раствора $AgNO_3$, употребляемого при массовых определениях Cl^- , обычно выражают по хлору, т.е. указывают, со сколькими граммами Cl^- реагирует 1 см³ раствора $AgNO_3$.

Зная молярную концентрацию эквивалента раствора, очень легко перейти к его титру по определяемому веществу. В данном случае, если молярная концентрация эквивалента раствора $AgNO_3$ равна 0,1100 моль/дм³, то 1 см³ его содержит 0,1100/1000 моль $AgNO_3$ и реагирует с таким же количеством моль Cl^- . А так как моль Cl^- равен 35,45 г, то искомый титр $AgNO_3$ по хлору (T_{AgNO_3/Cl^-} , г/см³) равен:

$$T_{AgNO_3/Cl^-} = \frac{0,1100 \cdot 35,46}{1000} = 0,003901.$$

Если при определении Cl^- в каком-либо объекте на титрование раствора израсходовано, например, 20,00 см³

данного раствора AgNO_3 , то титруемый раствор содержит ($m_{\text{Cl}^-}, \text{г}$):

$$m_{\text{Cl}^-} = T_{\text{AgNO}_3/\text{HCl}} \cdot V_{\text{AgNO}_3} = 0,003901 \cdot 20,00 = 0,07802.$$

При титровании объёмы растворов обратно пропорциональны их молярным концентрациям эквивалента (Принцип эквивалентности).

$$c\left(\frac{1}{Z}x\right) \cdot V_x = c\left(\frac{1}{Z}R\right) \cdot V_R$$

$$\text{или } n\left(\frac{1}{Z}x\right) = n\left(\frac{1}{Z}R\right)$$

где $c\left(\frac{1}{Z}R\right)$ - молярная концентрация эквивалента титранта (известная величина); V_R - объём титранта (устанавливают титрованием); $c\left(\frac{1}{Z}x\right)$ - молярная концентрация эквивалента определяемого вещества x ; V_x - объём анализируемого раствора (известная величина)

Объёмная концентрация – отношение объема растворенного вещества к объему раствора.

Доля компонента от общего количества вещества. Доля означает отношение числа частей компонента к общему числу частей объекта. В зависимости от выбранной единицы различают массовую (ω), молярную (α), объёмные доли (φ).

$$\omega = \frac{m_i}{\sum m} \quad \alpha = \frac{n_i}{\sum n} \quad \varphi = \frac{V_i}{\sum V}$$

Долю выражают:

- в процентах (доля умноженная на 100);
- миллионных долях (ppm, доля умноженная на 10^6);
- миллиардных долях (ppb, доля умноженная на 10^9);
- триллионных долях (ppt, доля умноженная на 10^{12}).

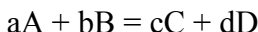
Моляльность – количество вещества в единице массы (1 кг) растворителя. Преимущество моляльности – в независимости от температуры.

Молярная концентрация эквивалента (устаревшее название “нормальность”) - это отношение количества вещества **эквивалента** в растворе к объему этого раствора. Единица измерения – моль/дм³.

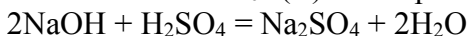
$$c\left(\frac{1}{z} B\right) = \frac{m_B}{M\left(\frac{1}{z} B\right) \cdot V},$$

где V – объём раствора, дм³; m_B – масса растворенного вещества, г; $M\left(\frac{1}{z} B\right)$ – молярная масса эквивалента, г/моль.

Эквивалент. Между условными частицами в соединениях существуют определенные соотношения, называемые стехиометрическими. Например в молекуле H_2CO_3 два протона связаны с одной частицей CO_3^{2-} . Между реагирующими частицами также устанавливаются стехиометрические отношения, например в реакции



«а» условных частиц вещества А реагируют с «b» условными частицами вещества В. Следовательно одна частица А эквивалентна b/a частицам вещества В. Отношение b/a называют **фактором эквивалентности** вещества В и обозначают $f_{\text{ЭКВ}}(B)$, а условную частицу В, соответствующую в данной реакции частице А, обозначают b/aB или $f_{\text{ЭКВ}}(B)B$. Например, в реакции

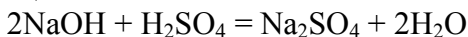


$f_{\text{ЭКВ}}(H_2SO_4) = \frac{1}{2}$, эквивалентом является условная частица $\frac{1}{2} H_2SO_4$.

Вещества реагируют между собой в эквивалентных количествах. Этот закон кратных отношений Дальтона служит основой всех расчетов результатов титриметрического анализа.

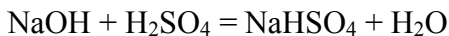
Эквивалент одного и того же вещества может быть разным в зависимости от реакции.

Например в реакции:



эквивалент H_2SO_4 - условная частица $\frac{1}{2} H_2SO_4$ ($f_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{2}$),

а в реакции:



эквивалент H_2SO_4 - условная частица H_2SO_4 ($f_{\text{эКВ}} = 1$).

Однако для расчета фактора эквивалентности и эквивалента необходима фиксированная основа, так как одного стехиометрического уравнения реакции для проведения расчета не всегда бывает достаточно. Такой основой в реакциях кислотно-основного взаимодействия является **ион водорода**, а в окислительно-восстановительных реакциях – **электрон**. Это и позволяет сделать определение фактора эквивалентности и эквивалента.

Фактор эквивалентности ($f_{\text{эКВ}}$) – число, обозначающее, какая доля реальной частицы веществ (x) эквивалентна одному иону водорода (z) в кислотно-основных реакциях или одному электрону (z) в окислительно-восстановительной реакции.

$$f_{\text{эКВ}}(x) = \frac{1}{z_x}$$

где z_x – число ионов водорода (кислотно-основные реакции) или число электронов (окислительно-восстановительные реакции), x – химическая формула вещества

Эквивалентом называют реальную или условную частицу вещества x , которая в данной кислотно-основной реакции эквивалентна одному иону водорода или в данной реакции окисления восстановления – одному электрону.

Молярной массой эквивалента вещества x (г/моль) называют массу одного моль эквивалента этого вещества, равную произведению фактора эквивалентности на молярную массу вещества x .

$$M\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4\right) = \frac{1}{2} \cdot 98 = 49 \text{ г/моль.}$$

Под молярной массой эквивалента понимают некоторую реальную частицу, которая может присоединять, высвобождать или быть эквивалентной одному иону водорода или одному электрону. Она зависит от типа реакции, т.е. не является величиной постоянной.

На основе закона эквивалентов можно вывести следующие формулы для вычисления эквивалентных масс сложных веществ:

для оксида

$$M\left(\frac{1}{z} X\right) = \frac{M_{\text{оксида}}}{\text{число атомов элемента} \cdot \text{валентность элемента}} ;$$

для кислоты

$$M\left(\frac{1}{z} X\right) = \frac{M_{\text{кислоты}}}{\text{число атомов водорода}} ;$$

для основания

$$M\left(\frac{1}{z} X\right) = \frac{M_{\text{основания}}}{\text{число гидроксил - ионов}} ;$$

для соли

$$M\left(\frac{1}{z} X\right) = \frac{M_{\text{соли}}}{\text{число атомов металла} \cdot \text{валентность металла}} .$$

Пример 1. Определить молярную массу эквивалента хлора, серы, азота и углерода в соединениях HCl, H₂S, NH₃, CH₄.

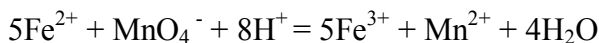
Решение. В данных соединениях с 1 моль атомов водорода соединяется с 1 моль хлора, 1/2 моль серы, 1/3 моль азота, 1/4 моль углерода. Следовательно, молярные массы эквивалентов элементов равны:

$$M\left(\frac{1}{1} \text{HCl}\right) = 1 \cdot 36,45 = 36,45 \text{ г/моль}; \quad M\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{S}\right) = \frac{1}{2} \cdot 34 = 17 \text{ г/моль}$$

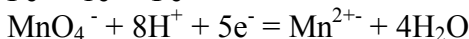
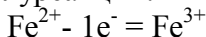
$$M\left(\frac{1}{3} \text{NH}_3\right) = \frac{1}{3} \cdot 17 = 5,67 \text{ г/моль}; \quad M\left(\frac{1}{4} \text{CH}_4\right) = \frac{1}{4} \cdot 16 = 4 \text{ г/моль}$$

В окислительно-восстановительных реакциях молярные массы эквивалентов восстановителя и окислителя должны быть отнесены к числу электронов, участвующих в переносе заряда.

Например, реакция



состоит из полуреакций:



Молярная масса эквивалента:

1) железа – $M(\frac{1}{1} \text{Fe}) = 55,85 \text{ г/моль}$;

2) перманганата калия – $M(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4) = \frac{1}{5} \cdot 158,04 = 31,61 \text{ г/моль}$.

2.2 Расчеты в титриметрическом анализе

Титриметрический анализ основан на точном измерении количества реактива, израсходованного на реакцию с определяемым веществом.

Вещества реагируют между собой в эквивалентных количествах $n_1 = n_2$

Так как

$$n = cV \cdot 10^{-3},$$

где n – количество вещества, моль; c – молярная концентрация эквивалента, моль/дм³, V — объем, в котором растворено вещество, см³; то для двух стехиометрически реагирующих веществ справедливо соотношение:

$$c_1 V_1 = c_2 V_2$$

На этом **принципе эквивалентности** основан расчет результатов титриметрического анализа. Зная молярную массу эквивалента (M , г/моль) находят массу вещества (m_2 , г).

$$m_2 = \frac{c_2 \cdot M \cdot V}{1000}.$$

Пример 2. На титрование 15,00 см³ раствора тетрабората натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) затрачено 12,25 см³ раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/дм³. Вычислить молярную концентрацию эквивалента тетрабората натрия и массу тетрабората натрия во взятом на титрование объеме раствора.

Решение.

1) по закону эквивалентов

$$c(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) \cdot V_{(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)} = c(\text{HCl}) \cdot V_{(\text{HCl})}$$

находим молярную концентрацию эквивалента тетрабората натрия, моль/дм³:

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) = \frac{0,1000 \cdot 12,25}{15,00} = 0,0817;$$

2) масса тетрабората натрия во взятом на титрование объёме раствора (15,00 см³) равна, г.

$$m = c\left(\frac{1}{2}\text{HCl}\right) \cdot V_{(\text{HCl})} \cdot M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) \cdot 10^{-3}.$$

Молярная масса эквивалента тетрабората натрия равна, г/моль

$$M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}\right) = \frac{381,27}{2} = 190,69.$$

Значит, $m = 0,1000 \cdot 12,25 \cdot 190,69 \cdot 10^{-3} = 0,2336$ г

Ответ: $c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) = 0,0817$ моль/дм³, $m_{\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7} = 0,2336$ г.

При выражении концентрации рабочего раствора широко используется поправочный коэффициент, который представляет собой отношение действительной концентрации данного раствора c_d к его номинальной (теоретической) концентрации c_n :

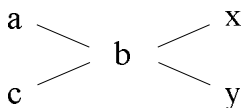
$$K_p = \frac{c_d}{c_n}$$

2.3 Приготовление растворов методом смешивания или разбавления

При разбавлении растворов водой его концентрация меняется обратно пропорционально изменению объёма. При смешении растворов одного и того же вещества, имеющих различные концентрации, получается раствор новой концентрации.

Например, если раствор, содержащий А% растворенного вещества, смешать с раствором, содержащим В% того же вещества, то получится раствор, содержащий С% растворенного вещества. При этом если $A > B$, то $A > C > B$.

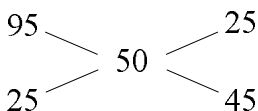
На практике при вычислении соотношений между смешиваемыми растворами или раствором и водой удобно пользоваться графическим приемом (*правилом креста*).



В схеме слева записывают числовое значение концентрации или массовой доли имеющихся растворов, (большую – сверху, меньшую – снизу). В центре записывают концентрацию или массовую долю раствора, который нужно приготовить. Из большего числа вычитают меньшее (по диагонали), и полученные числовые значения записывают справа. Например, $a - b = y$; $c - b = x$. Отношение чисел, записанных справа, указывает на соотношение масс или объемов, в котором необходимо смешать имеющиеся растворы, чтобы получить раствор требуемой концентрации или массовой доли.

Пример 3. Какие количества растворов серной кислоты с массовыми долями 25 % (плотность раствора $1,173 \text{ г/см}^3$) и 95 % (плотность раствора $1,834 \text{ г/см}^3$) нужно смешать для получения 1 дм^3 раствора серной кислоты с массовой долей 50 %?

Решение.



Взяв 25 г серной кислоты с массовой долей 95 % и 45 г кислоты с массовой долей 25 %, получим только $25 + 45 = 70 \text{ г}$ раствора серной кислоты с массовой долей 50 %. Так как плотность раствора серной кислоты с массовой долей 50 % равна $1,395 \text{ г/см}^3$, то 1 дм^3 кислоты весит 1395 г. Вычислим искомые количества исходных растворов.

Для 95%-го раствора серной кислоты:
из 25 г получается 70 г серной кислоты;
из x г получается 1395 г серной кислоты.

$$x = \frac{1395 \cdot 25}{70} = 498,2143 \text{ г } V = \frac{m}{\rho} = \frac{498,2143}{1,834} = 270,33 \text{ см}^3$$

где 1,834 г/см³ – плотность раствора серной кислоты с массовой долей 95 %.

Для 25%-го раствора серной кислоты:
из 45 г получается 70 г серной кислоты;
из у г получается 1395 г серной кислоты.

$$y = \frac{1395 \cdot 45}{70} = 896,79 \text{ г } V = \frac{896,79}{1,173} = 764,53 \text{ см}^3$$

где 1,173 г/см³ – плотность раствора серной кислоты с массовой долей 25 %.

Ответ: необходимо взять 270,33 см³ 95 %-ного и 764,53 см³ 25 %-ного растворов серной кислоты.

2.4 Окислительно-восстановительные реакции

Окислительно-восстановительными называются реакции, сопровождающиеся изменением степени окисленности атомов, входящих в состав реагирующих веществ. Под степенью окисленности понимают тот условный заряд атома, который вычисляется, исходя из предположения, что молекула состоит только из ионов. Для вычисления степени окисленности элемента в соединении следует исходить из следующих положений:

- 1) степени окисленности элементов в простых веществах принимаются равными нулю;
- 2) алгебраическая сумма степеней окисленности всех атомов, входящих в состав молекулы, равна нулю;
- 3) постоянную степень окисленности в соединениях проявляют щелочные металлы (+1), металлы главной подгруппы II группы (+2);
- 4) водород проявляет степень окисленности (+1) во всех соединениях, кроме гидридов металлов (NaH, CaH₂ и т.п.), где степень окисленности равна (-1);

5) степень окисленности кислорода в соединениях равна -2, за исключением пероксидов (-1) и фторида кислорода OF_2 (+2).

Окисление-восстановление - это единый взаимосвязанный процесс. Отдача атомом электронов, сопровождающаяся повышением его степени окисленности, называется *окислением*, присоединение атомом электронов, приводящее к понижению его степени окисленности, называется *восстановлением*.

Вещество, в состав которого входит окисляющийся элемент, называется восстановителем, вещество, содержащее восстанавливающийся элемент, называется окислителем.

При составлении ионно-электронных уравнений процессов окисления и восстановления удобно пользоваться следующими правилами:

1) на один атом кислорода, уходящего из частицы (молекулы, иона) окислителя в кислой среде затрачиваются два иона H^+ и образуется одна молекула воды; в нейтральной и щелочной среде затрачивается одна молекула воды и образуется два иона OH^- .

2) на один атом кислорода, присоединяющегося к частице восстановителя в кислой и нейтральной среде, затрачивается одна молекула воды и образуется два иона H^+ ; в щелочной среде затрачиваются два иона OH^- и образуется одна молекула воды.

Например, MnO_4^- является окислителем:

- а) в кислой среде: $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O};$
- б) в нейтральной среде: $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-;$
- в) в щелочной среде: $\text{MnO}_4^- + \text{e}^- = \text{MnO}_4^{2-}.$

SO_3^{2-} является восстановителем:

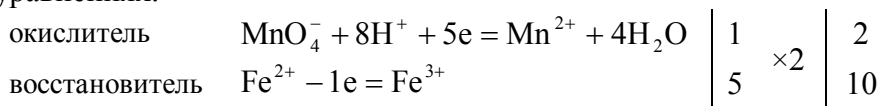
- а) в кислой и нейтральной среде: $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} - 2\text{e}^- = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+;$
- б) в щелочной среде: $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}.$

Пример 4. Составьте уравнения окислительно-восстановительной реакции, идущей по схеме:



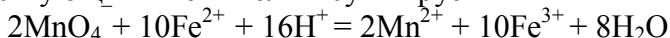
Решение. Если в условии задачи даны как исходные вещества, так и продукты их взаимодействия, то написание уравнения сводится, как правило, к нахождению и расстановке коэффициентов. Коэффициенты определяют методом

электронного баланса с помощью электронных уравнений. Вычисляем, как изменяют свою степень окисленности восстановитель и окислитель, и отражаем в ионно-электронных уравнениях:



Общее число электронов отданных восстановителем, должно быть равно числу электронов, которое присоединяет окислитель. Общее наименьшее кратное для отданных и принятых электронов пять. Разделив это число на 5, получаем коэффициент 1 для окислителя, а при делении 5 на 1 получаем коэффициент 5 для восстановителя. Из приведенной схемы реакции видно, что в результате реакции из FeSO_4 образуется $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, в молекулу которого входят два иона Fe^{3+} , т.к. основные коэффициенты мы выводим из расчета на один ион, то их необходимо удвоить (соответственно числу ионов в молекуле образующегося вещества $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$).

Коэффициенты у восстановителя и окислителя будут не 1 и 5, а 2 и 10. Умножаем каждый член уравнения на соответствующий множитель и суммируем



Найденные коэффициенты переносим в схему реакции. Коэффициенты перед веществами, атомы которых не меняют свою степень окисленности, находят подбором. Уравнение реакции будет иметь вид:



2.5 Определение pH раствора

Определение pH раствора заключается в вычислении концентрации ионов H_3O^+ в нём.

pH растворов вычисляются по формулам:

1) для сильных кислот:

$$\text{pH} = -\lg c_{\text{H}^+};$$

2) для сильных оснований:

$$\text{pH} = 14 + \lg c_{\text{OH}^-};$$

3) для слабых кислот:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{pK}_a - \frac{1}{2} \lg c_a$$

где $\text{pK}_a = -\lg K_a$

K_a – константа диссоциации слабой кислоты;

c_a – концентрация слабой кислоты, моль/дм³.

4) для слабых оснований:

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \text{pK}_b + \frac{1}{2} \lg c_b$$

где pK_b – показатель константы диссоциации слабого основания;

c_b – концентрация слабого основания, моль/дм³.

5) для соли образованной слабым основанием и сильной кислотой:

$$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \text{pK}_b - \frac{1}{2} \lg c_s$$

где c_s – концентрация соли в растворе, моль/дм³.

6) для соли образованной сильным основанием и слабой кислотой:

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \text{pK}_a + \frac{1}{2} \lg c_s$$

7) для кислого буферного раствора:

$$\text{pH} = \text{pK}_a - \lg \frac{c_a}{c_s},$$

где pK_a – показатель константы диссоциации слабой кислоты;

c_a – концентрация слабой кислоты в буферном растворе, моль/дм³;

c_s – концентрация соли в буферном растворе, моль/дм³.

8) для основного буферного раствора:

$$\text{pH} = 14 - \text{pK}_b + \lg \frac{c_b}{c_s},$$

где pK_b – показатель константы диссоциации слабого основания;

c_b – концентрация слабого основания в буферном растворе, моль/дм³.

c_s – концентрация соли в буферном растворе, моль/дм³.

Пример 5. Рассчитайте pH раствора уксусной кислоты, если в $100,00 \text{ см}^3$ раствора содержится $0,6000 \text{ г}$ CH_3COOH .

Решение. Рассчитаем молярную концентрацию раствора $c(\text{CH}_3\text{COOH})$, моль/ дм^3 .

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot 1000}{V \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{0,6000 \cdot 1000}{100 \cdot 60} = 0,1.$$

CH_3COOH – слабая кислота, поэтому pH раствора рассчитываем по формуле:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{pK}_a - \frac{1}{2} \lg c_a.$$

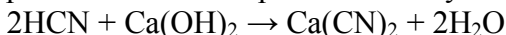
$K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$ (из таблицы), $\text{pK}_a = -\lg 1,8 \cdot 10^{-5} = 4,75$;

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \cdot 4,75 - \frac{1}{2} \cdot \lg 0,1 = 2,88$$

Ответ: $\text{pH} = 2,88$.

Пример 6. Вычислите pH раствора в точке эквивалентности (Т.Э.) при титровании раствора HCN с молярной концентрацией эквивалента $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$ такой же концентрации.

Решение. При титровании раствора синильной кислоты раствором гидроксида кальция протекает следующая реакция:



В момент Т.Э. ($\tau = 1$) раствор содержит только продукт реакции $\text{Ca}(\text{CN})_2$, концентрацию которого рассчитываем с учетом разбавления

$$R = \frac{1}{1 + \frac{c_x^0}{c_T} \cdot \tau} = \frac{1}{1 + \frac{c_{\text{HCN}}^0}{c_{\text{Ca}(\text{OH})_2}^0} \cdot \tau} = \frac{1}{1 + \frac{0,2}{0,2} \cdot 1} = 0,5$$

$$c_{\text{Ca}(\text{CN})_2} = c_{\text{HCN}}^0 \cdot R = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ моль/дм}^3.$$

pH раствора $\text{Ca}(\text{CN})_2$ рассчитываем по формуле для соли, образованной сильным основанием и слабой кислотой:

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \text{pK}_{\text{HCN}} + \frac{1}{2} \lg C_{\text{Ca}(\text{CN})_2} = 7 + \frac{1}{2} \cdot 9,3 + \frac{1}{2} \cdot \lg 0,1 = 11,15$$

Ответ: $\text{pH} = 11,15$.

Пример 7. Вычислите pH раствора, полученного после прибавления к 25,00 см³ раствора HCOOH с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³ раствора NaOH той же концентрации объемом: а) 50,00 см³; б) 20,00 см³.

Решение.

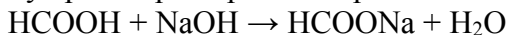
а) Рассчитаем концентрации реагирующих веществ в общем растворе по формуле, моль/дм³

$$c = c^0 \cdot \frac{V^0}{V^0 + V_{\text{доб}}}$$

$$c_{\text{HCOOH}} = c_{\text{HCOOH}}^0 \cdot \frac{V_{\text{HCOOH}}}{V_{\text{HCOOH}} + V_{\text{NaOH}}} = 0,1 \cdot \frac{25}{25 + 50} = 0,0333$$

$$c_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}}^0 \cdot \frac{V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{NaOH}} + V_{\text{HCOOH}}} = 0,1 \cdot \frac{50}{50 + 25} = 0,0667$$

При смешении двух растворов протекает реакция:



В избытке гидроксид натрия, концентрация которого составит

$$0,0667 - 0,0333 = 0,0334 \text{ моль/дм}^3$$

Следовательно в растворе присутствует гидроксид натрия и формиат натрия. В присутствии щелочи гидролиз соли полностью подавлен, pH раствора рассчитываем по избыточному количеству щелочи:

$$\text{pH} = 14 + \lg c_{\text{OH}^-} = 14 + \lg 0,0334 = 12,52$$

б) Рассчитаем концентрации реагирующих вещества в общем растворе, моль/дм³

$$c_{\text{HCOOH}} = c_{\text{HCOOH}}^0 \cdot \frac{V_{\text{HCOOH}}}{V_{\text{HCOOH}} + V_{\text{NaOH}}} = 0,1 \cdot \frac{25}{25 + 20} = 0,0556$$

$$c_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}}^0 \cdot \frac{V_{\text{NaOH}}}{V_{\text{NaOH}} + V_{\text{HCOOH}}} = 0,1 \cdot \frac{20}{20 + 25} = 0,0444$$

В избытке муравьиная кислота, концентрация которой составит

$$0,0556 - 0,0444 = 0,0112 \text{ моль/дм}^3$$

Следовательно в растворе присутствуют муравьиная кислота и формиат натрия, что представляет собой кислый буферный

раствор. рН полученного раствора рассчитываем по соответствующей формуле:

$$\text{pH} = \text{pK}_{\text{HCOOH}} - \lg \frac{C_{\text{HCOOH}}}{C_{\text{HCOONa}}} = 3,75 - \lg \frac{0,0112}{0,0444} = 4,35$$

Ответ: а) рН = 12,52; б) рН = 4,35.

2.6 Графическое представление процесса титрования

Титриметрические методы анализа относят к числу наиболее важных в количественном анализе. Они основаны на титровании.

Титрование – процесс приливания реагента (титранта) к исследуемому раствору с целью определения концентрации одного из них. Момент, когда титрант прилит к раствору определяемого вещества в строго эквивалентном количестве, отвечающем стехиометрическому уравнению реакции взаимодействия, называют точкой эквивалентности (Т.Э.). Для установления момента эквивалентности в титриметрических реакциях используют индикаторы - вещества, которые изменяют свою окраску при концентрации реагирующих веществ, возможно более близких к точке эквивалентности. Момент титрования, когда индикатор меняет окраску, называют конечной точкой титрования (КТТ).

Точка эквивалентности характеризуется особым отношением концентраций реагирующих веществ в растворе, так как применяемые реакции в титриметрическом анализе, как правило, обратимы. В начале титрования имеется избыток определяемого вещества, после точки эквивалентности (Т.Э.) имеется избыток реагента. Теоретически в точке эквивалентности должен быть только продукт реакции, если реакция взаимодействия протекает количественно. Но реакции, применяемые в титриметрии, как правило, обратимы, поэтому в точке эквивалентности они практически не доходят до конца.

Для реакции титрования



где X – титруемое вещество, T – титрант.

Процесс титрования можно представить графически по изменению концентрации X или T как функцию:

$$[X] = f(V_T) \quad \text{или} \quad [X] = f(\tau),$$

где V_T – объём титранта, см^3 ;

τ – степень оттитровывания, которая определяется по формуле:

$$\tau = \frac{\text{количество титранта в момент титрования}}{\text{количество титранта, необходимое для достижения Т.Э.}}$$

В процессе титрования τ принимает следующие значения:

- 1) до начала титрования $\tau = 0$;
- 2) до точки эквивалентности (Т.Э.) $0 < \tau < 1$;
- 3) в Т.Э. $\tau = 1$;
- 4) за Т.Э. $\tau > 1$.

Обычно процесс представляют в виде полулогарифмической кривой:

$$pX = f(V_T) \quad \text{или} \quad pX = f(\tau).$$

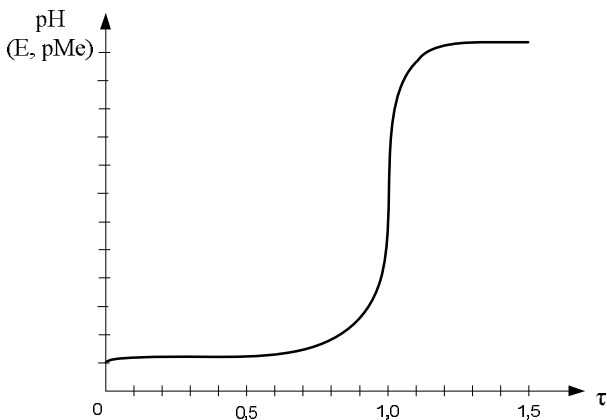


Рисунок 1 - Вид кривой титрования

В кислотно-основном титровании:

$$pX = \text{pH}, \text{ где } \text{pH} = -\lg [X].$$

В окислительно-восстановительном титровании

$$pX = E.$$

В комплексонометрическом титровании:

$$pX = pMe, \text{ где } pMe = -\lg [Me^{n+}].$$

Кривая титрования изображает изменение pH (pMe или E) титруемого раствора по мере приливания к нему стандартного раствора.

При расчете кривой титрования до Т.Э. необходимо задавать следующие значения τ :

До начала титрования $\tau = 0$;

До точки эквивалентности $0 < \tau < 1$:

1) $\tau = 0,10$;

2) $\tau = 0,50$;

3) $\tau = 0,90$;

4) $\tau = 0,99$;

5) $\tau = 0,999$;

В точке эквивалентности $\tau = 1$;

В области перетитрованного раствора ($\tau > 1$) необходимо задавать следующие значения τ :

1) $\tau = 1,001$;

2) $\tau = 1,01$;

3) $\tau = 1,10$.

Полученные расчетные данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчетные данные для построения кривой титрования

№ п/п	τ	Состав раствора	Расчетная формула	pH (pE или pMe)
1	0			
2	0,10			
...				

Резкое изменение pH (pE или pMe) (скачок титрования) наблюдается вблизи Т.Э.

Для ошибки титрования $\pm 0,1$ % скачок титрования ΔpH (ΔE , ΔpMe) рассчитывают, когда $\tau_1 = 0,999$ и $\tau_2 = 1,001$.

$$\Delta pH = pH(\tau_2) - pH(\tau_1).$$

Для ошибки титрования $\pm 1,0$ % скачок титрования ΔpH (ΔE , ΔpMe) рассчитывают, когда $\tau_1 = 0,99$ и $\tau_2 = 1,01$.

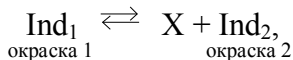
$$\Delta pH = pH(\tau_2) - pH(\tau_1).$$

2.7 Определение точки эквивалентности при титровании

Момент наступления скачка можно фиксировать различными методами. Если один из реагентов имеет окраску, то титруемый раствор окрашивается в характерный цвет и по нему фиксируют момент окончания реакции. В этом случае реакция является самоиндикаторной. В остальных случаях точку эквивалентности устанавливают с помощью индикаторов или инструментальными методами.

Индикаторы – это вещества, которые резко реагируют на изменение концентрации определяемого компонента или титранта вблизи точки эквивалентности. При этом они переходят в другую равновесную форму, изменяя окраску или образуя осадок. Точка при титровании, в которой наблюдается резкое изменение окраски индикатора, называется конечной точкой титрования (К.Т.Т.).

Индикаторы по своей природе идентичны либо определяемому веществу, либо титранту. Действие индикатора основано на смещении равновесия.



где X – продукт превращения индикатора, отражающий реакцию, в которой он участвует (табл. 3);

Ind₁, Ind₂ – две сопряженные формы индикатора.

Таблица 3 - Типы индикаторов

Метод титрования	Тип индикатора	X	Примеры индикаторов
Кислотно-основное титрование	pH-индикаторы	H ⁺	Метиловый оранжевый, фенолфталеин
Окислительно-восстановительное титрование	Редокс-индикаторы	e	Дифениламин, ферроин
Комплексонометрическое титрование	Металл-индикаторы	Me ⁿ⁺	Эриохром-черный (ЭХЧТ), мурексид

Индикаторы характеризуются интервалом перехода окраски (ΔpX) и показателем титрования (pT), который определяет конечную точку титрования. В интервале перехода окраски индикатора отчетливо видна окраска формы Ind_1 и формы Ind_2 (табл. 3).

Выбор индикатора осуществляется по ΔpX индикатора, который должен совпадать со скачком титрования изучаемой системы, а показатель титрования индикатора pT – со значением изучаемого свойства в точке эквивалентности. Часто изменение окраски индикатора происходит не в точке эквивалентности, что вызывает систематическую погрешность (индикаторную) в определении концентрации анализируемого вещества.

Таблица 4 - Индикаторы кислотно-основного титрования

Индикаторы	$\Delta pX = \Delta pT$	pT	Изменение окраски	
			кислотная форма	основная форма
Метиловый оранжевый	3,1-4,4	4,0	красная	желтая
Метиловый красный	4,2-6,2	5,5	красная	желтая
Фенолфталеин	8,2-10,0	9,0	бесцветная	красная

2.8 Требования к реакциям, применяемым в титриметрии

Реакции, применяемые в титриметрии должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) должны быть селективны;
- 2) должны протекать без побочных процессов, т.е. стехиометрично;
- 3) реакции должны протекать быстро, для увеличения скорости реакции применяют следующие способы:
 - а) подбор соответствующего растворителя;
 - б) титрование по остатку (избыток реагента);
 - в) подбор катализаторов;
 - г) повышение температуры;
- 4) степень завершенности реакции должна быть не менее 99,9%, т.е. $K_{равн} \geq 10^6$;

- 5) в точке эквивалентности должно происходить резкое изменение физико-химических характеристик реакции;
- 6) желательно, чтобы реакция протекала в обычных условиях;
- 7) реагенты, применяемые для приготовления стандартных растворов должны быть дешевыми и неядовитыми.

2.9 Кислотно-основное титрование

Пример 8. Титруют 100,00 см³ раствора HCl с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³ раствором NaOH с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи Т.Э. для уровня ошибок η = ± 0,1%. Подберите индикатор для фиксирования конечной точки титрования (КТТ).

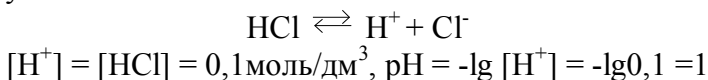
Решение. Расчеты кривой титрования ведем с учетом разбавления раствора в процессе титрования:

$$R = \frac{1}{1 + \frac{c_x^0}{c_T^0} \cdot \tau}$$

где R – разбавление раствора; c_x^0 – концентрация титруемой кислоты, моль/дм³; c_T^0 – концентрация титранта, моль/дм³; τ – степень оттитровывания раствора.

Так как $c_x^0 = c_T^0$, то $R = \frac{1}{1 + \tau}$.

1 До начала титрования τ = 0. Раствор содержит соляную кислоту:



2 До Т.Э. при 0 < τ < 1. Раствор представляет собой смесь соляной кислоты и хлорида натрия (pH = 7), концентрацию [H⁺] рассчитывают по формуле:

$$[\text{H}^+] = c_x^0 (1 - \tau) R = c_x^0 \frac{1 - \tau}{1 + \tau}$$

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

pH раствора рассчитываем при следующих значениях τ :

а) $\tau = 0,1$	$[\text{H}^+] = 8,2 \cdot 10^{-2}$	pH = 1,09
б) $\tau = 0,9$	$[\text{H}^+] = 5,3 \cdot 10^{-3}$	pH = 2,28
в) $\tau = 0,99$	$[\text{H}^+] = 5,0 \cdot 10^{-4}$	pH = 3,30
г) $\tau = 0,999$	$[\text{H}^+] = 5,0 \cdot 10^{-5}$	pH = 4,30

3 В Т.Э. $\tau = 1$. В растворе присутствует только продукт реакции NaCl, соль не вступающая в реакцию гидролиза:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}, \text{pH} = 7$$

4 В области перетитрованного раствора $\tau > 1$. Раствор содержит избыток ионов OH^- , концентрацию которых рассчитывают по уравнению:

$$[\text{OH}^-] = c_T^0 (\tau - 1) R \quad \text{pH} = 14 + \lg [\text{OH}^-]$$

при следующих значениях τ :

а) $\tau = 1,001$	$[\text{OH}^-] = 5,0 \cdot 10^{-5}$	pH=9,7
б) $\tau = 1,01$	$[\text{OH}^-] = 5,0 \cdot 10^{-4}$	pH = 10,7
в) $\tau = 1,1$	$[\text{OH}^-] = 4,5 \cdot 10^{-3}$	pH = 11,7

Полученные данные заносим в таблицу 5.

Таблица 5 - Расчетные данные для построения кривой титрования

№ п/п	τ	Состав раствора	Расчетная формула	pH раствора
1	0	$[\text{H}^+]$	$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$	1,00
2	0,10	$[\text{H}^+]$	$[\text{H}^+] = c_x^0 (1 - \tau) R$ $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$	1,09
	0,90	$[\text{H}^+]$		2,28
	0,99	$[\text{H}^+]$		3,30
	0,999	$[\text{H}^+]$		4,30
3	1	$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$	$\text{pH} = 7$	7,00
4	1,001	$[\text{OH}^-]$	$[\text{OH}^-] = c_T^0 (\tau - 1) R$ $\text{pH} = 14 + \lg [\text{OH}^-]$	9,70
	1,01	$[\text{OH}^-]$		10,70
	1,10	$[\text{OH}^-]$		11,70

По данным таблицы 5 строим кривую титрования:

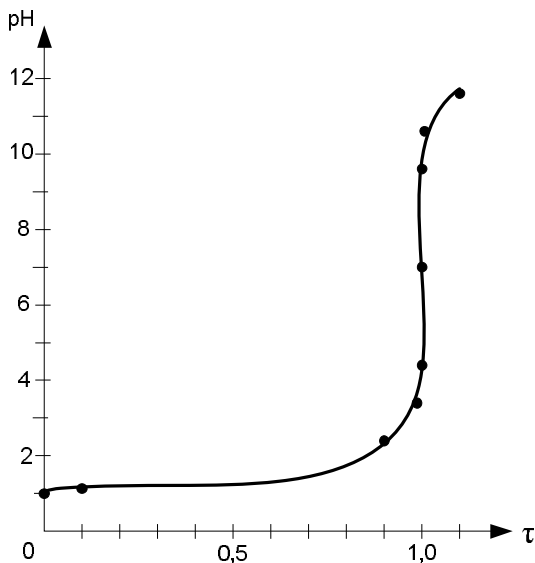


Рисунок 2 - Кривая кислотно-основного титрования для рассмотренного примера

Для ошибки титрования $\pm 0,1 \%$ скачок титрования

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\tau=1,001} - \text{pH}_{\tau=0,999} = 9,70 - 4,30 = 5,40.$$

Для ошибки титрования $\pm 1,0 \%$ скачок титрования

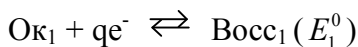
$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\tau=1,01} - \text{pH}_{\tau=0,99} = 10,70 - 3,30 = 7,40.$$

Скачок титрования ΔpH для ошибки титрования $\eta = \pm 0,1\%$ находится в пределах от 4,30 до 9,70. По величине этого скачка для фиксирования К.Т.Т. подбираем индикатор.

По таблице 4 видно, что в данном случае для фиксирования КТТ можно использовать все три индикатора. Но наименьшая индикаторная ошибка титрования будет, если К.Т.Т. фиксируется метиловым красным.

2.10 Окислительно-восстановительное титрование

Если раствор окислителя титруется раствором восстановителя, то метод называется *редуктометрией*. В данном случае полуреакции записываются:



Кривую титрования рассчитывают по следующим уравнениям:

1) до Т.Э. $0 < \tau < 1$:

$$E_1 = E_1^0 + \frac{0,059}{q} \cdot \lg \frac{1-\tau}{\tau}$$

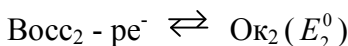
2) в Т.Э. $\tau = 1$:

$$E_{\text{ТЭ}} = \frac{qE_1^0 + pE_2^0}{q + p}$$

3) после Т.Э. $\tau > 1$:

$$E_2 = E_2^0 + \frac{0,059}{p} \cdot \lg \frac{\tau}{\tau-1}$$

Если раствор восстановителя титруется стандартным раствором окислителя, то метод называется *оксидиметрией*. Полуреакции записываются:



Кривую титрования рассчитывают по следующим уравнениям:

1) до Т.Э. $0 < \tau < 1$:

$$E_1 = E_2^0 + \frac{0,059}{p} \cdot \lg \frac{\tau}{1-\tau}$$

2) в Т.Э. $\tau = 1$:

$$E_{\text{ТЭ}} = \frac{qE_1^0 + pE_2^0}{q + p}$$

3) после Т.Э. $\tau > 1$:

$$E_2 = E_1^0 + \frac{0,059}{q} \cdot \lg \frac{\tau-1}{\tau}$$

Кривую титрования представляют в координатах $E - \tau$:

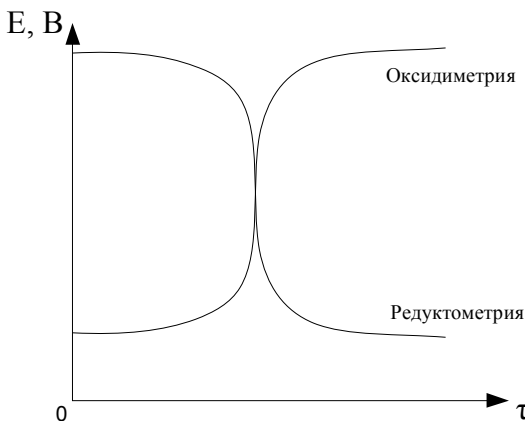


Рисунок 3 - Кривые окислительно-восстановительного титрования

Для расчета кривой титрования по методу окисления-восстановления задаются следующие значения τ :

- 1) до Т.Э. $\tau = 0,10$; $\tau = 0,50$; $\tau = 0,90$; $\tau = 0,99$; $\tau = 0,999$;
- 2) Т.Э. $\tau = 1$
- 3) после Т.Э. $\tau = 1,001$; $\tau = 1,01$; $\tau = 1,10$.

2.11 Осадительное титрование

Пример 10. Рассмотрим расчет кривой титрования $100,00 \text{ см}^3$ раствора NaCl с молярной концентрацией эквивалента $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ раствором AgNO_3 с молярной концентрацией эквивалента $0,1000 \text{ моль/дм}^3$.

Решение. Расчет ведем с учетом разбавления раствора:

$$R = \frac{1}{1 + \frac{c_x^0}{c_T^0} \cdot \tau}$$

Так как $c_x^0 = c_T^0$, то $R = \frac{1}{1 + \tau}$.

Рассчитаем изменение концентрации ионов Cl^- и pCl в различные моменты титрования.

1) До начала титрования $\tau = 0$

$$[\text{Cl}^-] = c_{\text{NaCl}}^0 = 0,1 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCl} = -\lg[\text{Cl}^-] = -\lg 0,1 = 1$$

2) До Т.Э. $0 < \tau < 1$

$$[\text{Cl}^-] = c_{\text{NaCl}}^0 (1 - \tau)R = c_{\text{NaCl}}^0 \frac{1 - \tau}{1 + \tau}$$

pCl раствора рассчитываем при следующих значениях τ :

а) $\tau = 0,1$

$$[\text{Cl}^-] = 0,1 \cdot \frac{1 - 0,1}{1 + 0,1} = 0,0818 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCl} = -\lg [\text{Cl}^-] = 1,09$$

б) $\tau = 0,5$

$$[\text{Cl}^-] = 0,1 \cdot \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} = 0,0333 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCl} = -\lg [\text{Cl}^-] = 1,48$$

в) $\tau = 0,9$

$$[\text{Cl}^-] = 0,1 \cdot \frac{1 - 0,9}{1 + 0,9} = 0,0053 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCl} = -\lg [\text{Cl}^-] = 2,28$$

г) $\tau = 0,99$

$$[\text{Cl}^-] = 0,1 \cdot \frac{1 - 0,99}{1 + 0,99} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCl} = -\lg [\text{Cl}^-] = 3,30$$

д) $\tau = 0,999$

$$[\text{Cl}^-] = 0,1 \cdot \frac{1 - 0,999}{1 + 0,999} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCl} = -\lg [\text{Cl}^-] = 4,30$$

3) В Т.Э. $\tau = 1$

$$[\text{Cl}^-] = [\text{Ag}^+] = \sqrt{\text{ПР}_{\text{NaCl}}} = \sqrt{1,78 \cdot 10^{-10}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3$$

$$\text{pCl} = -\lg [\text{Cl}^-] = 4,89$$

4) После Т.Э. $\tau > 1$. Раствор содержит избыток титранта, т.е. ионов Ag^+ , концентрацию которых рассчитываем по уравнению:

$$[\text{Ag}^+] = c_{\text{AgNO}_3}^0 (\tau - 1)R = c_{\text{AgNO}_3}^0 \frac{\tau - 1}{1 + \tau}$$

$$\text{pAg} = -\lg [\text{Ag}^+]$$

$$\text{ПР}_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1,78 \cdot 10^{-10},$$

прологарифмировав это выражение получим

$$pAg + pCl = -\lg(1,78 \cdot 10^{-10})$$

$$\text{т.о. } pAg + pCl = 9,75 \text{ или } pCl = 9,75 - pAg$$

$$\text{а) } \tau = 1,001$$

$$[Ag^+] = 0,1 \cdot \frac{1,001 - 1}{1 + 1,001} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3 \quad pAg = -\lg[Ag^+] = 4,3$$

$$pCl = 9,75 - pAg = 9,75 - 4,3 = 5,45$$

$$\text{б) } \tau = 1,01$$

$$[Ag^+] = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/дм}^3 \quad pAg = 3,3 \quad pCl = 9,75 - 3,3 = 6,45$$

$$\text{в) } \tau = 1,1$$

$$[Ag^+] = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/дм}^3 \quad pAg = 2,32 \quad pCl = 9,75 - 2,32 = 7,43$$

$$\text{б) } \tau = 1,5$$

$$[Ag^+] = 0,02 \text{ моль/дм}^3 \quad pAg = 1,7 \quad pCl = 9,75 - 1,7 = 8,05$$

Таблица 6 - Расчетные данные для построения кривой титрования

№ п/п	τ	Состав раствора	Расчетная формула	pCl
1	0	$[Cl^-]$	$[Cl^-] = c_{NaCl}^0$	1
2	0,10	$[Cl^-]$	$[Cl^-] = c_{NaCl}^0 \frac{1 - \tau}{1 + \tau}$	1,09
	0,50	$[Cl^-]$		1,48
	0,90	$[Cl^-]$		2,28
	0,99	$[Cl^-]$		3,30
	0,999	$[Cl^-]$		4,30
3	1	$[Cl^-] = [Ag^+]$	$[Cl^-] = \sqrt{PP_{NaCl}}$	4,89
4	1,001	$[Ag^+]$	$[Ag^+] = c_{AgNO_3}^0 \frac{\tau - 1}{1 + \tau}$ $pCl = 9,75 + \lg[Ag^+]$	5,45
	1,01	$[Ag^+]$		6,45
	1,10	$[Ag^+]$		7,43
	1,50	$[Ag^+]$		8,05

По данным таблицы 6 строим кривую титрования:

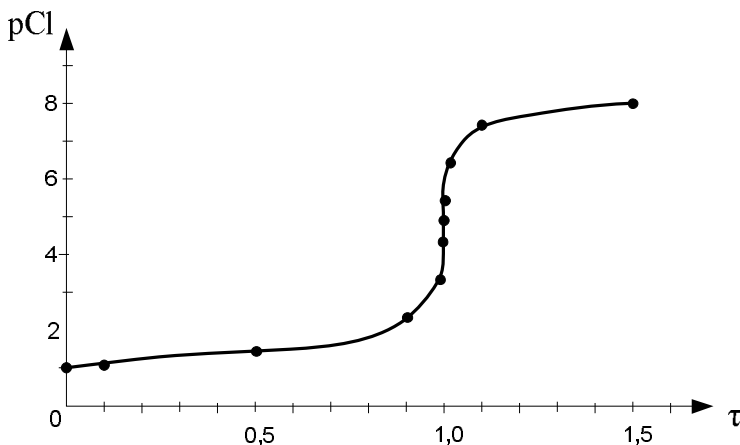


Рисунок 4 - Кривая осадительного титрования для рассмотренного примера

Для ошибки титрования $\pm 0,1 \%$ скачок титрования

$$\Delta pCl = pCl_{\tau=1,001} - pCl_{\tau=0,999} = 5,45 - 4,30 = 1,15.$$

Для ошибки титрования $\pm 1,0 \%$ скачок титрования

$$\Delta pCl = pCl_{\tau=1,01} - pCl_{\tau=0,99} = 6,45 - 3,30 = 3,15.$$

При титровании раствора $NaCl$ раствором $AgNO_3$ в качестве индикатора может быть использован раствор хромата калия. Точку эквивалентности в этом случае наблюдают по образованию красного окрашивания, вызываемого образованием Ag_2CrO_4 , при добавлении одной избыточной капли $AgNO_3$.

2.12 Комплексонометрическое титрование

Пример 9. Рассмотрим расчет кривой титрования $50,00 \text{ см}^3$ раствора Ca^{2+} с молярной концентрацией эквивалента $0,0100 \text{ моль/дм}^3$ раствором трилона Б с молярной концентрацией эквивалента $0,0100 \text{ моль/дм}^3$ при $pH = 12$.

Решение. Расчет ведем с учетом разбавления раствора:

$$R = \frac{1}{1 + \frac{c_x^0}{c_T^0} \cdot \tau}$$

Так как $c_X^0 = c_T^0$, то $R = \frac{1}{1 + \tau}$.

Рассчитаем изменение концентрации ионов Ca^{2+} и pCa в различные моменты титрования.

1) До начала титрования $\tau = 0$:

$$\text{pCa} = -\lg [\text{Ca}^{2+}] = -\lg 0,01 = 2$$

2) До Т.Э. при $0 < \tau < 1$:

$$[\text{Ca}^{2+}] = c_{\text{Ca}}^0 (1 - \tau)R = c_{\text{Ca}}^0 \frac{1 - \tau}{1 + \tau}$$

pCa раствора рассчитываем при следующих значениях τ :

а) $\tau = 0,1$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,01 \frac{1 - 0,1}{1 + 0,1} = 0,0082 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCa} = -\lg [\text{Ca}^{2+}] = 2,09$$

б) $\tau = 0,5$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,01 \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} = 0,0033 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCa} = -\lg [\text{Ca}^{2+}] = 2,48$$

в) $\tau = 0,9$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,01 \frac{1 - 0,9}{1 + 0,9} = 0,00053 \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCa} = -\lg [\text{Ca}^{2+}] = 3,28$$

г) $\tau = 0,99$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,01 \frac{1 - 0,99}{1 + 0,99} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCa} = -\lg [\text{Ca}^{2+}] = 4,30$$

д) $\tau = 0,999$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,01 \frac{1 - 0,999}{1 + 0,999} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ моль/дм}^3 \quad \text{pCa} = -\lg [\text{Ca}^{2+}] = 5,30$$

3) В Т.Э. $\tau = 1$

Ионы металла появляются вследствие распада комплекса. Концентрацию ионов металла выражаем из уравнения константы устойчивости комплекса

$$\beta = \frac{[\text{MeY}^{2-}]}{[\text{Me}^{2+}] \cdot [\text{Y}^{4-}]} = \frac{c_{\text{Ca}^{2+}}^0 \cdot R}{[\text{Ca}^{2+}]^2} \quad [\text{Ca}^{2+}] = \sqrt{\frac{c_{\text{Ca}}^0 \cdot R}{\beta}},$$

где β – константа устойчивости комплекса CaY^{2-} , $R = 0,5$ (в Т.Э.)

$$[\text{Ca}^{2+}] = \sqrt{\frac{0,01 \cdot 0,5}{1,75 \cdot 10^{10}}} = 5,3 \cdot 10^{-7}; \text{pCa} = 6,28.$$

4) После Т.Э. $\tau > 1$. Концентрация трилона Б равна:

$$[\text{T}] = [\text{H}_2\text{Y}^{2-}] = C_{\text{T}}^0 (\tau - 1) R,$$

$$\beta = \frac{c_{\text{Ca}^{2+}}^0 \cdot R}{[\text{Ca}^{2+}] \cdot c_{\text{T}}^0 \cdot (1 - \tau) R} = \frac{1}{[\text{Ca}^{2+}] \cdot (\tau - 1)} [\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{\beta(\tau - 1)}$$

а) $\tau = 1,001$

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{1,75 \cdot 10^{10} (1,001 - 1)} = 5,71 \cdot 10^{-8} \text{ моль/дм}^3 \text{ pCa} = 7,24$$

б) $\tau = 1,01$ $[\text{Ca}^{2+}] = 5,71 \cdot 10^{-9} \text{ моль/дм}^3 \text{ pCa} = 8,24$

в) $\tau = 1,1$ $[\text{Ca}^{2+}] = 5,71 \cdot 10^{-10} \text{ моль/дм}^3 \text{ pCa} = 9,24$

г) $\tau = 1,5$ $[\text{Ca}^{2+}] = 5,71 \cdot 10^{-9} \text{ моль/дм}^3 \text{ pCa} = 9,94$

Таблица 7 - Расчетные данные для построения кривой титрования

№ п/п	τ	Состав раствора	Расчетная формула	pCa
1	0	$[\text{Ca}^{2+}]$	$[\text{Ca}^{2+}] = c_{\text{Ca}^{2+}}^0$	2,00
2	0,10	$[\text{Ca}^{2+}]$	$[\text{Ca}^{2+}] = c_{\text{Ca}}^0 \frac{1 - \tau}{1 + \tau}$	2,09
	0,50	$[\text{Ca}^{2+}]$		2,48
	0,90	$[\text{Ca}^{2+}]$		3,28
	0,99	$[\text{Ca}^{2+}]$		4,30
	0,999	$[\text{Ca}^{2+}]$		5,30
3	1	$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{Y}^{4-}]$	$[\text{Ca}^{2+}] = \sqrt{\frac{c_{\text{Ca}}^0 \cdot R}{\beta}}$	6,28
4	1,001	$[\text{Y}^{4-}]$	$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{\beta(\tau - 1)}$	7,24
	1,01	$[\text{Y}^{4-}]$		8,24
	1,10	$[\text{Y}^{4-}]$		9,24
	1,50	$[\text{Y}^{4-}]$		9,94

По данным таблицы 7 строим кривую титрования:

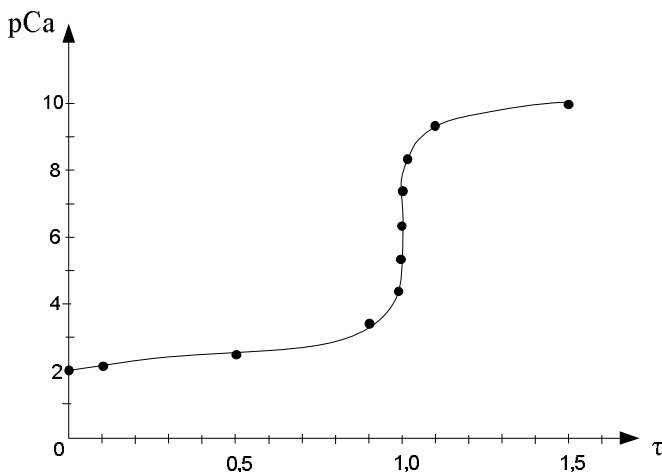


Рисунок 5 - Кривая комплексонометрического титрования для рассмотренного примера

Для ошибки титрования $\pm 0,1$ % скачок титрования
 $\Delta pCa = pCa_{\tau=1,001} - pCa_{\tau=0,999} = 7,24 - 5,30 = 1,94$.

Для ошибки титрования $\pm 1,0$ % скачок титрования
 $\Delta pCa = pCa_{\tau=1,01} - pCa_{\tau=0,99} = 8,24 - 4,30 = 3,94$.

При титровании раствора Ca^{2+} раствором комплексона III в качестве индикатора может быть использован мурексид (пурпурат аммония), который окрасит титруемый раствор в красный цвет, благодаря образованию с катионами кальция окрашенного комплексного соединения. В точке эквивалентности окраска раствора изменится из красной в сине-фиолетовую, свойственную для свободного мурексида, т.к. в процессе титрования комплексное соединение с индикатором разлагается комплексом III с образованием более устойчивой внутрикомплексной соли.

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

3. 1 Вопросы №№ 1-25. (Теоретическая часть)

1. Понятие об электролитах. Понятие «кислота», «основание». Теории Бренстеда и Льюиса.

2. Сила кислот и оснований. Количественное измерение силы кислот и оснований.

3. Определение pH растворов сильных кислот.

4. Определение pH растворов сильных оснований.

5. Определение pH растворов слабых кислот.

6. Определение pH растворов слабых оснований.

7. Определение pH раствора соли, образованной сильной кислотой и слабым основанием.

8. Определение pH раствора соли, образованной слабой кислотой и сильным основанием.

9. Буферные растворы. pH буферных растворов. Свойства буферных растворов.

10. Основные понятия титриметрии: титрант, требования к установочным веществам, понятия о точке эквивалентности и конечной точке титрования.

11. Классификация титриметрических реакций: а) по их природе; б) по способу титрования.

12. Расчеты в титриметрическом анализе. Молярная масса эквивалента веществ в реакциях: а) обмена, б) окислительно-восстановительных. Принцип эквивалентности в объемном анализе.

13. Требования к реакциям, применяемым в титриметрии.

14. Константа равновесия в химических реакциях как основа условной классификации титриметрических реакций.

15. Дифференцированное титрование: а) по методу нейтрализации, б) по методу осаждения.

16. Титрование солей.

17. Основы теории кислотно-основных индикаторов. Их классификация. Интервал перехода индикатора.

18. Индикаторные ошибки титрования. Окислительно - восстановительные реакции в титриметрии. Оценка окислительно-восстановительной способности вещества.

19. Ограничения применимости окислительно - восстановительных реакций в титриметрии. Факторы, влияющие на величину E_0 .

20. Понятие о редуктометрии и об оксидиметрии. Уравнения для расчетов кривой титрования в редуктометрии и в оксидиметрии.

21. Критерии пригодности симметричных и ассиметричных окислительно-восстановительных реакций в титриметрии.

22. Индикаторы окислительно-восстановительного титрования. Ошибки окислительно-восстановительного титрования.

23. Общие понятия о комплексонометрическом титровании. Внутриклеточные соединения. Комплексоны III (трилон Б). Механизм комплексообразования с участием комплексонов III.

24. Классификация методов комплексонометрического титрования.

25. Способы фиксирования точки эквивалентности в комплексонометрии. Ошибки комплексонометрического титрования.

3.2 Задачи 26-50. Способы выражения концентрации растворов. Массовая доля в процентах

26. Какие количества растворов серной кислоты с массовыми долями 90 % и 10 % нужно взять для приготовления 1600 г раствора с массовой долей 40 % ?

27. Сколько граммов раствора серной кислоты с массовой долей 90 % нужно добавить к 500 г раствора кислоты с массовой долей 10 %, чтобы получить раствор с массовой долей 70 %?

28. Сколько воды нужно прибавить к 100 г раствора аммиака с массовой долей 25 %, чтобы получить раствор с массовой долей 5 %?

29. Сколько граммов технического едкого натра, с массовой долей 75 % в расчете на Na_2O требуется для приготовления 600 г раствора NaOH с массовой долей 15 % ?

30. Сколько г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ следует взять для приготовления 300 г раствора с массовой долей 10 % безводного Na_2CO_3 ?

31. Сколько граммов десятиводного тетрабората натрия и сколько граммов воды следует взять для приготовления 250 г раствора с массовой долей 3 % безводного тетрабората натрия?

32. Сколько граммов воды нужно взять для приготовления раствора хлорида бария с массовой долей 10 % (в расчете на безводную соль) из 35 г его двухводного кристаллогидрата?

33. Сколько граммов раствора едкого кали с массовой долей 60 % и сколько граммов воды нужно взять для приготовления 500 г раствора KOH с массовой долей 10 %?

34. Сколько граммов поваренной соли требуется для приготовления 1000 г раствора с массовой долей 20 %, если массовая доля влаги в соли составляет 15 %?

35. В 100 г спирта с массовой долей 95 % растворяется 14,8 г йода. Чему равна массовая доля йода в насыщенном растворе?

36. Сколько см^3 спирта ($\rho=0,80 \text{ г/см}^3$) следует взять для приготовления раствора йода с массовой долей 10 % из 5 г йода?

37. Сколько граммов $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ необходимо для приготовления 50 г раствора сульфата меди с массовой долей 8 % безводного сульфата меди?

38. Сколько граммов серной кислоты содержится в 20 см^3 раствора с массовой долей 50 %?

39. Смешано 60 г воды с 20 см^3 раствора фосфорной кислоты с массовой долей 40 % ($\rho=1,254 \text{ г/см}^3$). Чему равна массовая доля кислоты в процентах в полученном растворе?

40. Сколько г воды нужно взять для получения раствора тетрабората натрия с массовой долей 5 % из 10 г его десятиводного кристаллогидрата?

41. Чему соответствует массовая доля хлорида бария в %, если раствор приготовлен из 10 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ и 90 г воды?

42. Какие объемы растворов азотной кислоты с массовыми долями 5,0 % и 50 % следует взять в см^3 для приготовления 1500 см^3 раствора с массовой долей 10 %?

43. В каком массовом соотношении необходимо смешать раствор едкого натра с массовой долей 50 % с водой, чтобы получить раствор с массовой долей 30 %?

44. Сколько граммов раствора соли с массовой долей 5 % нужно прибавить к 500 г раствора этой же соли с массовой долей 40 %, чтобы получить раствор с массовой долей 20 %?

45. Сколько граммов воды и раствора аммиака с массовой долей 25 % требуется для приготовления 5 кг раствора с массовой долей 10 %?

46. Сколько граммов раствора уксусной кислоты с массовой долей 50 % требуется прибавить к 250 см^3 воды, чтобы получить раствор с массовой долей 12 %?

47. В каких массовых отношениях нужно смешать растворы соляной кислоты с массовыми долями 38 % и 10 %, чтобы получить раствор с массовой долей 15 %?

48. Какие массы растворов серной кислоты с массовыми долями 96 % и 20 % нужно взять, чтобы при смешении получить 1000 г раствора с массовой долей 40 %?

49. В каком массовом соотношении следует смешивать растворы аммиака с массовыми долями 5 % и 25 %, чтобы получить 4 кг раствора с массовой долей 20 %?

50. В каком объемном соотношении следует смешивать растворы едкого кали с массовыми долями 5 % и 30 % для приготовления 600 см³ раствора с массовой долей 10 %?

3.3 Задачи 51-75. Способы выражения концентрации растворов. Молярная концентрация и молярная концентрация эквивалента

51. Сколько см³ растворов с концентрациями 0,5000 моль/дм³ и 0,1000 моль/дм³ следует взять для приготовления 1000 см³ раствора с концентрацией 0,2000 моль/дм³?

52. Сколько граммов Na₂CO₃·2H₂O потребуется для приготовления 500,00 см³ раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,0500 моль/дм³?

53. Сколько граммов Na₂B₄O₇·10H₂O потребуется для приготовления 250,00 см³ раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,0500 моль/дм³?

54. Сколько граммов серной кислоты плотностью $\rho = 1,611$ г/см³ необходимо для приготовления 10 дм³ раствора с молярной концентрацией эквивалента 0,2000 моль/дм³?

55. Сколько граммов азотной кислоты плотностью $\rho = 1,40$ г/см³ нужно было взять для приготовления 3000 см³

раствора с молярной концентрацией эквивалента $0,5000 \text{ моль/дм}^3$?

56. Какой объём раствора с молярной концентрацией эквивалента $2,0000 \text{ моль/дм}^3$ можно приготовить из $10,00 \text{ см}^3$ азотной кислоты плотностью $1,430 \text{ г/см}^3$?

57. Сколько см^3 раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалента $0,5000 \text{ моль/дм}^3$ получится при растворении $10,00 \text{ см}^3$ олеума ($\rho = 1,93 \text{ г/см}^3$)?

58. Сколько граммов соли Мора потребуется для приготовления $2000,00 \text{ см}^3$ раствора с молярной концентрацией эквивалента $0,5000 \text{ моль/дм}^3$: а) NH_4^+ ; б) Fe^{2+} ; в) SO_4^{2-} ?

59. Сколько граммов KMnO_4 потребуется для приготовления $2000,00 \text{ см}^3$ раствора с молярной концентрацией эквивалента $0,5000 \text{ моль/дм}^3$, предназначенного для выполнения реакции: а) обмена; б) восстановления до MnO_2 ; в) восстановления до Mn^{2+} ?

60. Сколько граммов дихромата калия потребуется для приготовления $2500,00 \text{ см}^3$ раствора с молярной концентрацией эквивалента $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ для восстановления его до Cr^{3+} ?

61. Вычислить молярную концентрацию насыщенного раствора хлорида серебра, если в 100 г воды при 20°C растворяется $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ г}$ AgCl .

62. Сколко дм^3 хлорида водорода, измеренного при нормальных условиях, нужно растворить, чтобы получить 10 дм^3 раствора HCl с молярной концентрацией эквивалента $0,1000 \text{ моль/дм}^3$?

63. На титрование $25,00 \text{ см}^3$ раствора KCl требуется $22,81 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 с молярной концентрацией эквивалента $0,1140 \text{ моль/дм}^3$. Найти молярную концентрацию эквивалента раствора KCl .

64. Сколько дм^3 раствора соляной кислоты с массовой долей 36% потребуется для приготовления 5 дм^3 раствора с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$?

65. Сколько граммов уксусной кислоты с массовой долей 80 % требуется для приготовления 1500,00 см³ раствора с молярной концентрацией 0,0500 моль/дм³?

66. Сколько дм³ серной кислоты с массовой долей 96 % нужно взять для приготовления 6,00 дм³ раствора с молярной концентрацией эквивалента 2,0000 моль/дм³?

67. Сколько дм³ раствора аммиака с массовой долей 24 % требуется для приготовления 2 дм³ раствора с молярной концентрацией 0,5000 моль/дм³?

68. Сколько дм³ раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалента 2,0000 моль/дм³ можно приготовить из 100,00 см³ раствора с массовой долей 96 %?

69. Сколько дм³ раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,7000 моль/дм³ можно приготовить из 1000,00 см³ олеума ($\rho = 1,897 \text{ г/см}^3$) массовая доля общего SO₃ в котором составляет 85,3 %?

70. Рассчитать молярную концентрацию раствора аммиака если известно, что массовая доля NH₃ составляет 24 % ($\rho = 0,910 \text{ г/см}^3$).

71. Найти молярную концентрацию раствора соляной кислоты, на титрование 20,00 см³ которого расходуется 19,50 см³ раствора КОН с молярной концентрацией 0,9640 моль/дм³.

72. Найти молярную концентрацию раствора КОН, на титрование 25,00 см³ которого расходуется 28,40 см³ раствора H₂SO₄ с молярной концентрацией эквивалента 0,1265 моль/дм³.

73. Сколько граммов серной кислоты содержал раствор, если на его титрование израсходовано 25,40 см³ раствора NaOH с молярной концентрацией 0,2140 моль/дм³?

74. Найти молярную концентрацию раствора NaOH, на титрование 25,00 см³ которого израсходовано 22,60 см³ раствора соляной кислоты с молярной концентрацией 0,9890 моль/дм³.

75. На титрование $20,00 \text{ см}^3$ раствора NaCl требуется $18,25 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 с молярной концентрацией $0,1140 \text{ моль/дм}^3$. Найти молярную концентрацию раствора NaCl .

3.4 Задачи №№ 76-100. Способы выражения концентрации растворов. Массовая концентрация. Титр

76. Рассчитайте титр раствора H_2SO_4 , 50 см^3 которого реагирует с $45,69 \text{ см}^3$ раствора NaOH , если в одном дм^3 раствора щелочи содержится $8,0000 \text{ г NaOH}$.

77. Из навески $3,8260 \text{ г KCl}$ приготовлен $0,5 \text{ дм}^3$ раствора. Вычислить титр этого раствора а) по KCl ; б) по хлору.

78. Из навески $5,912 \text{ г NaCl}$ получен 1 дм^3 раствора. Чему равен титр этого раствора?

79. В воде растворено $1,3540 \text{ г Na}_2\text{CO}_3$ и объем раствора доведен в мерной колбе вместимостью 250 см^3 до метки. Чему равен титр раствора:

а) по Na_2CO_3 ;

б) по Na_2O ?

80. Сколько граммов KOH ($T_{\text{KOH}}=0,005740 \text{ г/см}^3$) содержится:

а) в 10 см^3 ;

б) в 25 см^3 ;

в) 100 см^3 раствора?

81. Титр раствора по NaOH равен $0,004120 \text{ г/см}^3$. Сколько граммов щелочи содержится в:

а) в 10 см^3 ;

б) в 250 см^3 ;

в) 1000 см^3 этого раствора?

82. Титр раствора серной кислоты равен $0,005146 \text{ г/см}^3$. Сколько граммов кислоты содержится в:

а) в $25,6 \text{ см}^3$;

б) в $12,54 \text{ см}^3$ этого раствора?

83. На титрование анализируемого вещества израсходовано $26,75 \text{ см}^3$ раствора HCl , титр которого $0,003782 \text{ г/см}^3$. Сколько граммов HCl вступило в реакцию?

84. На титрование израсходовано $18,74 \text{ см}^3$ раствора едкого натра ($T_{\text{NaOH}} = 0,003980 \text{ г/см}^3$) Сколько граммов щелочи вступило в реакцию?

85. Титр раствора по NaOH равен $0,0040 \text{ г/см}^3$. Найти титр этого раствора по HCl .

86. Титр раствора по KOH равен $0,005611 \text{ г/см}^3$. Найти молярную концентрацию этого раствора.

87. Титр раствора по HCl равен $0,003647 \text{ г/см}^3$. Найти молярную концентрацию этого раствора.

88. Титр раствора по HCl равен $0,005902 \text{ г/см}^3$. Найти молярную концентрацию этого раствора.

89. Титр раствора по H_2SO_4 равен $0,004990 \text{ г/см}^3$. Найти молярную концентрацию этого раствора.

90. Титр раствора по $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ равен $0,004650 \text{ г/см}^3$. Найти молярную концентрацию эквивалента этого раствора:

а) для реакции обмена;

б) для реакции окисления-восстановления, в которой дихромат превращается в CrCl_3 .

91. Титр раствора по KMnO_4 равен $0,002980 \text{ г/см}^3$. Найти молярную концентрацию эквивалента этого раствора, для реакций, когда перманганат превращается:

а) в MnO_2 ;

б) в MnSO_4 .

92. На титрование 25 см^3 раствора HCl ($T_{\text{HCl/NaOH}} = 0,01122 \text{ г/см}^3$), расходуется $25,82 \text{ см}^3$ раствора NaOH . Вычислить молярную концентрацию раствора едкого натра.

93. На титрование 20 см^3 анализируемого раствора KOH ($T_{\text{KOH/HCl}} = 0,07255 \text{ г/см}^3$), расходуется $18,10 \text{ см}^3$ раствора H_2SO_4 .

Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора серной кислоты.

94. На титрование 25 см^3 раствора едкого натра ($T_{\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,0049\text{ г/см}^3$), расходуется $25,00\text{ см}^3$ раствора соляной кислоты. Вычислить молярную концентрацию раствора соляной кислоты.

95. Какова молярная концентрация раствора KOH , если на титрование $20,00\text{ см}^3$ этого раствора требуется 20 см^3 раствора HCl ? ($T_{\text{HCl}/\text{NaOH}} = 0,003954\text{ г/см}^3$).

96. Титр раствора $T_{\text{HCl}/\text{KOH}} = 0,01124\text{ г/см}^3$. Какова молярная концентрация эквивалента этого раствора?

97. Титр раствора $T_{\text{KOH}/\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,009645\text{ г/см}^3$. Вычислить молярную концентрацию этого раствора.

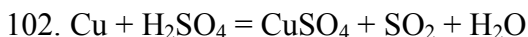
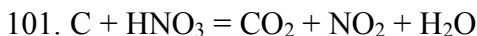
98. Титр раствора $T_{\text{KCl}/\text{Ag}} = 0,004964\text{ г/см}^3$. Вычислить молярную концентрацию этого раствора.

99. Какова молярная концентрация эквивалента серной кислоты, на титрование 25 см^3 которого расходуется $26,94\text{ см}^3$ раствора NaOH . ($T_{\text{NaOH}} = 0,004110\text{ г/см}^3$)?

100. На титрование $20,00\text{ см}^3$ раствора HCl расходуется $19,85\text{ см}^3$ раствора KOH . ($T_{\text{KOH}} = 0,005610\text{ г/см}^3$). Вычислить молярную концентрацию раствора HCl .

3.5 Задачи 101-125. Уравнения окислительно-восстановительных реакций

Пользуясь ионно-электронным методом, расставьте коэффициенты в следующих уравнениях окислительно-восстановительных реакций



103. $\text{Cu} + \text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
104. $\text{Zn} + \text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
105. $\text{NaCl} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
106. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
107. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Br}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
108. $\text{NaCl} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cl}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$
109. $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 = \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$
110. $\text{As}_2\text{S}_5 + \text{HNO}_3 = \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$
111. $\text{Zn} + \text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
112. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
113. $\text{H}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{S} + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
114. $\text{KClO}_3 + \text{FeCl}_2 + \text{HCl} = \text{KCl} + \text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$
115. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
116. $\text{CuS} + \text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
117. $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{PbO}_2 + \text{HNO}_3 = \text{HMnO}_4 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
118. $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
119. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
120. $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
121. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
122. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
123. $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
124. $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{PbO}_2 + \text{HNO}_3 = \text{HMnO}_4 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
125. $\text{As}_2\text{S}_5 + \text{HNO}_3 = \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$

3.6 Задачи 126-150. Метод кислотно-основного титрования

126. Сколько граммов КОН содержалось в растворе, для нейтрализации которого потребовалось $20,50 \text{ см}^3$ раствора серной кислоты с молярной концентрацией $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2000 \text{ моль/дм}^3$?

127. Сколько граммов серной кислоты содержалось в растворе, для нейтрализации которого потребовалось $20,50 \text{ см}^3$ раствора КОН с молярной концентрацией $c(\text{KOH}) = 0,2000 \text{ моль/дм}^3$?

128. Сколько граммов NaOH содержалось в растворе, если на его нейтрализацию требовалось $22,50 \text{ см}^3$ раствора соляной кислоты с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 0,5000 \text{ моль/дм}^3$?

129. Сколько см^3 раствора HCl с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 0,1000 \text{ моль/дм}^3$ потребуется для нейтрализации раствора, содержащего $1,0000 \text{ г NaOH}$?

130. К раствору, содержащему $0,5000 \text{ г KOH}$ прибавлено $10,00 \text{ см}^3$ раствора серной кислоты с молярной концентрацией $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,000 \text{ моль/дм}^3$. Что осталось в избытке и в каком количестве?

131. К раствору, содержащему $1,0000 \text{ г}$ серной кислоты прибавлено $10,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $c(\text{NaOH}) = 2,0000 \text{ моль/дм}^3$. Какую среду имеет полученный раствор? Какой из реагентов и в каком количестве окажется в избытке?

132. Для нейтрализации раствора, содержащего $1,0000 \text{ г}$ технической кальцинированной соды (Na_2CO_3), потребовалось $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 1,0000 \text{ моль/дм}^3$. Сколько процентов соды содержится в образце?

133. Для нейтрализации навески массой $1,1000 \text{ г}$ образца технической серной кислоты расходуется $10,00 \text{ см}^3$ раствора

NaOH с молярной концентрацией $c(\text{NaOH}) = 2,0000 \text{ моль/дм}^3$. Какова массовая доля серной кислоты в образце в процентах?

134. Сколько см^3 раствора соляной кислоты, с концентрацией $3,6460 \text{ г/дм}^3$ HCl, потребуется для нейтрализации $25,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH, с массовой концентрацией $4,0000 \text{ г/дм}^3$?

135. К $10,00 \text{ см}^3$ раствора KOH с массовой долей 25 % с плотностью $\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$ прибавлено $10,00 \text{ см}^3$ раствора серной кислоты с массовой долей 25 % с плотностью $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$. Какую среду имеет полученный раствор?

136. Смешаны одинаковые объемы растворов KOH и HCl с массовыми долями 20 % каждая. Какова среда полученного раствора?

137. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора соляной кислоты с массовой долей 10 % с плотностью $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ прибавлено $20,00 \text{ см}^3$ раствора KOH с массовой долей 10 % с плотностью $\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$. Какой компонент смеси будет в избытке и какую среду будет иметь полученный раствор?

138. Сколько см^3 раствора NaOH с молярной концентрацией $c(\text{NaOH}) = 0,1000 \text{ моль/дм}^3$ потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,7300 г HCl?

139. Сколько см^3 раствора H_2SO_4 с молярной концентрацией эквивалента $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,000 \text{ моль/дм}^3$ потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 1,0000 г NaOH?

140. К раствору, содержащему 0,9800 г H_2SO_4 , прибавлено $20,00 \text{ см}^3$ раствора KOH с молярной концентрацией $c(\text{KOH}) = 1,000 \text{ моль/дм}^3$. Что осталось в избытке: щелочь или кислота, и в каком количестве?

141. Для нейтрализации раствора карбоната натрия массой 1,0000 г потребовалось $15,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 1,0000 \text{ моль/дм}^3$. Сколько процентов карбоната натрия содержит образец?

142. Для нейтрализации навески технической щелочи массой 0,8500 г расходуется 10,00 см³ раствора H₂SO₄ с молярной концентрацией эквивалента $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,000$ моль/дм³. Какова массовая доля NaOH в процентах?

143. Для нейтрализации навески технической соды (Na₂CO₃·2H₂O) массой 1,5000 г расходуется 20,00 см³ раствора H₂SO₄ с молярной концентрацией эквивалента $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,0000$ моль/дм³. Какова массовая доля карбоната натрия в процентах?

144. Сколько граммов KOH содержалось в растворе, для нейтрализации которого потребовалось 25,00 см³ раствора HCl с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 0,1000$ моль/дм³?

145. Сколько граммов H₂SO₄ содержалось в навеске, для нейтрализации которой потребовалось 20,50 см³ раствора KOH с молярной концентрацией $c(\text{KOH}) = 0,2000$ моль/дм³?

146. Сколько граммов NaOH содержалось в растворе, если на нейтрализацию было израсходовано 22,50 см³ раствора HCl с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 0,5000$ моль/дм³?

147. Сколько граммов H₂SO₄ содержалось в растворе, для нейтрализации которого потребовалось 15,50 см³ раствора KOH с молярной концентрацией $c(\text{KOH}) = 0,3000$ моль/дм³?

148. Сколько см³ раствора HCl с молярной концентрацией $c(\text{HCl}) = 0,1000$ моль/дм³ потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 1,0000 г NaOH?

149. Сколько см³ раствора NaOH молярной концентрацией $c(\text{NaOH}) = 2,0000$ моль/дм³ потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 4,9000 г H₂SO₄?

150. К раствору, содержащему 0,5000 г KOH прибавлено 10 см³ раствора H₂SO₄ с молярной концентрацией эквивалента $c(1/2 \text{H}_2\text{SO}_4) = 1,0000$ моль/дм³. Что осталось в избытке: щелочь или кислота и в каком количестве?

3.7 Задачи 151-175. Метод осадительного титрования

151. Для полного осаждения ионов хлора из раствора содержащего 0,7142 г KCl, потребовалось 10,00 см³ раствора AgNO₃ с молярной концентрацией эквивалента 1,0000 моль/дм³. При осаждении образовалось 1,4334 г AgCl. Сколько процентов хлора содержит образец хлорида калия? Расчет выполнить исходя из 1) массы осадка AgCl; 2) израсходованного объема раствора AgNO₃.

152. Сколько см³ раствора, содержащего 17,0000 г/дм³ AgNO₃, потребуется для полного осаждения Cl⁻ ионов из 20,00 см³ раствора соляной кислоты, с массовой концентрацией 73,0000 г/дм³ HCl?

153. Сколько см³ раствора с массовой концентрацией 20,8000 г/дм³ BaCl₂ потребуется для полного осаждения SO₄²⁻-ионов из 20,00 см³ раствора серной кислоты, с массовой концентрацией 9,8000 г/дм³?

154. Сколько см³ раствора с массовой концентрацией 17,0000 г/дм³ AgNO₃ потребуется для полного осаждения Br⁻-ионов из 20,00 см³ раствора бромоводородной кислоты с массовой концентрацией 105,4000 г/дм³ HBr?

155. Для осаждения AgCl из 15,00 см³ раствора, содержащего 2,5350 г AgNO₃, потребовалось 30,00 см³ раствора HCl. Какова молярная концентрация раствора соляной кислоты?

156. Для осаждения BaSO₄ из 20,00 см³ раствора, содержащего 0,4200 г BaCl₂, потребовалось 20,00 см³ раствора H₂SO₄. Какова молярная концентрация эквивалента раствора серной кислоты?

157. Сколько см³ раствора с массовой концентрацией AgNO₃ 17,0000 г/дм³ потребуется для полного осаждения Cl⁻-ионов из 20,00 см³ раствора соляной кислоты с массовой концентрацией HCl 73,0000 г/дм³?

158. Сколько см^3 раствора BaCl_2 с массовой концентрацией $20,8000 \text{ г/дм}^3$, потребуется для полного осаждения SO_4^{2-} - ионов из $20,00 \text{ см}^3$ раствора серной кислоты с массовой концентрацией $98,0000 \text{ г/дм}^3$ H_2SO_4 ?

159. На титрование раствора AgNO_3 требуется $25,20 \text{ см}^3$ раствора KCl ($T_{\text{KCl}} = 0,007400 \text{ г/см}^3$). Сколько граммов AgNO_3 содержится в растворе?

160. На титрование раствора KCl расходуется $30,20 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 ($T = 0,124300 \text{ г/см}^3$). Сколько граммов KCl содержится в растворе? Можно ли рассчитать молярную концентрацию эквивалента этого раствора?

161. Из $2,9010 \text{ г}$ NaCl квалификации «х.ч.» приготовлен раствор в мерной колбе вместимостью $1000,00 \text{ см}^3$. На $25,00 \text{ см}^3$ этого раствора расходуется $25,80 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 . Вычислить молярную концентрацию эквивалента и титр раствора AgNO_3 .

162. В колбе вместимостью $250,00 \text{ см}^3$ приготовлен раствор из $1,4265 \text{ г}$ исследуемого хлорида. На титрование $20,00 \text{ см}^3$ этого раствора израсходовано $19,95 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 с молярной концентрацией эквивалента $0,1055 \text{ моль/дм}^3$. Какова массовая доля хлорид-иона в исследуемом хлориде в процентах?

163. Навеска $2,4080 \text{ г}$ NaCl растворена в воде. Объём раствора доведен до метки в мерной колбе вместимостью $500,00 \text{ см}^3$. На титрование $25,00 \text{ см}^3$ этого раствора расходуется $20,35 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 с молярной концентрацией $0,0986 \text{ моль/дм}^3$. Какова массовая доля хлорид-иона в NaCl в процентах?

164. Навеска $6,7000 \text{ г}$ хлорида бария растворена в воде, и объём раствора доведен до $1000,00 \text{ см}^3$ (в мерной колбе). На титрование $25,00 \text{ см}^3$ этого раствора расходуется $28,95 \text{ см}^3$ раствора нитрата серебра. Титр раствора нитрата серебра по серебру равен $0,005120 \text{ г/см}^3$. Какова массовая доля хлорид-иона в хлориде бария в процентах?

165. Из навески 1,5150 г соли серебра приготовлено 250,00 см³ раствора. На титрование 15,00 см³ этого раствора расходуется 11,25 см³ раствора роданида аммония (NH₄NCS) с массовой концентрацией 0,003568 г/см³. Рассчитайте массовую долю AgNO₃ в образце в процентах.

166. Из навески 0,9330 г KCl приготовлен раствор в мерной колбе вместимостью 250,00 см³. Сколько см³ раствора AgNO₃ с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³ потребуется для осаждения хлорид-ионов из 25,00 см³ полученного раствора, чтобы на оттитровывание избытка AgNO₃ затрачивалось ровно 25,00 см³ раствора роданида с молярной концентрацией эквивалента 0,0500 моль/дм³?

167. Рассчитать навеску поваренной соли, массовая доля NaCl в которой составляет 80 %, необходимую для определения содержания хлора, если вместимость мерной колбы, в которой будет приготовлен раствор, равна 500,00 см³ и при анализе применяют раствор AgNO₃ с молярной концентрацией эквивалента 0,0500 моль/дм³.

168. Какую навеску технического хлорида аммония с массовой долей хлора 50 % следует взять для определения содержания хлора, если использовать раствор AgNO₃ с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/дм³ и мерную колбу вместимостью 250,00 см³.

169. Для определения концентрации основного вещества в техническом бромиде калия растворена в воде навеска 0,3038 г соли и полученный раствор оттитрован 23,80 см³ раствора AgNO₃ ($T_{\text{AgNO}_3/\text{Cl}} = 0,003546$ г/см³). Рассчитайте массовую долю KBr в образце в процентах.

170. Навеска соли цинка массой 0,2775 г растворена в воде. Раствор, подвергнутый соответствующей обработке, титруют раствором ферроцианида калия, содержащим 0,038760 г/см³ K₄[Fe(CN)₆]. Какова массовая доля ZnO в соли в процентах, если на титрование израсходовано 6,48 см³ раствора ферроцианида калия?

171. Навеска серебряного сплава массой 0,1900 г растворена и раствор оттитрован 21,12 см³ раствора роданида аммония с молярной концентрацией эквивалента 0,0500 моль/дм³. Рассчитайте массовую долю серебра в сплаве в процентах.

172. Сколько см³ раствора, с массовой концентрацией BaCl₂ 15,6000 г/см³ потребуется для полного осаждения SO₄²⁻-ионов из 15,00 см³ раствора серной кислоты с массовой концентрацией 98,0000 г/см³ H₂SO₄?

173. Для полного осаждения ионов хлора из раствора, содержащего 0,9546 г KCl, потребовалось 10,00 см³ раствора AgNO₃ с молярной концентрацией 0,5000 моль/дм³. При осаждении образовалось 1,4000 г AgCl. Какова массовая доля ионов хлора в образце в процентах? Расчёт выполнить, исходя из массы осадка AgCl.

174. Сколько см³ раствора с массовой концентрацией 17,0000 г/дм³ AgNO₃, потребуется для полного осаждения Cl⁻-ионов из 100,00 см³ раствора соляной кислоты, с массовой концентрацией 73,0000 г/дм³?

175. Навеска 5,3000 г хлорида бария растворена в воде, и объём раствора доведен до 1000,00 см³ (в мерной колбе). На титрование 20,00 см³ этого раствора расходуется 23,50 см³ раствора нитрата серебра. Титр раствора нитрата серебра по серебру равен 0,005120 г/см³. Рассчитайте массовую долю хлора в процентах в хлориде бария.

3.8 Задачи 176-200. Метод окислительно-восстановительного титрования

176. Какова молярная концентрация эквивалента раствора FeSO₄, если 18,25 см³ раствора KMnO₄ с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/дм³ реагирует нацело с 15,00 см³ раствора FeSO₄?

177. Какой объём раствора KMnO₄ с молярной концентрацией эквивалента 0,0977 моль/дм³ потребуется на

титрование 25,00 см³ раствора, 250,00 см³ которого содержит 1,6260 г Na₂C₂O₄?

178. Сколько см³ раствора перманганата калия ($T = 0,001616$ г/см³) израсходуется на титрование 25,00 см³ раствора щавелевой кислоты, в 250,00 см³ которого содержится 0,7564 г H₂C₂O₄ · 2H₂O?

179. В мерной колбе вместимостью 200,00 см³ приготовлен раствор из 1,6540 г H₂C₂O₄·2H₂O. Сколько см³ раствора KMnO₄ с титром по железу 0,005616 г/см³ потребуется на титрование 20,00 см³ полученного раствора щавелевой кислоты?

180. Сколько см³ раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента 1,0540 моль/дм³ израсходуется на титрование 0,1600 г (NH₄)₂C₂O₄·2H₂O, растворенного в 25,00 см³ воды? Изменится ли необходимый на титрование объём раствора перманганата, если то же количество оксалата аммония будет растворено в другом объёме воды?

181. Сколько см³ раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента 0,2000 моль/дм³ потребуется для титрования раствора, содержащего 0,1324 г Na₂C₂O₄ в произвольном объёме воды?

182. Рассчитайте величину навески образца железного купороса для определения в нём FeSO₄ перманганатометрическим методом, если молярная концентрация эквивалента рабочего раствора перманганата 0,1000 моль/дм³, а вместимость мерной колбы, в которой будет растворена навеска образца, равна 250,00 см³.

183. Какой величины следует взять навеску технического оксалата натрия, для определения концентрации Na₂C₂O₄, если молярная концентрация эквивалента рабочего раствора перманганата 0,0500 моль/дм³, а вместимость мерной колбы 250,00 см³?

184. Какую навеску образца технической кристаллической щавелевой кислоты следует взять для определения в ней

содержания $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, если для титрования полученного раствора будет применяться раствор KMnO_4 с молярной концентрацией эквивалента $0,1000 \text{ моль/дм}^3$, а вместимость мерной колбы, используемой для приготовления раствора $500,00 \text{ см}^3$?

185. Вычислите величину навески $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, если для титрования полученного из неё раствора будет применён раствор KMnO_4 с молярной концентрацией эквивалента $0,1000 \text{ моль/дм}^3$, а вместимость мерной колбы используемой для приготовления раствора $500,00 \text{ см}^3$?

186. В мерной колбе вместимостью $200,00 \text{ см}^3$ приготовлен раствор $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. На титрование $20,00 \text{ см}^3$ рабочего раствора расходуется $18,25 \text{ см}^3$ раствора KMnO_4 ($T = 0,001616 \text{ г/см}^3$). Сколько граммов $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ содержалось в 200 см^3 раствора?

187. Навеска образца железного купороса массой $7,1500 \text{ г}$ растворена в воде. Объём раствора доведен до метки в мерной колбе вместимостью $250,00 \text{ см}^3$. На титрование $25,00 \text{ см}^3$ этого раствора израсходовано $24,48 \text{ см}^3$ раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента $0,0986 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте массовую долю $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в образце в процентах.

188. Навеска образца известняка массой $0,8010 \text{ г}$ растворена в кислоте. Из полученного раствора кальций осажден оксалатом. Выпавший осадок CaC_2O_4 промыт и растворен в серной кислоте. Раствор перенесен в мерную колбу вместимостью $250,00 \text{ см}^3$ и объём его доведён до метки. На титрование $25,00 \text{ см}^3$ этого раствора расходуется в среднем $10,38 \text{ см}^3$ раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента $0,1230 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте массовую долю CaCO_3 в образце в процентах.

189. Навеска образца известняка массой $0,1627 \text{ г}$ растворена в кислоте. Из полученного раствора кальций осажден в виде оксалата. Выпавший осадок отфильтрован, промыт и растворен в серной кислоте. На титрование полученного раствора потребовалось $31,42 \text{ см}^3$ раствора перманганата калия, в $1,00 \text{ см}^3$

которого содержится 0,0029 г KMnO_4 . Рассчитайте массовую долю CaO в образце в процентах.

190. Из навески бихромата калия квалификации «х.ч.» массой 0,2486 г приготовлен раствор и объём его доведен до метки в мерной колбе вместимостью 500,00 см^3 . На титрование 25,00 см^3 этого раствора требуется 20,05 см^3 раствора тиосульфата натрия. Вычислить молярную концентрацию и титр раствора тиосульфата по $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

191. Навеска хлорида железа массой 4,8900 г растворена в воде, и раствор доведен до метки в мерной колбе вместимостью 250,00 см^3 . Затем к 25,00 см^3 этого раствора в кислой среде добавлен иодид калия. Выделившийся при реакции йод оттитрован 32,10 см^3 раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,0923 моль/ дм^3 . Рассчитайте массовую долю FeCl_3 в образце в процентах.

192. В мерной колбе вместимостью 200,00 см^3 приготовлен раствор из навески $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ массой 1,2640 г. Сколько см^3 раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/ дм^3 израсходуется на титрование 20,00 см^3 полученного оксалата?

193. Какой объём раствора перманганата калия, с молярной концентрацией эквивалента 0,0977 моль/ дм^3 потребуется на титрование 25,00 см^3 раствора, в 250,00 см^3 которого содержится 1,6260 г $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$?

194. Навеска образца технического сульфида натрия массой 0,0902 г растворена в воде. На титрование полученного раствора расходуется 18,20 см^3 раствора йода, с концентрацией йода 0,013200 г/ см^3 . Рассчитайте массовую долю Na_2S в образце в процентах.

195. Навеска образца технического сульфита натрия массой 0,3595 г растворена в произвольном объёме воды. На титрование полученного раствора расходуется 28,65 см^3 раствора йода, содержащего 0,011420 г йода в 1,00 см^3 .

Рассчитайте массовую долю $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в образце в процентах.

196. Навеска железной проволоки массой 1,0130 г растворена в соляной кислоте без доступа воздуха. Полученный раствор количественно переведен в мерную колбу вместимостью 250,00 см³ и объём его доведён до метки. Рассчитайте массовую долю железа в образце проволоки в процентах, если на титрование 25,00 см³ полученного раствора израсходовано 17,81 см³ раствора перманганата калия с молярной концентрацией эквивалента 0,1000 моль/дм³?

197. Навеска образца щавелевой кислоты массой 3,3900 г растворена в воде, и объём раствора доведён в мерной колбе до 500,00 см³. На титрование 25,00 см³ раствора расходуется 23,52 см³ раствора KMnO_4 с молярной концентрацией эквивалента 0,1124 моль/дм³. Сколько процентов $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержал анализируемый образец?

198. Навеска образца железного купороса массой 7,1500 г растворена, и объём раствора доведён в мерной колбе до 250,00 см³. На титрование 25,00 см³ этого раствора израсходовано 24,48 см³ раствора KMnO_4 с молярной концентрацией эквивалента 0,0986 моль/дм³. Рассчитайте массовую долю $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в образце в процентах.

199. Объём раствора, в котором содержится 15,9900 г железного купороса, доведен до метки в мерной колбе вместимостью 500,00 см³. На титрование 25,00 см³ этого раствора израсходовано 27,80 см³ перманганата, с массовой концентрацией KMnO_4 0,003218 г/см³. Рассчитайте массовую долю $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в образце в процентах.

200. Сколько см³ раствора KMnO_4 с молярной концентрацией эквивалента 1,0540 моль/дм³ израсходуется на титрование 0,1600 г $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, растворенных в 25,00 см³ воды? Изменится ли необходимый для титрования объём раствора перманганата, если то же количество оксалата аммония будет растворено в другом объёме воды?

3.9 Задачи 201-225. Вычисление pH раствора

201. Вычислите pH раствора в Т.Э. при титровании раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH такой же концентрации.

202. Вычислите pH раствора в Т.Э. при титровании раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором KOH такой же концентрации.

203. При каком значении pH следует закончить титрование раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$?

204. В $250,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,5000 \text{ моль/дм}^3$ содержится $1,3400 \text{ г}$ безводного NH_4Cl . Чему равен pH такого раствора?

205. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $15,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $0,0500 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора.

206. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $15,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора.

207. К $10,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $10,00 \text{ см}^3$ раствора H_2SO_4 с молярной концентрацией эквивалента $0,0600 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH полученного раствора.

208. К $25,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,3000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $20,00 \text{ см}^3$ раствора HNO_3 с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH полученного раствора.

209. К $50,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $50,00 \text{ см}^3$ раствора ацетата натрия с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH полученного раствора.

210. Чему равен pH смеси $100,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ и $50,00 \text{ см}^3$ раствора формиата натрия с молярной концентрацией $0,0500 \text{ моль/дм}^3$?

211. К $10,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $5,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH полученного раствора.

212. К $25,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,0500 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $20,00 \text{ см}^3$ раствора KOH с молярной концентрацией $0,0500 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH полученного раствора.

213. К $15,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $15,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $0,0500 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH полученного раствора.

214. К $100,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $1,000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлена 1 капля ($V = 0,05 \text{ см}^3$) серной кислоты ($\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$). Чему равен pH полученного раствора?

215. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено 2 капли ($V = 0,10 \text{ см}^3$) раствора HCl ($\rho = 1,198 \text{ г/см}^3$). Чему равен pH полученного раствора?

216. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора в колбе для титрования, когда в нее прилит раствор NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ объемом: а) $10,00 \text{ см}^3$, б) $20,00 \text{ см}^3$.

217. Вычислите pH раствора, полученного после прибавления к $20,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствора KOH той же концентрации объемом: а) $10,00 \text{ см}^3$, б) $20,00 \text{ см}^3$.

218. Вычислите pH раствора, полученного после прибавле-

ния к $25,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ раствора NaOH той же концентрации объемом: а) $50,00 \text{ см}^3$, б) $20,00 \text{ см}^3$, в) 25 см^3 .

219. Вычислите pH раствора, полученного после прибавления к $25,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ раствора HCl той же концентрации объемом: а) $10,00 \text{ см}^3$, б) $25,00 \text{ см}^3$.

220. Титруют $25,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте pH раствора, если прибавлен раствор NaOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ объемом: а) $10,00 \text{ см}^3$, б) $25,00 \text{ см}^3$.

221. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте pH раствора, если прибавлен раствор KOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ объемом: а) $10,00 \text{ см}^3$, б) $20,00 \text{ см}^3$.

222. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $10,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора.

223. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (бензойной кислоты) с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $20,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора.

224. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $10,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора.

225. К $20,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ прибавлено $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Вычислите pH раствора.

3.10 Задачи 226-250. Расчет и построение кривых титрования. Выбор индикатора

226. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH такой же концентрации. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

227. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором HCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

228. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора CH_3COOH с молярной концентрацией эквивалента $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH с молярной концентрацией эквивалента $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

229. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

230. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора HCOOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором KOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

231. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором HCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

232. Титруют $25,00 \text{ см}^3$ раствора NH_4OH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ раствором HCl с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

233. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора аминокислоты с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором KOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

234. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора бензойной кислоты с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

235. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора *n*-масляной кислоты ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaOH с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину скачка ΔpH вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор для фиксирования КТТ.

236. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора KMnO_4 с молярной концентрацией $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ в среде H_2SO_4 ($[\text{H}^+] =$

1 моль/дм³) раствором FeSO₄ с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования с учетом разбавления раствора. Определите величину ΔЕ вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Что является индикатором данной реакции?

237. Титруют 20,00 см³ раствора FeSO₄ с молярной концентрацией 0,2000 моль/дм³ в среде H₂SO₄ ([H⁺] = 1 моль/дм³) раствором KMnO₄ с молярной концентрацией 0,2000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔЕ вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Что является индикатором данной реакции?

238. Титруют 20,00 см³ раствора щавелевой кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,2000 моль/дм³ в среде H₂SO₄ ([H⁺] = 1 моль/дм³) раствором KMnO₄ с молярной концентрацией эквивалента 0,2000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔЕ вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Что является индикатором данной реакции?

239. Титруют 20,00 см³ раствора оксалата натрия с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³ в среде H₂SO₄ ([H⁺] = 1 моль/дм³) раствором KMnO₄ с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔЕ вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Что является индикатором реакции?

240. Титруют 20,00 см³ раствора йода с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³ раствором тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,1000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔЕ вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Что является индикатором данной реакции в среде HCl?

241. Титруют 20,00 см³ раствора бихромата калия с молярной концентрацией 0,2000 моль/дм³ в среде HCl раствором KI с молярной концентрацией 0,2000 моль/дм³. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите

величину ΔE вблизи ТЭ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1\%$ и $\eta = \pm 1,0\%$. Что является индикатором данной реакции?

242. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора AgNO_3 с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором NaCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования ($\text{PR}_{\text{AgCl}} = 1,78 \cdot 10^{-10}$). Определите величину $\Delta p\text{Ag}$ для уровня ошибок $\eta = \pm 0,1\%$ и $\eta = \pm 1,0\%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

243. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора NaCl с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором AgNO_3 с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования ($\text{PR}_{\text{AgCl}} = 1,78 \cdot 10^{-10}$). Определите величину $\Delta p\text{Cl}$ вблизи ТЭ. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

244. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствор AgNO_3 с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$ раствором KNCS с молярной концентрацией $0,2000 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте и постройте кривую титрования ($\text{PR}_{\text{AgNCS}} = 1,1 \cdot 10^{-12}$). Определите величину $\Delta p\text{Ag}$ вблизи ТЭ. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

245. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора MgCl_2 с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$ при $\text{pH} = 9,2$ раствором комплексона III с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$. Константа устойчивости комплекса MgY^{2-} составляет $1,32 \cdot 10^9$. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину $\Delta p\text{Mg}$ вблизи ТЭ для уровней ошибок $\eta = \pm 0,1\%$ и $\eta = \pm 1,0\%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

246. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора CaCl_2 с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$ при $\text{pH} = 12$ раствором комплексона III с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$. Константа устойчивости комплекса CaY^{2-} составляет $1,75 \cdot 10^{10}$. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину $\Delta p\text{Ca}$ вблизи ТЭ для уровней ошибок $\eta = \pm 0,1\%$ и $\eta = \pm 1,0\%$.

$\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

247. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора ZnCl_2 с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$ при $\text{pH} = 9,2$ раствором комплексона III с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$. Константа устойчивости комплекса ZnY^{2-} составляет $1,82 \cdot 10^{16}$. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔpZn вблизи ТЭ для уровней ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

248. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора FeCl_2 с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$ при $\text{pH} = 3$ раствором комплексона III с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$. Константа устойчивости комплекса FeY^{2-} составляет $1,58 \cdot 10^{14}$. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔpFe вблизи ТЭ для уровней ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

249. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора NiCl_2 с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$ при $\text{pH} = 9,2$ раствором комплексона III с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$. Константа устойчивости комплекса NiY^{2-} составляет $4,17 \cdot 10^{18}$. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔpNi вблизи ТЭ для уровней ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

250. Титруют $20,00 \text{ см}^3$ раствора BaCl_2 с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$ при $\text{pH} = 9$ раствором комплексона III с молярной концентрацией $0,0200 \text{ моль/дм}^3$. Константа устойчивости комплекса BaY^{2-} составляет $6,02 \cdot 10^7$. Рассчитайте и постройте кривую титрования. Определите величину ΔpBa вблизи ТЭ для уровней ошибок $\eta = \pm 0,1 \%$ и $\eta = \pm 1,0 \%$. Подберите индикатор и объясните механизм его действия.

Учебное издание

Гиниятуллин Накип Гиниятулович
кандидат технических наук, доцент

Ахметова Танзиля Имамовна
кандидат химических наук

Ковалевская Ирина Владимировна
старший преподаватель

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ФХМА

ЧАСТЬ I

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Корректор Габдурахимова Т.М.
Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 26.04.2011.
Подписано в печать 16.09.2011.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 4,5. Тираж 200.
Заказ №33.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», г. Нижнекамск,
423570, ул. 30 лет Победы, д. 5а.

