

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА «АНАЛИТИЧЕСКАЯ, ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
И ФИЗИКО-ХИМИЯ ПОЛИМЕРОВ»

Р. В. Брунилин

СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ АНАЛИЗА

Методические указания к семестровому заданию по ФХМА



Волгоград
2011

УДК 543(076)

Рецензент

д-р хим. наук, профессор *Б. С. Орлинсон*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Сборник задач и упражнений по физико-химическим методам анализа : метод. указания / сост. Р. В. Брунилин. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – 24 с.

В методических указаниях представлены правила оформления и варианты семестрового задания.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 655000 «Химическая технология органических веществ и топлива» (код ОКСО 240400) для выполнения семестрового задания по физико-химическим методам анализа.

© Волгоградский государственный
технический университет, 2011

Введение

Управление химическим производством и проведение любой научно-исследовательской работы по химии или химической технологии основано на рационально построенной системе химико-аналитического контроля, как отдельных стадий, так и всего процесса в целом.

В настоящее время всё большее значение приобретают физические и физико-химические методы анализа. Эти методы используются не только для анализа и исследования различных природных и технических объектов, но и для изучения разнообразных реакций и процессов. Развитию таких методов в значительной мере способствовал прогресс в области химической технологии производства важнейших специальных материалов, атомной энергетики, космонавтики, биологии, биохимии и т. п.

Внедрение в практику современных физических и физико-химических методов анализа и исследования оказало существенное влияние на развитие различных областей науки и техники, в том числе на развитие самой аналитической химии, неотъемлемой частью которой они являются.

В данных методических указаниях представлены правила оформления и варианты семестрового задания по физико-химическим методам анализа.

1. Порядок выполнения семестровой работы

Целью выполнения семестровой работы является полноценная подготовка студентов, включающая не только овладение соответствующим кругом знаний, но и приобретения ряда навыков: умение обработать результаты эксперимента, провести необходимые расчёты и сделать соответствующие выводы.

Семестровая работа представляет собой комплексное задание, включающее несколько расчётных задач по основным разделам дисциплины.

Семестровая работа оформляется на листах формата А4 рукописным или машинописным способом. На титульном листе указывается наименование университета, кафедры, выполняемой работы, фамилия и инициалы студента, группа в которой обучается студент, должность, фамилия и инициалы преподавателя. Внизу титульного листа указывается год выполнения семестровой работы. Пример оформления титульного листа представлен в приложении.

Расчет выполняется вручную, при необходимости исходные и справочные данные могут быть согласованы с преподавателем.

Семестровая работа оценивается преподавателем после её проверки и при необходимости опроса по соответствующим разделам курса.

2. Задачи для выполнения семестровой работы

2.1. Спектральные методы анализа

2.1.1. Атомно-эмиссионный спектральный анализ

2.1.1.1. Решение типовых задач

Пример. При анализе стали на хром по методу трех эталонов было измерено почернение S линий гомологической пары $\lambda_{Cr} = 279,216$ нм, $\lambda_{Fe} = 279,388$ нм в спектрах эталонов и в исследуемом спектре. Рассчитать массовую долю (%) хрома по следующим данным:

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Cr}, \%$	0,50	1,23	4,17	?
S_{Cr}	0,07	0,37	0,86	0,61
S_{Fe}	0,27	0,23	0,27	0,25

Решение. В методе трех эталонов используется зависимость разности почернений ΔS линий гомологической пары от логарифма концентрации определяемого элемента. По показателям измерительной шкалы микрофотометра находим значения ΔS ($\Delta S = S_{Cr} - S_{Fe}$) для трех эталонов:

$$\Delta S_1 = 0,07 - 0,27 = -0,20;$$

$$\Delta S_2 = 0,37 - 0,23 = 0,14;$$

$$\Delta S_3 = 0,86 - 0,27 = 0,59.$$

Определяем логарифмы массовых долей (%): $\lg \omega_1 = -0,30$; $\lg \omega_2 = 0,09$; $\lg \omega_3 = 0,62$ и строим градуировочный график и координатах $\Delta S - \lg \omega$ (рис. 1).

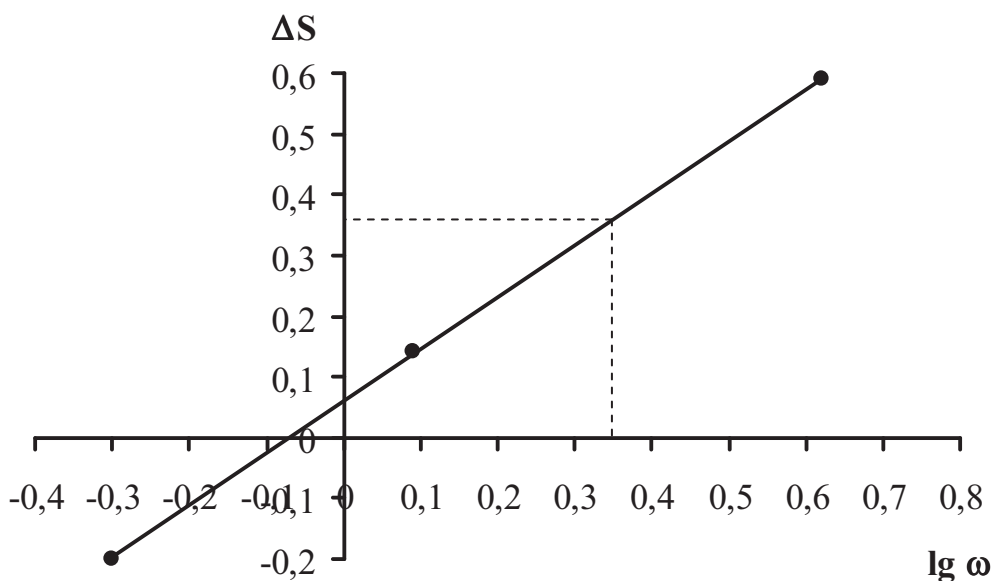


Рис. 1. Определение массовой доли (%) Cr методом трёх эталонов

Находим значение ΔS для анализируемого образца: $\Delta S_x = 0,61 - 0,25 = 0,36$ и по градуировочному графику определяем $\lg \omega_{Cr}$ и ω_{Cr} в образце: $\lg \omega_{Cr} = 0,35\%$ и $\omega_{Cr} = 2,24\%$.

2.1.1.2. Задачи

1. При определении содержания марганца в стали по методу трех эталонов на микрофотометре было измерено почернение S линий гомологической пары: $\lambda_{Fe} = 293,690$ нм, $\lambda_{Mn} = 293,306$ нм. Определить массовую долю (%) марганца в стали по данным:

Вариант	Параметр	Эталон			Исследуемый образец
		1	2	3	
1	$\omega_{Mn}, \%$	0,33	0,89	3,03	?
	S_{Fe}	1,33	1,24	1,14	1,08
	S_{Mn}	0,95	1,06	1,20	0,96
2	$\omega_{Mn}, \%$	0,10	0,38	1,90	?
	S_{Fe}	0,98	0,94	0,99	0,75
	S_{Mn}	0,71	0,90	1,24	0,61
3	$\omega_{Mn}, \%$	0,05	0,21	0,30	?
	S_{Fe}	0,72	0,74	0,78	0,73
	S_{Mn}	0,53	0,90	1,03	0,91

2. Определить массовую долю (%) хрома в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты (S – почернение линий):

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Cr}, \%$	0,50	1,23	4,17	?
S_{Cr}	0,07	0,29	0,86	0,73
S_{Fe}	0,27	0,15	0,27	0,33

3. Определить массовую долю (%) меди в алюминии, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты (S – почернение линий):

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Cu}, \%$	0,25	0,80	1,20	?
S_{Cu}	0,25	0,54	0,61	0,41
S_{Al}	0,42	0,44	0,41	0,45

4. Определить массовую долю (%) кремния в сплаве, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты (S – почернение линий):

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Si}, \%$	0,63	1,65	3,86	?
S_{Si}	0,186	0,414	0,614	0,514
S_{Al}	0,184	0,184	0,184	0,184

5. Определить массовую долю (%) вольфрама в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты (S – почернение линий):

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_W, \%$	0,87	1,37	2,19	?
S_W	0,388	0,634	0,774	0,786
S_{Fe}	0,462	0,464	0,424	0,452

6. Определить массовую долю (%) хрома в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты:

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Cr}, \%$	0,93	1,97	2,34	?
ΔS	0,23	0,60	0,71	0,44

7. Определить массовую долю (%) марганца в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты:

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Mn}, \%$	1,20	0,94	0,48	?
ΔS	0,47	0,39	0,17	0,30

8. Определить массовую долю (%) никеля в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты:

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Ni}, \%$	0,56	1,42	1,97	?
ΔS	0,054	0,44	0,60	0,23

9. Определить массовую долю (%) никеля в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты (S – почернение линий):

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_{Ni}, \%$	1,86	3,80	10,23	?
S_{Ni}	0,082	0,316	0,647	0,287
S_{Fe}	0,062	0,066	0,047	0,067

10. Определить массовую долю (%) ванадия в стали, если при фотометрировании по методу трех эталонов были получены следующие результаты (S – почернение линий):

Параметр	Эталон			Анализируемый образец
	1	2	3	
$\omega_V, \%$	0,11	0,97	2,79	?
S_V	0,288	1,015	1,328	1,190
S_{Fe}	0,608	0,662	0,575	0,640

11. При определении марганца в бронзе для построения градуировочного графика были получены следующие результаты: массовой доле $\omega_{Mn}^0 = 1,77 \%$ соответствовала $\Delta S = 0$, массовой доле $\omega_{Mn} = 0,83 \%$ соответствовала $\Delta S_1 = -0,54$. Построить градуировочный график и определить массовую долю (%) марганца в исследуемом образце, если $\Delta S_x = -0,33$.

12. При определении олова в бронзе для построения градуировочного графика были получены следующие результаты: массовой доле $\omega_{Sn}^0 = 10,2\%$ соответствовала $\Delta S = 0$, массовой доле $\omega_{Sn} = 5,2 \%$ соответствовала $\Delta S_1 = -0,52$. Построить градуировочный график и определить массовую долю (%) олова в исследуемом образце, если $\Delta S_x = -0,28$.

13. При определении магния в алюминиевом сплаве для построения градуировочного графика были получены следующие результаты: массовой доле $\omega_{Mg}^0 = 0,57 \%$ соответствовала $\Delta S = 0$, массовой доле $\omega_{Mg} = 0,97 \%$ соответствовала $\Delta S_1 = 0,27$. Построить градуировочный график и определить массовую долю (%) магния в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,19$.

14. При определении железа в алюминиевом сплаве для построения градуировочного графика были получены следующие результаты: массовой доле $\omega_{Fe}^0 = 0,23 \%$ соответствовала $\Delta S = 0$, массовой доле $\omega_{Fe} = 0,97 \%$ соответствовала $\Delta S_1 = 0,27$. Построить градуировочный график и определить массовую долю (%) железа в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,32$.

15. При определении марганца в алюминиевом сплаве для построения градуировочного графика были получены результаты, приведенные в таблице. Массовой доле ω_{Mn}^0 соответствовала $\Delta S = 0$, а для эталона с массовой долей ω_{Mn} получено ΔS_1 . Построить градуировочный график и опре-

делить массовую долю (%) марганца в исследуемом образце, если получены следующие данные ΔS_x :

Параметр	Образец (Вариант)				
	1	2	3	4	5
$\omega_{\text{Mn}}, \% (\Delta S = 0)$	0,14	0,37	0,42	0,56	1,40
$\omega_{\text{Mn}}, \%$	0,22	0,19	0,66	0,29	2,20
ΔS_1	0,26	-0,44	0,39	-0,66	0,52
ΔS_x	0,14	-0,25	0,25	-0,34	0,27

16. Навеску стекла массой 0,1000 г растворили в смеси H_2SO_4 и HF , раствор выпарили, остаток смочили HCl и перенесли в мерную колбу вместимостью 250,0 мл. Полученный раствор фотометрировали в пламени так же, как и стандартные растворы, приготовленные из NaCl . Данные фотометрирования приведены в таблице ($I_{\text{отн}}$ – относительная интенсивность излучения):

Параметр	Стандартный раствор			Образец (Вариант)		
	1	2	3	1	2	3
$c(\text{Na}), \text{мг/л}$	10,0	20,0	30,0	?	?	?
$I_{\text{отн}}$	16,0	31,5	47,5	24,0	35,0	42,5

Построить градуировочный график и определить массовую долю (%) натрия в образце.

17. Навеску удобрения массой 2,0000 г обработали при кипячении насыщенным раствором оксалата аммония; после охлаждения раствор разбавили в мерной колбе вместимостью 500,0 мл и профильтровали. Аликвоту фильтрата объемом 5,00 мл разбавили до 250,0 мл. Полученный раствор фотометрировали в пламени так же, как и стандартные растворы, приготовленные из KCl . Данные фотометрирования приведены в таблице ($I_{\text{отн}}$ – относительная интенсивность излучения):

Параметр	Стандартный раствор			Образец (Вариант)		
	1	2	3	1	2	3
$c(\text{K}), \text{мг/л}$	5,0	10,0	15,0	?	?	?
$I_{\text{отн}}$	8,0	15,0	24,2	12,7	18,4	20,8

Построить градуировочный график и определить массовую долю (%) калия в удобрении.

18. Порцию исследуемой воды объемом 25,00 мл разбавили дистиллированной водой в мерной колбе вместимостью 500,0 мл и фотометрировали в пламени так же, как и стандартные растворы, приготовленные из CaCl_2 . Результаты фотометрирования приведены в таблице ($I_{\text{отн}}$ – относительная интенсивность излучения):

Параметр	Стандартный раствор				Образец (Вариант)		
	1	2	3	4	1	2	3
c(Ca), мг/л	10,0	30,0	50,0	70,0	?	?	?
I _{отн}	16,0	47,6	80,2	111,0	32,0	76,9	101,8

Построить градуировочный график и определить концентрацию (мг/л) кальция в исследуемой воде.

2.1.2. Молекулярно-абсорбционная спектроскопия

2.1.2.1. Решение типовых задач

Пример. После растворения 0,2500 г стали раствор разбавили до 100,0 мл. В три колбы вместимостью 50,0 мл поместили по 25,00 мл этого раствора и добавили: в первую колбу стандартный раствор, содержащий 0,50 мг Ti, растворы H₂O₂ и H₃PO₄, во вторую – растворы H₂O₂ и H₃PO₄, в третью – раствор H₃PO₄ (нулевой раствор). Растворы разбавили до метки и фотометрировали два первых раствора относительно третьего. Получили значения оптической плотности: $A_{x+cm} = 0,650$, $A_x = 0,250$. Рассчитать массовую долю (%) титана в стали.

Решение. Определяем концентрацию титана, добавленного со стандартным раствором:

$$c_{cm} = \frac{0,50}{50,00} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ мг / мл},$$

где 0,50 мг – масса добавленного титана; 50, 00 мл – объём раствора.

Вычисляем концентрацию титана по формуле

$$c_x = c_{cm} \frac{A_x}{A_{x+cm} - A_x}; \quad c_x = 1,00 \cdot 10^{-2} \frac{0,250}{0,650 - 0,250} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ мг / мл}.$$

Определяем массу титана по взятой навеске:

$$m = \frac{6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 50,00 \cdot 100,00}{25,00} = 1,25 \text{ мг} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ г}.$$

Рассчитываем массовую долю титана(%):

$$\omega_{Ti} = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,2500} = 0,50\%.$$

2.1.2.2. Задачи

19. Для определения никеля с диметилглиоксимом навеску стали растворяют и разбавляют раствор до 100,0 мл. К 5,00 мл раствора добавляют необходимые реактивы, разбавляют водой до 50,00 мл и фотометрируют при $l = 1,0$ см, $\lambda_{эфф} = 470$ нм ($\varepsilon = 1,30 \cdot 10^4$). Вычислить массу навески стали для анализа, если оптимальное значение оптической плотности 0,435 и приблизительная массовая доля (%) никеля в стали равна: **1)** 0,5 %; **2)** 1,0 %; **3)** 5,0 %.

20. Для определения железа (III) в концентрированной серной кислоте в виде сульфосалицилата навеску помещают в колбу вместимостью 100,0 мл, добавляют необходимые реактивы и доводят водой до метки. Измеряют оптическую плотность при $\lambda_{\text{эфф}} = 420 \text{ нм}$ ($\varepsilon = 6,0 \cdot 10^3$) и толщине кюветы l (см). Рассчитать массу навески кислоты для анализа по следующим данным:

Вариант	1	2	3
$\omega_{\text{Fe(III)}}, \%$	0,001	0,005	0,010
$l, \text{ см}$	5	3	1

Оптимальное значение оптической плотности равно 0,435.

21. В две мерные колбы вместимостью 100,0 мл поместили по V (мл) сточной воды. В одну колбу добавили 10,00 мл стандартного раствора CuSO_4 с $T(\text{Cu}) = 0,001000$. В обе колбы ввели растворы аммиака, рубеоно-водородной кислоты и разбавили водой до метки. При фотометрировании растворов получили оптические плотности A_x и A_{x+cm} . Определить концентрацию (г/л) меди в сточной воде для следующих вариантов:

Вариант	1	2	3	4
$V, \text{ мл}$	10,00	20,00	30,00	40,00
A_x	0,240	0,280	0,320	0,400
A_{x+cm}	0,380	0,320	0,460	0,540

22. Навеску стали массой m (г) растворили в колбе вместимостью 50,0 мл. Две пробы по 20,00 мл поместили в колбы вместимостью 50,0 мл. В одну колбу добавили раствор, содержащий 0,003000 г ванадия. В обе колбы прилили пероксид водорода и довели водой до метки. Вычислить массовую долю (%) ванадия в стали, если при фотометрировании растворов получили следующие оптические плотности A_x и A_{x+cm} :

Вариант	1	2	3	4
$m, \text{ г}$	0,5000	0,6572	0,7468	0,9580
A_x	0,200	0,230	0,250	0,280
A_{x+cm}	0,480	0,510	0,530	0,560

23. Навеску стали массой m (г) растворили в колбе вместимостью 50,0 мл. В две мерные колбы вместимостью 50,0 мл отобрали аликвоты по 20,00 мл. В одну колбу добавили раствор, содержащий 0,001000 г Ti. В обе колбы поместили раствор пероксида водорода и довели растворы до метки. Вычислить массовую долю (%) титана в стали, если при фотометрировании растворов получили следующие оптические плотности A_x и A_{x+cm} :

Вариант	1	2	3	4
$m, \text{ г}$	0,4600	0,4828	0,5000	0,6150
A_x	0,200	0,190	0,220	0,250
A_{x+cm}	0,420	0,410	0,440	0,470

24. Из навески стали массой 0,2000 г после соответствующей обработки приготовили 100,0 мл раствора, содержащего MnO_4^- и $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, и измерили его оптическую плотность при светофильтрах с $\lambda_{\text{эфф}} = 533$ нм и $\lambda_{\text{эфф}} = 432$ нм (A_{533} , A_{432}). В шесть мерных колб вместимостью 100,0 мл поместили 5,00; 8,00; 10,00 мл стандартного раствора перманганата [$T(\text{Mn}) = 0,0001090$] или дихромата [$T(\text{Cr}) = 0,001210$], разбавили водой до метки и фотометрировали при тех же условиях. Определить массовую долю (%) Mn и Cr в стали для следующих вариантов:

Параметр	Стандартный раствор						Исследуемый раствор (Вариант)		
	KMnO_4			$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$			1	2	3
V , мл	5,00	8,00	10,00	5,00	8,00	10,00	—	—	—
A_{533}	0,230	0,365	0,460	—	—	—	0,280	0,330	0,370
A_{432}	0,095	0,150	0,190	0,430	0,640	0,780	0,820	0,760	0,720

25. При конденсации с анилином фурфурол $\text{C}_4\text{H}_3\text{OCHO}$ образует соединение красного цвета $\text{C}_4\text{H}_3\text{OCH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2)_2$, молярный коэффициент поглощения которого при 518 нм равен $\epsilon_{518}^1 = 6,20 \cdot 10^4$. Фурфурол и его производные при конденсации с бензидином образуют соединения желтого цвета. При 413 нм молярные коэффициенты поглощения продуктов конденсации равны: $\epsilon_{413}^1 = 2,00 \cdot 10^2$ (для фурфурола), $\epsilon_{413}^2 = 1,00 \cdot 10^3$ (для метилфурфурола и других производных).

На анализ взяли V (мл) сточной воды производства пластмасс, отогнали фурфурол и его производные в колбу вместимостью 500,0 мл и довели до метки водой. К аликвоте объемом 5,00 мл добавили приготовленную смесь реактивов, содержащую анилин, и разбавили водой до 20,00 мл. Измерили оптическую плотность при 518 нм (A_{518}) в кювете $l = 1,0$ см. К другой аликвоте объемом 50,0 мл добавили солянокислый раствор бензидина и разбавили до 100,0 мл. Измерили оптическую плотность при 413 нм (A_{413}) в кювете $l = 5,0$ см. Вычислить концентрацию (мг/л) фурфурола [$M(\text{C}_4\text{H}_3\text{OCHO}) = 96,0854$ г/моль] и его производных в расчете на метилфурфурол [$M(\text{C}_5\text{H}_5\text{OCHO}) = 110,1158$ г/моль] в сточных водах для следующих вариантов:

Вариант	Объем пробы сточной воды V , мл	A_{518}	A_{413}
1	100	0,525	0,451
2	200	0,480	0,410
3	250	0,410	0,350

26. В две делительные воронки поместили по 50,00 мл стандартных растворов кобальта (0,30 мкг/мл) и никеля (0,10 мкг/мл), добавили N,N' -диэтилдитиокарбамат и экстрагировали образовавшиеся комплексы CCl_4 . Экстракты собрали и разбавили до 10,00 мл CCl_4 . Измерили оптическую

плотность обоих экстрактов при 367 и 328 нм в кюветах $l = 1,0$ см и получили: $A_{367, \text{Co}} = 0,365$; $A_{328, \text{Co}} = 0,100$; $A_{367, \text{Ni}} = 0,186$; $A_{328, \text{Ni}} = 0,300$.

Аликвоту анализируемого раствора объемом 50,00 мл, содержащего кобальт и никель, поместили в делительную воронку и добавили все реактивы, как для стандартных растворов. Оптическую плотность полученного экстракта (10,00 мл CCl_4) измерили при 367 и 328 нм, $l = 1,0$ см. Вычислить концентрацию (мкг/мл) кобальта и никеля в анализируемом растворе по приведенным результатам измерений: **1)** $A_{367} = 0,385$; $A_{328} = 0,310$; **2)** $A_{367} = 0,410$; $A_{328} = 0,320$; **3)** $A_{367} = 0,515$; $A_{328} = 0,425$.

27. Молярные коэффициенты светопоглощения 8-оксихинолинов кобальта (II) и никеля (II) в растворе хлороводородная кислота – ацетон равны при $\lambda_{\text{эфф}} = 365$ нм $\epsilon_{\text{Co}} = 3530$, $\epsilon_{\text{Ni}} = 3230$. При $\lambda_{\text{эфф}} = 700$ нм свет поглощает только оксихинолинов кобальта $\epsilon_{\text{Co}} = 429$.

Из 10,00 мл исследуемого раствора получили осадки оксихинолинов кобальта и никеля, растворили их в 25,00 мл смеси хлороводородная кислота – ацетон и измерили оптическую плотность при 365 и 700 нм в кювете $l = 1,0$ см. Вычислить концентрацию (мкг/мл) кобальта и никеля в растворе для следующих вариантов: **1)** $A_{365} = 0,820$; $A_{700} = 0,083$; **2)** $A_{365} = 0,860$; $A_{700} = 0,050$; **3)** $A_{365} = 0,920$; $A_{700} = 0,075$.

2.2. Электрохимические методы анализа

2.2.1. Кондуктометрический метод анализа

2.2.1.1. Решение типовых задач

Пример. Навеску $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ массой 0,1389 г растворили и раствор довели до метки в колбе вместимостью 50,00 мл. При высокочастотном титровании 10,00 мл полученного раствора трилоном Б (ЭДТА) получили следующие результаты:

$V(\text{ЭДТА})$, мл	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
Показания прибора	4,52	3,71	5,85	9,00	12,08	15,13

Построить кривую титрования и вычислить титр трилона Б по никелю.

Решение. Строим кривую титрования в координатах показания прибора – $V(\text{ЭДТА})$ (рис. 2) и определяем объем титранта, затраченный на титрование аликвоты раствора соли никеля ($V(\text{ЭДТА})_{\text{т.э.}} = 9,00$ мл).

Вычисляем условный титр раствора ЭДТА по никелю:

$$T(\text{ЭДТА} / \text{Ni}) = \frac{m(\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Ni}) \cdot V_n}{M(\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot V_k \cdot V(\text{ЭДТА})};$$

$$T(\text{ЭДТА} / \text{Ni}) = \frac{0,1389 \cdot 58,70 \cdot 10,00}{280,87 \cdot 50,00 \cdot 9,00} = 0,0006451 = 6,451 \cdot 10^{-4} \text{ г / мл.}$$

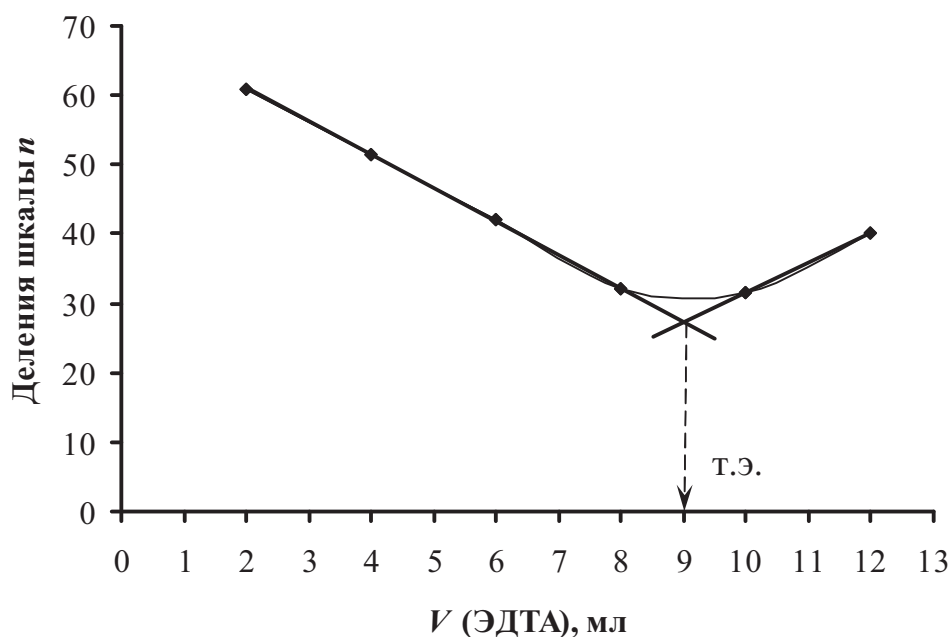


Рис. 2. Кривая высокочастотного титрования никеля

2.2.1.2. Задачи

28. В навеске органического соединения массой m (г) кислород количественно перевели в CO_2 . Диоксид углерода растворили в электролитической ячейке, наполненной разбавленным раствором щелочи, и определили $\Delta\kappa_x$ – уменьшение электрической проводимости поглотительного раствора. Таким же превращениям подвергли стандартные вещества, содержащие от 200 до 1000 мкг кислорода, и измерили соответствующие величины $\Delta\kappa$. Результаты измерений представлены ниже:

m_{O_2} в образце, мкг	200	400	600	800	1000
$\Delta\kappa \cdot 10^6$, См	80	150	220	285	355

Построить градуировочный график и вычислить массовую долю (%) кислорода в органическом соединении по следующим данным:

Вариант	1	2	3
m , мг	2,299	2,161	2,091
$\Delta\kappa \cdot 10^6$, См	300	210	260

29. Навеску органического соединения массой m (г) сожгли в токе кислорода. В газообразных продуктах пиролиза воду выморозили, а диоксид углерода пропустили в ячейку для измерения электрической проводимости, содержащую раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Сопротивление раствора в ячейке до и после опыта изменилось на ΔR_x . В аналогичных условиях сожгли стандартные вещества, содержащие от 200 до 1000 мкг углерода, и также изме-

рили для каждого образца значение ΔR . Результаты измерений представлены ниже:

m_C в образце, мкг	200	400	600	800	1000
$\Delta R \cdot 10^6$, Ом	80	150	220	285	355

Построить градуировочный график и вычислить массовую долю (%) углерода в органическом соединении по следующим данным:

Вариант	1	2	3
m , мг	1,221	0,9982	0,9919
$\Delta R \cdot 10^6$, См	90	115	260

30. При титровании 50,00 мл смеси NaOH и NH_3 0,0100 М HCl получили следующие данные для трех вариантов смеси:

$V(HCl)$, мл	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 1	6,30	5,41	4,52	3,62	3,71	4,79	5,85	6,93	9,00	12,08	15,13
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 2	5,68	4,46	3,20	—	3,00	3,84	4,68	5,50	7,00	10,80	14,55
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 3	6,60	5,98	5,30	4,68	4,05	—	4,45	5,70	7,80	12,02	16,20

Построить кривую титрования и вычислить концентрацию (г/л) NaOH и NH_3 в исследуемом растворе.

31. Анализируемую смесь HCl и CH_3COOH поместили в мерную колбу вместимостью 50,00 мл и довели водой до метки. При титровании 10,00 мл раствора 0,1 М NaOH ($K = 1,104$) получили следующие результаты для трех вариантов смеси:

$V(NaOH)$, мл	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 1	2,50	2,20	1,90	1,93	1,96	2,00	2,20	2,50	2,85	3,20
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 2	2,62	2,35	2,08	1,96	2,00	2,03	2,06	2,38	2,74	3,10
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 3	2,66	2,39	2,12	2,02	2,04	2,08	2,11	2,25	2,60	2,96

Построить кривую титрования и определить массу (г) HCl и CH_3COOH в исходном растворе.

32. Анализируемую смесь H_2SO_4 и $CuSO_4$ довели до метки в мерной колбе вместимостью 50,00 мл. При титровании аликвоты 10,00 мл раствором NaOH получили следующие результаты для трех вариантов смеси:

$V(NaOH)$, мл	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 1	7,0	6,0	5,1	4,2	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5

$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 2	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	2,5	2,5	4,2	6,5	8,9
$\alpha \cdot 10^3$ См, для р-ра 3	6,0	4,9	3,9	2,8	2,0	2,0	2,0	3,8	5,5	7,2

Построить кривую титрования и вычислить массу H_2SO_4 и CuSO_4 (г) в смеси, если $T(\text{NaOH}) = 0,0003854$.

2.2.2. Потенциометрический метод анализа

2.2.2.1. Решение типовых задач

Пример. В стандартных растворах NaF были измерены электродные потенциалы фторидселективного электрода относительно хлорсеребряного электрода и получены следующие данные:

a_{F^-} , моль/л	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
E , мВ	100	140	190	230	275

Исследуемый раствор, содержащий фторид-ион, объемом 10,00 мл разбавили водой до 50,00 мл и измерили электродный потенциал фторидселективного электрода в полученном растворе: $E_x = 210$ мВ. Определить активность (моль/л) фторид-иона в исследуемом растворе.

Решение. Строим градуировочный график в координатах $E - \text{p}a_{\text{F}^-}$, где $\text{p}a_{\text{F}^-} = -\lg a_{\text{F}^-}$ (рис. 3).

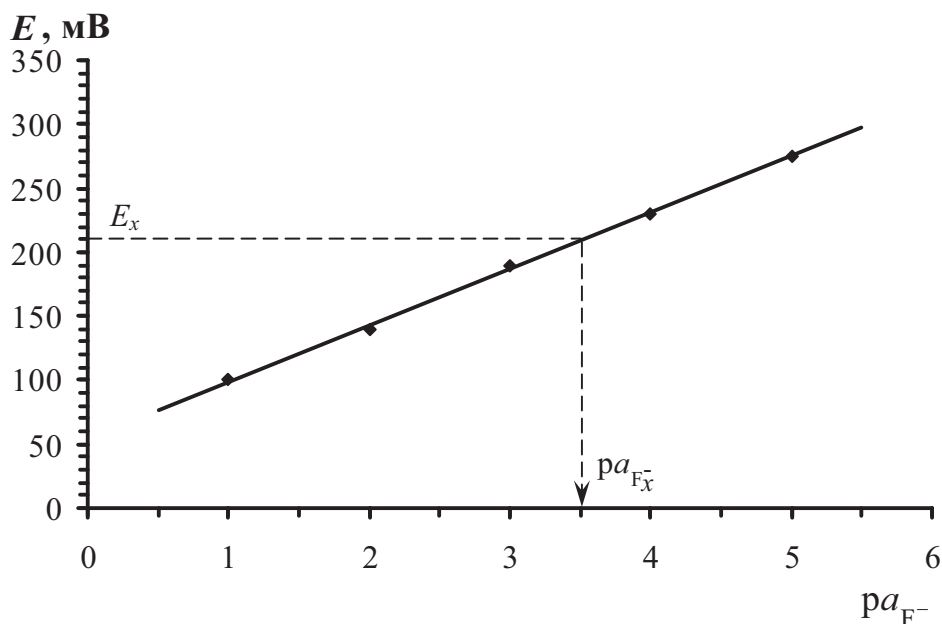


Рис. 3. Градуировочный график для определения фторид-иона

По графику находим $\text{p}a_{\text{F}^-} = 3,5$ и $a_{\text{F}^-} = 3,16 \cdot 10^{-4}$ моль/л, соответствующую $E_x = 210$ мВ, и рассчитываем активность исследуемого раствора:

$$a_{\text{F}^-} = \frac{a_{\text{F}^-} \cdot V_{\kappa}}{V_n} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4} \cdot 50,0}{10,00} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

2.2.2.2. Задачи

33. В стандартных растворах CdSO_4 с различной активностью Cd^{2+} были измерены электродные потенциалы кадмийселективного электрода относительно хлорсеребряного электрода и получены следующие данные:

a_{Cd} , моль/л	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
$-E$, мВ	75	100	122	146	170

По этим данным построили градуировочный график в координатах $E - p a_{\text{Cd}}$.

Исследуемый раствор соли кадмия объемом 10,00 мл разбавили водой до 50,00 мл в мерной колбе и измерили электродный потенциал кадмийселективного электрода в полученном растворе ($-E_x$):

Вариант	1	2	3	4
$-E_x$, мВ	94	116	130	159

Определить активность (моль/л) исследуемого раствора соли кадмия.

34. В стандартных растворах соли калия с концентрацией c_{K^+} были измерены электродные потенциалы калийселективного электрода относительно хлорсеребряного электрода и получены следующие данные:

c_{K^+} , моль/л	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
E , мВ	100	46	-7	-60

По этим данным построили градуировочный график в координатах $E - p c_{\text{K}^+}$.

Навеску образца массой 0,2000 г, содержащего калий, растворили в воде и объем довели до V (мл). Затем измерили электродный потенциал калийселективного электрода (E_x) в полученном растворе:

Вариант	1	2	3	4
V , мл	100	250	500	1000
E_x , мВ	60	3	10	-30

Вычислить массовую долю (%) калия в образце.

35. Анализируемый раствор HCl разбавили в мерной колбе до 100,0 мл и аликвоту объемом 20,00 мл оттитровали потенциометрически 0,1000 М NaOH . Построить кривые титрования в координатах $\text{pH} - V$ и $\Delta \text{pH} / \Delta V - V$ и определить массу (мг) HCl в растворе по следующим данным:

Вариант 1

$V(\text{NaOH})$, мл	1,50	1,80	1,90	1,95	1,98	2,00	2,02	2,05	2,10
pH	7,0	6,0	5,1	4,2	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0

Вариант 2

$V(\text{NaOH})$, мл	1,30	1,50	1,60	1,65	1,68	1,70	1,72	1,74	1,80
pH	2,78	3,03	3,34	3,64	4,03	6,98	9,96	10,36	10,66

36. Построить кривые потенциометрического титрования в координатах $\text{pH} - V$ и $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} - V$ и определить концентрацию (моль/л) раствора CH_3COOH , если при титровании 10,00 мл этой кислоты 0,1000 М КОН получили следующие результаты:

Вариант 1

$V(\text{KOH})$, мл	15,00	18,00	19,00	19,50	19,90	20,00	20,10	20,50	21,00
pH	5,22	5,71	6,04	6,35	7,05	8,79	10,52	11,22	11,51

Вариант 2

$V(\text{KOH})$, мл	10,00	13,00	14,00	14,50	14,90	15,00	15,10	15,50	16,00
pH	5,05	5,56	5,88	6,19	6,92	8,82	10,59	11,29	11,58

37. Навеску серебряного сплава массой 2,157 г растворили и после соответствующей обработки довели объем раствора до 100,0 мл. Построить кривые потенциометрического титрования в координатах $E - V$ и $\frac{\Delta E}{\Delta V} - V$ и определить массовую долю (%) серебра в сплаве, если при титровании 25,00 мл приготовленного раствора 0,1200 М NaCl получили:

$V(\text{NaCl})$, мл	16,00	18,00	19,00	19,50	19,90	20,00	20,10	20,50	21,00
E , мВ	689	670	652	634	594	518	440	401	383

38. Навеску смеси аланина массой m (г) ($M = 89,09$ г/моль) и фенилаланина ($M = 165,2$ г/моль) растворили и раствор довели до метки ледяной уксусной кислотой в мерной колбе вместимостью 50,00 мл. При титровании аликвоты объемом 5,00 мл 0,1 М HClO_4 ($K = 0,828$) в безводной уксусной кислоте получили следующие результаты:

$V(\text{NaCl})$, мл	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20
E , мВ, при $m = 0,3953$ г	432	444	466	580	624	640	650
E , мВ, при $m = 0,3702$ г	434	445	470	556	596	612	624

Вычислить массовую долю (%) компонентов смеси.

2.2.3. Электрогравиметрический метод анализа

2.2.3.1. Решение типовых задач

Пример. Навеску сплава массой 0,6578 г растворили и через полученный раствор в течение 20,0 мин пропускали ток силой 0,200 А, в результате чего на катоде полностью выделилась медь. Определить массовую долю (%) меди в сплаве, если выход по току составлял 80%.

Решение. В соответствии с законом Фарадея

$$m_{\text{Cu}} = \frac{I \cdot \tau \cdot A_{\text{Cu}} \cdot \eta}{F \cdot n \cdot 100},$$

где m_{Cu} – количество выделенной меди, г; I – сила тока, А; τ – время электролиза, с; A_{Cu} – атомная масса меди; F – постоянная Фарадея; n – число электронов, участвующих в электрохимическом процессе; η – выход по току, %.

Массовая доля (%) меди в сплаве равна:

$$\omega_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{спл}}} = \frac{I \cdot \tau \cdot A_{\text{Cu}} \cdot \eta \cdot 100}{F \cdot n \cdot m_{\text{спл}} \cdot 100}.$$

Подставляя числовые значения, получаем:

$$\omega_{\text{Cu}} = \frac{0,20 \cdot 20 \cdot 60 \cdot 63,55 \cdot 80}{96500 \cdot 2 \cdot 0,6578} = 9,5 \, \%.$$

2.2.3.2. Задачи

39. Определить массовую долю (%) индифферентных примесей в образце медного купороса, если после растворения его навески массой m (г) в азотной кислоте и электролиза полученного раствора выделено на платиновом катоде m_{Cu} (г):

Вариант	1	2	3	4
m , г	0,4556	0,5237	0,6274	0,5807
m_{Cu} , г	0,1145	0,1322	0,1586	0,1463

40. При электролизе раствора нитрата свинца на аноде выделилось m_{PbO_2} (г). Определить молярную концентрацию эквивалента $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв}} = 1/2$), если для анализа взяли V (мл) этого раствора:

Вариант	1	2	3	4
V , мл	20,00	25,00	40,00	10,00
$m(\text{PbO}_2)$, г	0,2506	0,1945	0,2136	0,1670

41. Навеску цветного сплава массой m (г) растворили и путем электролиза при постоянной силе тока I за время τ выделили полностью на катоде медь и на аноде свинец в виде PbO_2 . Определить массовую долю (%) меди и свинца в сплаве, если выход по току составлял 100%:

Вариант	1	2	3	4
m , г	1,525	1,442	1,811	1,621
I , А	0,200	0,150	0,220	0,180
τ , мин	45,0	50,0	40,0	38,0

42. Определить время, теоретически необходимое для полного выделения на катоде кадмия из V (мл) раствора CdSO_4 указанной концентрации, если электролиз проводился при силе тока 0,100 А и выход по току составлял 100 %:

Вариант	1	2	3	4
V , мл	20,00	40,00	50,00	25,00
$c(\frac{1}{2} \text{CdSO}_4)$, моль / л	0,0622	0,0466	0,0435	0,0945

43. Из анализируемого раствора, содержащего ионы трехвалентного металла, в результате электролиза при силе тока 1,000 А за время τ было выделено на катоде m (г) металла:

Вариант	1	2	3
m , г	0,3772	0,6497	0,5047
τ , мин	35,0	15,0	20,0

Определить, какой металл был в растворе, если выход по току $\eta = 100\%$.

44. Навеску цинковой руды массой m (г) перевели в раствор и полностью выделили из него цинк путем электролиза при силе тока 1,000 А в течение времени τ . Рассчитать массу выделившегося цинка (г) и массовую долю (%) ZnO в руде (выход по току составлял 100 %):

Вариант	1	2	3	4
τ , мин	10,0	13,0	16,9	20,0
m , г	1,250	1,400	1,550	1,700

45. Навеску сплава m (г) обработали и получили сульфатно-аммиачный раствор, из которого электролизом при постоянной силе тока 0,5000 А полностью выделили на платиновом катоде никель за время τ . Рассчитать массовую долю (%) никеля в сплаве по следующим данным:

Вариант	1	2	3	4
m , г	1,000	1,100	1,200	1,350
τ , мин	12,0	10,0	8,0	14,0

46. Электролизом раствора ZnSO_4 осаждено на катоде за время τ 0,1200 г цинка. Какую силу тока поддерживали при электролизе, если выход по току составил 90 %:

Вариант	1	2	3
τ , с	786	1310	1965

2.3. Хроматографические методы анализа

2.3.1. Решение типовых задач

Пример. Через колонку, содержащую 5,0 г катионита, пропустили 250,0 мл 0,050 М ZnSO_4 . Вытекающий из колонки раствор собирали порциями по 50,0 мл, в каждой порции определяли содержание ионов цинка и получили следующие значения концентрации (моль/л): 1 – 0,008; 2 – 0,029; 3 – 0,038; 4 – 0,050; 5 – 0,050.

Определить полную динамическую емкость (ммоль/г) катионита.

Решение. Вычисляем количество эквивалента Zn^{2+} , поглощенное катионитом из каждой порции раствора, принимая молярную массу эквивалента равной $M(\frac{1}{2} \text{Zn}^{2+})$:

$$1. \frac{(0,050 - 0,0080) \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 4,20 \text{ ммоль (1/2 Zn}^{2+}\text{)};$$

$$2. \frac{(0,050 - 0,029) \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 2,10 \text{ ммоль (1/2 Zn}^{2+}\text{)};$$

$$3. \frac{(0,050 - 0,038) \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 1,20 \text{ ммоль (1/2 Zn}^{2+}\text{)};$$

$$4,5. 0 \text{ ммоль (1/2 Zn}^{2+}\text{)}.$$

Всего в пяти порциях раствора поглощено:

$$4,20 + 2,10 + 1,20 = 7,50 \text{ ммоль (1/2 Zn}^{2+}\text{)}.$$

Отсюда динамическая ёмкость катионита для ионов цинка равна:

$$k = \frac{7,50}{5} = 1,50 \text{ ммоль (1/2 Zn}^{2+}\text{)} / \text{г}.$$

2.3.2. Задачи

47. К V (мл) 0,05 н. $M(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв}} = 1/2$) прибавили m (г) катионита в H^+ -форме. После установления равновесия концентрация уменьшилась до c' . Определить статическую обменную ёмкость (ммоль/г) катиона, принимая молярную массу эквивалента $M(1/2M^{2+})$:

Вариант	V , мл	M^{2+}	m , г	c' , моль экв / л
1	50	Cd	3	0,003
2	75	Ni	5	0,008
3	100	Zn	10	0,006

48. Какая масса кобальта (г / л) останется в растворе, если через колонку, заполненную m (г) катионита, пропустили V (мл) раствора CoSO_4 с концентрацией $c_{\text{нач}}$. Полная динамическая ёмкость в условиях разделения равна 1,6 ммоль/г [молярная масса эквивалента равна $M(1/2\text{Co}^{2+})$]. При этом получили следующие данные:

Вариант	1	2	3
V , мл	200	250	500
m , г	5,0	5,0	10,0
$c_{\text{нач}}$, моль экв / л	0,050	0,050	0,100

49. Для определения концентрации электролита 10,00 мл раствора поместили в мерную колбу вместимостью 100,0 мл, довели водой до метки; 10,00 мл раствора пропустили через колонку с катионитом в H^+ -форме. Элюат и промывные воды собрали в стакан и оттитровали потенциометрически на автотитраторе 0,1 М раствором NaOH , затратив V (мл) раствора титранта. Рассчитать концентрацию электролита (г/л) по следующим данным:

Вариант	1	2	3	4
Электролит	KNO ₃	NaNO ₃	CuSO ₄	NiSO ₄
V(NaOH), мл	1,98	2,15	1,67	0,89

50. При определении адипиновой кислоты в продукте гидрокарбонирования бутадиена методом бумажной хроматографии полученные пятна, проявленные метиловым красным, вырезали, высушили и взвесили. Для стандартных смесей с различным содержанием адипиновой кислоты получили данные:

Масса кислоты, мкг	5	10	15	20
Масса бумаги с пятном, мг	61	106	146	186

Навеску анализируемого образца m_1 (мг) растворили в V (мл) воды и порции полученного раствора по 0,05 мл хроматографировали. Масса полученных пятен составила m_2 (мг). Определить массовую долю (%) адипиновой кислоты в анализируемом продукте по следующим данным:

Вариант	1	2	3
m_1 , мг	100	150	200
V , мл	10	20	25
m_2 , мг	85	107	165

51. Для определения содержания красителя кислотного фиолетового в чернилах «Радуга» приготовили стандартные растворы: в мерные колбы вместимостью 100,0 мл поместили 0,50; 1,00; 2,00 и 3,00 мл стандартного раствора красителя ($T = 0,0003$), довели до метки дистиллированной водой, измерили оптическую плотность и получили следующие данные:

V , мл	0,5	1,0	2,0	3,0
A	0,07	0,12	0,23	0,35

Пробу анализируемого раствора чернил объемом 0,004 мл поместили на хроматографическую бумагу. После разделения на красный и фиолетовый компоненты зону красителя кислотного фиолетового вырезали, экстрагировали, разбавили в мерной колбе вместимостью 50,0 мл и измерили оптическую плотность полученного раствора. Определить концентрацию (мг/мл) красителя в исследуемом растворе по следующим данным: **1) 0,28; 2) 0,11; 3) 0,19.**

2.4. Варианты семестрового задания

Вариант	Номера задач				
1	1.1	19.1	28.1	39.1	47.1
2	1.2	19.2	28.2	39.2	47.2
3	1.3	19.3	28.3	39.3	47.3
4	2	20.1	29.1	39.4	48.1
5	3	20.2	29.2	40.1	48.2
6	4	20.3	29.3	40.2	48.3
7	5	21.1	30.1	40.3	49.1
8	6	21.2	30.2	40.4	49.2
9	7	21.3	30.3	41.1	49.3
10	8	21.4	31.1	41.2	49.4
11	9	22.1	31.2	41.3	50.1
12	10	22.2	31.3	41.4	50.2
13	11	22.3	32.1	42.1	50.3
14	12	22.4	32.2	42.2	51.1
15	13	23.1	32.3	42.3	51.2
16	14	23.2	33.1	42.4	51.3
17	15.1	23.3	33.2	43.1	47.1
18	15.2	23.4	33.3	43.2	47.2
19	15.3	24.1	33.4	43.3	47.3
20	15.4	24.2	34.1	44.1	48.1
21	15.5	24.3	34.2	44.2	48.2
22	16.1	25.1	34.3	44.3	48.3
23	16.2	25.2	34.4	44.4	49.1
24	16.3	25.3	35.1	45.1	49.2
25	17.1	26.1	35.2	45.2	49.3
26	17.2	26.2	36.1	45.3	49.4
27	17.3	26.3	36.2	45.4	50.1
28	18.1	27.1	37	46.1	50.2
29	18.2	27.2	38.1	46.2	51.1
30	18.3	27.3	38.2	46.3	51.2

2.5. Список рекомендуемой литературы

1. Основы аналитической химии. В 2 кн. / Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. шк., 1999.
2. Васильев В. П. Аналитическая химия. В 2 кн.: Кн. 2: Физико-химические методы анализа. – М.: Дрофа, 2004. – 384 с.
3. Васильев В. П. Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач: Пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2003. – 320 с.

Пример оформления титульного листа

Министерство образования и науки Российской Федерации

Волгоградский государственный технический университет

**Кафедра «Аналитическая, физическая химия и физико-химия
полимеров»**

**СЕМЕСТРОВОЕ ЗАДАНИЕ
ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ АНАЛИЗА**

Выполнил

студент гр. ТВБ – 489

Иванов И.И.

Проверил

Брунилин Р.В.

Волгоград 2011

Учебное издание

Роман Владимирович Брунилин

**СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ
ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ АНАЛИЗА**

Методические указания к семестровому заданию по ФХМА

Темплан 2011 г. (учебно-методическая литература). Поз. № 11.
Подписано в печать 10.11.2011 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,40.
Тираж 10 экз. Заказ .

Волгоградский государственный технический университет.
400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 7.