

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ I. ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.	5
1. Правила работы в химической лаборатории	6
1.1. Подготовка к проведению химического эксперимента.	6
1.2. Правила безопасности при работе в лаборатории	6
1.3. Оказание неотложной помощи	7
1.4. Оформление рабочего журнала	8
2. Химическая посуда, оборудование и реактивы	12
2.1. Химическая посуда	12
2.2. Химические реактивы и правила работы с ними	20
2.3. Газы	23
2.4. Лабораторное оборудование	30
3. Проведение химического эксперимента	40
3.1. Работа со стеклом	40
3.2. Приготовление растворов	42
3.3. Приемы нагревания и охлаждения	43
3.4. Отделение и промывание осадков.	46
3.5. Фракционная перегонка	47
3.6. Правила сборки приборов	49
ЧАСТЬ II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ	55
4. Очистка веществ и основы техники работы в лаборатории	56
4.1. Очистка солей методом перекристаллизации из раствора	56
4.2. Очистка летучих твердых веществ методом сублимации (возгонки)	63
4.3. Очистка воды от растворенных в ней солей методом дистилляции (перегонки)	64
4.4. Фракционная перегонка соляной кислоты, получение азотропа (<i>дополнительный опыт</i>)	67
4.5. Получение и очистка газов	70
4.6. Практикум повышенной сложности по теме «Очистка веществ»	73
4.6.1. Разделение солей кадмия и меди методом ионообменной хроматографии	73
4.6.2. Получение и очистка иода методом отгонки с водяным паром	74
4.6.3. Получение и возгонка в вакууме иодида сурьмы(+3).	76
5. Химическое равновесие. Определение химических эквивалентов. Тепловые эффекты химических реакций	79
5.1. Химическое равновесие	79
5.2. Определение химических эквивалентов металлов с использованием эвдиометра (<i>дополнительный опыт</i>)	80
5.3. Определение энтальпии реакции нейтрализации (<i>дополнительный опыт</i>)	82

5.4. Практикум повышенной сложности по теме «Физико-химические основы неорганической химии»	84
5.4.1. Калориметрическое определение энтальпии гидратации сульфата меди	84
6. Растворы. Электролитическая диссоциация	87
6.1. Пересыщенные растворы	87
6.2. Определение растворимости солей в воде	88
6.3. Электропроводность растворов	90
6.4. Кислотно-основные равновесия в растворах.	91
6.5. Произведение растворимости	93
6.6. Приготовление растворов кислот и определение их концентрации методом титрования щелочью (<i>дополнительный опыт</i>)	93
6.7. Зависимость pH раствора соляной кислоты от концентрации (<i>дополнительный опыт</i>)	96
6.8. Практикум повышенной сложности по теме «Физико-химические основы неорганической химии»	97
6.8.1. Определение константы диссоциации уксусной кислоты и ее зависимости от температуры	97
7. Скорость химических реакций	99
7.1. Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой	99
7.2. Влияние температуры на скорость реакции тиосульфата натрия с серной кислотой	101
7.3. Влияние катализатора на скорость разложения пероксида водорода	103
7.4. Влияние степени смешивания на скорость гетерогенной химической реакции	104
ЧАСТЬ III. ХИМИЯ s-ЭЛЕМЕНТОВ.	105
8. Водород	106
8.1. Получение водорода и проверка его на чистоту	106
8.2. Восстановление водородом оксидов металлов.	107
9. Щелочные элементы	110
9.1. Свойства щелочных металлов.	110
9.2. Соли щелочных элементов.	110
9.3. Синтезы по теме «Щелочные элементы».	113
9.3.1. Гидроксид натрия (каустификация соды)	113
9.3.2. Пероксид натрия	114
9.3.3. Бромид натрия	115
9.4. Практикум повышенной сложности по теме «Щелочные элементы»	116
9.4.1. Пероксид лития	116
10. Бериллий, магний, кальций, стронций, барий	119
10.1. Соединения бериллия.	119
10.2. Магний, соединения магния	119

10.3. Соединения кальция, стронция, бария	121
10.4. Синтезы по теме «Бериллий, магний, кальций, стронций, барий»	122
10.4.1. Оксоацетат бериллия	122
10.4.2. Пероксид бария	122
10.4.3. Гексагидрат хлорида магния.	122
10.4.4. Безводный хлорид магния	124
10.4.5. Кристаллогидрат хлорида кальция	126
10.4.6. Получение хлорида бария из сульфата бария	127
10.5. Практикум повышенной сложности по теме «Магний, щелочноземельные металлы»	127
10.5.1. Хлорид магния.	127
10.5.2. Гидрид кальция	128
ЧАСТЬ IV. ХИМИЯ <i>p</i>-ЭЛЕМЕНТОВ	131
11. Бор	132
11.1. Свойства бора	132
11.2. Борная кислота и бура	132
11.3. Окрашенные перлы буры.	132
11.4. Синтезы по теме «Бор»	133
11.4.1. Борная кислота	133
11.4.2. Нитрид бора	133
11.4.3. Пероксоборат натрия, $\text{Na}_2\text{B}_2(\text{O}_2)_2(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	133
11.5. Практикум повышенной сложности по теме «Бор»	134
11.5.1. Аммиакат трифторида бора	134
11.5.2. Три(<i>n</i> -бутил)борат	135
12. Алюминий	138
12.1. Свойства алюминия	138
12.2. Гидроксид алюминия и алюминат натрия	138
12.3. Соли алюминия	138
12.4. Синтезы по теме «Алюминий»	139
12.4.1. Алюмотермия (получение железа)	139
12.4.2. Алюмокалиевые квасцы	140
12.4.3. Безводный хлорид алюминия	141
12.4.4. Алюминат натрия	142
12.4.5. Тригидрат триоксалоалюмината калия	142
12.5. Практикум повышенной сложности по теме «Алюминий»	143
12.5.1. Ацетилацетонат алюминия	143
12.5.2. Безводный бромид алюминия	144
13. Углерод, кремний	147
13.1. Оксид углерода(+4)	147
13.2. Соли угольной кислоты.	147
13.3. Свойства кремния	148
13.4. Силикаты.	148
13.5. Гидрогель и гидрозоль кремниевой кислоты	149
13.6. Синтезы по теме «Углерод, кремний»	149
13.6.1. Оксид углерода(+2)	149

13.6.2.	Кристаллический кремний	151
13.6.3.	Гексафторокремниевая кислота	152
13.6.4.	Силицид магния и силаны	153
13.7.	Практикум повышенной сложности по теме «Кремний»	153
13.7.1.	Тетраацетат кремния	153
13.7.2.	Тетраизопропоксисилан	155
14.	Олово, свинец	156
14.1.	Получение и свойства олова	156
14.2.	Соединения олова(+2).	156
14.3.	α - и β -Оловянные кислоты	157
14.4.	Сульфиды и тиосоли олова	157
14.5.	Получение и свойства свинца	158
14.6.	Оксиды и гидроксиды свинца	158
14.7.	Соли свинца	159
14.8.	Синтезы по теме «Олово, свинец»	160
14.8.1.	Оксид олова(+2)	160
14.8.2.	Тетрахлорид олова	161
14.8.3.	Гексахлоростаннат(+4) аммония	161
14.8.4.	Тригидрат ацетата свинца(+2).	163
14.8.5.	Кристаллический сульфид свинца	163
14.8.6.	Оксид свинца(+2) (желтая и красная модификации)	163
14.8.7.	Свинцовый сурик	164
14.8.8.	Оксид свинца(+4)	164
14.9.	Практикум повышенной сложности по теме «Олово, свинец»	165
14.9.1.	Тетраиодид олова	165
14.9.2.	Тетраацетат свинца	166
14.9.3.	Гексахлороплюмбат(+4) аммония	167
15.	Азот	169
15.1.	Получение и свойства аммиака	169
15.2.	Соли аммония	169
15.3.	Соли гидразиния и гидроксиламмония.	170
15.4.	Азотистая кислота и ее соли	171
15.5.	Азотная кислота и ее соли	172
15.6.	Синтезы по теме «Азот»	173
15.6.1.	Оксид азота(+2)	173
15.6.2.	Оксид азота(+3)	174
15.6.3.	Оксид азота(+4)	174
15.6.4.	Дымящая азотная кислота	175
15.6.5.	Хлорид нитрозила	177
15.6.6.	Гексахлоростаннат(+4) нитрозония.	178
15.7.	Практикум повышенной сложности по теме «Азот»	179
15.7.1.	Нитрид магния.	179
15.7.2.	Сульфат гидразиния	180
15.7.3.	Хлорид гидроксиламмония	181
16.	Фосфор	183
16.1.	Белый фосфор	183
16.2.	Соли фосфорноватистой кислоты	183

16.3. Соли фосфористой кислоты	184
16.4. Фосфорный ангидрид	184
16.5. Метафосфорная кислота и метафосфаты	184
16.6. Соли пиррофосфорной кислоты	185
16.7. Ортофосфорная кислота и фосфаты	185
16.8. Синтезы по теме «Фосфор»	186
16.8.1. Пентахлорид фосфора	186
16.8.2. Трихлорид фосфора	187
16.8.3. Оксотрихлорид фосфора	189
16.9. Практикум повышенной сложности по теме «Фосфор»	189
16.9.1. Трибромид фосфора	189
16.9.2. Монотиофосфат натрия	190
17. Сурьма, висмут	193
17.1. Свойства сурьмы	193
17.2. Оксид сурьмы(+3)	193
17.3. Оксид сурьмы(+5)	193
17.4. Сульфиды и тиосоли сурьмы(+3)	193
17.5. Получение и свойства висмута	194
17.6. Соединения висмута(+3)	194
17.7. Соединения висмута(+5)	195
17.8. Синтез по теме «Сурьма»	195
17.8.1. Сурьмянистый водород (стибин)	195
17.9. Практикум повышенной сложности по теме «Сурьма, висмут»	196
17.9.1. Трийодид сурьмы	196
17.9.2. Трибромид сурьмы	197
17.9.3. Гексахлороантимонат(+5) калия	198
17.9.4. Пентахлорид сурьмы	199
17.9.5. Гексахлороантимонат(+5) нитрозония	200
17.9.6. Безводный нитрат висмута(+3)	200
18. Кислород	202
18.1. Получение кислорода	202
18.2. Свойства кислорода	202
18.3. Пероксид водорода	203
18.4. Синтез по теме «Кислород»	203
18.4.1. Хемилюминесценция (синглетный кислород)	203
19. Сера	205
19.1. Модификации серы	205
19.2. Сероводород	205
19.3. Сульфиды металлов	206
19.4. Оксид серы(+4)	207
19.5. Серная кислота и ее соли	209
19.6. Свойства тиосульфата натрия	210
19.7. Свойства пероксодисульфата калия	211
19.8. Синтезы по теме «Сера»	211
19.8.1. Получение серной кислоты нитрозным способом	211
19.8.2. Тиосульфат натрия	212

19.8.3. Выделение пентагидрата сульфата меди из продуктов взаимодействия серной кислоты с медью	213
19.9. Практикум повышенной сложности по теме «Сера»	213
19.9.1. Монохлорид серы	213
19.9.2. Хлорид тионила	216
19.9.3. Хлорид сульфурила	217
19.9.4. Сульфид бария	218
19.9.5. Гидросульфид аммония	219
19.9.6. Пероксодисульфат калия	220
19.9.7. Гидросульфат нитрозония (нитрозилсерная кислота)	221
20. Галогены	224
20.1. Хлор	224
20.2. Бром	226
20.3. Иод	229
20.4. Галогениды металлов	230
20.5. Галогениды водорода	232
20.6. Синтезы по теме «Галогены»	236
20.6.1. Хлориды кобальта(+2), никеля(+2), хрома(+3) (хлорирование металлов)	236
20.6.2. Моногидрат тетрахлороиодата(+3) калия	238
20.6.3. Хлорат калия	239
20.6.4. Бромат калия	241
20.6.5. Иодноватая кислота	242
20.6.6. Иодат калия	242
20.6.7. Кислый иодат калия	243
20.6.8. Периодат калия	243
20.7. Практикум повышенной сложности по теме «Галогены»	243
20.7.1. Трихлорид иода	243
20.7.2. Хлорат калия (получение методом электролиза)	245
20.7.3. Белильная известь	246
ЧАСТЬ V. ХИМИЯ <i>d</i>-ЭЛЕМЕНТОВ	249
21. Титан	250
21.1. Свойства титана	250
21.2. Соединения титана(+4)	250
21.3. Соединения титана(+3)	251
21.4. Синтезы по теме «Титан»	252
21.4.1. Трисульфатотитанат(+4) калия	252
21.4.2. Метатитанат(+4) калия, K_2TiO_3	252
21.4.3. Цезиевотитановые квасцы	252
21.4.4. Пентафторопероксотитанат(+4) аммония, $(NH_4)_3[Ti(O_2)F_5]$	253
21.5. Практикум повышенной сложности по теме «Титан»	253
21.5.1. Тетрахлорид титана	253
21.5.2. Гексахлоротитанат(+4) аммония	255
21.5.3. Дихлорид бисацетилацетоната титана(+4)	256
22. Ванадий	258
22.1. Свойства ванадия	258

22.2. Соединения ванадия(+5)	258
22.3. Соединения ванадия в низших степенях окисления	259
22.4. Синтезы по теме «Ванадий»	261
22.4.1. Аллюмотермическое получение ванадия	261
22.4.2. Гексагидрат хлорида ванадия(+3).	261
22.4.3. Триоксалатованадат(+3) калия	262
22.4.4. Ванадиевые бронзы	263
22.4.5. Бисацетилацетонат оксованадия(+4)	263
22.5. Практикум повышенной сложности по теме «Ванадий»	264
22.5.1. Тетрахлорид ванадия	264
22.5.2. Оксид ванадия(+3)	264
22.5.3. Гексафторованадат(+3) аммония	265
22.5.4. Оксотрихлорид ванадия	267
22.5.5. Нитрат диоксованадия	268
23. Хром	269
23.1. Соединения хрома(+2)	269
23.2. Соединения хрома(+3)	269
23.3. Соединения хрома(+6)	271
23.4. Синтезы по теме «Хром»	272
23.4.1. Получение хрома методом аллюмотермии.	272
23.4.2. Хлорид гексааквахрома(+3)	272
23.4.3. Моногидрат хлорида пентааквахлорохрома(+3)	273
23.4.4. Хромокалиевые квасцы	273
23.4.5. Изоморфный рост кристалла алюмокалиевых квасцов на монокристалле хромокалиевых квасцов	275
23.4.6. Хлорид хрома(+3)	275
23.4.7. Тригидрат триоксалатохромата(+3) калия.	276
23.4.8. Гексароданохромат(+3) калия	276
23.4.9. Диоксодихлорид хрома(+6)	277
23.4.10. Триоксохлорохромат(+6) калия	278
23.4.11. Хлорид гекса(мочевина)хрома(+3), $[\text{Cr}(\text{OCN}_2\text{H}_4)_6]\text{Cl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	278
23.4.12. Ацетат хрома(+2)	278
23.4.13. Тетраметиламмония* дихромо(+2)-(тетраацетато)диизотиоцианат, $(\text{NMe}_4)_2[\text{Cr}_2(\text{OAc})_4(\text{NCS})_2]$ (* — или тетраэтиламмония)	280
23.4.14. Родохромхлорид, $[(\text{NH}_3)_5\text{Cr}(\text{OH})\text{Cr}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_5$	280
23.4.15. Эритрохромхлорид, $[(\text{NH}_3)_5\text{Cr}(\text{OH})\text{Cr}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})]\text{Cl}_5$	281
23.5. Практикум повышенной сложности по теме «Хром»	281
23.5.1. Хлорид хрома(+3) (получение из оксида хрома(+3))	281
23.5.2. Сульфид хрома(+3)	283
23.5.3. Нитрид хрома(+3)	284
23.5.4. Гексатиоцианатохромат(+3) пиперидиния.	284
23.5.5. Диамминтетратиоцианатохромат(+3) аммония (соль Рейнеке)	284
23.5.6. Ацетилацетонат хрома(+3).	286
24. Молибден, вольфрам	287
24.1. Соединения молибдена(+6) и вольфрама(+6)	287
24.2. Синтезы по теме «Молибден, вольфрам»	288

24.2.1.	Оксид молибдена(+6)	288
24.2.2.	Тетрагидрат гептамолибдата(+6) аммония.	288
24.2.3.	Пентахлорооксомолибдат(+5) аммония	289
24.2.4.	Тетратиомолибдат(+6) аммония.	289
24.2.5.	Бисацетилацетонат диоксомолибдена(+6)	290
24.2.6.	Полиоксометаллат Mo_{132} , (NH_4) ₄₂ [Mo^{+6} ₇₂ Mo^{+5} ₆₀ O_{372} (CH_3COO) ₃₀ (H_2O) ₇₂] · ~300 H_2O	290
24.3.	Практикум повышенной сложности по теме «Молибден, вольфрам»	290
24.3.1.	Гексахлоромолибдат(+3) аммония	290
24.3.2.	Дибромид молибдена	292
24.3.3.	Вольфрамовые бронзы	293
25.	Марганец	294
25.1.	Соединения марганца(+2)	294
25.2.	Соединения марганца(+3)	294
25.3.	Оксид марганца(+4).	295
25.4.	Манганат(+5) натрия	295
25.5.	Манганат(+6) калия.	295
25.6.	Перманганат калия	296
25.7.	Синтезы по теме «Марганец»	296
25.7.1.	Получение марганца методом алюмотермии.	296
25.7.2.	Тригидрат триоксалатоманганата(+3) калия	297
25.7.3.	Гексахлороманганат(+4) калия и моногидрат пентахлороманганата(+3) калия	297
25.7.4.	13-Ванадоманганат(+4) калия, $\text{K}_7[\text{MnV}_{13}\text{O}_{38}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	298
25.7.5.	Манганат(+5) натрия	298
25.7.6.	Манганат(+6) калия.	299
25.8.	Практикум повышенной сложности по теме «Марганец»	299
25.8.1.	Оксид марганца(+2).	299
25.8.2.	Безводный хлорид марганца(+2) (гидрохлорирование)	300
25.8.3.	Оксоацетат марганца(+3).	302
25.8.4.	Молибдоманганат(+4) аммония, (NH_4) ₆ [$\text{MnMo}_9\text{O}_{32}$] · 6 H_2O	303
25.8.5.	Манганат(+6) натрия	304
26.	Железо, кобальт, никель	306
26.1.	Свойства железа	306
26.2.	Гидроксиды и оксиды железа, кобальта и никеля	306
26.3.	Соли железа	308
26.4.	Соли кобальта(+2) и никеля(+2).	309
26.5.	Комплексные соединения кобальта и никеля	309
26.6.	Синтезы по теме «Железо, кобальт, никель»	310
26.6.1.	Оксид железа(+2)	310
26.6.2.	Соль Мора	311
26.6.3.	Безводный хлорид железа(+3).	311
26.6.4.	Хлорид железа(+2)	311
26.6.5.	Триоксалатоферрат(+3) калия.	312
26.6.6.	Ацетилацетонат железа(+3)	313
26.6.7.	Гексанитрокобальтат(+3) натрия	313
26.6.8.	Хлорид гексаамминкобальта(+3)	314

26.6.9. Хлорид пентаамминхлорокобальта(+3)	314
26.6.10. Триоксалатокобальтат(+3) калия	315
26.6.11. Сульфат декаамминсупероксодикобальта(+3), [Co(NH ₃) ₅ (O ₂)Co(NH ₃) ₅ (SO ₄) ₂ (HSO ₄)] · 3H ₂ O	315
26.6.12. Получение алюмокобальтовой шпинели	316
26.6.13. Гексагидрат сульфата аммония и никеля (аналог соли Мора)	316
26.6.14. Бромид (иодид) гексаамминникеля(+2).	316
26.6.15. Молибдоникелат(+4) аммония, (NH ₄) ₆ [NiMo ₉ O ₃₂] · 6,5H ₂ O	317
26.7. Практикум повышенной сложности по теме «Железо, кобальт, никель»	317
26.7.1. Дибромид железа	317
26.7.2. Хлорид кобальта(+2) (получение из оксида кобальта(+2, +3))	318
26.7.3. Хлорид кобальта(+2) (гидрохлорирование)	318
26.7.4. Хлорид гексаамминкобальта(+2)	318
27. Медь, серебро	320
27.1. Получение и свойства меди	320
27.2. Соединения меди(+1)	320
27.3. Соединения меди(+2)	321
27.4. Получение и свойства серебра	322
27.5. Соединения серебра	323
27.6. Серебрение	324
27.7. Синтезы по теме «Медь»	324
27.7.1. Гексагидрат двойного сульфата аммония и меди (аналог соли Мора)	324
27.7.2. Ацетилацетонат меди(+2)	325
27.7.3. Бисоксалатокупрат(+2) калия	325
27.7.4. Сульфат тетраамминдиаквамеди(+2).	325
27.7.5. Дигидрат хлорида меди(+2)	326
27.7.6. Периодатокупрат(+3) натрия, Na ₅ [Cu(НІО ₆) ₂]	326
27.8. Практикум повышенной сложности по теме «Медь»	327
27.8.1. Безводный хлорид меди(+2)	327
28. Цинк, кадмий, ртуть	329
28.1. Соединения цинка и кадмия	329
28.2. Соединения ртути	330
28.3. Синтезы по теме «Цинк, кадмий»	331
28.3.1. Гексагидрат двойной соли сульфатов аммония и цинка (аналог соли Мора)	331
28.3.2. Смешанные оксиды цинка и кобальта (Ринманова зелень)	331
28.3.3. Тетрапероксомолибдат(+6) тетраамминцинка, [Zn(NH ₃) ₄][Mo(O ₂) ₄]	332
28.3.4. Иодид кадмия	332
28.3.5. Карбонат кадмия	333
28.3.6. Получение пленки сульфида кадмия	333
28.4. Практикум повышенной сложности по теме «Цинк, кадмий»	333
28.4.1. Тетрааммиакат иодида цинка	333

28.4.2. Дибромид кадмия	334
29. Редкоземельные элементы	335
29.1. Соединения церия	335
29.2. Соединения лантана	336
29.3. Синтезы по теме «Редкоземельные элементы»	336
29.3.1. Гексанитратоцеррат(+4) аммония, $(\text{NH}_4)_2[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]$. . .	336
29.3.2. Получение оксида празеодима(+3), Pr_2O_3 , из оксида празеодима(+3, +4), Pr_6O_{11}	337
Приложение 1	339
Курсовая работа по неорганической химии	339
Этапы выполнения курсовой работы	339
Приложение 2	345
Справочные таблицы	345
Приложение 3	449
Стандартные потенциалы (E° , В) по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода при 25 °С	449
<i>s</i> -элементы	449
<i>p</i> -элементы	450
<i>d</i> -элементы	454
<i>f</i> -элементы	461
Литература	463

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее руководство к лабораторным и практическим занятиям ставит своей целью систематическое изучение основных свойств химических элементов и их соединений с позиций Периодического закона Д. И. Менделеева, а также освоение обучающимися приемов лабораторного эксперимента.

Представленное учебное пособие является составной частью учебно-методического комплекта, включающего задачник с планами семинарских занятий и вариантами экзаменационных заданий и учебник «Неорганическая химия» под редакцией проф. А. В. Шевелькова. Учебное пособие полностью соответствует стандартам образовательной программы для классических университетов по специальности «Химия» и предназначено для студентов, изучающих неорганическую химию. Рекомендуется для использования на химических факультетах университетов и в других химических вузах.

В части I практикума изложены основные приемы безопасной работы в химической лаборатории. Часть II посвящена изучению физико-химических основ неорганической химии и содержит задачи по тепловым эффектам и скорости химических реакций, химическому равновесию, свойствам растворов, электролитической диссоциации. В части III–V включены опыты по изучению химии *s*-, *p*-, *d*- и *f*-элементов и методики синтеза их соединений.

В разделах, посвященных химии элементов, представлены практические задания, иллюстрирующие свойства неорганических соединений и их реакционную способность, а также методики синтезов неорганических соединений, которые студенты могут выполнять при изучении курса неорганической химии. Синтезы подразделяются на два уровня сложности: а) синтезы (с идентификацией) и дополнительные опыты для общего практикума; б) синтезы повышенной сложности, требующие использования специального лабораторного оборудования и приборов. Для описания выполняемых операций используются иллюстрации. Все опыты и методики отработаны и выверены, что обеспечивает их успешное выполнение. Разнообразие представленных опытов позволяет преподавателям сделать необходимую подборку для различных по трудоемкости учебных курсов.

Приложение практикума содержит информацию о требованиях, предъявляемых к курсовым работам по неорганической химии и рекомендации по выполнению и оформлению курсовых и дипломных квалификационных работ по разнообразным химическим дисциплинам.

Большой справочный материал (термодинамические характеристики неорганических веществ, стандартные электродные потенциалы в виде диаграмм Латимера, константы кислотно-

сти и основности K_a и K_b , произведения растворимости, растворимость, потенциалы ионизации и др.), необходимый при выполнении практических заданий и курсовых работ, объяснения наблюдаемых закономерностей, приводится в виде таблиц в Приложении. Он может быть использован для самостоятельной научной и аудиторной работы студентов.

При написании практикума использован многолетний опыт коллектива кафедры неорганической химии химического факультета МГУ. Соблюдаются традиции практикумов, по которым учились, а затем и преподавали авторы настоящего издания.

1. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для ун-тов / О. Г. Немкова, Е. И. Бутова, О. И. Воробьева [и др.] / Под ред. В. И. Спицына. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1965. — 318 с.

2. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для химических спец. вузов / О. И. Воробьева, Е. А. Ипполитова, О. Г. Немкова [и др.] / Под ред. В. И. Спицына. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1976. — 295 с.

3. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для химических спец. вузов / О. И. Воробьева, К. М. Дунаева, Е. А. Ипполитова, Н. С. Тамм / Под ред. В. И. Спицына. — 2-е изд. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1984. — 296 с.

4. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для вузов по направлению и спец. «Химия» / О. И. Воробьева, К. М. Дунаева, Ю. М. Киселев [и др.] / Под ред. В. П. Зломова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. — 296 с.

5. Практикум по неорганической химии: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / В. А. Алешин, К. М. Дунаева, А. И. Жиров [и др.] / Под ред. Ю. Д. Третьякова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 384 с.

При подготовке нового издания практикума учтены изменения учебной программы и особенности использования современного лабораторного оборудования, усовершенствовано содержание задач. Введены новые практические задания и пересмотрены методики синтезов. Особое внимание уделено технике лабораторных работ и безопасного проведения химического эксперимента.

Авторы благодарны всем преподавателям и сотрудникам кафедры неорганической химии МГУ имени М. В. Ломоносова, особенно профессору П. Е. Казину, доцентам Е. В. Карповой, М. Е. Тамм, М. Г. Розовой, С. Я. Истомину, Р. В. Панину, В. Д. Долженко, Д. О. Чаркину, старшему преподавателю Ю. А. Белоусову за ценные советы, дополнения и замечания.

ЧАСТЬ I

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. ПРАВИЛА РАБОТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

1.1. Подготовка к проведению химического эксперимента

Проведение химического эксперимента связано с повышенной опасностью, поэтому работать в лаборатории можно только после основательной предварительной подготовки. Необходимо внимательно изучить описания опытов и синтезов, ознакомиться по учебным и справочным пособиям со свойствами изучаемых и используемых веществ, с теоретическим материалом по данной теме, провести необходимые расчеты и оформить рабочий журнал. Особое внимание следует уделить проблемам безопасного выполнения химического эксперимента.

В практикуме студенту отводится рабочее место, которое он должен поддерживать в чистоте и порядке. На рабочем столе во время занятий могут находиться только необходимые для работы в данное время предметы. Все работы, за небольшим исключением, выполняются студентом индивидуально.

Студент должен быть одет в рабочий халат из хлопковой ткани, застегивающийся спереди. В кармане халата всегда должно быть маленькое полотенце или небольшой кусок хлопковой ткани. Для работы в практикуме необходимо иметь защитные очки, перчатки, спички (или зажигалку). Волосы должны быть тщательно убраны и надежно закреплены. Не следует приходить в лабораторию в легко воспламеняющейся одежде из синтетики, в обуви на высоких каблуках.

1.2. Правила безопасности при работе в лаборатории

1. Перед выполнением эксперимента тщательно продумайте и подготовьте план работы, получите одобрение у преподавателя. Любое действие, особенно выполняемое впервые, обязательно согласуйте с преподавателем или лаборантом.

2. При входе в лабораторию наденьте рабочий халат.

3. В практикуме всегда следует носить защитные очки (или маску).

4. Не покидайте без необходимости свое рабочее место.

5. Не принимайте пищу в лаборатории. Перед выходом из лаборатории тщательно вымойте руки с мылом.

6. Все опыты с ядовитыми, едкими, пахучими веществами выполняйте только в вытяжном шкафу, надев перчатки и защитные очки (или маску).

7. Выделяющиеся при реакции газы и пары не нюхайте и не вдыхайте.

8. Концентрированные растворы (в первую очередь кислоты) при разбавлении водой всегда приливайте к воде, а не наоборот.

9. Химические реактивы берите шпателем, ложечкой или пинцетом (но не руками!).

10. При отборе любых жидкостей пипетками пользуйтесь пипетаторами.

11. Все необходимые для работы вещества и растворы готовьте заранее.

12. Перед проведением опыта или синтеза проверяйте работу оборудования.

13. К синтезу приступайте только после одобрения преподавателем качества сборки прибора и проверки правильности подготовки исходных реагентов.

14. Не оставляйте прибор без присмотра!

15. Все химические эксперименты выполняйте стоя, не сидите возле работающего прибора.

16. При нагревании пробирок не направляйте отверстие пробирки на себя или соседа.

17. Не наклоняйтесь над приборами, в которых идет синтез, выпаривание, сплавление, фильтрование при пониженном давлении (под вакуумом) и т. п.

18. Опасные продукты реакции выливайте только в соответствующие банки в вытяжном шкафу.

19. Неизрасходованные реактивы ни в коем случае не высыпайте (не выливайте) обратно в склянки, сдайте их лаборанту.

Выполнение этих несложных правил должно сделать работу в лаборатории безопасной, но если несчастный случай все же произошел, необходимо уметь оказать первую помощь, а затем обратиться к врачу.

1.3. Оказание неотложной помощи

Возгорание одежды. При возгорании одежды немедленно потушите огонь водой из специального душа или из ближайшей раковины. Если воды поблизости нет, то пламя можно сбить, повалившись на пол горящим участком одежды вниз. Для тушения одежды набросьте на место горения специальную кошму из негорючего материала.

Термический ожог. Если ожог слабый и на небольшом участке, обработайте пораженное место соответствующими средствами из аптечки. Места большого ожога закройте стерильным бинтом и обратитесь к врачу. В этом случае не применяйте мази и масла. Не вскрывайте пузыри.

Химический ожог кожи. Обожженный участок промойте сильной струей воды, после этого при ожогах щелочами — 3%-м раствором борной кислоты, а при ожогах кислотами — 3%-м раствором гидрокарбоната натрия. Ожоги от брома промойте 3%-м раствором тиосульфата натрия.

При попадании на кожу концентрированной серной кислоты или оксида фосфора(+5) немедленно удалите их сухой тканью, а затем промойте сильной струей воды.

Ожог глаз. Немедленно многократно промойте глаза струей воды комнатной температуры. Сразу же обратитесь к врачу.

Отравление газами и парами. Пострадавшего как можно скорее выведите на свежий воздух.

Отравление ядами. Вызовите у пострадавшего сильную рвоту, дав ему выпить насыщенный раствор поваренной соли, чтобы удалить яд из желудка. Немедленно вызовите врача.

Порез. Края раны обработайте антисептиком (3%-м раствором пероксида водорода и 5%-м спиртовым раствором иода) и закройте стерильным пластырем или бинтом. При повреждении артерии наложите жгут на конечность и немедленно вызовите врача.

1.4. Оформление рабочего журнала

При работе в практикуме студенты ведут рабочий журнал. Примеры оформления рабочего журнала приведены ниже (см. табл. 1.1 и 1.2 на с. 10–11).

Для рабочего журнала рекомендуется использовать тетрадь в клетку формата А4 или готовые трафареты рабочих журналов. Трафареты размещены на сервере дистанционного обучения химического факультета МГУ (<http://vle3.chem.msu.ru/>) в курсе «Неорганическая химия для химиков».

Оформление журнала проводится заранее.

Вначале укажите тему, название опыта или синтеза и дату его проведения. Внесите в журнал:

- а) полные схемы всех приборов;
- б) уравнения всех химических реакций (коэффициенты для окислительно-восстановительных реакций, проходящих в растворах, подберите методом электронно-ионного баланса);
- в) расчеты исходных количеств веществ и теоретического выхода получаемых соединений;

г) физико-химические свойства исходных и синтезируемых веществ (строение, агрегатное состояние, цвет, температура плавления и/или кипения, плотность, растворимость и др.);

д) план работы — перечень последовательных операций с указанием условий проведения опыта и количеств исходных веществ (методику синтеза не переписывайте!).

В ходе выполнения экспериментальной работы в рабочий журнал занесите:

а) результаты взвешивания, измерения объема, определения плотности и т. д. исходных реагентов и продуктов реакции;

б) реальные режимы синтеза (температура, время, скорость смешивания (прибавления) реагентов, скорость пропускания газа и т. д.).

Особое внимание следует уделить описанию наблюдаемых явлений: изменению окраски, выделению газов, выпадению осадков. Кристаллические вещества рекомендуется рассмотреть под микроскопом и отметить (зарисовать) форму кристаллов.

После завершения экспериментальной работы напишите отчет о выполненной работе, включив в него:

а) расчет выхода в процентах (для синтезов);

б) краткие выводы, объяснение наблюдаемых явлений и ответы на вопросы.

После окончания работы сдайте преподавателю полученный препарат вместе с отчетом о проведении синтеза. Синтезированное вещество должно быть помещено в бюкс или пробирку (рис. 1.1). На этикетке укажите свою фамилию, № группы, формулу полученного вещества, его массу и дату проведения опыта.

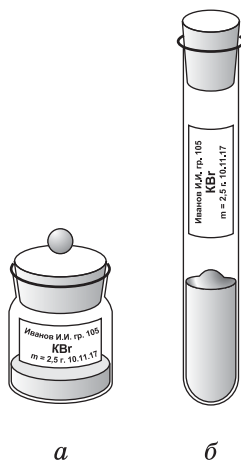


Рис. 1.1. Бюкс (а) и пробирка (б) с полученными препаратами

Примеры оформления рабочего журнала (опыты и синтезы)

Таблица 1.1. Проведение опыта

Название опыта: «Производство растворимости» Дата 23.09.2020		
План работы	Уравнения реакций	Наблюдения
<p>Осаждение труднорастворимых солей</p> <ul style="list-style-type: none"> Налейте в три пробирки по 2–3 мл растворов хлоридов бария, стронция и кальция соответственно: <ol style="list-style-type: none"> в первую пробирку прилейте раствор сульфата натрия; во вторую — насыщенный раствор сульфата кальция; в третью — насыщенный раствор сульфата стронция 	$\text{BaCl}_2 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{SrCl}_2 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaCl}_2 + \dots \rightarrow \dots$	
<ul style="list-style-type: none"> Объясните образование осадков, пользуясь понятием произведения растворимости. Отметьте, в каких случаях при сливании растворов солей не происходит образования осадка 	<i>Ответы на вопросы, выводы</i>	
<p>Растворение труднорастворимых солей</p> <ul style="list-style-type: none"> Получите в пробирках осадки: <ol style="list-style-type: none"> карбоната кальция; оксалата кальция. <ul style="list-style-type: none"> Декантируйте растворы и к влажным осадкам прилейте раствор уксусной кислоты. Повторите опыт, заменив уксусную кислоту на соляную 	$\dots + \dots \rightarrow \dots$ $\dots + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaCO}_3 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaC}_2\text{O}_4 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaCO}_3 + \dots \rightarrow \dots$ $\text{CaC}_2\text{O}_4 + \dots \rightarrow \dots$	
<ul style="list-style-type: none"> Объясните полученные результаты 	<i>Ответы на вопросы, выводы</i>	

Таблица 1.2. Проведение синтеза

Название синтеза: «Дигидрат тетрахлороиодата(+3) калия» Дата 18.12.2020														
Уравнения реакций 1. Получение хлора. 2. Получение тетрахлороиодата(+3) калия (последовательные стадии): а) б) в)														
Реактивы <table border="1"> <thead> <tr> <th>Реактив</th> <th>Кол-во, мл</th> <th>Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KI</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HCl (конц.)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>KMnO₄</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Реактив	Кол-во, мл	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$	KI			HCl (конц.)			KMnO ₄		
Реактив	Кол-во, мл	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$												
KI														
HCl (конц.)														
KMnO ₄														
Продукты реакции <table border="1"> <thead> <tr> <th>Формула</th> <th>Кол-во (теор.)</th> <th>Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KICl₄</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Формула	Кол-во (теор.)	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$	KICl ₄								
Формула	Кол-во (теор.)	Агр. сост., цвет, растворимость, $T_{пл}$, $T_{кип}$												
KICl ₄														
Меры безопасности при выполнении работы 1.														
План работы 1.														
Схема прибора		Рис. А. ... 1. ... 2. ... 3. ... 4. ... 5. ... 6. ... 7. ... 8. ...												
Расчеты, приготовление растворов и смесей реагентов														
Наблюдения, режимы синтеза, взвешивание														
Идентификация продуктов реакции														
Заключение, выводы Выход:														

2. ХИМИЧЕСКАЯ ПОСУДА, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

2.1. Химическая посуда

При выполнении опытов и синтезов в практикуме используют стеклянную и фарфоровую (керамическую) химическую посуду разного назначения.

Стеклянная химическая посуда

Для изготовления жаростойкой и химически устойчивой посуды используют специальное стекло с повышенным содержанием диоксида кремния (на изделия ставится специальное клеймо). Круглодонная посуда выдерживает прямой нагрев, тогда как плоскодонную посуду можно нагревать только через асбестовую сетку. Особо термостойкие изделия (стаканы, реторты, пробирки) изготавливают из закаленного (пирексового) или кварцевого стекла.

На рисунке 2.1 представлены основные изделия и оборудование из тонкого стекла, используемые в химической лаборатории.

Пробирки (1) используют для проведения качественных реакций. Их размещают в специальном штативе.

Стаканы стеклянные (2) используют для приготовления растворов и проведения химических реакций как при комнатной температуре, так и при нагревании.

Колбы плоскодонные (3) используют для приготовления и хранения растворов.

Колбы конические, или Эрленмейера, (4) используют для титрования, приготовления растворов, проведения химических реакций.

Колбы круглодонные с одной (5), двумя (6) или тремя горловинами (7) используют при проведении синтезов.

Колбы Вюрца (8–10) применяют в качестве перегонных (с изогнутым отводом, 8, 9) или реакционных (с прямым коротким отводом, 10) колб.

Пробирки Вюрца (11) используют для микроперегонки и в качестве реактора в микросинтезе.

Трубки соединительные (12) и тройники (13) служат для соединения резиновых трубок.

Бюксы, или стаканчики для взвешивания, (14) применяют для взвешивания агрессивных веществ и хранения небольших количеств реагентов.

Часовыми стеклами (15) накрывают химические стаканы при проведении синтезов, на них высыпают полученное при синтезе вещество для высушивания на воздухе, их используют в качестве тары при взвешивании небольших количеств веществ.

Воронки лабораторные (16) используют для наливания жидкостей.

Воронку для порошков (17) применяют для пересыпания сыпучих продуктов в колбу со шлифом.

Воронки со стеклянным фильтрующим дном, или воронки Шотта, (18) используют для фильтрования при пониженном давлении (под вакуумом). Ее для краткости называют стеклянным пористым фильтром или просто стеклянным фильтром.

Воронки для хлора (19) применяют в опытах по получению различных газов.

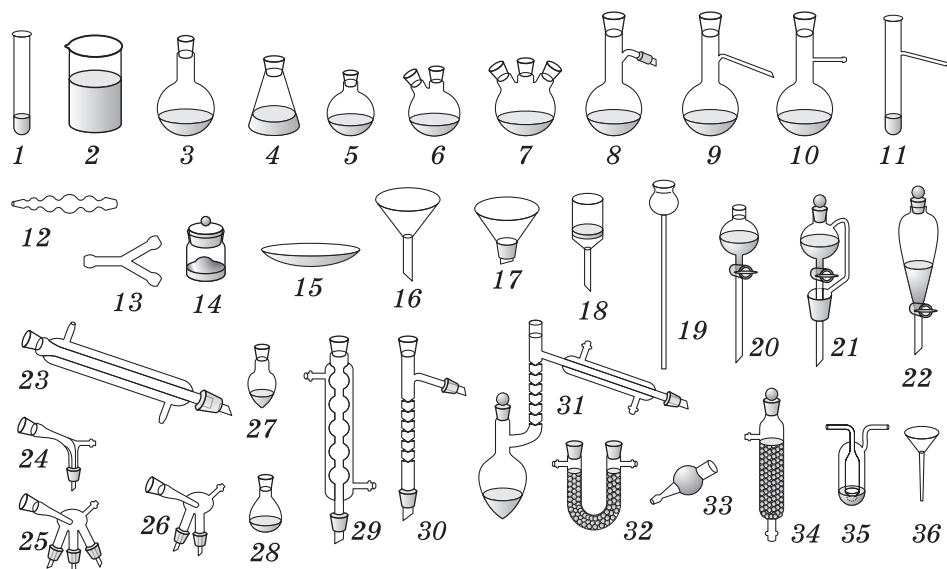


Рис. 2.1. Стекло́нная химическая посуда:

1 — пробирка; 2 — стакан химический; 3 — колба плоскодонная; 4 — колба коническая (Эрленмейера); 5 — колба круглодонная с одной горловиной; 6 — колба круглодонная с двумя горловинами; 7 — колба круглодонная с тремя горловинами; 8–10 — колбы Вюрца; 11 — пробирка Вюрца; 12 — трубка соединительная; 13 — тройник; 14 — бюкс; 15 — часовое стекло; 16 — воронка лабораторная; 17 — воронка для порошков; 18 — воронка со стеклянным фильтрующим дном (воронка Шотта); 19 — воронка для хлора; 20–21 — воронки капельные; 22 — воронка делительная; 23 — холодильник Либиха; 24 — аллонж; 25–26 — «пауки»; 27–28 — приемники со шлифом; 29 — холодильник шариковый; 30 — дефлегматор; 31 — прибор для фракционной перегонки; 32 — U-образная трубка; 33 — хлоркальциевая трубка; 34 — колонка осушительная; 35 — промывалка Мюнке; 36 — воронка Мюнке

Воронки капельные (20, 21) используют для дозируемой (по каплям) подачи реагентов в реакционную смесь. Для выравнивания давлений в реакционной колбе и в капельной воронке (21) верхняя часть воронки соединяется трубкой с нижней частью. Воронку в этом случае обязательно закрывают сверху пробкой.

Воронки делительные (22) используют для разделения несмешивающихся жидкостей.

Холодильник Либиха (23) с прямой внутренней трубкой применяют в основном в качестве нисходящего холодильника.

Аллонж (24) — переход между холодильником и приемником (к аллонжу присоединяется хлоркальциевая трубка, при перегонке в вакууме — водоструйный насос).

«*Паук*» (25, 26) — аллонж с несколькими выходами для одновременного присоединения нескольких приемников.

Приемники со шлифом (27, 28) используются в качестве приемников при перегонке жидкостей. С этой целью используется также *колба круглодонная* (5).

Холодильник шариковый (29) используют в качестве обратного холодильника.

Дефлегматор (30) используют в качестве насадки при фракционной перегонке жидкостей.

Прибор для фракционной перегонки (31) объединяет в одно целое колбу Кляйзена, дефлегматор и холодильник.

U-образная трубка (32) и *колонка осушительная* (34) предназначены для осушения и очистки газов от примесей с помощью твердых реагентов.

Хлоркальциевая трубка (33) служит для изоляции реакционной смеси от воздействия атмосферной влаги и углекислого газа, трубку заполняют твердым поглотителем, как и осушительную колонку.

Промывалка Мюнке (35) — склянка для очистки газов жидким поглотителем с расширенной внутренней трубкой, предохраняющей от обратного перебрасывания содержимого промывалки при уменьшении давления входящего газа.

Воронка Мюнке (36) служит для заполнения промывалок.

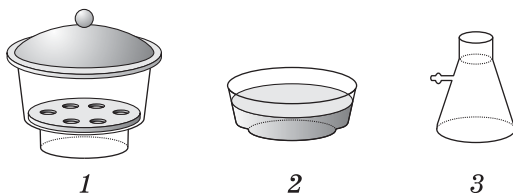


Рис. 2.2. Лабораторные посуда и оборудование из толстого стекла: 1 — эксикатор; 2 — кристаллизатор; 3 — колба Бунзена

Лабораторные посуда и оборудование из толстого стекла представлены на рисунке 2.2.

Эксикаторы (1) используют для высушивания веществ при комнатной температуре с помощью различных осушителей.

Кристаллизаторы (2) служат для сбора газов под водой.

Колбы Бунзена (3) используют в качестве приемных колб для фильтрата при фильтровании при пониженном давлении.

Из толстого стекла изготавливают также химические склянки, бутылки и т. д.

Фарфоровая (керамическая) посуда

Кроме стеклянной посуды в лаборатории используют керамические изделия благодаря их достаточно высокой механической прочности и низкой химической активности. Из керамики (в частности, фарфора) делают массивные кружки и стаканы, воронки Бюхнера, шпатели, ложечки, ступки, треугольники, чашки для выпаривания, тигли, лодочки (рис. 2.3).

Кружки (1) и *стаканы (2)* применяют для приготовления растворов кислот и щелочей, хромовой смеси, для хранения моющих средств.

Ступку с пестиком (3) используют для перетирания веществ.

Тигли (4) необходимы для нагрева веществ на открытом пламени горелки. Для установки тиглей на треножнике или в кольце штатива используют *треугольники (10)*.

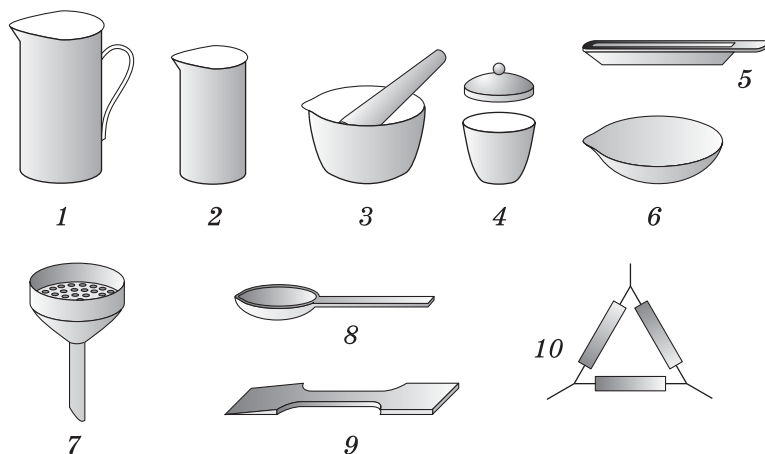


Рис. 2.3. Фарфоровая посуда:

1 — кружка; 2 — стакан; 3 — ступка с пестиком; 4 — тигель с крышкой; 5 — лодочка; 6 — чашка для выпаривания; 7 — воронка Бюхнера; 8 — ложка; 9 — шпатель; 10 — треугольник

Лодочки (5) используют при проведении синтезов в трубчатых реакторах.

Чашки для выпаривания (6) нужны для выпаривания на водяной (или песчаной) бане.

Воронку Бюхнера (7) с бумажным фильтром используют для фильтрования при пониженном давлении.

Ложечкой (8) или *шпателем (9)* берут реактивы.

Мерная посуда

Для измерения объема жидкости и приготовления растворов заданной концентрации используют мерную посуду различного назначения: мерные цилиндры, мерные пипетки, мерные колбы (рис. 2.4). Мерная посуда откалибрована при 20 °С. Уровень измеряемой жидкости определяют по нижнему мениску.

Мерные цилиндры (1) служат для измерения больших объемов жидкости. Точность измерения при этом не очень велика.

Бюретки со стеклянным краном (2) или *шариком (3)* позволяют выливать строго заданное количество жидкости с высокой точностью (0,01–0,1 мл) и используются при титровании.

Пипетки градуированные (4) служат для отбора точного объема небольшого количества жидкости (0,1–20,0 мл).

Пипетки мерные, или пипетки Мора, (5) с кольцевой меткой предназначены для отбора строго заданного объема жидкости.

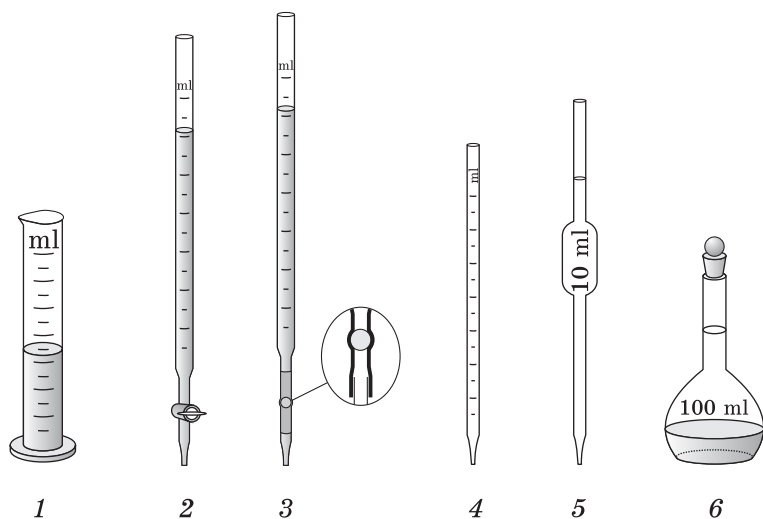


Рис. 2.4. Мерная посуда:

1 — мерный цилиндр; 2 — бюретка с краном; 3 — бюретка с шариком; 4 — пипетка градуированная; 5 — пипетка Мора; 6 — мерная колба

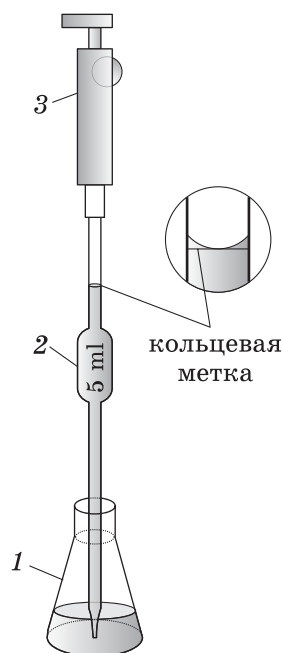


Рис. 2.5. Отбор пробы мерной пипеткой с пипетатором:
1 — колба с раствором; 2 — пипетка мерная; 3 — пипетатор

Колбы мерные (б) с кольцевой меткой используют для приготовления растворов точной концентрации.

Для заполнения пипеток используют пипетаторы (рис. 2.5).

Правила работы с химической посудой со шлифом

В лабораторной практике получила распространение стеклянная посуда с коническими или шаровыми соединениями (рис. 2.6). Внешний шлиф 2 называют *муфтой*, а внутренний 1 — *керном*.

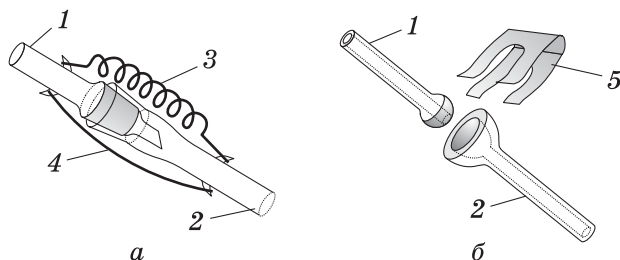


Рис. 2.6. Шлифованные соединения:

а — конический шлиф; б — шаровой шлиф.

1 — керн; 2 — муфта; 3 — пружина; 4 — резиновое кольцо; 5 — зажим

[. . .]

В практикуме описаны основные методы и приемы лабораторной работы, приведены практические работы по химии элементов, методики неорганических синтезов и подборка справочных таблиц, необходимых для термодинамических расчетов при проведении синтезов. Будет полезен как для учебы, так и для разработки синтетических этапов научно-исследовательских работ.

При написании практикума использован многолетний опыт, имеющийся у коллектива кафедры неорганической химии химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. Соблюдаются традиции практикумов, по которым учились, а потом и преподавали авторы настоящего издания.

Является составной частью учебно-методического комплекта, включающего учебник и задачник с планами семинарских занятий и вариантами экзаменационных заданий.

ХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА Д.И. Менделеева										А VIII В																																			
В 5		С 6		N 7		O 8		F 9		Ne 10		Li 3		Be 4		B 5		C 6		N 7		O 8		F 9		Ne 10																			
Al 13		Si 14		P 15		S 16		Cl 17		Ar 18		K 19		Ca 20		Sc 21		Ti 22		V 23		Cr 24		Mn 25		Fe 26		Co 27		Ni 28		Cu 29		Zn 30											
Ga 31		Ge 32		As 33		Se 34		Br 35		Kr 36		Rb 37		Sr 38		Y 39		Zr 40		Nb 41		Mo 42		Tc 43		Ru 44		Rh 45		Pd 46		Ag 47		Cd 48											
In 49		Sn 50		Sb 51		Te 52		I 53		Xe 54		Ba 56		La* 57		Ce 58		Pr 59		Nd 60		Pm 61		Sm 62		Eu 63		Gd 64		Tb 65		Dy 66		Ho 67		Er 68									
Tl 81		Pb 82		Bi 83		Po 84		At 85		Rn 86		Fr 87		Ra 88		Ac** 89		Th 90		Pa 91		U 92		Np 93		Pu 94		Am 95		Cm 96		Bk 97		Cf 98		Es 99		Fm 100		Md 101		No 102			
Hg 80		Tl 81		Pb 82		Bi 83		Po 84		At 85		Rn 86		Fr 87		Ra 88		Ac** 89		Th 90		Pa 91		U 92		Np 93		Pu 94		Am 95		Cm 96		Bk 97		Cf 98		Es 99		Fm 100		Md 101		No 102	
89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110			
[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]		[289]		[288]					
R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₃		RO ₂							
RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃		RH ₃							

А - главные подгруппы
В - побочные подгруппы

к-элементы
р-элементы

* в квадратных скобках - массовое число наиболее распространенного изотопа