

ОБЩАЯ И НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Под редакцией
академика РАН А. Ю. Цивадзе

В двух томах

2

ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Электронное издание

Допущено
Федеральным учебно-методическим объединением
в системе высшего образования по укрупненной группе
специальностей и направлений подготовки 04.00.00 Химия
в качестве учебного пособия для обучающихся по основным
образовательным программам высшего
образования уровня бакалавриат
по направлению подготовки 04.03.01



Москва
Лаборатория знаний
2022

УДК 546
ББК 24.1я73
О-28

А

Серия основана в 2009 г.

Общая и неорганическая химия : в 2 т. Т. 2 : Химия элемен-
О-28 тов / под ред. академика РАН А. Ю. Цивадзе. — Электрон. изд. —
М. : Лаборатория знаний, 2022. — 557 с. — (Учебник для высшей
школы). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". —
Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-577-6 (Т. 2)

ISBN 978-5-93208-575-2

В учебном издании, написанном преподавателями Института тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова РТУ МИРЭА и химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, изложен курс общей и неорганической химии в соответствии с программой обучения по химико-технологическим специальностям. Пособие выходит в двух томах.

В томе 2 изложена химия элементов. Материал сгруппирован по блокам элементов: *s*-элементы, *p*-элементы, *d*-элементы, *f*-элементы. В каждой главе рассматривается химия элементов, относящихся к одной группе Периодической системы. Каждая глава заканчивается заданиями, ответы на которые можно найти в представленном в пособии материале или при использовании дополнительных источников информации. Необходимый для решения многих задач справочный материал размещен на сайте издательства <http://pilotLZ.ru/files/10512/>

Для студентов химических, химико-технологических и технических университетов.

УДК 546
ББК 24.1я73

Деривативное издание на основе печатного аналога: Общая и неорганическая химия : в 2 т. Т. 2 : Химия элементов / Л. Ю. Аликберова, Н. С. Рукк, Е. В. Савинкина, Ю. М. Киселёв ; под ред. академика РАН А. Ю. Цивадзе. — М. : Лаборатория знаний, 2022. — 553 с. : ил. — (Учебник для высшей школы). — ISBN 978-5-93208-234-8 (Т. 2); ISBN 978-5-93208-232-4.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-93208-577-6 (Т. 2)
ISBN 978-5-93208-575-2

© Лаборатория знаний, 2018

А

ОГЛАВЛЕНИЕ

Химия s-элементов	3
1. Водород	4
1.1. Общая характеристика	4
1.1.1. Строение атома. Изотопы	4
1.1.2. Свойства атома	5
1.2. Простое вещество	6
1.2.1. Получение	6
1.2.2. Физические свойства	7
1.2.3. Химические свойства	8
1.3. Соединения	9
1.3.1. Водородные соединения элементов	9
1.3.2. Вода	11
1.4. Водород в природе и технике	13
1.4.1. Природные формы	13
1.4.2. История открытия	13
1.4.3. Применение	14
1.4.4. Биологическое значение	14
2. Элементы группы IA (1): Li, Na, K, Rb, Cs, Fr	16
2.1. Общая характеристика	16
2.1.1. Строение атомов. Изотопы	16
2.1.2. Свойства атомов	17
2.2. Простые вещества	19
2.2.1. Получение	19
2.2.2. Физические свойства	21
2.2.3. Химические свойства	21
2.3. Соединения	25
2.3.1. Кислородные соединения	25
2.3.2. Гидроксиды	29
2.3.3. Соли	30
2.3.4. Бинарные соединения с неметаллами	35
2.3.5. Комплексные соединения	36
2.4. Особенности химии лития	38
2.4.1. Свойства атома	38
2.4.2. Соли	39

2.4.3. Литийорганические соединения	41
2.5. Щелочные элементы в природе и технике	43
2.5.1. Природные формы	43
2.5.2. История открытия	45
2.5.3. Применение	46
2.5.4. Биологическое значение	48
3. Элементы группы IА (2): Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra	51
3.1. Общая характеристика	51
3.1.1. Строение атомов. Изотопы	51
3.1.2. Свойства атомов	52
3.2. Простые вещества	53
3.2.1. Получение	53
3.2.2. Физические свойства	54
3.2.3. Химические свойства	55
3.3. Соединения	58
3.3.1. Кислородные соединения	58
3.3.2. Гидроксиды	60
3.3.3. Соли	62
3.3.4. Галогениды	64
3.3.5. Бинарные соединения	67
3.3.6. Комплексные соединения	68
3.3.7. Металлоорганические соединения	70
3.4. Особенности химии бериллия	72
3.4.1. Свойства атома	72
3.4.2. Простое вещество	72
3.4.3. Поведение в водных растворах	72
3.4.4. Методы разделения бериллия и алюминия	73
3.5. Элементы группы IА в природе и технике	74
3.5.1. Природные формы	74
3.5.2. История открытия	78
3.5.3. Применение	79
3.5.4. Биологическое значение	82

Химия *p*-элементов. 85

4. Элементы группы IIIА (13): B, Al, In, Ga, Tl, Nh	86
4.1. Общая характеристика	86
4.1.1. Строение атомов. Изотопы	86
4.1.2. Свойства атомов	86
4.2. Простые вещества	89
4.2.1. Получение	89
4.2.2. Физические свойства	91
4.2.3. Химические свойства	92
4.3. Соединения	94

4.3.1. Водородные соединения	94
4.3.2. Кислородные соединения	95
4.3.3. Соли	96
4.3.4. Галогениды	96
4.3.5. Халькогениды	97
4.4. Особенности химии бора	98
4.4.1. Свойства атома	98
4.4.2. Простое вещество	99
4.4.3. Водородные соединения (бораны)	100
4.4.4. Кислородные соединения	103
4.4.5. Бинарные соединения	107
4.5. Особенности химии алюминия	110
4.5.1. Простое вещество	110
4.5.2. Кислородные соединения	111
4.5.3. Поведение в водных растворах	113
4.5.4. Галогениды	114
4.6. Элементы группы IIIA в природе и технике	115
4.6.1. Природные формы	115
4.6.2. История открытия	117
4.6.3. Применение	119
4.6.4. Биологическое значение	120
5. Элементы группы IVA (14): C, Si, Ge, Sn, Pb, Fl	124
5.1. Общая характеристика	124
5.1.1. Строение атомов. Изотопы	124
5.1.2. Свойства атомов	124
5.2. Простые вещества	127
5.2.1. Получение	127
5.2.2. Физические свойства	128
5.2.3. Химические свойства	130
5.3. Сложные вещества	133
5.3.1. Водородные соединения	133
5.3.2. Кислородные соединения	133
5.4. Особенности химии углерода	135
5.4.1. Простое вещество	135
5.4.2. Карбиды	136
5.4.3. Водородные соединения	137
5.4.4. Кислородные соединения	138
5.4.5. Псевдогалогениды и производные угольной кислоты	142
5.5. Особенности химии кремния	144
5.5.1. Простое вещество	144
5.5.2. Водородные соединения	145
5.5.3. Кислородные соединения	145
5.6. Особенности химии олова и свинца	149

5.6.1. Простые вещества	149
5.6.2. Кислородные соединения	151
5.6.3. Соединения олова(II) и свинца(II)	153
5.6.4. Соединения олова(IV) и свинца(IV)	154
5.7. Элементы группы IVA в природе и технике	155
5.7.1. Природные формы	155
5.7.2. История открытия	156
5.7.3. Применение	158
5.7.4. Биологическое значение	159
6. Элементы группы VA (15): N, P, As, Sb, Bi, Mc	164
6.1. Общая характеристика	164
6.1.1. Строение атомов. Изотопы	164
6.1.2. Свойства атомов	164
6.2. Простые вещества	167
6.2.1. Получение	167
6.2.2. Физические свойства	167
6.2.3. Химические свойства	168
6.3. Соединения	169
6.3.1. Водородные соединения	169
6.3.2. Кислородные соединения	170
6.3.3. Соединения с серой	172
6.4. Особенности химии азота	173
6.4.1. Простое вещество	173
6.4.2. Нитриды	174
6.4.3. Водородные соединения	174
6.4.4. Кислородные соединения	181
6.4.5. Взаимопревращения соединений азота	191
6.4.6. Соединения с галогенами	193
6.5. Фосфор	194
6.5.1. Простое вещество	194
6.5.2. Водородные соединения	195
6.5.3. Кислородные соединения	195
6.5.4. Галогениды	202
6.6. Элементы группы VA в природе и технике	203
6.6.1. Природные формы	203
6.6.2. История открытия	204
6.6.3. Применение	207
6.6.4. Биологическое значение	207
7. Элементы группы VIA (16): O, S, Se, Te, Po, Lv	211
7.1. Общая характеристика	211
7.1.1. Строение атомов. Изотопы	211
7.1.2. Свойства атомов	213
7.2. Простые вещества	213
7.2.1. Получение	213

7.2.2. Физические свойства	214
7.2.3. Химические свойства	215
7.3. Соединения	216
7.3.1. Водородные соединения	216
7.3.2. Кислородные соединения	217
7.3.3. Халькогениды металлов	220
7.4. Особенности химии кислорода	220
7.4.1. Простое вещество	220
7.4.2. Водородные соединения	222
7.4.3. Фториды кислорода	225
7.5. Особенности химии серы	226
7.5.1. Простое вещество	226
7.5.2. Водородные соединения	228
7.5.3. Кислородные соединения	232
7.5.4. Галогениды	240
7.6. Элементы группы VIA в природе и технике	241
7.6.1. Природные формы	241
7.6.2. История открытия	242
7.6.3. Применение	243
7.6.4. Биологическое значение	244
8. Элементы группы VIIA (17): F, Cl, Br, I, At, Ts	249
8.1. Общая характеристика	249
8.1.1. Строение атомов. Изотопы	249
8.1.2. Свойства атомов	249
8.2. Простые вещества	251
8.2.1. Получение	251
8.2.2. Физические свойства	252
8.2.3. Химические свойства	254
8.3. Соединения	258
8.3.1. Водородные соединения	258
8.3.2. Кислородные соединения	261
8.3.3. Межгалогенные соединения	267
8.4. Особенности химии фтора	268
8.4.1. Свойства атома и молекулы	268
8.4.2. Простое вещество	268
8.4.3. Атомарный фтор	269
8.4.4. Фтороводород	274
8.5. Галогены в природе и технике	275
8.5.1. Природные формы	275
8.5.2. История открытия	276
8.5.3. Применение	278
8.5.4. Биологическое значение	279
9. Элементы группы VIIIA (18): He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, Og	284
9.1. Общая характеристика	284

9.1.1. Строение атомов. Изотопы	284
9.1.2. Свойства атомов	286
9.2. Простые вещества	286
9.2.1. Получение	286
9.2.2. Физические свойства	286
9.2.3. Химические свойства	288
9.3. Соединения	290
9.3.1. Соединения с фтором	290
9.3.2. Соединения с кислородом	293
9.4. Благородные газы в природе и технике	293
9.4.1. Природные формы	293
9.4.2. История открытия	294
9.4.3. Применение	295
9.4.4. Биологическое значение	296

Химия *d*-элементов 299

10. Элементы группы IIIB (3): Sc, Y, La, Ac	300
10.1. Общая характеристика	300
10.1.1. Строение атомов. Изотопы	300
10.1.2. Свойства атомов	301
10.2. Простые вещества	301
10.2.1. Получение	301
10.2.2. Физические свойства	302
10.2.3. Химические свойства	303
10.3. Соединения	303
10.3.1. Кислородные соединения	303
10.3.2. Соли	304
10.3.3. Комплексные соединения	304
10.4. Элементы группы IIIB в природе и технике	305
10.4.1. Природные формы	305
10.4.2. История открытия	305
10.4.3. Применение	306
10.4.4. Биологическое значение	307
11. Элементы группы IVB (4): Ti, Zr, Hf, Rf	308
11.1. Общая характеристика	308
11.1.1. Строение атомов. Изотопы	308
11.1.2. Свойства атомов	309
11.2. Простые вещества	309
11.2.1. Получение	309
11.2.2. Физические свойства	310
11.2.3. Химические свойства	311
11.3. Соединения	313
11.3.1. Кислородные соединения	313

11.3.2. Галогениды	316
11.3.3. Комплексные соединения	318
11.4. Элементы группы IVB в природе и технике	321
11.4.1. Природные формы	321
11.4.2. История открытия	321
11.4.3. Применение	323
11.4.4. Биологическое значение	323
12. Элементы группы VB (15): V, Nb, Ta, Db	325
12.1. Общая характеристика	325
12.1.1. Строение атомов. Изотопы	325
12.1.2. Свойства атомов	325
12.2. Простые вещества	327
12.2.1. Получение	327
12.2.2. Физические свойства	327
12.2.3. Химические свойства	328
12.3. Соединения	329
12.3.1. Кислородные соединения	329
12.3.2. Химия водных растворов	332
12.3.3. Галогениды	334
12.3.4. Комплексные соединения	336
12.4. Элементы группы VB в природе и технике	339
12.4.1. Природные формы	339
12.4.2. История открытия	340
12.4.3. Применение	341
12.4.4. Биологическое значение	342
13. Элементы группы VIB (6): Cr, Mo, W, Sg	344
13.1. Общая характеристика	344
13.1.1. Строение атомов. Изотопы	344
13.1.2. Свойства атомов	345
13.2. Простые вещества	345
13.2.1. Получение	345
13.2.2. Физические свойства	346
13.2.3. Химические свойства	346
13.3. Соединения	347
13.3.1. Кислородные соединения	347
13.3.2. Галогениды	352
13.3.3. Сульфиды	354
13.3.4. Комплексные соединения	355
13.4. Элементы группы VIB в природе и технике	358
13.4.1. Природные формы	358
13.4.2. История открытия	359
13.4.3. Применение	360
13.4.4. Биологическое значение	360
14. Элементы группы VIIB (7): Mn, Tc, Re, Bh	363
14.1. Общая характеристика	363

14.1.1. Строение атомов. Изотопы	363
14.1.2. Свойства атомов	363
14.2. Простые вещества	364
14.2.1. Получение	364
14.2.2. Физические свойства	365
14.2.3. Химические свойства	365
14.3. Соединения	368
14.3.1. Кислородные соединения	368
14.3.2. Сульфиды	372
14.3.3. Комплексные соединения	373
14.3.4. Окислительно-восстановительные свойства соединений марганца	375
14.4. Элементы группы VIIБ в природе и технике	377
14.4.1. Природные формы	377
14.4.2. История открытия	377
14.4.3. Применение	378
14.4.4. Биологическое значение	378
15. Элементы групп VIIIБ (8–10): Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Hs, Mt, Ds	381
15.1. Общая характеристика	381
15.1.1. Строение атомов. Изотопы	381
15.1.2. Свойства атомов	383
15.2. Простые вещества	384
15.2.1. Получение	384
15.2.2. Физические свойства	387
15.2.3. Химические свойства	389
15.3. Соединения	391
15.3.1. Кислородные соединения	391
15.3.2. Комплексные соединения	392
15.4. Семейство железа	393
15.4.1. Простые вещества	393
15.4.2. Оксиды и гидроксиды	395
15.4.3. Соли	398
15.4.4. Комплексные соединения	401
15.5. Платиновые металлы	409
15.5.1. Простые вещества	409
15.5.2. Оксиды и гидроксиды	410
15.5.3. Галогениды	413
15.5.4. Комплексные соединения	414
15.6. Элементы группы VIIIБ в природе и технике	418
15.6.1. Природные формы	418
15.6.2. История открытия	419
15.6.3. Применение	420
15.6.4. Биологическое значение	421

16. Элементы группы IB (11): Cu, Ag, Au, Rg	424
16.1. Общая характеристика	424
16.1.1. Строение атомов. Изотопы	424
16.1.2. Свойства атомов	426
16.2. Простые вещества	427
16.2.1. Получение	427
16.2.2. Физические свойства	428
16.2.3. Химические свойства	429
16.3. Соединения	430
16.3.1. Соединения с кислородом	430
16.3.2. Соли	434
16.3.3. Галогениды	436
16.3.4. Соединения с неметаллами	440
16.3.5. Комплексы	441
16.4. Элементы группы IB в природе и технике	445
16.4.1. Природные формы	445
16.4.2. История открытия	445
16.4.3. Применение	446
16.4.4. Биологическая активность	446
17. Элементы группы IIB (12): Zn, Cd, Hg, Cn	449
17.1. Общая характеристика	449
17.1.1. Строение атомов. Изотопы	449
17.1.2. Свойства атомов	450
17.2. Простые вещества	451
17.2.1. Получение	451
17.2.2. Физические свойства	452
17.2.3. Химические свойства	453
17.3. Соединения	455
17.3.1. Кислородные соединения	455
17.3.2. Сульфиды	457
17.3.3. Галогениды	459
17.3.4. Соли	462
17.3.5. Комплексы	464
17.4. Элементы группы IIB в природе и технике	468
17.4.1. Природные формы	468
17.4.2. История открытия	468
17.4.3. Применение	469
17.4.4. Биологическое значение	470

Химия *f*-элементов473

18. Лантаниды и актиниды	474
18.1. Общая характеристика	474
18.1.1. Строение атомов	474
18.1.2. Специфика изучения радиоактивных актинидов ...	478

18.2. Общие закономерности в свойствах f -элементов	480
18.2.1. Закономерности в изменении степеней окисления	480
18.2.2. Изовалентная аналогия и актинидная концепция	482
18.2.3. Лантанидное и актинидное сжатие	485
18.2.4. Тетрад-эффект	487
18.3. Простые вещества	489
18.3.1. Получение	489
18.3.2. Физические свойства	492
18.3.3. Химические свойства	492
18.4. Соединения Ln(II), Ln(III), Ln(IV) и An(II), An(III), An(IV)	493
18.4.1. Кислородные соединения	493
18.4.2. Галогениды	497
18.4.3. Соли	506
18.4.4. Поведение в водных растворах	510
18.4.5. Комплексные соединения	516
18.4.6. Металлоорганические соединения	522
18.5. Соединения актинидов в высоких степенях окисления ..	526
18.5.1. Кислородные соединения	526
18.5.2. Галогениды	527
18.5.3. Поведение в водных растворах	529
18.6. Лантаниды и актиниды в природе и технике	534
18.6.1. Природные формы	534
18.6.2. История открытия лантанидов	536
18.6.3. История открытия и синтеза актинидов	539
18.6.4. Применение	540
18.6.5. Биологическое значение	543