

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Об авторах	4
Часть I. Общая химия	5
Глава 1. Основные понятия и законы химии	6
1.1. Основные положения и термины атомно-молекулярного учения	6
Примеры решения задач	8
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	9
1.2. Массовая доля элемента в химическом соединении или в смеси	9
Примеры решения задач	10
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	11
1.3. Определение формулы вещества	12
Примеры решения задач	12
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	14
1.4. Газовые смеси. Объемная и молярная доли газа в смеси. Средняя молярная масса газовой смеси	14
Пример решения задачи	14
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	15
Глава 2. Строение атома. Периодический закон и Периодическая система химических элементов	16
2.1. Строение атома	16
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	19
Готовимся к ЕГЭ	19
2.2. Периодический закон и Периодическая система химических элементов	20
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	24
Готовимся к ЕГЭ	25
Глава 3. Химическая связь и строение молекул	27
3.1. Химическая связь	28
3.2. Строение твердых тел	33
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	34
Готовимся к ЕГЭ	35
Глава 4. Химические реакции и их классификация. Тепловые эффекты химических реакций	37
Примеры решения задач	39
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	40
Готовимся к ЕГЭ	42

Глава 5. Химическая кинетика. Скорость химических реакций ...	45
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	46
Готовимся к ЕГЭ	48
Глава 6. Химическое равновесие. Факторы, влияющие на химическое равновесие. Принцип Ле-Шателье	51
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	51
Готовимся к ЕГЭ	54
Глава 7. Окислительно-восстановительные реакции	57
Примеры решения задач	60
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	62
Готовимся к ЕГЭ	64
Глава 8. Электролиз	68
Примеры решения задач	70
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	74
Готовимся к ЕГЭ	76
Глава 9. Растворы	80
Примеры решения задач	81
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	84
Готовимся к ЕГЭ	85
Глава 10. Принципы классификации и номенклатура неорганических соединений	87
10.1. Простые вещества	87
10.2. Сложные вещества	88
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	105
Готовимся к ЕГЭ	108
Глава 11. Растворы электролитов. Сильные и слабые электролиты	113
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	116
Готовимся к ЕГЭ	117
Глава 12. Кислотно-основные равновесия. Кислотность среды, pH и pOH	119
Примеры решения задач	120
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	121
Глава 13. Обменные реакции в растворах электролитов	122
Примеры решения задач	123
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	126
Готовимся к ЕГЭ	129
Глава 14. Гидролиз солей	132
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	134
Готовимся к ЕГЭ	135
Часть II. Химия элементов (неорганическая химия)	137
II.1. Неметаллы	137
Глава 15. Водород и его соединения	138
15.1. Водород	138
15.2. Вода	141
15.3. Пероксид водорода	143
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	144
Готовимся к ЕГЭ	146

Глава 16. Элементы VIIA подгруппы	149
16.1. Общая характеристика	149
16.2. Простые вещества	150
16.3. Соединения галогенов с водородом	152
16.4. Кислородные соединения галогенов	154
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	156
Готовимся к ЕГЭ	159
Глава 17. Элементы VIA подгруппы	162
17.1. Общая характеристика	162
17.2. Кислород	162
17.3. Сера	164
17.4. Селен и теллур	170
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	171
Готовимся к ЕГЭ	174
Глава 18. Элементы VA подгруппы	177
18.1. Общая характеристика	177
18.2. Азот	177
18.3. Аммиак	178
18.4. Фосфор	184
18.5. Мышьяк, сурьма и висмут	188
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	189
Готовимся к ЕГЭ	193
Глава 19. Элементы IVA подгруппы	196
19.1. Общая характеристика	196
19.2. Углерод	196
19.3. Кремний	201
19.4. Германий, олово и свинец	203
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	205
Готовимся к ЕГЭ	209
Глава 20. Элементы VIIIA подгруппы	211
II.2. Металлы	213
Глава 21. Элементы IA подгруппы	214
21.1. Общая характеристика	214
21.2. Кислородные соединения щелочных металлов	217
21.3. Гидроксида щелочных металлов	218
21.4. Соли щелочных металлов	220
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	220
Готовимся к ЕГЭ	224
Глава 22. Элементы IIA подгруппы	226
22.1. Общая характеристика	226
22.2. Оксиды металлов IIA подгруппы	228
22.3. Гидроксиды металлов IIA подгруппы	229
22.4. Соли металлов IIA подгруппы	231
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	232
Готовимся к ЕГЭ	235
Глава 23. Элементы IIIA подгруппы	237
23.1. Общая характеристика	237
23.2. Бор	237

23.3. Алюминий	239
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	242
Готовимся к ЕГЭ	245
Глава 24. <i>d</i> -Элементы	248
24.1. Общая характеристика	248
24.2. Титан	248
24.3. Хром	249
24.4. Марганец	253
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	256
Готовимся к ЕГЭ	259
24.5. Железо, кобальт, никель	261
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	265
Готовимся к ЕГЭ	268
24.6. Подгруппа IV. Медь, серебро, золото	270
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	273
Готовимся к ЕГЭ	276
24.7. Подгруппа IVB. Цинк, ртуть	278
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	281
Готовимся к ЕГЭ	284
Часть III. Органическая химия	287
Глава 25. Введение в органическую химию	288
25.1. Классификация органических соединений	288
Упражнения для самостоятельного решения	289
Готовимся к ЕГЭ	290
25.2. Номенклатура органических соединений	291
Упражнения для самостоятельного решения	294
Готовимся к ЕГЭ	296
25.3. Электронное строение органических соединений	298
Упражнения для самостоятельного решения	303
Готовимся к ЕГЭ	304
Глава 26. Алканы	305
26.1. Получение алканов	305
26.2. Химические свойства алканов	306
Пример решения задачи	309
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	310
Готовимся к ЕГЭ	312
Глава 27. Циклоалканы	315
27.1. Получение циклоалканов	316
27.2. Химические свойства циклоалканов	316
Примеры решения задач	317
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	319
Готовимся к ЕГЭ	320
Глава 28. Алкены	322
28.1. Получение алкенов	322
28.2. Химические свойства алкенов	323
Примеры решения задач	325
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	327
Готовимся к ЕГЭ	329

Глава 29. Диеновые углеводороды	332
29.1. Получение сопряженных алкадиенов	332
29.2. Химические свойства алкадиенов	333
Пример решения задачи	334
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	335
Готовимся к ЕГЭ	336
Глава 30. Алкины	338
30.1. Получение алкинов	338
30.2. Химические свойства алкинов	339
Примеры решения задач	341
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	342
Готовимся к ЕГЭ	344
Глава 31. Ароматические углеводороды (арены)	347
31.1. Получение аренов	347
31.2. Химические свойства аренов	348
Примеры решения задач	351
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	354
Готовимся к ЕГЭ	356
Глава 32. Спирты	359
32.1. Получение спиртов	359
32.2. Химические свойства спиртов	360
32.3. Многоатомные спирты	362
Примеры решения задач	364
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	366
Готовимся к ЕГЭ	368
Глава 33. Фенолы	371
33.1. Получение фенолов	371
33.2. Химические свойства фенолов	372
Пример решения задачи	374
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	374
Готовимся к ЕГЭ	376
Глава 34. Карбонильные соединения (альдегиды и кетоны)	378
34.1. Получение карбонильных соединений	379
34.2. Химические свойства карбонильных соединений	380
Примеры решения задач	383
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	384
Готовимся к ЕГЭ	386
Глава 35. Карбоновые кислоты	389
35.1. Получение карбоновых кислот	390
35.2. Химические свойства карбоновых кислот	391
Пример решения задачи	393
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	394
Готовимся к ЕГЭ	396
Глава 36. Сложные эфиры и жиры	399
36.1. Получение сложных эфиров	400
36.2. Химические свойства сложных эфиров и жиров	400
Пример решения задачи	402
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	403
Готовимся к ЕГЭ	405

Глава 37. Углеводы (сахара)	408
37.1. Строение и стереоизомерия углеводов	408
37.2. Химические свойства углеводов	411
Примеры решения задач	414
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	414
Готовимся к ЕГЭ	417
Глава 38. Амины	419
38.1. Получение аминов	419
38.2. Химические свойства аминов	420
Примеры решения задач	422
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	423
Готовимся к ЕГЭ	427
Глава 39. Аминокислоты, пептиды, белки	429
39.1. Аминокислоты	429
39.2. Пептиды и белки	432
Пример решения задачи	435
Задачи и упражнения для самостоятельного решения ...	436
Готовимся к ЕГЭ	439
Глава 40. Высокомолекулярные соединения	441
Готовимся к ЕГЭ	445
Глава 41. Природные источники углеводов, их переработка ...	446
Готовимся к ЕГЭ	448
Часть IV. ПРИЛОЖЕНИЯ	449
Приложение А. Периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева	450
Приложение Б. Таблица растворимости кислот, солей и оснований в воде	452
Приложение В. Важнейшие природные соединения элементов	454
Приложение Г. Качественные реакции на ионы	456
Приложение Д. Качественные реакции на органические вещества	457
Приложение Е. Основные химические производства	459
Приложение Ж. Ответы к рубрикам «Готовимся к ЕГЭ»	461
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	468

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое вашему вниманию пособие подготовлено высококвалифицированными сотрудниками кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета (РНИМУ) им. Н. И. Пирогова, профессорами, доцентами и старшими преподавателями, имеющими многолетний опыт преподавания химии учащимся медико-биологических классов лицеев, ассоциированных с РНИМУ, а также подготовки и проведения вступительных экзаменов по химии.

При подготовке пособия авторы старались дать в максимально доступной для восприятия форме полный объем материала по химии, изучаемого в средней школе, дополнив его современными теоретическими воззрениями.

Пособие состоит из четырех частей: часть I — «Общая химия»; часть II — «Химия элементов»; часть III — «Органическая химия»; в части IV приведены необходимые материалы для усвоения материала (периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева, таблица растворимости кислот, солей и оснований в воде, краткие сведения о важнейших природных соединениях и основных химических производствах, таблицы с качественными реакциями на ионы и на органические вещества), а также содержатся ответы на все задания рубрик «Готовимся к ЕГЭ».

Каждая тема пособия начинается с краткого теоретического введения, затем приводятся примеры решения как типовых задач, так и задач повышенной сложности, ориентированных на подготовку к олимпиадам различного уровня сложности. Далее предлагаются задания (задачи и упражнения) для самостоятельного решения обучающимися. Для заданий, имеющих числовой ответ, приведены ответы. Заканчивается каждый раздел вопросами ЕГЭ по соответствующим темам. Формулировки заданий ЕГЭ соответствуют новейшим стандартам.

Книга предназначена поступающим в вузы, учащимся старших классов общеобразовательных и специализированных школ, лицеев, гимназий, студентам колледжей, слушателям и курсантам химических школ и подготовительных курсов, а также преподавателям химии для подготовки учащихся к сдаче ЕГЭ, письменного или устного экзамена и участию в олимпиадах по химии.

Компактный формат книги позволяет рекомендовать ее студентам первых курсов вузов для совершенствования базовых знаний по школьному курсу химии.

Авторы выражают признательность всем своим коллегам, сотрудникам кафедры химии РНИМУ им. Н. И. Пирогова за помощь в подготовке издания. Замечания и предложения для дальнейшей переработки книги можно направлять на адрес: negrebetsky1@rsmu.ru.

ОБ АВТОРАХ

Негребецкий Вадим Витальевич — профессор РАН, доктор химических наук, заведующий кафедрой химии, заведующий отделом медицинской химии и токсикологии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова. Лауреат Государственной премии Российской Федерации, лауреат премии Европейской академии.

Белавин Иван Юрьевич — кандидат химических наук, доцент, профессор кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова. Автор научного открытия «Явление элементотропной таутомерии в кетонольных системах».

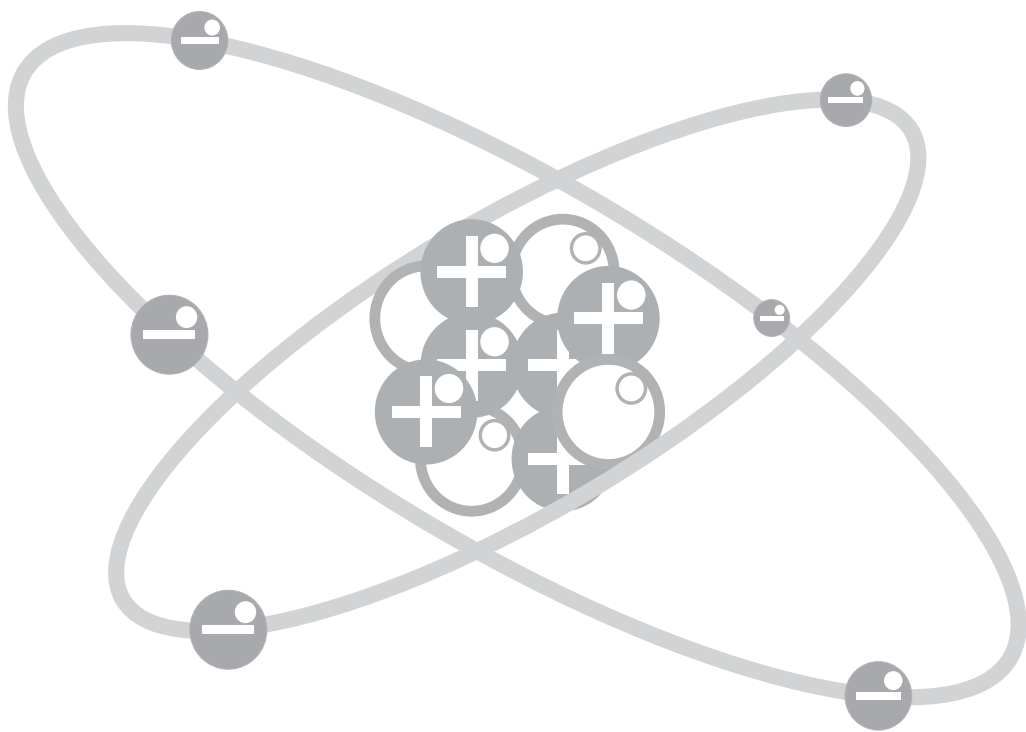
Бесова Елена Александровна — кандидат химических наук, доцент кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова.

Калашникова Наталия Андреевна — кандидат химических наук, доцент кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова.

Семенова Наталья Сергеевна — кандидат химических наук, доцент кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова.

Сергеева Валентина Петровна — старший преподаватель кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова.

ЧАСТЬ I
ОБЩАЯ ХИМИЯ



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ХИМИИ

1.1. Основные положения и термины атомно-молекулярного учения

1. Все вещества состоят из атомов. Атомы одного вида отличаются от атомов другого вида массой и свойствами.
2. Атомы могут объединяться в молекулы. Атомы и молекулы находятся в непрерывном движении, скорость которого возрастает с ростом температуры.
3. Существуют вещества с молекулярным и немолекулярным строением.
4. У веществ с молекулярным строением в твердом состоянии в узлах кристаллической решетки находятся молекулы (H_2O , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).
5. У веществ с немолекулярным строением в твердом состоянии в узлах кристаллической решетки находятся атомы или ионы (алмаз, металлы, NaCl).
6. Молекулы отделены друг от друга; степень отдаленности зависит от агрегатного состояния вещества и от температуры.
7. Между молекулами существуют силы притяжения и отталкивания.
8. При физических явлениях молекулы сохраняются, при химических явлениях, как правило, разрушаются или изменяются.

Атом — мельчайшая химически неделимая частица вещества. Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Ядро состоит из положительно заряженных протонов и незаряженных (нейтральных) нейтронов. Заряд протона равен заряду электрона, но противоположен ему по знаку. Атомный номер элемента (номер элемента в Периодической системе элементов) равен числу протонов в атоме этого элемента. Масса протона приблизительно равна массе нейтрона, а масса электрона составляет приблизительно $\frac{1}{2000}$ от массы протона.

Химический элемент — совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра (т. е. с одинаковым числом протонов в ядре). Каждый элемент имеет свой символ.

Изотопы — разновидности атомов одного элемента, различающиеся числом нейтронов в ядре и, следовательно, массой.

Массовое число изотопа — сумма числа протонов и нейтронов в ядре:

$$A = Z + N,$$

где A — массовое число; Z — число протонов; N — число нейтронов. ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ — изотоп хлора с массовым числом 35, число протонов у него равно 17, число нейтронов $35 - 17 = 18$.

Молекула — мельчайшая электронейтральная частица вещества, сохраняющая его состав и химические свойства.

Молекула *простого вещества* состоит из одного и более атома одного элемента (например, He, H₂, P₄). Различные простые вещества, образованные одним и тем же элементом, называются *аллотропными модификациями* (например, O₂ и O₃, графит и алмаз). Простых веществ больше, чем химических элементов. Молекула *сложного вещества* состоит из атомов разных элементов (например, H₂O, CH₃COOH).

Ион — частица, состоящая из одного или нескольких атомов, имеющая электрический заряд. Положительно заряженные ионы — **катионы**, отрицательно заряженные — **анионы**.

Количество вещества (n) — физическая величина, характеризующая количество однотипных структурных единиц, содержащихся в веществе.

Моль — единица измерения количества вещества. Моль содержит столько же структурных единиц (атомов, молекул, ионов, электронов, формульных единиц и др.), сколько атомов углерода содержится в 0,012 кг изотопа углерода ¹²C. Это число равно $6,02 \cdot 10^{23}$ и называется **числом Авогадро (N_A)**.

Атомная единица массы (а. е. м. или дальтон — Да) — $\frac{1}{12}$ массы атома изотопа углерода ¹²C.

$$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Относительная атомная масса (A_r) — масса атома в а. е. м., равная отношению средней массы атома естественного изотопного состава данного элемента к атомной единице массы.

Относительная молекулярная масса (M_r) — масса молекулы в а. е. м., равная отношению средней массы молекулы данного вещества к атомной единице массы.

Молярная масса (M, г/моль) — масса 1 моль вещества, выраженная в граммах. M численно равна A_r или M_r.

Закон постоянства состава вещества: всякое химически чистое вещество молекулярного строения имеет постоянный качественный и количественный состав независимо от способа и места его получения. Для веществ немолекулярного строения возможны небольшие отклонения от этого закона.

Закон сохранения массы: масса веществ, вступивших в химическую реакцию, равна массе веществ, образовавшихся в этой реакции.

Закон Авогадро: равные объемы различных газов при одинаковых условиях содержат одинаковое число молекул.

/// Следствия из закона Авогадро

1. Один моль любого газа занимает одинаковый объем при одинаковых условиях. Этот объем называется **молярным объемом (V_M)**. При нормальных условиях (0 °C, 101,325 кПа) V_M = 22,4 л.
2. Молярная масса любого газа при нормальных условиях может быть рассчитана по формуле

$$M = \rho \cdot 22,4.$$

Здесь ρ — плотность газа при нормальных условиях (г/л).

3. Отношение абсолютных плотностей двух газов называется относительной плотностью (D) первого газа (1) по второму (2) и равно отношению их молярных масс (M):

$$D_2^1 = \frac{M_1}{M_2}.$$

Например, для данного газа

$$D_{\text{H}_2}^{\text{газа}} = \frac{M_{\text{газа}}}{M_{\text{H}_2}}; \quad M_{\text{газа}} = D_{\text{H}_2}^{\text{газа}} \cdot 2 = D_{\text{N}_2}^{\text{газа}} \cdot 28 = D_{\text{O}_2}^{\text{газа}} \cdot 32 = D_{\text{возд.}}^{\text{газа}} \cdot 29. //$$

Расчетные соотношения, используемые при решении задач

$$m = n \cdot M \text{ [г]}; \quad n = \frac{m}{M} \text{ [моль]}; \quad M = \frac{m}{n} \text{ [г/моль]}.$$

$$N_{\text{A}} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ [моль}^{-1}\text{]}; \quad N(\text{число частиц}) = n \cdot N_{\text{A}}.$$

$$m(\text{атома или молекулы}) = M/N_{\text{A}}.$$

$$n(\text{элемента в веществе}) = n(\text{вещества}) \cdot \text{индекс элемента}.$$

Примеры решения задач

Пример 1. Плотность газа при н. у. составляет 3,615 г/л. Определите молярную массу газа и его относительную плотность по водороду и по воздуху.

Решение: Находим молярную массу газа:

$$M(\text{газа}) = \rho(\text{н. у.}) \cdot 22,4 = 3,615 \cdot 22,4 = 81 \text{ г/моль}.$$

Находим плотность по водороду и по воздуху:

$$D_{\text{H}_2}^{\text{газа}} = \frac{M_{\text{газа}}}{M_{\text{H}_2}} = \frac{81}{2} = 40,5;$$

$$D_{\text{возд.}}^{\text{газа}} = \frac{M_{\text{газа}}}{M_{\text{возд.}}} = \frac{81}{29} = 2,71.$$

Пример 2. Какое количество вещества магния и сколько атомов магния содержится в образце чистого магния массой 6 г? Какова масса одного атома магния?

Решение:

$$n(\text{Mg}) = \frac{m}{M} = \frac{6}{24} = 0,25 \text{ моль};$$

$$N(\text{атомов Mg}) = nN_{\text{A}} = 0,25 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 1,506 \cdot 10^{23} \text{ атомов};$$

$$m(\text{атома Mg}) = \frac{M}{N_{\text{A}}} = \frac{24}{6,023} \cdot 10^{23} = 3,985 \cdot 10^{-23} \text{ г}^*).$$

Пример 3. Какие количества вещества сульфата натрия, атомов натрия, атомов серы и атомов кислорода содержатся в 71 г сульфата натрия?

*) Примечание: расчеты рекомендуется производить с точностью по меньшей мере до трех значащих цифр. В тех случаях, когда в условии задачи исходные числовые данные приведены с большей точностью, лучше придерживаться такой же точности, что и в условии задачи. При округлении если следующая значащая цифра меньше пяти, то ее отбрасывают, а если больше, то предыдущую увеличивают на единицу. Примеры: $0,32653 \approx 0,327$; $0,04741 \approx 0,0474$.

Решение:

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot M(\text{Na}) + M(\text{S}) + 4 \cdot M(\text{O}) = 2 \cdot 23 + 32 + 4 \cdot 16 = 142 \text{ г/моль.}$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m}{M} = \frac{71}{142} = 0,5 \text{ моль.}$$

1 моль Na_2SO_4 содержит 2 моль атомов натрия, 1 моль атомов серы и 4 моль атомов кислорода:

$$n(\text{Na}) = 2 \cdot n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль;}$$

$$n(\text{S}) = n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ моль;}$$

$$n(\text{O}) = 4 \cdot n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ моль.}$$

Задачи и упражнения для самостоятельного решения

1. Рассчитайте количества вещества и массу сульфата железа(II) и воды в 222,4 г железного купороса ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).
 Ответ. 0,8 моль, 5,6 моль; 121,6 г, 100,8 г.
2. Масса 0,15 моль кристаллической серы ($\text{S}_{(\text{кр})}$) равна 38,4 г. Определите массу одной молекулы и число атомов в одной молекуле $\text{S}_{(\text{кр})}$.
 Ответ. $4,25 \cdot 10^{-22}$ г; 8 атомов.
3. Рассчитайте массу 26,88 л (н. у.) кислорода (O_2).
 Ответ. 38,4 г.
4. В скольких граммах серной кислоты содержится такое же количество вещества, что и: а) в 4 мг гидроксида натрия; б) в 4,4 кг углекислого газа; в) в 2,12 г карбоната натрия?
 Ответ. а) 0,0098 г; б) 9800 г; в) 1,96 г.
5. Сравните число молекул: а) в 1 г водорода и 1 г кислорода; б) в 1 л водорода и 1 л кислорода; в) в 1 моль водорода и 1 моль кислорода.
 Ответ. а) 16 : 1; б) равно; в) равно.
6. Определите массу этана, в которой содержится $1,204 \cdot 10^{22}$ молекул.
 Ответ. 0,6 г.

1.2. Массовая доля элемента в химическом соединении или в смеси

Массовая доля элемента вычисляется по следующим формулам:

- для смеси $\omega = \frac{m(\text{элемента})}{m(\text{смеси})}$; $\omega\% = \omega \cdot 100$;
- для химического соединения $\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_z$

$$\omega(\text{A}) = \frac{x \cdot M(\text{A})}{M(\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_z)}; \quad \omega(\text{B}) = \frac{y \cdot M(\text{B})}{M(\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_z)}; \quad \omega(\text{C}) = \frac{z \cdot M(\text{C})}{M(\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_z)}.$$

Массовая доля измеряется в долях единицы. В ответах она дается, как правило, в процентах (%). При проведении расчетов необходимо перейти от процентов к долям единицы делением на 100.


Примеры решения задач

Пример 1. Вычислите массовую долю азота как элемента в смеси, содержащей 1,5 моль азота и 0,5 моль аммиака.

Решение:

$$m(\text{N}_2) = n(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) = 1,5 \cdot 28 = 42 \text{ г};$$

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 0,5 \cdot 17 = 8,5 \text{ г};$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{N}_2) + m(\text{NH}_3) = 42 + 8,5 = 50,5 \text{ г};$$

$$n(\text{N в N}_2) = 2 \cdot n(\text{N}_2) = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ моль};$$

$$n(\text{N в NH}_3) = n(\text{NH}_3) = 0,5 \text{ моль};$$

$$n(\text{N в смеси}) = 3 + 0,5 = 3,5 \text{ моль};$$

$$m(\text{N}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 3,5 \cdot 14 = 49 \text{ г};$$

$$\omega(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{m(\text{смеси})} = \frac{49}{50,5} = 0,97 \text{ (97\%)}.$$

Пример 2. Определите массовые доли элементов в ортофосфорной кислоте.

Решение:

$$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot M(\text{H}) + M(\text{P}) + 4 \cdot M(\text{O}) = 3 \cdot 1 + 31 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ г/моль};$$

$$\omega(\text{H}) = 3 \cdot \frac{M(\text{H})}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = 3 \cdot \frac{1}{98} = 0,0306 \text{ (3,96\%)};$$

$$\omega(\text{P}) = \frac{M(\text{P})}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{31}{98} = 0,3163 \text{ (31,63\%)};$$

$$\omega(\text{O}) = 4 \cdot \frac{M(\text{O})}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = 4 \cdot \frac{16}{98} = 0,6531 \text{ (65,31\%)}.$$

Пример 3. Определите количества и массы веществ, содержащихся в 26,2 г смеси оксида фосфора(V) и оксида серы(VI), если известно, что массовая доля фосфора как элемента в этой смеси составляет 23,66%.

Решение:

$$m(\text{P}) = m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{P}) = 26,2 \cdot 0,2366 = 6,2 \text{ г};$$

$$n(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})} = \frac{6,2}{31} = 0,2 \text{ моль}.$$

Один моль P_2O_5 содержит два моля атомов P, поэтому количество вещества P_2O_5 в два раза меньше количества вещества фосфора:

$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{n(\text{P})}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = n(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot M(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,1 \cdot 142 = 14,2 \text{ г};$$

$$m(\text{SO}_3) = m(\text{смеси}) - m(\text{P}_2\text{O}_5) = 26,2 - 14,2 = 12 \text{ г};$$

$$n(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)} = \frac{12}{80} = 0,15 \text{ моль}.$$

Пример 4. Определите массы веществ, входящих в состав образца олеума массой 28,5 г, если известно, что массовая доля серы как элемента в нем составляет 33,68%.

Решение: Олеум — это раствор оксида серы(VI) в чистой серной кислоте. Пусть количество вещества SO_3 в олеуме равно x моль, а количество вещества серной кислоты в нем равно y моль, тогда

количество вещества S в олеуме равно x моль, а количество вещества S в серной кислоте равно y моль.

$$m(\text{SO}_3) = M(\text{SO}_3) \cdot x = 80x \text{ и } m(\text{H}_2\text{SO}_4) = M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot y = 98y;$$

$$80x + 98y = 28,5.$$

$$\omega(\text{S}) = \frac{33,68}{100} = 0,3368;$$

$$m(\text{S}) = m(\text{олеума}) \cdot \omega(\text{S}) = 28,5 \cdot 0,3368 = 9,6 \text{ г};$$

$$n(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{9,6}{32} = 0,3 \text{ моль}; \quad x + y = 0,3.$$

Составляем систему уравнений и решаем ее:

$$\begin{array}{l|l|l} x+y=0,3 \cdot 98 & 98x+98y=29,4 & 18x=0,9, \\ 80x+98y=28,5 & 80x+98y=28,5 & x=0,05; \end{array}$$

$$y = 0,3 - 0,05 = 0,25;$$

$$m(\text{SO}_3) = M(\text{SO}_3) \cdot x = 80x = 80 \cdot 0,05 = 4 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot y = 98y = 98 \cdot 0,25 = 24,5 \text{ г}.$$

Пример 5. Массовая доля элемента в оксиде неизвестного элемента(V) составляет 56,04%. Определите неизвестный элемент и молярную массу его оксида.

Решение: Формула оксида — $\text{Э}_2\text{O}_5$.

$$\omega(\text{O}) = 1 - \omega(\text{Э}) = 1 - 0,5604 = 0,4396.$$

1 моль оксида содержит 5 моль кислорода.

$$\text{Масса кислорода в 1 моль оксида} = 5 \cdot 16 = 80 \text{ г}.$$

Масса 1 моль оксида — это его молярная масса:

$$M(\text{Э}_2\text{O}_5) = \frac{m(\text{O в 1 моль оксида})}{\omega(\text{O})} = \frac{80}{0,4396} = 182 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Э}) = \frac{M(\text{Э}_2\text{O}_5) - 5 \cdot M(\text{O})}{2} = \frac{182 - 80}{2} = 51 \text{ г/моль}.$$

По Периодической системе элементов находим, что атомную массу 51 имеет элемент **ванадий**.

Задачи и упражнения для самостоятельного решения

1. Определите массовую долю железа в Fe_2O_3 .
Ответ. 70%.
2. Массовая доля неизвестного элемента в его оксиде $\text{Э}_2\text{O}_3$ равна 68,42%. Определите элемент.
Ответ. Cr.
3. В ортофосфате элемента(II) массовая доля этого элемента составляет 68,44%. Определите, о фосфате какого элемента идет речь.
Ответ. $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$.
4. Определите формулу кристаллогидрата фосфата натрия, если известно, что массовая доля водорода как элемента в нем составляет 6,316%.
Ответ. $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.
5. Определите массовую долю калия как элемента в смеси, состоящей из 25,25 г нитрата калия и 41,4 г карбоната калия.
Ответ. 49,7%.

6. Определите количества и массы веществ, содержащихся в образце смеси оксидов алюминия и кремния массой 43,68 г, если массовая доля кислорода как элемента в этой смеси составляет 49,82%.

Ответ. 0,24 моль и 0,32 моль; 24,48 г и 19,2 г.

1.3. Определение формулы вещества

Для вещества формулы $A_xB_yC_z$

$$x : y : z = n(A) : n(B) : n(C); \quad x : y : z = \frac{\omega(A)}{A_r(A)} : \frac{\omega(B)}{A_r(B)} : \frac{\omega(C)}{A_r(C)}.$$

Примеры решения задач

Пример 1. Определите простейшую формулу вещества, в котором массовые доли натрия, фосфора и кислорода составляют 34,59, 23,31 и 42,10% соответственно.

Решение: Пусть формула вещества будет $Na_xP_yO_z$.

$$x : y : z = n(Na) : n(P) : n(O) = \frac{m(Na)}{M(Na)} : \frac{m(P)}{M(P)} : \frac{m(O)}{M(O)}.$$

Допустим, $m(Na_xP_yO_z) = 100$ г, тогда $m(Na) = 34,59$ г; $m(P) = 23,31$ г и $m(O) = 42,1$ г;

$$x : y : z = \frac{34,59}{23} : \frac{23,31}{31} : \frac{42,1}{16} = 1,504 : 0,752 : 2,63.$$

Для получения целых значений x , y и z разделим полученные числа на наименьшее из них (0,752):

$$x : y : z = 2 : 1 : 3,5.$$

Если не все полученные числа целые (как в данном случае), то необходимо подобрать наименьший множитель, который превратил бы их в целые (здесь 2):

$$x : y : z = 4 : 2 : 7.$$

Простейшая формула вещества: $Na_4P_2O_7$.

Пример 2. Определите молекулярную формулу вещества, состоящего из кислорода, азота, фосфора и водорода, если известно, что оно содержит по массе 48,48% кислорода, число атомов азота в нем в два раза больше числа атомов фосфора, а количество атомов водорода в соединении в 2,25 раза больше количества атомов кислорода. Молярная масса вещества меньше 200 г/моль.

Решение: Формула вещества $O_xN_yP_zH_k$. Пусть масса вещества равна 100 г, тогда

$$m(O) = 48,48 \text{ г};$$

$$n(O) = \frac{m(O)}{M(O)} = \frac{48,48}{16} = 3,93 \text{ моль};$$

$$n(H) = n(O) \cdot 2,25 = 3,93 \cdot 2,25 = 6,82 \text{ моль};$$

$$m(H) = n(H) \cdot M(H) = 6,82 \cdot 1 = 6,82 \text{ г};$$

$$m(N + P) = m(\text{вещества}) - m(O) - m(H) = 100 - 48,48 - 6,82 = 44,7 \text{ г};$$

$$m(N) = n(N) \cdot M(N) = 14 \cdot n(N); \quad m(P) = n(P) \cdot M(P) = 31 \cdot n(P).$$

Составляем систему уравнений и решаем ее:

$$\begin{array}{l|l|l} 14n(\text{N}) + 31n(\text{P}) = 44,7 & 28n(\text{P}) + 31n(\text{P}) = 44,7 & n(\text{P}) = 0,757 \text{ моль,} \\ n(\text{N}) = 2n(\text{P}) & 59n(\text{P}) = 44,7 & n(\text{N}) = 0,757 \cdot 2 = 1,514; \\ x : y : z : k = 3,93 : 1,514 : 0,757 : 6,82 = 4 : 2 : 1 : 9. \end{array}$$

Формула: $\text{O}_4\text{N}_2\text{PH}_9$.

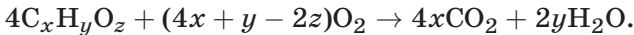
Мы определили простейшую формулу вещества. Молекулярная формула может содержать удвоенное, утроенное и т. д. число атомов. Чтобы убедиться, что молекулярная формула совпадает с простейшей, подсчитаем молярную массу вещества:

$$M(\text{O}_4\text{N}_2\text{PH}_9) = 16 \cdot 4 + 14 \cdot 2 + 31 + 1 \cdot 9 = 132 \text{ г/моль}; 132 < 200.$$

Очевидно, что молярная масса для удвоенной формулы будет больше 200, что противоречит условию задачи, следовательно, молекулярная формула вещества $\text{O}_4\text{N}_2\text{PH}_9$. Перегруппировав атомы, легко догадаться, что это вещество является гидрофосфатом аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

Пример 3. При полном сгорании 6 г органического вещества образовалось 8,8 г оксида углерода(IV) и 3,6 г воды. Определите молекулярную формулу сожженного вещества, если известно, что его молярная масса равна 180 г/моль.

Решение: Судя по продуктам сгорания, вещество содержало углерод, водород и, возможно, кислород. Запишем соответствующее уравнение:



Определяем количество вещества и массу углерода в CO_2 :

$$n(\text{CO}_2) = \frac{8,8}{44} = 0,2 \text{ моль}; n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}) = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ г}.$$

Определяем количество вещества водорода в H_2O и его массу:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,6}{18} = 0,2 \text{ моль}; n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль};$$

$$m(\text{H}) = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ г}.$$

Определяем массу и количество вещества кислорода в органическом веществе:

$$m(\text{O}) = m(\text{вещества}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 6 - 2,4 - 0,4 = 3,2 \text{ г};$$

$$n(\text{O}) = \frac{3,2}{16} = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем простейшую формулу:

$$x : y : z = n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,2 : 0,4 : 0,2 = 1 : 2 : 1, \text{ т. е. } \text{CH}_2\text{O}.$$

Молекулярная формула: $(\text{CH}_2\text{O})_n$.

Для того чтобы найти значение n , определяем молярную массу фрагмента CH_2O .

$$M(\text{CH}_2\text{O}) = 12 + 2 + 16 = 30 \text{ г/моль}. n = \frac{M(\text{вещества})}{M(\text{CH}_2\text{O})} = \frac{180}{30} = 6.$$

Молекулярная формула: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

**Задачи и упражнения для самостоятельного решения**

1. Определите молекулярную формулу соли с молярной массой менее 300 г/моль, в которой массовые доли азота, водорода, хрома и кислорода составляют 11,11%; 3,17%; 41,27% и 44,44% соответственно.
Ответ. $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
2. Определите формулу кристаллогидрата соли, если известно, что массовые доли натрия, углерода, водорода и кислорода в нем составляют 16,08%; 4,196%; 6,933% и 72,73% соответственно.
Ответ. $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.
3. При сжигании 26,7 г аминокислоты ($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}_k$) в избытке кислорода образуется 39,6 г оксида углерода(IV), 18,9 г воды и 4,2 г азота. Определите формулу аминокислоты.
Ответ. $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$.

1.4. Газовые смеси.**Объемная и молярная доли газа в смеси.****Средняя молярная масса газовой смеси**

Для нахождения объемной (φ) и молярной (χ) долей газа в смеси, а также средней молярной массы ($M_{\text{ср.}}$) газовой смеси используются следующие формулы:

$$\varphi = \frac{V(\text{компонента смеси})}{V(\text{смеси})}; \quad \chi = \frac{n(\text{компонента смеси})}{\text{сумма } n \text{ всех компонентов смеси}};$$

$$M_{\text{ср.}} = \chi_1 \cdot M_1 + \chi_2 \cdot M_2 + \dots \text{ по всем компонентам смеси.}$$

Для газов $\chi = \varphi$, поэтому $M_{\text{ср.}}(\text{газа}) = \varphi_1 \cdot M_1 + \varphi_2 \cdot M_2 + \dots$ по всем компонентам смеси.

Объемная и молярная доли измеряются в долях единицы. В ответах они даются, как правило, в процентах (%). При проведении расчетов необходимо перейти от процентов к долям единицы делением на 100.

$$M_{\text{ср.}} = \frac{n_1 \cdot M_1 + n_2 \cdot M_2 + \dots (\text{по всем компонентам смеси})}{n_1 + n_2 + \dots};$$

$$M_{\text{ср.}} = \frac{V_1 \cdot M_1 + V_2 \cdot M_2 + \dots (\text{по всем компонентам смеси})}{V_1 + V_2 + \dots}.$$

**Пример решения задачи**

Пример. Какой объем при н. у. займет смесь, состоящая из 16 г метана, 42 г водорода, 42 г азота? Определите объемные доли каждого газа в смеси. Рассчитайте среднюю молярную массу данной смеси и ее плотность по аргону.

Решение: Количество вещества каждого газа в смеси:

$$n(\text{CH}_4) = \frac{16}{16} = 1 \text{ моль}; \quad n(\text{H}_2) = \frac{42}{2} = 21 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{42}{28} = 1,5 \text{ моль};$$

$$n(\text{смеси}) = 1 + 21 + 1,5 = 23,5 \text{ моль};$$

$$V(\text{смеси}) = 23,5 \cdot 22,4 = 532 \text{ л.}$$

Объемные доли газов равны их молярным долям:

$$\varphi(\text{CH}_4) = \frac{1}{23,5} = 0,0425 \text{ (4,25\%);}$$

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{21}{23,5} = 0,8936 \text{ (89,36\%);}$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{1,5}{23,5} = 0,0638 \text{ (6,38\%);}$$

$$M_{\text{ср. (смеси)}} = 16 \cdot 0,0425 + 2 \cdot 0,8936 + 28 \cdot 0,0638 = 4,25 \text{ г/моль;}$$

$$D_{\text{Ar}}^{\text{газ. смеси}} = \frac{4,25}{40} = 0,10625.$$



Задачи и упражнения для самостоятельного решения

1. Какой объем при н. у. займет смесь, состоящая из 1,7 моль углекислого газа, 2,39 моль азота и 6,38 моль хлора?
Ответ. 234,53 л.
2. Определите массу смеси, состоящей из 11,2 л аммиака, 22,4 л азота и 44,8 л водорода при н. у. Определите объемные доли каждого газа в смеси. Определите абсолютную плотность данной смеси и ее плотность по воздуху.
Ответ. 40,5 г; 14,3%, 28,6% и 57,1%; 0,52 г/л; 0,40.
3. Смешали 3 л азота (N_2) и 7 л оксида углерода(IV) (CO_2). Определите относительную плотность газовой смеси по водороду.
Ответ. 19,6.
4. Рассчитайте молярную и объемную доли метана (CH_4) и водорода (H_2) в их смеси, если массовая доля метана в смеси равна 80%.
Ответ. 33% и 67%.
5. Какие объемы этана (C_2H_6) и водорода необходимы для приготовления 20 л (н. у.) газовой смеси с плотностью по воздуху, равной 0,5?
Ответ. 8,93 л и 11,07 л.
6. Смесь азота с кислородом объемом 31,36 л (н. у.) имеет плотность 1,3775 г/л. Определите: массу смеси, объемные доли газов и плотность смеси по аргону.
Ответ. 43,2 г; 30% и 70%; 0,775.
7. Плотность газовой смеси, состоящей из аммиака и кислорода, равна 1,116 г/л (н. у.). Определите состав смеси в объемных и массовых долях.
Ответ. 47% и 53%, 31,7% и 68,3% соответственно.
8. Смесь метана и пропана массой 1,5 г при н. у. занимает объем 1,12 л. Определите состав этой смеси в объемных долях. Какой объем воздуха потребуется для сжигания смеси, если объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%?
Ответ. $\varphi(\text{CH}_4) = \varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = 50\%$; 18,67 л.
9. Сосуд трижды поочередно заполняли тремя различными газами. Масса сосуда была равна 832, 942 и 858 г соответственно. Плотность второго газа по третьему равна 2,45, а плотность третьего газа по водороду равна 14,5. Рассчитайте молярную массу первого газа.
Ответ. 16 г/моль.

Эта книга, в которой рассмотрены все разделы школьного курса химии, необходимые для его успешного освоения и последующей сдачи в экзаменационном формате (ЕГЭ и др.), уже получила заслуженное признание у читателей. И это неспроста, ведь она написана талантливыми преподавателями химии, которые, с одной стороны, своевременно учитывают требования государственного образовательного стандарта, а с другой – не теряют обратной связи с читателями. Издание постоянно обновляется и дополняется новыми подходами и трактовками.



Книга ориентирована на учащихся старших классов общеобразовательных и специализированных школ, лицеев, гимназий, поступающих в вузы, студентов колледжей, слушателей химических школ и подготовительных курсов, а также преподавателей химии для подготовки учащихся к сдаче ЕГЭ и участия в олимпиадах по химии.

Издание подготовлено сотрудниками кафедры химии РНИМУ им. Н. И. Пирогова, ведущего медицинского вуза страны, под редакцией профессора РАН, доктора химических наук, научного руководителя университетской химико-биологической школы ХимБиоПлюс **Вадима Витальевича Негребецкого**.

► *Очень удачное сочетание типовых задач и задач повышенной сложности с примерами их решения. Качественный труд, разработанный профессионалами в области химии. Безусловно рекомендуем тем, кто желает повысить уровень своих знаний в области химии, получить высокий балл на выпускном экзамене, а также подготовиться к поступлению на химические, биологические и медицинские специальности университетов.* ◀

А. О. Терентьев, чл.-корр. РАН, Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского

► *Уникальный формат, выбранный авторами учебника, позволяет увидеть целостность и взаимосвязь различных направлений химии, а также быстро подготовиться к сдаче ЕГЭ по химии для поступления в ведущие профильные вузы страны.* ◀

Ю. Г. Горбунова, чл.-корр. РАН, Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова