

# ХИМИЯ

# ЕГЭ

РНИМУ им. Н. И. Пирогова

Первый МГМУ им. И. М. Сеченова

МГМСУ им. А. И. Евдокимова

МГУ им. М. В. Ломоносова

СПбГУ

РХТУ им. Д. И. Менделеева

РУДН

РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

МТУ

МСХА им. К. А. Тимирязева

НГУ

СФУ

МПУ

# 100 баллов ПО ХИМИИ

## Теория и практика Задачи и упражнения



# ХИМИЯ

## 100 баллов ПО ХИМИИ

Теория и практика  
Задачи и упражнения

Под редакцией профессора РАН,  
доктора химических наук  
В. В. Негребецкого

Электронное издание



Москва  
Лаборатория знаний  
2021

УДК 54 (076)  
ББК 24я721  
Б43

**А в т о р ы:**

И. Ю. Белавин, Е. А. Бесова, Н. А. Калашникова,  
В. В. Негребецкий, Н. С. Семенова, В. П. Сергеева

**100 баллов по химии. Теория и практика. Задачи**  
Б43 **и упражнения : учебное пособие / И. Ю. Белавин [и др.] ; под ред. В. В. Негребецкого. — Электрон. изд. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 483 с. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.**

ISBN 978-5-00101-412-6

В пособии, подготовленном сотрудниками кафедры химии РНИМУ им. Н. И. Пирогова, ведущего медицинского вуза страны, рассмотрены все разделы школьного курса химии. Каждый раздел состоит из теоретического введения, типовых задач и примеров их решения, в комплексе позволяющих повысить уровень своих знаний в области химии и получить высокий балл на выпускном экзамене для поступления на химические, биологические и медицинские факультеты вузов.

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 участию в олимпиадах по химии.

УДК 54 (076)  
ББК 24я721

**Деривативное издание на основе печатного аналога: 100 баллов по химии. Теория и практика. Задачи и упражнения : учебное пособие / И. Ю. Белавин [и др.] ; под ред. В. В. Негребецкого. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 480 с. : ил. — ISBN 978-5-00101-319-8.**

**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 978-5-00101-412-6

© Лаборатория знаний, 2021

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

<b>Предисловие</b> .....	<b>3</b>
<b>Об авторах</b> .....	<b>4</b>
<b>Часть I. Общая химия</b> .....	<b>5</b>
<b>Глава 1. Основные понятия и законы химии</b> .....	<b>6</b>
1.1. Основные положения атомно-молекулярного учения .....	6
Примеры решения задач .....	9
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	9
1.2. Массовая доля элемента в химическом соединении или в смеси .....	10
Примеры решения задач .....	10
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	12
1.3. Определение формулы вещества .....	13
Примеры решения задач .....	13
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	14
1.4. Газовые смеси. Объемная и молярная доли газа в смеси. Средняя молярная масса газовой смеси .....	15
Пример решения задачи .....	16
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	16
<b>Глава 2. Строение атома. Периодический закон и Периодическая система химических элементов</b> .....	<b>18</b>
2.1. Строение атома .....	18
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	23
2.2. Периодический закон и Периодическая система химических элементов .....	24
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	29
<b>Глава 3. Химическая связь и строение молекул</b> .....	<b>30</b>
3.1. Химическая связь .....	32
3.2. Строение твердых тел .....	38
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	39
<b>Глава 4. Химические реакции и их классификация. Тепловые эффекты химических реакций</b> .....	<b>40</b>
Примеры решения задач .....	42
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	44

Глава 5. <b>Химическая кинетика. Скорость химических реакций</b> .....	46
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	49
Глава 6. <b>Химическое равновесие. Факторы, влияющие на химическое равновесие. Принцип Ле Шателье</b> .....	51
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	53
Глава 7. <b>Окислительно-восстановительные реакции</b> .....	56
Примеры решения задач .....	60
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	62
Глава 8. <b>Электролиз</b> .....	65
Примеры решения задач .....	68
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	72
Глава 9. <b>Растворы</b> .....	75
Примеры решения задач .....	76
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	79
Глава 10. <b>Классификация и номенклатура неорганических соединений</b> .....	83
10.1. Простые вещества .....	83
10.2. Сложные вещества .....	85
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	104
Глава 11. <b>Растворы электролитов. Сильные и слабые электролиты</b> ...	109
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	112
Глава 12. <b>Кислотно-основные равновесия. Кислотность среды, рН и рОН</b> .....	114
Примеры решения задач .....	115
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	116
Глава 13. <b>Обменные реакции в растворах электролитов</b> .....	117
Примеры решения задач .....	119
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	122
Глава 14. <b>Гидролиз солей</b> .....	126
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	129
<b>Часть II. Химия элементов (неорганическая химия)</b> .....	131
<b>II.1. Неметаллы</b> .....	131
Глава 15. <b>Водород и его соединения</b> .....	132
15.1. Водород .....	132
15.2. Вода .....	135
15.3. Пероксид водорода .....	137
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	139
Глава 16. <b>Элементы VIIA подгруппы</b> .....	143
16.1. Общая характеристика .....	143
16.2. Простые вещества .....	144
16.3. Соединения галогенов с водородом .....	146
16.4. Кислородные соединения галогенов .....	148
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	150
Глава 17. <b>Элементы VIA подгруппы</b> .....	154
17.1. Общая характеристика .....	154
17.2. Кислород .....	154
17.3. Сера .....	156
17.4. Селен и теллур .....	164
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	165

Глава 18. Элементы VA подгруппы .....	170
18.1. Общая характеристика .....	170
18.2. Азот .....	170
18.3. Фосфор .....	179
18.4. Мышьяк, сурьма и висмут .....	183
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	184
Глава 19. Элементы IVA подгруппы .....	190
19.1. Общая характеристика .....	190
19.2. Углерод .....	190
19.3. Кремний .....	196
19.4. Германий, олово и свинец .....	199
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	200
Глава 20. Элементы VIIA подгруппы .....	206
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	207
II.2. Металлы .....	209
Глава 21. Элементы IA подгруппы .....	210
21.1. Общая характеристика .....	210
21.2. Кислородные соединения щелочных металлов .....	213
21.3. Гидроксиды щелочных металлов .....	214
21.4. Соли щелочных металлов .....	216
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	217
Глава 22. Элементы IIA подгруппы .....	221
22.1. Общая характеристика .....	221
22.2. Оксиды металлов IIA подгруппы .....	223
22.3. Гидроксиды металлов IIA подгруппы .....	224
22.4. Соли металлов IIA подгруппы. Жесткость воды .....	226
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	227
Глава 23. Элементы IIIA подгруппы .....	231
23.1. Общая характеристика .....	231
23.2. Бор .....	231
23.3. Алюминий .....	234
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	236
Глава 24. d-Элементы .....	240
24.1. Общая характеристика .....	240
24.2. Титан .....	240
24.3. Хром .....	241
24.4. Марганец .....	245
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	248
24.5. Железо, кобальт, никель .....	252
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	256
24.6. Подгруппа IV. Медь, серебро, золото .....	260
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	263
24.7. Подгруппа IVB. Цинк, ртуть .....	266
Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	269
Часть III. Органическая химия .....	273
Глава 25. Введение в органическую химию .....	274
25.1. Классификация органических соединений .....	274
Упражнения для самостоятельного решения .....	277

25.2.	Номенклатура органических соединений .....	277
	Упражнения для самостоятельного решения .....	282
25.3.	Электронное строение органических соединений .....	283
	Упражнения для самостоятельного решения .....	288
Глава 26.	<b>Алканы</b> .....	289
26.1.	Получение алканов .....	290
26.2.	Химические свойства алканов .....	291
	Пример решения задачи .....	294
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	295
Глава 27.	<b>Циклоалканы</b> .....	299
27.1.	Получение циклоалканов .....	300
27.2.	Химические свойства циклоалканов .....	300
	Примеры решения задач .....	302
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	304
Глава 28.	<b>Алкены</b> .....	306
28.1.	Получение алкенов .....	306
28.2.	Химические свойства алкенов .....	307
	Примеры решения задач .....	311
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	313
Глава 29.	<b>Диеновые углеводороды</b> .....	318
29.1.	Получение сопряженных алкадиенов .....	318
29.2.	Химические свойства алкадиенов .....	319
	Пример решения задачи .....	322
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	322
Глава 30.	<b>Алкины</b> .....	325
30.1.	Получение алкинов .....	325
30.2.	Химические свойства алкинов .....	326
	Примеры решения задач .....	328
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	329
Глава 31.	<b>Ароматические углеводороды (арены)</b> .....	334
31.1.	Получение аренов .....	334
31.2.	Химические свойства аренов .....	335
	Примеры решения задач .....	339
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	342
Глава 32.	<b>Спирты</b> .....	347
32.1.	Получение спиртов .....	348
32.2.	Химические свойства спиртов .....	349
32.3.	Многоатомные спирты .....	353
	Примеры решения задач .....	356
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	358
Глава 33.	<b>Фенолы</b> .....	363
33.1.	Получение фенолов .....	363
33.2.	Химические свойства фенолов .....	364
	Пример решения задачи .....	367
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	367
Глава 34.	<b>Карбонильные соединения (альдегиды и кетоны)</b> .....	370
34.1.	Получение карбонильных соединений .....	371
34.2.	Химические свойства карбонильных соединений .....	373
	Примеры решения задач .....	376
	Задачи и упражнения для самостоятельного решения .....	377

Глава 35. Карбоновые кислоты	381
35.1. Получение карбоновых кислот	382
35.2. Химические свойства карбоновых кислот	383
Пример решения задачи	387
Задачи и упражнения для самостоятельного решения	387
Глава 36. Сложные эфиры и жиры	392
36.1. Получение сложных эфиров	393
36.2. Химические свойства сложных эфиров и жиров	393
Пример решения задачи	395
Задачи и упражнения для самостоятельного решения	396
Глава 37. Углеводы (сахара)	401
37.1. Строение и стереоизомерия углеводов	401
37.2. Химические свойства углеводов	405
Примеры решения задач	409
Задачи и упражнения для самостоятельного решения	409
Глава 38. Амины	415
38.1. Получение аминов	415
38.2. Химические свойства аминов	416
Примеры решения задач	418
Задачи и упражнения для самостоятельного решения	419
Глава 39. Аминокислоты, пептиды, белки	426
39.1. Аминокислоты	426
39.2. Пептиды	429
39.3. Белки	431
Пример решения задачи	432
Задачи и упражнения для самостоятельного решения	433
Глава 40. Гетероциклические соединения. Нуклеозиды. Нуклеотиды. Нуклеиновые кислоты	439
40.1. Гетероциклические соединения (гетероциклы)	439
40.2. Нуклеиновые основания	441
40.3. Нуклеозиды	442
40.4. Нуклеотиды	442
40.5. Нуклеиновые кислоты	443
Пример решения задачи	445
Задачи и упражнения для самостоятельного решения	446
Глава 41. Высокмолекулярные соединения	447
Глава 42. Природные источники углеводов	451
<b>Часть IV. Приложения</b>	<b>455</b>
Приложение А. Периодическая система химических элементов (таблица Д. И. Менделеева)	456
Приложение Б. Таблица растворимости кислот, солей и оснований в воде	458
Приложение В. Важнейшие природные соединения элементов	460
Приложение Г. Качественные реакции на ионы	462
Приложение Д. Качественные реакции на органические вещества	463
Приложение Е. Основные химические производства	465
<b>Предметный указатель</b>	<b>468</b>



# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

---

Предлагаемый вашему вниманию комплект пособий подготовлен высококвалифицированными специалистами, 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. Данное издание основано на вышедшем в 2018 г. и к настоящему времени выдержавшим четыре переиздания однотомнике «100 баллов по химии. Полный курс для поступающих в вузы», которое получило заслуженное признание у читателей.

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).

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, требующих вычислений, приведены ответы.

Настоящее издание пособия существенно переработано по сравнению с предыдущим. Расширена теоретическая часть, увеличено число задач для самостоятельного решения. Задания ЕГЭ выделены в отдельный сборник, издаваемый одновременно с настоящим пособием, они также значительно расширены и дополнены. В дополнение готовится к печати издание известного многим преподавателям и репетиторам обновленного задачника И. Ю. Белавина, в котором разбираются задачи базового и олимпиадного уровней сложности.

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](mailto:negrebetsky1@rsmu.ru).

## ОБ АВТОРАХ

---

---

**Негребецкий Вадим Витальевич** — профессор РАН, доктор химических наук, заведующий кафедрой химии, заведующий отделом медицинской химии и токсикологии НИИ трансляционной медицины 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 кето-енольных 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.

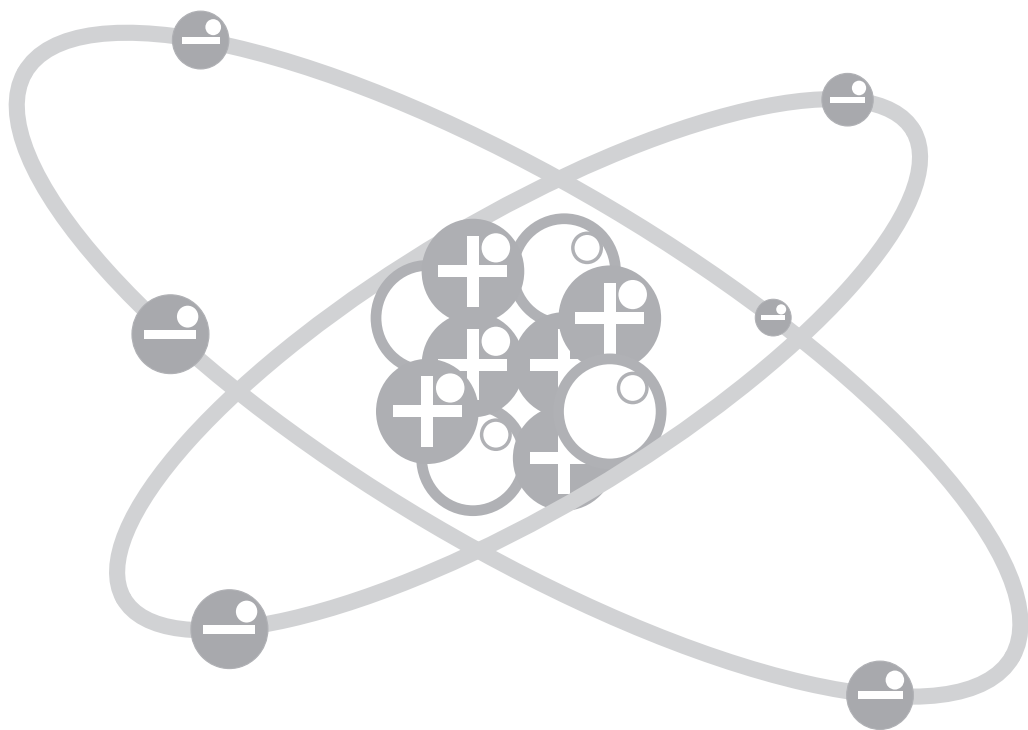
**Семенова Наталья Сергеевна** — кандидат химических наук, доцент кафедры химии Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова.

**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 атомно-молекулярного учения

Современное состояние атомно-молекулярного учения кратко может быть суммировано в следующих тезисах:

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 (например,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ).
5. У веществ с немолекулярным строением в твердом состоянии в узлах кристаллической решетки находятся атомы или ионы (например, алмаз, металлы,  $\text{NaCl}$ ).
6. Молекулы отделены друг от друга; степень удаленности 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; он состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. **Ядро** состоит из положительно заряженных нуклонов (протонов) и не имеющих электрический заряд нуклонов (нейтронов). Заряд протона равен заряду электрона, но противоположен ему по знаку. 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. Каждый элемент имеет свой символ. Атомный номер элемента (номер элемента в Периодической системе) равен числу протонов в ядре атома этого элемента.

**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. Например,  ${}_{17}^{35}\text{Cl}$  — изотоп хлора с массовым числом 35, число протонов у него равно 17, число нейтронов  $35 - 17 = 18$ .

Водород — единственный элемент в Периодической системе химических элементов, изотопы которого имеют свое название и обозначение:  ${}^1_1\text{H}$  (H) — протий;  ${}^2_1\text{H}$  (D) — дейтерий;  ${}^3_1\text{H}$  (T) — тритий. Если элемент представляет собой смесь изотопов, то атомная масса элемента равна среднему значению масс всех его природных изотопов с учетом их распространенности. Так, природный хлор состоит на 75% из изотопов  ${}^{35}\text{Cl}$  и на 25% из изотопов  ${}^{37}\text{Cl}$ . Его относительную атомную массу можно рассчитать следующим образом:

$$A_r = 0,75 \cdot 35 + 0,25 \cdot 37 = 35,5.$$

**Изобары** — атомы разных элементов, имеющие одинаковые массовые числа, а следовательно, разное число протонов и нейтронов в ядре, например  ${}^{14}\text{N}$  и  ${}^{14}\text{C}$ .

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

Молекула **простого вещества** (*гомоядерная молекула*) состоит из атомов одного химического элемента ( $\text{H}_2$ ,  $\text{P}_4$ ). Простые вещества считают формой существования химических элементов в свободном виде. Один и тот же химический элемент может образовывать несколько простых веществ (явление **аллотропия**), являющихся **аллотропными модификациями**. Аллотропия может быть обусловлена либо различным составом молекул ( $\text{O}_2$  и  $\text{O}_3$ ), либо различным типом кристаллической решетки (алмаз и графит). Аллотропные модификации различаются по своим физическим свойствам и химической активности и могут переходить друг в друга. Простых веществ больше, чем химических элементов. Молекула **сложного вещества** состоит из атомов разных элементов ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).

**Ион** — частица, состоящая из одного или нескольких атомов, имеющая электрический заряд. Положительно заряженные ионы — **катионы**, отрицательно заряженные — **анионы**. Существуют также дипольные ионы — электронейтральные частицы, в которых отрицательный и положительный заряды компенсируют друг друга ( ${}^+\text{NH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$ ).

**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  ${}^{12}\text{C}$ . 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  ${}^{12}\text{C}$ .

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

**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 (Ж. Пруст):** всякое химически чистое вещество молекулярного строения имеет постоянный качественный и количественный состав независимо от способа его получения. Для веществ немолекулярного строения возможны незначительные отклонения от этого закона.

**Закон сохранения массы (Ломоносов—Лавуазье):** масса веществ, вступивших в химическую реакцию, равна массе веществ, образовавшихся в этой реакции.

**Закон Авогадро:** равные объемы различных газов при одинаковых условиях (температуре и давлении) 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 ( $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ ,  $101,325\text{ кПа} = 1\text{ атм}$ )  $V_M = 22,4\text{ л/моль}$ . Молярный объем при условиях, отличающихся от нормальных, можно вычислить по уравнению Менделеева—Клапейрона:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная, равная  $8,31\text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ .

2. Молярная масса любого газа при нормальных условиях может быть рассчитана по формуле

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

Здесь  $\rho$  — абсолютная 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

$$D_{\text{H}_2}(\text{газа}) = \frac{M(\text{газа})}{M(\text{H}_2)};$$

$$\begin{aligned} M(\text{газа}) &= D_{\text{H}_2}(\text{газа}) \cdot 2 = D_{\text{N}_2}(\text{газа}) \cdot 28 = \\ &= D_{\text{O}_2}(\text{газа}) \cdot 32 = D_{\text{возд.}}(\text{газа}) \cdot 29. \end{aligned}$$

Запишем **основные расчетные соотношения**, используемые при решении задач:

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

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

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

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



### 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:*

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

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

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

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

*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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  содержит 2 моль атомов натрия, 1 моль атомов серы и 4 моль атомов кислорода, следовательно:

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

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

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



### 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.

\*) 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 придерживаются правила: если следующая значащая цифра меньше пяти, то ее отбрасывают, а если больше, то предыдущую увеличивают на единицу. Примеры:  $0,32653 \approx 0,327$ ;  $0,04741 \approx 0,0474$ .

2. Масса 0,15 моль кристаллической серы ( $S_{(кр)}$ ) равна 38,4 г. Определите массу одной молекулы и число атомов в одной молекуле  $S_{(кр)}$ .  
 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. Вычислите, какой объем при н. у. занимает: а) 0,5 моль водорода; б) 0,25 моль гелия; в) 0,5 кмоль хлора; г) 100 ммоль кислорода.  
 Ответ. а) 11,2 л; б) 5,6 л; в) 11 200 л; г) 2,24 л.
5. Рассчитайте объем при н. у.: а) 1 кг водорода; б) 11 г углекислого газа; в)  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул метана.  
 Ответ. а) 11200 л; б) 5,6 л; в) 11,2 л.
6. Определите молярную массу газов, если: а) масса 1 л газа (н. у.) равна 1,25 г; б) масса 300 мл газа (н.у.) равна 0,857 г. Предложите возможные формулы газов.  
 Ответ. а) 28 г/моль, CO, или  $N_2$ , или  $C_2H_4$ ; б) 64 г/моль,  $SO_2$ .
7. Серная кислота какой массы содержит такое же количество вещества, что и: а) 4 мг гидроксида натрия; б) 4,4 кг углекислого газа; в) 2,12 г карбоната натрия?  
 Ответ. а) 0,0098 г; б) 9800 г; в) 1,96 г.
8. В каком объеме метана (н. у.) содержится столько же электронов, сколько их содержится в 5,6 г железа?  
 Ответ. В 5,824 л.
9. 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.
10. Этан какой массы будет содержать  $1,204 \cdot 10^{22}$  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  $A_xB_yC_z$

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

Массовая доля измеряется в долях единицы. В ответах она дается, как правило, в процентах (%). Переход от процентов к долям единицы осуществляется 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:

$$m(N_2) = n(N_2) \cdot M(N_2) = 1,5 \cdot 28 = 42 \text{ г};$$

$$m(NH_3) = n(NH_3) \cdot M(NH_3) = 0,5 \cdot 17 = 8,5 \text{ г};$$



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

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

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

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

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

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

Пример 2. Определите массовые доли элементов в ортофосфорной кислоте.

Решение:

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

$$\omega(\text{H}) = 3 \cdot \frac{M(\text{H})}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = 3 \cdot \frac{1}{98} = 0,0306 \text{ (3,06\%)};$$

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

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

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  $\text{P}_2\text{O}_5$  содержит два моль атомов P, поэтому количество вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  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  $\text{SO}_3$  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:

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

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

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

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

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

**Решение:** Формула оксида — Э<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

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

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 химических элементов (см. Приложение А) находим, что атомную массу 51 имеет элемент **ванадий**.



### Задачи и упражнения для самостоятельного решения

1. Рассчитайте массовую долю железа в Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
*Ответ.* 70%.
2. Массовая доля неизвестного элемента в его оксиде Э<sub>2</sub>O<sub>3</sub> равна 68,42%. Что это за элемент?  
*Ответ.* Cr.
3. В ортофосфате некоторого двухвалентного элемента массовая доля Э составляет 68,44%. О фосфате какого элемента идет речь?  
*Ответ.* Барий, Ba<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.
4. Определите формулу кристаллогидрата фосфата натрия, если известно, что массовая доля водорода как элемента в нем составляет 6,316%.  
*Ответ.* Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O.
5. Рассчитайте массовую долю калия как элемента в смеси, состоящей из 25,25 г нитрата калия и 41,4 г карбоната калия.  
*Ответ.* 49,74%.
6. Рассчитайте 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:

$$\begin{array}{l|l|l} 14n(N) + 31n(P) = 44,7 & 28n(P) + 31n(P) = 44,7 & n(P) = 0,757 \text{ моль}, \\ n(N) = 2n(P) & 59n(P) = 44,7 & n(N) = 0,757 \cdot 2 = 1,514; \end{array}$$

$$x : y : z : k = 3,93 : 1,514 : 0,757 : 6,82 = 4 : 2 : 1 : 9.$$

Формула:  $O_4N_2PH_9$ .

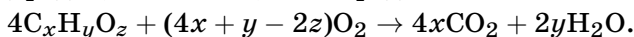
Мы определили простейшую формулу вещества. Молекулярная формула может содержать удвоенное, утроенное и т. д. число атомов. Чтобы убедиться, что молекулярная формула совпадает с простейшей, подсчитаем молярную массу вещества:

$$M(O_4N_2PH_9) = 16 \cdot 4 + 14 \cdot 2 + 31 + 1 \cdot 9 = 132 \text{ г/моль}; 132 < 200.$$

Очевидно, что молярная масса для удвоенной формулы будет больше 200, что противоречит условию задачи, следовательно, молекулярная формула вещества  $O_4N_2PH_9$ . Перегруппировав атомы, легко догадаться, что это вещество является гидрофосфатом аммония  $(NH_4)_2HPO_4$ .

**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  $CO_2$ :

$$n(CO_2) = \frac{8,8}{44} = 0,2 \text{ моль}; n(C) = n(CO_2) = 0,2 \text{ моль};$$

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

Определяем количество вещества водорода в  $H_2O$  и его массу:

$$n(H_2O) = \frac{3,6}{18} = 0,2 \text{ моль}; n(H) = 2 \cdot n(H_2O) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль};$$

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

Определяем массу и количество вещества кислорода в органическом веществе:

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

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

Определяем простейшую формулу:

$$x : y : z = n(C) : n(H) : n(O) = 0,2 : 0,4 : 0,2 = 1 : 2 : 1, \text{ т. е. } CH_2O.$$

Рассчитаем молярную массу  $CH_2O$ :

$$M(CH_2O) = 12 + 2 + 16 = 30 \text{ г/моль}.$$

Исходя из условия задачи, найдем значение  $n$  в  $(CH_2O)_n$ :

$$n = \frac{M(\text{вещества})}{M(CH_2O)} = \frac{180}{30} = 6.$$

**Молекулярная формула:**  $C_6H_{12}O_6$ .



### 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.  $(NH_4)_2Cr_2O_7$ .

2. Определите простейшую формулу вещества, в котором массовые доли натрия, серы и кислорода составляют 29,11, 40,51 и 30,38% соответственно.  
 Ответ.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .
3. Определите простейшую формулу вещества, если массовые доли калия, хрома и кислорода в нем равны 26,53, 35,37 и 38,10% соответственно.  
 Ответ.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .
4. 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.  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
5. При длительном нагревании 42,15 г кристаллогидрата сульфата трехвалентного металла происходит его полное обезвоживание и образуется 30 г безводной соли, которая при дальнейшем прокаливании образует 12 г оксида металла. Определите формулу исходного кристаллогидрата.  
 Ответ.  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ .
6. При сгорании 28,5 г органического вещества в избытке кислорода образуется 66,0 г оксида углерода(IV), 13,5 г воды и 3,36 л (н. у.) азота. Установите молекулярную формулу вещества, если известно, что его молярная масса меньше 100 г/моль.  
 Ответ.  $\text{C}_5\text{H}_5\text{NO}$ .
7. 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 ( $\varphi$ ) и молярной ( $\chi$ ) 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 (%). Переход от процентов к долям единицы осуществляется делением на 100.

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

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

Полезно отметить, что средняя молярная масса газовой смеси всегда меньше молярной массы наиболее тяжелого газа в смеси,

но больше молярной массы наиболее легкого. Например, молярная масса воздуха, состоящего из кислорода ( $M = 32$  г/моль) и азота ( $M = 28$  г/моль), равна 29 г/моль.

### Пример решения задачи

**Пример.** Какой объем при н.у. займет смесь, состоящая из 16 г метана, 42 г водорода и 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:

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

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

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

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

Объемные доли газов равны их молярным долям:

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

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

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

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

$$D_{\text{Ar}}(\text{газ. см.}) = \frac{4,25}{40} = 0,10625.$$

### 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., и объемные доли каждого газа в ней. 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 ( $\text{N}_2$ ) и 7 л оксида углерода(IV) ( $\text{CO}_2$ ). Определите относительную плотность газовой смеси по водороду.  
*Ответ.* 19,6.
4. Рассчитайте молярную и объемную доли метана ( $\text{CH}_4$ ) и водорода ( $\text{H}_2$ ) в их смеси, если массовая доля метана в смеси равна 80%.  
*Ответ.* 33,3% и 66,7%.
5. Какие объемы этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) 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; 28,57% и 71,43%; 0,7714.

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. Определите среднюю молярную массу и объемные доли газов в смеси, состоящей из метана и этана, если массовая доля водорода как элемента в ней равна 22%.  
*Ответ.* 22,2 г/моль; 55,56% и 44,44%.
9. Смесь метана и пропана массой 1,5 г при н. у. занимает объем 1,12 л. Определите состав этой смеси в объемных долях и объем воздуха, необходимый для сжигания этой смеси, если объемная доля кислорода в воздухе равна 21%.  
*Ответ.*  $\varphi(\text{CH}_4) = \varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = 50\%$ ; 18,67 л.
10. 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.
11. Сосуд трижды поочередно заполняли тремя различными газами и измеряли массу газов (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.

[ . . . ]



*Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программ Adobe Reader версии не ниже 11-й либо Adobe Digital Editions версии не ниже 4.5 для платформ Windows, Mac OS, Android и iOS; экран 10"*

*Учебное электронное издание*

**100 БАЛЛОВ ПО ХИМИИ.  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ**  
**Учебное пособие**

Редактор канд. хим. наук *Д. К. Новикова*

Художник *В. А. Прокудин*

Корректор *И. Н. Панкова*

Оригинал-макет подготовлен *О. Г. Лапко* в пакете  $\text{\LaTeX 2\epsilon}$

Подписано к использованию 09.02.21.

Формат 145×225 мм

Издательство «Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272

e-mail: [info@pilotLZ.ru](mailto:info@pilotLZ.ru), <http://www.pilotLZ.ru>

Данное издание основано на вышедшем в 2018 г. и к настоящему времени выдержавшим четыре переиздания одноименнике «**100 БАЛЛОВ ПО ХИМИИ. Полный курс для поступающих в вузы**», который получил заслуженное признание у читателей. И это неспроста, ведь он написан талантливыми преподавателями химии, которые, с одной стороны, своевременно учитывают требования государственного образовательного стандарта, а с другой – не теряют обратной связи с читателями.

Эту книгу, которую Вы держите в руках, авторы существенно переработали – расширили теоретическую часть и увеличили число задач для самостоятельного решения.



Издание подготовлено высококвалифицированными специалистами, 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 Негрбечко**.

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.

► *Широкий охват материала, от теории, изложенной очень доступно, до подробного разбора сложных задач – вот отличительная черта всех учебников известного авторского коллектива. Рекомендую всем для качественной подготовки не только к ЕГЭ, но и олимпиадам разного уровня.* ◀

С. З. Вацадзе, проф. РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

► *Новая серия учебников авторов уже хорошо известной читателям книги «100 баллов по химии. Полный курс для поступающих в вузы» продолжает традицию создания профессионально выверенных и вместе с тем очень доступных учебников для школьников. Уникальный формат подачи теории, задач и вопросов для ЕГЭ, авторских задач олимпиадного уровня безусловно привлечет широкий круг читателей от школьников до учителей.* ◀

А. А. Корлюков, проф. РАН (Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова)