

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

МПГУ

И. Ю. Белавин

В. П. Сергеева

100 баллов ПО ХИМИИ

Учимся
решать задачи:
от простых
до самых сложных



И. Ю. Белавин
В. П. Сергеева

ХИМИЯ

100 баллов ПО ХИМИИ

Учимся
решать задачи:
от простых
до самых сложных

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



Москва
Лаборатория знаний

УДК 54(076)
ББК 24я721
Б43

Белавин И. Ю.

Б43 100 баллов по химии. Учимся решать задачи: от простых до самых сложных : учебное пособие / И. Ю. Белавин, В. П. Сергеева. — М. : Лаборатория знаний, 2022. — 256 с. : ил.

ISBN 978-5-93208-240-9

Это пособие подготовлено сотрудниками кафедры химии РНИМУ им. Н. И. Пирогова, ведущего медицинского вуза страны. В книге приведены подробные методики решения основных типов задач, разобраны примеры различной сложности. Для самостоятельного решения собрано более 500 задач, охватывающих все разделы школьного курса химии углубленного уровня. Особое внимание уделено вопросам органической химии и химии природных биологических соединений. Комплексное использование этих пособий позволит 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, 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**

Учебное издание

**Белавин Иван Юрьевич
Сергеева Валентина Петровна**

**100 БАЛЛОВ ПО ХИМИИ.
УЧИМСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ: ОТ ПРОСТЫХ ДО САМЫХ СЛОЖНЫХ**
Учебное пособие

Редактор *А. С. Золотова*
Художник *Е. А. Вишнякова*. Обложка: *И. К. Дилоян*
Технический редактор *Т. Ю. Федорова*. Корректор *И. Н. Панкова*
Компьютерная верстка: *Е. Г. Ивлева*

Подписано в печать 24.02.22. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 20,80. Заказ

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: info@pilotLZ.ru, http://www.pilotLZ.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Справочные материалы	4
Часть I. Методы решения задач по химии	7
Глава 1. Общие рекомендации для решения задач	8
1.1. Осмысление задачи	8
1.2. Расчеты по уравнениям химических реакций, определение избытка и недостатка	10
1.3. Обработка численных данных	12
Глава 2. Подходы к решению сложных комбинированных задач	15
2.1. Избыток и недостаток	15
2.1.1. Зависимость протекания химических реакций от количества реагентов	15
2.1.2. Зависимость протекания химических реакций от порядка смешивания реагентов	19
2.1.3. Взаимодействие газа с растворенным веществом	25
2.2. Постадийное определение состава смеси	30
2.3. Введение неизвестных величин	34
2.3.1. Введение одного неизвестного	34
2.3.2. Введение нескольких неизвестных и составление систем уравнений	38
2.4. Введение произвольного параметра	56
2.5. Метод подбора	67
2.6. Многовариантные задачи	71
2.7. Составление материального баланса	78
Часть II. Конкурсные задачи	85
Глава 3. Задачи вступительных экзаменов и олимпиад по химии, проводимых в РНИМУ	86
3.1. Газы	86
3.2. Растворы и смеси	93
3.2.1. Растворение простых веществ	93
3.2.2. Растворение сложных веществ	95
3.2.3. Растворение сплавов и смесей	101
3.2.4. Смешивание растворов	106
3.2.5. Растворимость	116
3.2.6. Последовательно соединенные промывные сосуды	120
3.2.7. Термическое разложение солей	122
3.3. Определение формулы вещества	127

3.3.1. Определение элемента	127
3.3.2. Определение формулы неорганического вещества	129
3.3.3. Определение формулы органического вещества	134
3.3.4. Определение числа фрагментов в высокомолекулярном соединении	145
3.4. Тепловые эффекты химических реакций	147
3.5. Скорость химических реакций	152
3.6. Химическое равновесие	157
3.7. Вытеснение одного металла другим	166
3.8. Электролиз	169
3.9. Задачи для повторения предыдущих тем	175
Часть III. Разбор задач	187
Глава 4. Решение некоторых конкурсных задач	188
4.1. Газы	188
4.2. Растворы и смеси	192
4.2.1. Растворение простых веществ	192
4.2.2. Растворение сложных веществ	194
4.2.3. Растворение сплавов и смесей	197
4.2.4. Смешивание растворов	200
4.2.5. Растворимость	206
4.2.6. Последовательно соединенные промывные сосуды	209
4.2.7. Термическое разложение солей	210
4.3. Определение формулы вещества	213
4.3.1. Определение элемента	213
4.3.2. Определение формулы неорганического вещества	214
4.3.3. Определение формулы органического вещества	216
4.3.4. Определение числа фрагментов в высокомолекулярном соединении	219
4.4. Тепловые эффекты химических реакций	222
4.5. Скорость химических реакций	224
4.6. Химическое равновесие	226
4.7. Вытеснение одного металла другим	230
4.8. Электролиз	232
Ответы	236

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое вниманию читателей пособие продолжает цикл уже завоевавших популярность среди учащихся и педагогов книг из комплекса «100 баллов по химии», подготовленных сотрудниками кафедры химии РНИМУ им. Н. И. Пирогова, ведущего медицинского университета страны. Это пособие можно изучать самостоятельно, но наибольшую пользу принесет его комплексное использование с тремя предыдущими изданиями: «Полный курс для поступающих в вузы», «Теория и практика. Задачи и упражнения» и «Тесты для подготовки к экзамену».

Пособие погружает учащихся в увлекательный мир химических расчетных задач. Первая часть его посвящена подходам к решению задач различной сложности. Она постепенно подводит читателя ко второй части — к конкурсным задачам, которые в разное время использовались на вступительных экзаменах и олимпиадах, проводимых в РНИМУ. Типовые и наиболее интересные задачи этой части приведены с решениями в третьей части. Все задачи сборника авторские. Одним из авторов-составителей задач является профессор РНИМУ Белавин Иван Юрьевич, имя которого широко известно среди педагогов и учащихся, интересующихся химией.

Книга ориентирована на учащихся старших классов общеобразовательных, специализированных и химических школ, лицеев, гимназий, студентов колледжей, слушателей подготовительных курсов. Преподавателям химии она поможет в подготовке учащихся к ЕГЭ и олимпиадам самого разного уровня.

Авторы выражают признательность своим коллегам, сотрудникам кафедры химии РНИМУ им. Н. И. Пирогова, а также С. Ю. Быликину (Открытый Университет, Великобритания) за помощь в подготовке данного издания. Замечания и предложения по дальнейшей переработке книги авторы просят направлять на адрес: sergeeva.chem@gmail.com.

Желаем удачи!

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Условные обозначения и размерности величин		
Параметр	Обозначение	Размерность
Давление	p	мм рт. ст.; Па, кПа; атм
Количество вещества	n	моль, кмоль, ммоль, мкмоль
Концентрация	c	моль/л, ммоль/л; г/л, мг/л
Масса	m	г, кг, мг, мкг
Массовая доля	ω	доли единицы, %
Молярная масса	M	г/моль
Молярная доля	χ	доли единицы; %
Молярный объем	V_M	л/моль
Объем	V	л, мл
Объемная доля	φ	доли единицы; %
Выход	η	%
Относительная атомная масса	A_r	безразмерная величина
Относительная плотность	D	безразмерная величина
Плотность	ρ	г/л (для газов), г/мл, кг/м ³
Растворимость	s	г на 100 г воды; г/л; моль/л
Температура	T, t°	°С; К
Теплота	Q	Дж, кДж; кал, ккал
Число Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль · К); 0,0821°л · атм/(моль · К)
Скорость реакции	v	моль/(л·мин), моль/(л·ч), моль/(л·с)
Температурный коэффициент скорости реакции	γ	безразмерная величина
Площадь	S	м ² , см ²

Наиболее употребляемые расчетные формулы

$$m = n \cdot M, \quad n = \frac{m}{M}, \quad M = \frac{m}{n}$$

$$N(\text{частиц}) = n \cdot N_A, \quad m(\text{частицы} \text{ — атома или молекулы}) = \frac{M}{N_A}$$

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

$$\omega(\text{элемента в соединении}) = \frac{M(\text{элемента}) \cdot \text{индекс элемента}}{M(\text{соединения})},$$

$$\omega\% = \omega \cdot 100\%$$

$$\omega(\text{элемента в смеси}) = \frac{m(\text{элемента})}{m(\text{смеси})}, \quad \omega\% = \omega \cdot 100\%$$

$$\omega(\text{вещества в растворе}) = \frac{m(\text{вещества})}{m(\text{раствора})}, \quad \omega\% = \omega \cdot 100\%$$

$$\omega(\text{вещества в растворе}) = \frac{s(\text{вещества в г на } 100 \text{ г } H_2O)}{s + 100}$$

$$\omega(\text{соли в к/г}^*) = \frac{M(\text{соли})}{M(\text{к/г})}$$

$$\omega(\text{соли в растворе}) = \frac{s(\text{к/г в г на } 100 \text{ г } H_2O) \cdot \omega(\text{соли в к/г})}{s(\text{к/г}) + 100}$$

$$m(\text{раствора}) = \rho \cdot V(\text{раствора})$$

$$c(\text{вещества в растворе}) = \frac{n(\text{вещества})}{V(\text{раствора})}$$

$$c(\text{вещества в растворе}) = \frac{\rho(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{вещества})}{M(\text{вещества})}$$

Для вещества формулы $A_x B_y C_z$ $x : y : z = n(A) : n(B) : n(C)$,

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

$$V_M = \frac{V(\text{газа})}{n(\text{газа})}, \quad V(\text{газа}) = n(\text{газа}) \cdot V_M, \quad n(\text{газа}) = \frac{V(\text{газа})}{V_M};$$

$$\text{н. у. : } p = 101,3 \text{ кПа}, \quad T = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ К}, \quad V_M(\text{н. у.}) = 22,4 \text{ л/моль}$$

$$\text{Объединенный газовый закон: } \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{101,3 \cdot V(\text{н. у.})}{273}.$$

$$\text{Уравнение Менделеева–Клапейрона: } p \cdot \bar{V} = n \cdot R \cdot T$$

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad m = \rho \cdot V, \quad M(\text{газа}) = \rho \cdot V_M, \quad M(\text{газа}) = \rho(\text{н. у.}) \cdot 22,4$$

$$\text{Для двух газов плотность первого газа по второму } D = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2},$$

$$M_1 = D \cdot M_2$$

* Примечание: к/г — кристаллогидрат.

Наиболее употребляемые расчетные формулы

$$\varphi(\text{газа}) = \frac{V(\text{газа})}{V(\text{смеси})}, \quad \varphi\% = \varphi \cdot 100\%;$$

$$\chi(\text{газа}) = \frac{n(\text{газа})}{\text{сумма } n \text{ всех газов в смеси}}, \quad \chi\% = \chi \cdot 100. \text{ Для газов } \chi = \varphi$$

$$M_{\text{ср.}} = \chi_1 \cdot M_1 + \chi_2 \cdot M_2 + \dots, \quad \text{где } \chi_1 + \chi_2 + \dots = 1;$$

$$M_{\text{ср.}}(\text{газа}) = \varphi_1 \cdot M_1 + \varphi_2 \cdot M_2 + \dots, \quad \text{где } \varphi_1 + \varphi_2 + \dots = 1$$

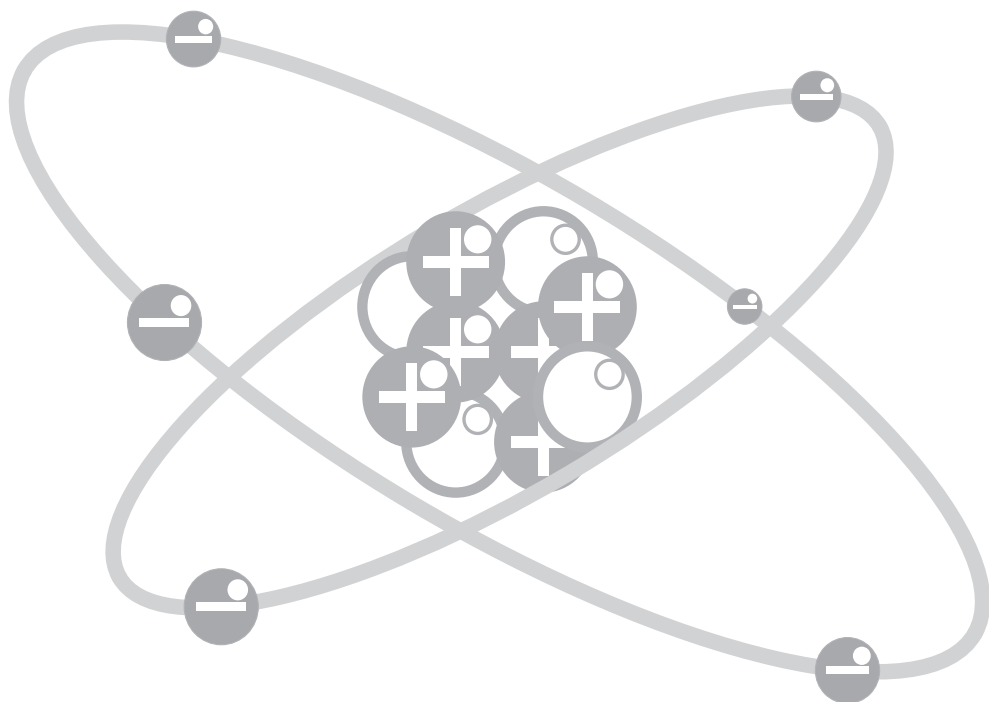
$$M_{\text{ср.}} = \frac{n_1 \cdot M_1 + n_2 \cdot M_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots};$$

$$M_{\text{ср.}}(\text{газа}) = \frac{V_1 \cdot M_1 + V_2 \cdot M_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

$$\nu(\text{гомогенной реакции}) = \frac{\Delta c}{\Delta t}, \quad (\text{гетерогенной реакции}) = \frac{\Delta n}{S \cdot \Delta t};$$

$$\nu_{t_2} = \nu_{t_1} \cdot \gamma \frac{t_2^\circ - t_1^\circ}{10}$$

ЧАСТЬ I
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПО ХИМИИ



ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1.1. Осмысление задачи

Не торопитесь! Внимательно прочтите задачу до конца, по меньшей мере два раза. Постарайтесь уяснить сущность всех действий, которые в ней совершаются, и явлений, которые в ней происходят.

Определите сначала, происходят ли какие-либо химические превращения с веществами, описываемыми в задаче. Если да, то постарайтесь составить уравнения соответствующих химических реакций. В большинстве задач, если вы хорошо разбираетесь в теоретическом материале, это не составляет трудностей, однако в ряде случаев правильное составление всех уравнений химических реакций возможно только после анализа численных данных.

Обязательно проверьте, правильно ли проставлены коэффициенты в уравнениях химических реакций. Неправильное уравнивание химической реакции может привести не только к числовой, но и смысловой ошибке в решении задачи. Закончив решать задачу, еще раз просмотрите ее условия и проверьте, все ли задания вы выполнили и все ли условия задачи вы использовали для ее решения. Обычно для правильного решения задачи требуется использование всех приведенных в ней данных, хотя бывают случаи, когда некоторые условия оказываются лишними. Тогда можно использовать эти данные для проверки правильности решения.

Еще раз посмотрите на ответ с точки зрения обычной логики. Например, если в условии исходные массы даны в тоннах, а ответ у вас получился в граммах, в решении явно что-то не так. Или если в конечном растворе у вас одновременно присутствуют несовместимые вещества — NaOH и NaHCO_3 , H_3PO_4 и K_3PO_4 и т. п.

Для удобства решения и лучшего понимания численных значений может быть полезна краткая запись условий задачи. Не забывайте в кратком условии достаточно четко указывать, к чему относится каждое число или условие.

Если возникают затруднения в понимании смысла задачи, полезно составить графологическую схему или представить условие задачи в виде рисунка.

Пример 1. Растворимость бромида калия при 0°C и при 45°C составляет 50 и 80 г в 100 г воды соответственно. Определите, какой объем хлора (н. у.) прореагирует с раствором, полученным насыщением бромидом калия при 45°C такой массы раствора, насыщенного при 0°C , которая при взаимодействии с избытком раствора нитрата серебра образует 56,4 г осадка.

Решение:

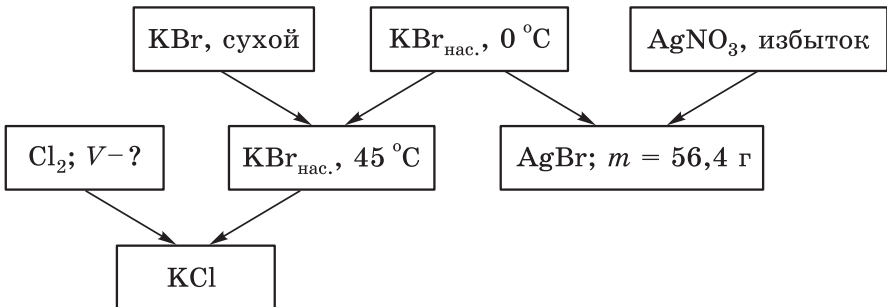
1) Запишем краткое условие задачи:

$$\text{Дано: } s(\text{KBr при } 0^\circ\text{C}) = \frac{50 \text{ г}}{100 \text{ г воды}}, \quad s(\text{KBr при } 45^\circ\text{C}) = \frac{80 \text{ г}}{100 \text{ г воды}};$$

$$m(\text{осадка}) = 56,4 \text{ г.}$$

Найти: $V(\text{Cl}_2)$.

2) Составляем графологическую схему задачи:



Из схемы видно, что по массе осадка можно вычислить количество бромида калия в исходном растворе, затем, используя данные по растворимости и учитывая, что масса воды в обоих насыщенных растворах одинакова, вычислить количество бромида калия во втором растворе и по нему определить объем хлора, вступившего в реакцию.

3) Записываем уравнения химических реакций:



Рассчитываем количество бромида серебра и массу бромида калия в исходном растворе:

$$n(\text{AgBr}) = \frac{m}{M} = \frac{56,4}{188} = 0,3 \text{ моль};$$

$$n(\text{KBr в реакции (1)}) = n(\text{AgBr}) = 0,3 \text{ моль};$$

$$m(\text{KBr в исходном растворе}) = 0,3 \cdot 119 = 35,7 \text{ г.}$$

4) Определяем массу воды в исходном растворе, составляя пропорцию:

$$\begin{array}{l} \text{при } 0^\circ\text{C в } 100 \text{ г воды растворяется } 50 \text{ г KBr;} \\ \qquad \qquad \qquad \text{в } x \text{ г воды} \qquad \qquad \qquad \text{—} \qquad \qquad \qquad 35,7 \text{ г KBr;} \end{array}$$

$$x = 71,4 \text{ г.}$$

5) Определяем массу и количество KBr в растворе, насыщенном при 45°C , учитывая, что масса воды в обоих растворах одинакова:

$$\begin{array}{l} \text{при } 45^\circ\text{C в } 100 \text{ г воды растворяется } 80 \text{ г KBr;} \\ \qquad \qquad \qquad \text{в } 71,4 \text{ г воды} \qquad \qquad \qquad \text{—} \qquad \qquad \qquad y \text{ г KBr;} \end{array}$$

$$y = 57,12 \text{ г};$$

$$n(\text{KBr в реакции (2)}) = \frac{57,12}{119} = 0,48 \text{ моль}$$

б) Определяем количество и объем хлора, который может прореагировать с конечным раствором:

Согласно уравнению реакции (2), $n(\text{Cl}_2) = 0,5 \cdot n(\text{KBr}) = 0,5 \cdot 0,48 = 0,24$ моль.

$V(\text{Cl}_2) = 0,24 \cdot 22,4 = 5,376$ л.

Ответ: $V(\text{Cl}_2) = 5,376$ л.

1.2. Расчеты по уравнениям химических реакций, определение избытка и недостатка

Количества веществ, вступающих в химическую реакцию и образующихся в результате этой реакции, соотносятся как коэффициенты в уравнении реакции, например:



$$n(\text{KClO}_3) : n(\text{HCl}) : n(\text{Cl}_2) : n(\text{KCl}) : n(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 6 : 3 : 1 : 3.$$


Объемы газов, вступающих в химическую реакцию и образующихся в результате этой реакции, измеренные при одинаковых условиях, соотносятся как коэффициенты в уравнении реакции, например,



$$V(\text{CH}_4) : V(\text{C}_2\text{H}_2) : V(\text{H}_2) = 2 : 1 : 3.$$

Как провести расчет по уравнению химической реакции?

1) Написать и уравнивать реакцию. Из условия задачи рассчитать количества реагентов. Если это сделать невозможно, принять их за x и y моль. Эти количества поместить **над формулами** веществ в уравнении реакции.

 Коэффициенты в уравнении реакции показывают соотношение количеств реагентов и продуктов (или объемов газов), поэтому никакие другие величины из условия задачи в уравнении реакции не используют.

2) Определить, какой из двух реагентов находится в недостатке. Для этого количества реагентов разделить на их коэффициенты в уравнении реакции (можно грубо, приблизительно) и сравнить полученные числа. То вещество, для которого полученное значение является наименьшим, находится в недостатке, и по нему рассчитывают реакцию. Его количество **без изменения** переносят **под формулу** вещества в уравнении.

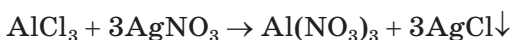
3) Чтобы по веществу, находящемуся в недостатке, рассчитать реакцию, необходимо его количество (точно) разделить на его коэффициент и полученное число умножить на коэффициенты перед остальными участниками реакции. Полученные количества помещают **под формулы** веществ.

- 4) Определить оставшееся количество избыточного реагента. Для этого из взятого количества вычесть количество, израсходованное в реакции. В полученном растворе содержатся продукты реакции и оставшееся количество вещества, бывшего в избытке.
- 5) Чтобы рассчитать массу полученного раствора, нужно, внимательно читая условия задачи, сложить массы компонентов, помещаемых в реакционный сосуд. Затем, просмотрев уравнения реакций, вычесть массы веществ, покинувших систему в виде осадка или газа.

Пример 2. Раствор, содержащий 0,2 моль хлорида алюминия, смешали с раствором, содержащим 0,3 моль нитрата серебра. Определите количество выпавшего в осадок хлорида серебра и количества веществ, оставшихся в растворе.

Решение:

- 1) Запишем уравнение химической реакции и не забудем расставить необходимые коэффициенты:



- 2) Определяем, какой из двух реагентов находится в избытке — количества веществ делим на коэффициенты:

$$\text{для } \text{AlCl}_3: \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ моль; для } \text{AgNO}_3: \frac{0,3}{3} = 0,1 \text{ моль; } 0,2 > 0,1$$

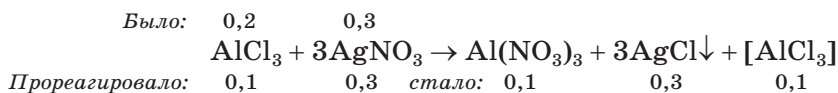
- 3) Следовательно, хлорид алюминия имеется в избытке, а нитрат серебра — в недостатке. Производим расчет по нитрату серебра. Исходное количество AgNO_3 делим на 3 и умножаем на коэффициенты всех участников реакции:

$$n(\text{AgCl}) = n(\text{AgNO}_3) = \frac{0,3 \cdot 3}{3} = 0,3 \text{ моль;}$$

$$n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = \frac{n(\text{AgCl})}{3} = \frac{0,3}{3} = 0,1 \text{ моль.}$$

В растворе осталось не прореагировавшим $0,2 - 0,1 = 0,1$ моль хлорида алюминия.

- 4) Проиллюстрируем наши рассуждения законченным уравнением:



Ответ: В осадок выпало 0,3 моль AgCl , в растворе содержится 0,1 моль $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ и 0,1 моль AlCl_3 .

Пример 3. 2 л метиламина (CH_3NH_2) смешали с 6 л кислорода при н. у. и подожгли. Определите объем и плотность образовавшейся газовой смеси после приведения ее к н. у.

Решение:



- 1) Определяем, какое вещество было в избытке и какое — в недостатке. Для газов соотношение объемов при равных условиях равно соотношению количеств веществ, поэтому объемы исходных газов делим на коэффициенты в уравнении реакции, и полученные числа сравниваем между собой:

$$\text{для } \text{CH}_3\text{NH}_2: \frac{2}{4} = 0,5 \text{ л; для } \text{O}_2: \frac{6}{9} = 0,667 \text{ л; } 0,667 > 0,5.$$

Следовательно, кислород был в избытке, а метиламин — в недостатке.

- 2) Расчет ведем по веществу, бывшему в недостатке, т. е. по метиламину. Согласно уравнению реакции, 4 объема метиламина реагируют с 9 объемами кислорода с образованием 4 объемов оксида углерода(IV) и 2 объемов азота (вода при приведении к н. у. конденсируется в жидкость). Таким образом, объем образовавшегося CO_2 равен объему сгоревшего метиламина (2 л), объем образовавшегося азота в два раза меньше (1 л), объем прореагировавшего кислорода в $\frac{9}{4}$ раза больше объема метиламина: $2,25 \cdot 2 = 4,5$ л. Кислорода осталось $6 - 4,5 = 1,5$ л.



Прореагировало: $\quad 2 \qquad \qquad 4,5$ стало: $\quad 2 \qquad 1 \qquad \qquad 1,5$

- 3) Конечная газовая смесь содержит 2 л CO_2 , 1 л N_2 и 1,5 л O_2 .

$$V(\text{конечной газовой смеси}) = V(\text{CO}_2) + V(\text{N}_2) + V(\text{O}_2) = 2 + 1 + 1,5 = 4,5 \text{ л.}$$

- 4) Определяем среднюю молярную массу и плотность конечной газовой смеси:

$$\begin{aligned} M_{\text{ср.}} &= \varphi(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) + \varphi(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) + \varphi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = \\ &= \frac{2}{4,5} \cdot 44 + \frac{1}{4,5} \cdot 28 + \frac{1,5}{4,5} \cdot 32 = 36,44 \text{ г/моль;} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{M_{\text{ср.}}}{22,4} = \frac{36,44}{22,4} = 1,627 \text{ г/л.}$$

Ответ: $V(\text{конечной газовой смеси}) = 4,5$ л; $\rho = 1,627$ г/л.

1.3. Обработка численных данных

При записи краткого условия задачи бывает полезно все проценты перевести в доли единицы, проверить размерности приведенных в задаче физических величин и, если это необходимо, выразить эти величины в одной размерности. Например, массы выразить в граммах, объемы для газов — в литрах, а для растворов — в миллилитрах, плотности для растворов — в граммах на миллилитр, для газов — в граммах на литр.

Если в задаче имеют место химические превращения, то все массы и объемы реагирующих веществ лучше сразу пересчитать

на количества веществ (моль). Исключение составляют задачи с участием газов, когда все исходные данные приведены в объемах и ответ требуется в объемах или в объемных долях. В этих случаях все вычисления по уравнениям реакций можно производить в объемах.

Желательно, чтобы при решении задачи вы достаточно подробно записывали ход решения, указывая расчетные формулы и конкретные числа, которые вы в них подставляете. Обязательно указывайте размерность получаемых величин. Такая запись позволяет вам легко проверить правильность решения и точность ваших вычислений. Для определения точности расчетов ориентируйтесь на число значащих цифр в исходных данных задачи. Производимые вами расчеты должны выполняться с не меньшей точностью, но и увлекаться большей точностью также не стоит.

Часто для получения конечного результата необходимо значение массы конечного раствора или конечной смеси. В большинстве случаев эту массу рекомендуется рассчитывать, суммируя массы смешиваемых растворов или веществ и вычитая из полученной суммы массы веществ, вышедших из сферы реакции (обычно в виде осадка или газа).

Если в задаче происходит несколько химических реакций, то полезно соответствующие уравнения пронумеровать.

Пример 4. К 200 мл раствора нитрата алюминия с молярной концентрацией нитрат-ионов 1,8 моль/л добавили 82 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20% и плотностью 1,22 г/мл. Полученную смесь упарили и прокалили. Определите массовую долю кислорода как элемента в остатке после прокаливания.

Решение:

Результат взаимодействия нитрата алюминия (принимая во внимание амфотерность гидроксида алюминия) со щелочью, а следовательно, реакции, проходящие при прокаливании образовавшейся смеси веществ, зависят от молярного соотношения первых двух веществ.

1) Определяем количества исходных веществ:

$$n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = \frac{V(\text{раствора}) \cdot c(\text{NO}_3^-)}{\text{индекс нитрат-ионов}} = \frac{0,2 \cdot 1,8}{3} = 0,12 \text{ моль};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{V(\text{раствора}) \cdot \rho \cdot \omega(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{82 \cdot 1,22 \cdot 0,2}{40} = 0,5 \text{ моль}.$$

2) Записываем последовательность химических реакций, проставляя в них соответствующие количества веществ:

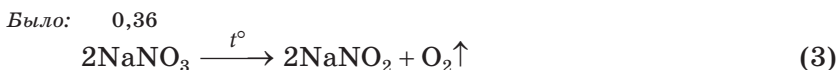
Было: 0,12 0,5



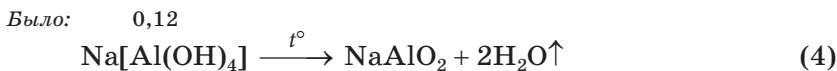
Прореагировало: 0,12 0,36 стало: 0,12 0,36 0,14



Прореагировало: 0,12 0,12 стало: 0,12 0,02



Прореагировало: 0,36 стало: 0,36



Прореагировало: 0,12 стало: 0,12

3) Определяем массовую долю кислорода как элемента в остатке после прокаливания:

$$m(\text{NaNO}_2) = 0,36 \cdot 69 = 24,84 \text{ г}; \quad m(\text{NaAlO}_2) = 0,12 \cdot 82 = 9,84 \text{ г};$$

$$m(\text{NaOH}) = 0,02 \cdot 40 = 0,8 \text{ г};$$

$$m(\text{остатка после прокаливания}) = 24,84 + 9,84 + 0,8 = 35,48 \text{ г};$$

$$n(\text{O в NaNO}_2) = 0,36 \cdot 2 = 0,72 \cdot \text{моль};$$

$$n(\text{O в NaAlO}_2) = 0,12 \cdot 2 = 0,24 \cdot \text{моль};$$

$$n(\text{O в NaOH}) = 0,02 \text{ моль};$$

$$n(\text{O в остатке после прокаливания}) = 0,72 + 0,24 + 0,02 = 0,98 \text{ моль};$$

$$\omega(\text{O}) = \frac{0,98 \cdot 16}{35,48} = 0,442.$$

Ответ: $\omega(\text{O в остатке после прокаливания}) = 44,2\%$.

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ СЛОЖНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ЗАДАЧ

2.1. Избыток и недостаток

Если численные данные задачи позволяют определить, какое вещество находится в избытке, а какое — в недостатке, необходимо обязательно рассчитать их количества — см. § 1.3 и примеры 2 и 3. Однако обязательно обращайтесь внимание, не будет ли вещество, находящееся в избытке, реагировать с каким-либо из продуктов реакции. Например, избыток кислот или кислотных оксидов может превращать средние соли в кислые, а в некоторых твердофазных реакциях выделяются такие химически активные вещества, как вода или кислород.

2.1.1. Зависимость протекания химических реакций от количества реагентов

Пример 5. Определите состав раствора (в массовых долях), полученного при обработке смеси, образовавшейся в результате длительного нагревания 28,8 г магния с 24 г оксида кремния(IV), 57 мл 40%-ного раствора гидроксида натрия с плотностью 1404 кг/м³.

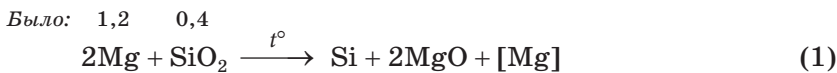
Решение:

1) Определяем количества веществ, принимающих участие в химических реакциях:

$$m(\text{р-ра NaOH}) = 57 \cdot 1,404 = 80 \text{ г}, \quad n(\text{NaOH}) = \frac{80 \cdot 0,4}{40} = 0,8 \text{ моль};$$

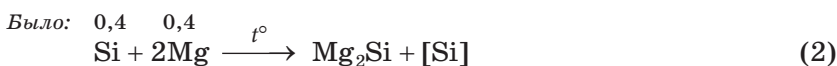
$$n(\text{Mg}) = \frac{28,8}{24} = 1,2 \text{ моль}, \quad n(\text{SiO}_2) = \frac{24}{60} = 0,4 \text{ моль}.$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ с учетом избытка и недостатка:

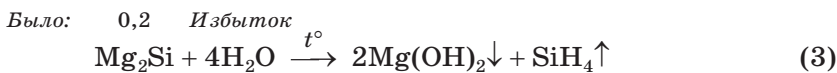


Прореагировало: 0,8 0,4 стало: 0,4 0,8 0,4

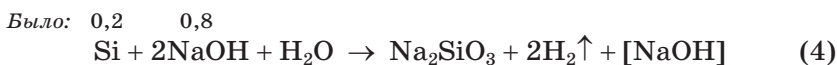
В этой реакции магний находится в избытке $\left(\frac{1,2}{2} > \frac{0,4}{1}\right)$, поэтому оксид кремния прореагировал полностью, а $1,2 - 0,8 = 0,4$ моль магния осталось после реакции. При длительном нагревании оставшийся магний вступает во взаимодействие с кремнием, образуя силицид магния:



Прореагировало: 0,2 0,4 стало: 0,2 0,2



Прореагировало: 0,2 0,8 Стало: 0,4 0,2



Прореагировало: 0,2 0,4 Стало: 0,2 0,4 0,4

3) Рассчитываем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = 80 + 28,8 + 24 - 0,4 \cdot 58 - 0,2 \cdot 32 - 0,4 \cdot 2 = 102,4 \text{ г,}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = \frac{0,2 \cdot 122}{102,4} = 0,2383,$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{0,4 \cdot 40}{102,4} = 0,1563.$$

Ответ: $\omega(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 23,83\%$; $\omega(\text{NaOH}) = 15,63\%$.

Пример 6. Смесь аммиака с кислородом, имеющую плотность по водороду 13, пропустили над платино-родиевым катализатором. Полученную смесь веществ при небольшом нагревании выдерживали в закрытом сосуде до прекращения всех химических реакций, затем охладили. Определите состав полученной смеси (в массовых долях), если известно, что при каталитическом окислении аммиака не происходит никаких побочных процессов и выход в этой реакции в расчете на аммиак составляет 80%.

Решение:

1) Допустим, что имеется 1 моль исходной газовой смеси, и рассчитаем ее состав:

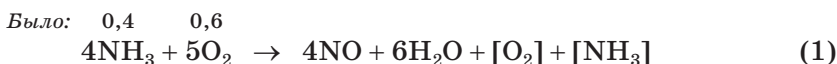
Пусть $n(\text{NH}_3) = x$ моль и $n(\text{O}_2) = y$ моль, тогда $x + y = 1$.

$M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) = 13 \cdot 2 = 26 \text{ г/моль.}$

$$\begin{cases} x + y = 1 \\ 17x + 32y = 26 \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} x = 0,4, \\ y = 0,6. \end{array} \right.$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ с учетом избытка и недостатка, не забывая, что в первую реакцию вступило только 80% исходного аммиака:

$n(\text{NH}_3, \text{ вступившего в реакцию каталитического окисления}) = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32 \text{ моль.}$



Прореагировало: 0,32 0,4 стало: 0,32 0,48 0,2 0,08



Прореагировало: 0,32 0,16 стало: 0,32 0,04

Было: 0,32 0,48 0,04



Прореагировало: 0,16 0,08 0,04 стало: 0,16 0,16 0,4

Было: 0,16 0,4



Прореагировало: 0,16 0,0533 стало: 0,107 0,0533 0,3467

Было: 0,267 0,08



Прореагировало: 0,08 0,08 стало: 0,08 0,187

3) Определяем состав образовавшегося раствора:

$$m(\text{HNO}_3) = 0,187 \cdot 63 = 11,78 \text{ г};$$

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,08 \cdot 80 = 6,4 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,3467 \cdot 18 = 6,24 \text{ г};$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 11,78 + 6,4 + 6,24 = 24,42 \text{ г};$$

$$\omega(\text{HNO}_3) = \frac{11,78}{24,42} = 0,4824;$$

$$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{6,4}{24,42} = 0,2621.$$

Ответ: $\omega(\text{HNO}_3) = 48,24\%$; $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 26,21\%$.

Пример 7. 14,15 г смеси фосфата калия и оксида фосфора(V), в которой массовая доля фосфора как элемента составляет 21,91%, растворили в 100 г воды. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

Решение:

1) Определяем состав исходной смеси веществ, обозначив количество вещества P_2O_5 за x моль и количество вещества K_3PO_4 за y моль:

$$m(\text{P}) = 14,15 \cdot 0,2191 = 3,1 \text{ г}; \quad n(\text{P}) = \frac{3,1}{31} = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{K}_3\text{PO}_4) = 142x + 212y = 14,5 \text{ г}; \quad n(\text{P}) = 2x + y = 0,1 \text{ моль}.$$

Одно из уравнений системы составляем по количеству фосфора, второе — по массе смеси.

$$\begin{cases} 2x + y = 0,1 \\ 142x + 212y = 14,15 \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} x = 0,025, \\ y = 0,05. \end{array} \right.$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ:

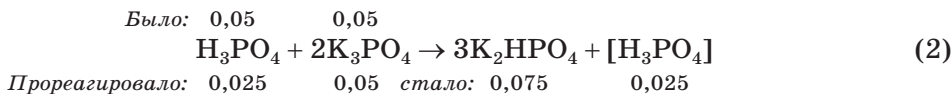
Сначала P_2O_5 реагирует с водой:

0,025

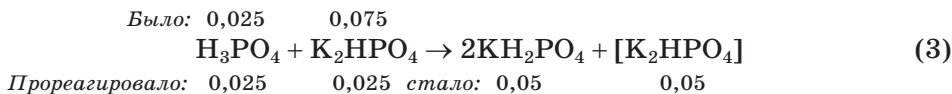


0,05

Затем образующаяся фосфорная кислота взаимодействует с K_3PO_4 , образуя гидрофосфат калия:



Оставшаяся фосфорная кислота взаимодействует с K_2HPO_4 , образуя дигидрофосфат калия:



3) Определяем массовые доли KH_2PO_4 и K_2HPO_4 в полученном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = 14,15 + 100 = 114,15 \text{ г;}$$

$$\omega(KH_2PO_4) = 0,05 \cdot \frac{136}{114,15} = 0,05957;$$

$$\omega(K_2HPO_4) = 0,05 \cdot \frac{174}{114,15} = 0,07622.$$

Ответ: $\omega(KH_2PO_4) = 5,96\%$; $\omega(K_2HPO_4) = 7,62\%$.

Пример 8. Оксид, полученный сжиганием 6,2 г фосфора в избытке кислорода, растворили в 91,6 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 0,1 и плотностью 1,07 г/мл. К полученному раствору добавили 372 г раствора силиката натрия с массовой долей соли 8,2%. Определите массовые доли веществ, содержащихся в конечном растворе.

Решение:

1) Рассчитываем количества исходных веществ:

$$n(P) = \frac{6,2}{31} = 0,2 \text{ моль; } m(\text{раствора } H_2SO_4) = 91,6 \cdot 1,07 = 98 \text{ г;}$$

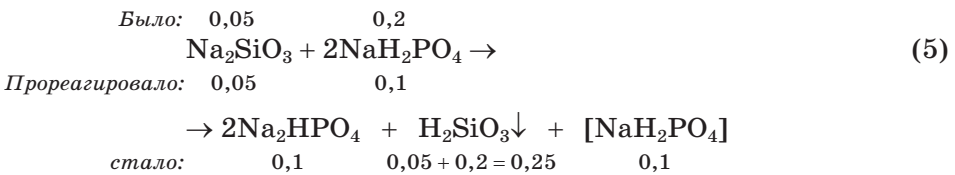
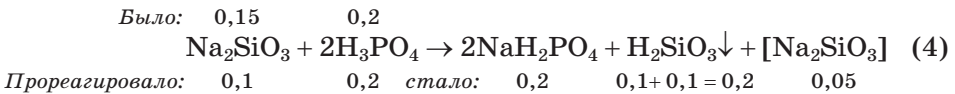
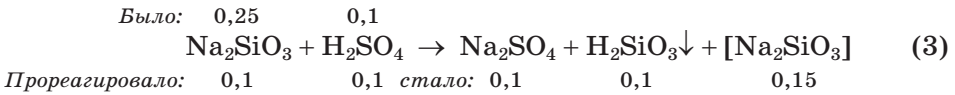
$$n(H_2SO_4) = \frac{98 \cdot 0,1}{98} = 0,1 \text{ моль;}$$

$$n(Na_2SiO_3) = \frac{372 \cdot 0,082}{122} = 0,25 \text{ моль.}$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ:



3) В случае взаимодействия силиката натрия со смесью кислот сначала записываем реакцию с более сильной кислотой (H_2SO_4), а взаимодействие оставшегося количества силиката натрия с фосфорной кислотой записываем через стадии образования кислых солей (сначала дигидрофосфата, затем гидрофосфата):



После всех реакций в растворе содержится 0,1 моль Na_2SO_4 , 0,1 моль NaH_2PO_4 и 0,1 моль Na_2HPO_4 .

4) Рассчитываем массу конечного раствора и массовые доли содержащихся в нем веществ:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{раствора H}_2\text{SO}_4) + m(\text{раствора Na}_2\text{SiO}_3) - m(\text{H}_2\text{SiO}_3) = 0,1 \cdot 142 + 98 + 372 - 0,25 \cdot 78 = 464,7 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{0,1 \cdot 142}{464,7} = 0,0306;$$

$$\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = \frac{0,1 \cdot 120}{464,7} = 0,0258;$$

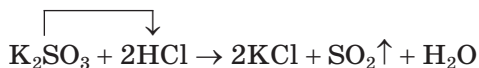
$$\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = \frac{0,1 \cdot 142}{464,7} = 0,0306.$$

Ответ: $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 3,06\%$; $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 2,58\%$; $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 3,06\%$.

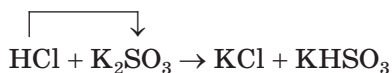
2.1.2. Зависимость протекания химических реакций от порядка смешивания реагентов

В тех случаях, когда в растворах происходят взаимодействия между веществами, среди которых имеются соли слабых многоосновных кислот, результат часто зависит не только от молярного соотношения реагентов, но от порядка их смешивания. Добавляемое вещество в начальный момент времени оказывается в недостатке, и это необходимо учитывать. Например, если раствор сульфита ка-

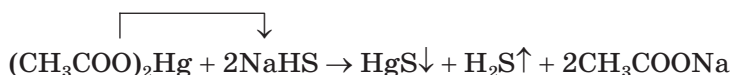
лия постепенно добавлять к соляной кислоте, сразу происходит выделение сернистого газа:



Если же соляную кислоту постепенно добавлять к раствору сульфита калия, то сначала будет образовываться кислая соль:



Другой пример — взаимодействие раствора ацетата ртути с раствором гидросульфида натрия:



Пример 9. В 156 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 18,25% и плотностью 1,09 г/мл постепенно растворили некоторое количество кристаллической соды. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что при растворении выделилось 7,84 л газа (н. у.).

Решение:

1) Определяем количества веществ хлороводорода в исходном растворе и газа, выделившегося в результате реакции:

$$m(\text{исходного раствора}) = 156 \cdot 1,09 = 170 \text{ г};$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{170 \cdot 0,1825}{36,5} = 0,85 \text{ моль};$$

$$n(\text{газа}) = \frac{7,84}{22,4} = 0,35 \text{ моль}.$$

2) При добавлении кристаллической соды ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) к соляной кислоте сначала кислота находится в избытке, поэтому сразу происходит выделение углекислого газа. Если бы вся кислота прореагировала, то выделилось бы $\frac{0,85}{2} = 0,425$ моль газа. Таким образом, ясно, что кислота была в избытке и ее прореагировало только $0,35 \cdot 2 = 0,7$ моль, а $0,85 - 0,7 = 0,15$ моль HCl осталось в растворе. В реакцию вступило 0,35 моль Na_2CO_3 и образовалось 0,7 моль NaCl. Записываем уравнение реакции и определяем количества веществ кристаллической соды и солей в образовавшемся растворе:

Было: 0,35 0,85



Прореагировало: 0,35 0,7 стало: 0,7 0,35 0,15

[. . .]

Данное издание продолжает линейку пособий учебно-методического комплекса «**100 баллов по химии**», получившего заслуженное признание у читателей. И это неспроста, ведь эти пособия подготовлены талантливыми преподавателями химии, которые, с одной стороны, своевременно учитывают требования государственного образовательного стандарта, а с другой — не теряют обратной связи с читателями.



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 Негребецкого**.

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. Рекомендуем 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)