

Самарский государственный аэрокосмический университет
Центр новых информационных технологий

Самарский государственный университет
Кафедра органической химии

*Автоматизированный учебный
комплекс для средней школы*

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Часть III

Как решать задачи

Учебное пособие

Г.И. Дерябина
Г.В. Кантария
А.В. Соловов

Самара 2000

Дерябина Г.И., Кантария Г.В., Соловов А.В. Органическая химия: часть 3. Как решать задачи/ Учебное пособие для средней школы. - Самара: ЦНИТ СГАУ, 2000. - 36 с.

Пособие является частью учебного комплекса "Органическая химия" для средней школы. Приведены основные понятия и законы, необходимые для решения задач, даны классификация типов задач, методика и образцы их решения. Пособие содержит сборник из 105 задач с ответами для самостоятельного решения. Задачи классифицированы по типам химических расчетов и темам трех других частей учебного комплекса (углеводороды, кислородсодержащие и азотсодержащие соединения). Большинство задач соответствует образовательным стандартам средней школы. Имеются задачи повышенной трудности олимпиадного и конкурсного уровня.

Пособие имеет электронные версии для CD ROM и Интернет/интранет, которые более комфортны в навигации по учебному материалу, чем их бумажный аналог.

Сферы применения пособия: школы, профессионально-технические училища и техникумы с углубленным изучением химии (фармацевтика, биология, нефтехимия), подготовительные курсы для поступления в вуз, младшие курсы вузов.

Пособие подготовлено в центре новых информационных технологий Самарского государственного аэрокосмического университета (ЦНИТ СГАУ) сотрудниками центра, преподавателями кафедры органической химии Самарского государственного университета и школы 124 г. Самары.

Дерябина Галина Ивановна
© Кантария Галина Валерьевна
Соловов Александр Васильевич

Содержание

Введение	4
1. Основные понятия и законы, используемые при решении задач	5
1.1. Измерение массы и объема	5
1.2. Масса атомов и молекул	6
1.3. Молярная масса	7
1.4. Концентрация вещества	9
1.5. Закон постоянства состава	9
1.6. Закон сохранения массы	10
1.7. Закон Авогадро	10
2. Методы решения расчетных задач	12
2.1. Основные типы расчетных задач	12
2.2. Общий план решения расчетных задач	13
2.3. Вычисление массы вещества по его количеству и количества по массе	14
2.4. Определение массовой доли элемента в веществе и компонента в смеси	14
2.5. Вычисление массы и объема газов	15
2.6. Вывод формул соединений	17
2.7. Расчеты по уравнениям реакций	19
2.8. Задачи повышенной трудности	23
3. Сборник задач	25
3.1. Классификация задач по темам учебного комплекса	25
3.2. Вычисление массы вещества по его количеству и количества по массе	25
3.3. Определение массовой доли элемента в веществе и компонента в смеси	26
3.4. Вычисление массы и объема газов	27
3.5. Вывод формул соединений	27
3.6. Расчет характеристик продуктов реакции по характеристикам исходных веществ и обратные вычисления	29
3.7. Расчет характеристик продуктов реакции при условии, что одно из реагирующих веществ взято в избытке	29
3.8. Расчет характеристик исходных веществ или продуктов реакции с учетом примесей	30
3.9. Расчет характеристик исходных веществ или продуктов реакции с учетом концентрации их в растворе (смеси)	31
3.10. Расчет массы, объема и количества веществ с учетом выхода продукта реакции	32
4. Ответы к задачам	34
Заключение	35
Литература	35
Приложение. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева	36

ВВЕДЕНИЕ

Химия является основой многих производств, требующих расчетов материального баланса расходов сырья и энергии, количества получаемой продукции, потерь в процессе производства и др. Владение приемами расчетов химических процессов является важным для их планирования и реализации как в лабораторных, так и в заводских условиях. Поэтому при изучении химии большое внимание уделяется методам решения расчетных задач. К тому же, решение задач способствует лучшему усвоению теории химических процессов.

В первом разделе данного пособия приведены краткие сведения об основных понятиях и химических законах, используемых при решении задач. Во втором разделе задачи классифицированы по типам химических расчетов, описан общий план решения задач и разобраны примеры-образцы решения задач различных типов. Третий раздел пособия содержит сборник из 105 задач для самостоятельного решения. Задачи классифицированы по типам химических расчетов и темам трех других частей учебного комплекса (углеводороды, кислородсодержащие и азотсодержащие соединения). Ответы к ним приведены в четвертом разделе. Большинство задач соответствует образовательным стандартам средней школы. Имеются задачи повышенной трудности олимпиадного и конкурсного уровня.

Пособие имеет электронные версии для CD ROM и Интернет/интранет, подготовленные по технологии системы КАДИС (системы Комплексов Автоматизированных Дидактических Средств) и более комфортные в навигации по учебному материалу, чем их бумажный аналог. Он-лайн версия пособия в Интернет размещена по двум адресам: на сервере ЦНИТ СГАУ (<http://cnit.ssau.ru>) и копия на сервере Университетского центра Интернет г. Самары (www.uic.ssu.samara.ru/~chemistry).

В подготовке пособия принимали участие зам. руководителя ЦНИТ СГАУ доцент к.т.н. А.В. Соловов (общее и методическое руководство, редактирование текста), доцент СамГУ к.х.н. Г.И. Дерябина и учитель химии Самарской школы № 124 Г.В. Кантария (подготовка содержания учебного материала). В разработке электронных версий пособия участвовали также программисты ЦНИТ СГАУ Меньшикова А.А., Мищук В.Т., Чегодаева О.П. и студенты СГАУ Т. Токмакова, А. Чегодаев.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Для решения расчетных задач необходимо иметь представление об основных физических характеристиках веществ (массе, объеме, плотности), параметрах состояния реагирующей системы (температуре, давлении, концентрации веществ) и единицах измерения этих величин.

Выполнение расчетов основано на понимании и умении использовать взаимосвязи между физическими характеристиками и параметрами состояния, которые отражены в основных законах химии: *постоянства состава; сохранения массы и энергии; Авогадро и др.*

Для успешного решения задач необходимо также владеть навыками выполнения математических операций: уметь составлять и решать уравнения, неравенства, производить действия с числами и т.п.

1.1. Измерение массы и объема

Масса (m) – мера инерции тела. Основная единица измерения массы в Международной системе единиц (СИ) – 1 кг. Такой массой обладает 1 литр дистиллированной воды при 20°C. $1/1000 \text{ кг} = 1 \text{ г}$. Объем 1 г воды равен 1 мл. Соответственно, 1 м^3 воды имеет массу 1000 кг или 1 т.

Практически массу тела определяют его взвешиванием, подбирая массу разновесов таким образом, чтобы весы пришли в равновесие.



Объем тела (V) – часть трехмерного пространства, занимаемая этим телом.

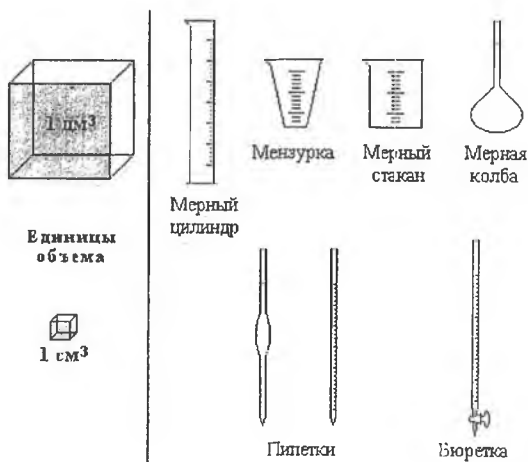
Единицы измерения объема:

- 1 см^3 (мл);
- 1 дм^3 (л) = $1\,000 \text{ см}^3$ (мл) = 10^3 см^3 (мл);
- 1 м^3 = $1\,000 \text{ дм}^3$ (л) = $1\,000\,000 \text{ см}^3$ (мл) = 10^6 см^3 (мл).

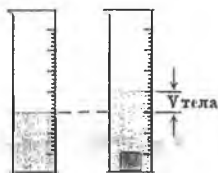
Отсюда: 1 см^3 (мл) = 10^{-3} дм^3 (л) = 10^{-6} м^3 (мл)

Основная единица объема в системе СИ – кубический метр (м^3), остальные являются производными.

Объемы жидкостей измеряют с помощью специальной мерной посуды: мерных цилиндров, стаканов, мензурок, калиброванных пипеток, бюреток, мерных колб.



Объемы твердых тел можно измерить при погружении их в воду, определив объем вытесненной воды с помощью мерной посуды.



1.2. Масса атомов и молекул

Для измерения масс атомов и молекул в физике и химии принята единая система измерения. Эти величины измеряются в относительных единицах.

Атомная единица массы (а.е.м.) равна $1/12$ массы m атома углерода ^{12}C (m одного атома ^{12}C равна $1,993 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$). Таким образом,

$$1 \text{ а.е.м.} = 1/12 m(^{12}\text{C}) = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,66057 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Относительная атомная масса элемента (A_r) – это безразмерная величина, равная отношению средней массы атома элемента к $1/12$ массы атома ^{12}C . При расчете относительной атомной массы учитывается изотопный состав элемента. Величины A_r определяют по таблице Д.И. Менделеева.

Абсолютная масса атома (m) равна относительной атомной массе, умноженной на 1 а.е.м. Например, для атома водорода абсолютная масса определяется следующим образом:

$$m(\text{H}) = 1,008 \cdot 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Относительная молекулярная масса соединения (M_r) – это безразмерная величина, равная отношению массы m молекулы вещества к $1/12$ массы атома ^{12}C :

$$M_r = m \text{ кг} / 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Относительная молекулярная масса равна сумме относительных масс атомов, входящих в состав молекулы. Например:

$$M_r(\text{C}_2\text{H}_6) = 2 \cdot A_r(\text{C}) + 6 \cdot A_r(\text{H}) = 2 \cdot 12 + 6 = 30.$$

Абсолютная масса молекулы равна относительной молекулярной массе, умноженной на 1 а.е.м.

1.3. Моль, молярная масса

В химических процессах участвуют мельчайшие частицы – молекулы, атомы, ионы, электроны. Число таких частиц даже в малой порции вещества очень велико. Поэтому, чтобы избежать математических операций с большими числами, для характеристики количества вещества, участвующего в химической реакции, используется специальная единица – моль.

• *Моль – это такое количество вещества, в котором содержится определенное число частиц (молекул, атомов, ионов), равное постоянной Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$).*

Постоянная Авогадро определяется как число атомов в 12 г изотопа ^{12}C

$$N_A = 12 \text{ г} / (12 \cdot 1,66057 \cdot 10^{-24} \text{ г}) = 1 / (1,66057 \cdot 10^{-24}) = 6,022 \cdot 10^{23} \approx 6,02 \cdot 10^{23}.$$

Таким образом, 1 моль вещества содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ частиц этого вещества. Исходя из этого, любое количество вещества можно выразить определенным числом молей ν (ню). Например, в образце вещества содержится $12,04 \cdot 10^{23}$ молекул. Следовательно, количество вещества в этом образце составляет

$$12,04 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} = 2 \text{ моль}.$$

В общем виде $\nu = N / N_A$,

где N – число частиц данного вещества;

N_A – число частиц в одном моле вещества (постоянная Авогадро).

Молярная масса вещества (М) – масса одного моля этого вещества. По величине она равна относительной молекулярной массе M_r (для веществ атомного строения – относительной атомной массе A_r). Молярная масса имеет размерность г/моль.

Например, молярная масса метана CH_4 определяется следующим образом:

$$M_r(\text{CH}_4) = A_r(\text{C}) + 4 A_r(\text{H}) = 12 + 4 = 16.$$

$M(\text{CH}_4) = 16$ г/моль, т.е. 16 г CH_4 содержат $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул этого вещества.

Молярную массу вещества можно вычислить, если известны его масса m и количество (число молей) ν , по формуле:

$$M = m/\nu.$$

Соответственно, зная массу и молярную массу вещества, можно рассчитать число его молей

$$\nu = m/M$$

или найти массу вещества по числу молей и молярной массе

$$m = \nu \cdot M.$$

Необходимо отметить, что значение молярной массы вещества определяется его качественным и количественным составом, т.е. зависит от M_r и A_r .

Поэтому разные вещества при одинаковом количестве молей имеют различные массы m .

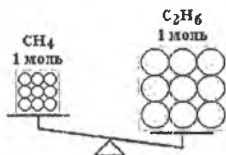
Пример: Вычислить массы метана CH_4 и этана C_2H_6 , взятых в количестве $\nu = 2$ моль каждого.

Молярная масса метана равна 16 г/моль, а этана C_2H_6 – 30 г/моль.

Отсюда: $m(\text{CH}_4) = 2 \text{ моль} \cdot 16 \text{ г/моль} = 32 \text{ г}$;

$m(\text{C}_2\text{H}_6) = 2 \text{ моль} \cdot 30 \text{ г/моль} = 60 \text{ г}$.

Таким образом, моль – это порция вещества, содержащая одно и то же число частиц, но имеющая разную массу для разных веществ, т.к. частицы вещества (атомы и молекулы) не одинаковы по массе.



Заметим, что вычисление ν используется практически в каждой расчетной задаче.

1.4. Концентрация вещества

- *Концентрация – это величина, характеризующая содержание вещества в единице массы или объема смеси.*

Содержание вещества может быть выражено в единицах массы, количества вещества и объема. Наиболее распространенными способами выражения концентрации вещества являются массовая доля (ω), мольная и объемная доли (φ) и молярная концентрация (C_m).

$\omega(\text{вещества}) = m(\text{вещества}) / m(\text{смеси})$ – показывает число г вещества в 100 г смеси (или число кг в 100 кг смеси и т.п.).

$\varphi(\text{вещества}) = v(\text{вещества}) / v(\text{смеси}) = V(\text{вещества}) / V(\text{смеси})$.

$C_m(\text{вещества}) = \nu(\text{вещества}) / V(\text{смеси})$ – отражает число моль вещества в 1 л смеси (размерность моль/л).

1.5. Закон постоянства состава

- *Все индивидуальные вещества имеют постоянный качественный и количественный состав независимо от способа их получения.*

На основании этого закона состав веществ выражается химической формулой с помощью химических знаков и индексов. Например, H_2O , CH_4 , C_2H_5OH и т.п.

Этот закон сформулировал французский химик Жозеф Луи Пруст, который утвердил его в длительном споре (1801-1808 гг.) со своим знаменитым соотечественником Клодом Луи Бертолле, считавшим состав химических соединений переменным.

Закон постоянства состава справедлив для веществ молекулярного строения. Наряду с веществами, имеющими постоянный состав, существуют вещества переменного состава. К ним относятся соединения, в которых чередование нераздельных структурных единиц (атомов, ионов) осуществляется с нарушением периодичности.

В связи с наличием соединений переменного состава современная формулировка закона постоянства состава содержит уточнение.

- *Состав соединений молекулярного строения, то есть состоящих из молекул, является постоянным независимо от способа получения. Состав же соединений с немолекулярной структурой (с атомной, ионной и металлической решеткой) не является постоянным и зависит от условий получения.*

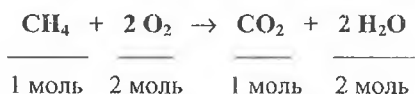
1.6. Закон сохранения массы

• *Масса веществ, вступающих в химическую реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате реакции.*

Этот закон сформулирован русским ученым-естествоиспытателем Михаилом Васильевичем Ломоносовым в 1748 г.

Закон сохранения массы является частным случаем общего закона природы – закона сохранения материи и энергии. На основании этого закона химические реакции можно отобразить с помощью химических уравнений, используя химические формулы веществ и стехиометрические коэффициенты, отражающие относительные количества (число молей) участвующих в реакции веществ.

Например, реакция горения метана записывается следующим образом:



На основании химических уравнений проводятся стехиометрические расчеты.

1.7. Закон Авогадро

Этот закон был сформулирован итальянским ученым Амедео Авогадро в 1811 году и в дальнейшем был назван его именем.

• *В равных объемах газов (V) при одинаковых условиях (температуре T и давлении P) содержится одинаковое число молекул.*

Следствие из закона Авогадро: *один моль любого газа при одинаковых условиях занимает одинаковый объем.*

В частности, при нормальных условиях, т.е. при 0°C (273K) и 101,3 кПа, объем 1 моля газа, равен 22,4 л. Этот объем называют молярным объемом газа V_m . Таким образом, при нормальных условиях (н.у.) молярный объем любого газа $V_m = 22,4 \text{ л/моль}$.

Закон Авогадро используется в расчетах для газообразных веществ. При пересчете объема газа от нормальных условий к любым иным используется объединенный газовый закон Бойля-Мариотта и Гей-Люссака

$$PV / T = P_0 V_0 / T_0,$$

где P_0 , V_0 , T_0 - давление, объем газа и температура при нормальных условиях ($P_0 = 101,3 \text{ кПа}$; $T_0 = 273\text{K}$).

Если известна масса (m) или количество (ν) газа и требуется вычислить его объем, или наоборот, используют уравнение Менделеева - Клапейрона

$$PV = \nu RT,$$

где $\nu = m/M$ - отношение массы вещества к его молярной массе,

R - универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·К).

Из закона Авогадро вытекает еще одно важное следствие: *отношение масс одинаковых объемов двух газов есть величина постоянная для данных газов*. Эта постоянная величина называется относительной плотностью газа и обозначается D . Так как молярные объемы всех газов одинаковы (1-е следствие закона Авогадро), то отношение молярных масс любой пары газов также равно этой постоянной:

$$D = M_1/M_2,$$

где M_1 и M_2 - молярные массы двух газообразных веществ.

Величина D определяется экспериментально как отношение масс одинаковых объемов исследуемого газа (M_1) и эталонного газа с известной молекулярной массой (M_2). По величинам D и M_2 можно найти молярную массу исследуемого газа

$$M_1 = D \cdot M_2.$$

2. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ

2.1. Основные типы расчетных задач

Расчетные задачи можно разделить на две категории.

1. *Задачи, связанные с использованием формул веществ.*
2. *Расчеты по уравнениям реакций.*

Среди задач **первой категории** в зависимости от искомой величины выделяют следующие типы:

- *вычисление массы вещества по его количеству и обратный расчет;*
- *определение массовой доли элемента в веществе по его молекулярной массе и наоборот;*
- *расчет объемов и объемных долей газов с использованием газовых законов (Авогадро, Бойля – Мариотта, Гей-Люссака, Менделеева–Клапейрона);*
- *вывод формул соединений по количественному составу.*

Задачи **второй категории**, как правило, основаны на применении закона сохранения массы вещества. Эти задачи также подразделяются на несколько типов:

- *задачи на вычисление количества, массы и объема исходных веществ по количеству, массе и объему продуктов реакции и обратные расчеты;*
- *расчет количества, массы и объема продуктов реакции, если один из реагентов взят в избытке;*
- *вычисление количества, массы и объема продуктов реакции, если один из реагентов содержит примеси;*
- *задачи на определение выхода продукта реакции от теоретически возможного;*
- *вычисления по уравнениям реакций, протекающих в растворах и требующих учета концентрации реагентов;*
- *термохимические расчеты.*

Перечисленные типы расчетов используются в различных сочетаниях при решении комбинированных задач, которые обычно предлагаются на выпускных и вступительных экзаменах, олимпиадах или конкурсах.

2.2. Общий план решения расчетных задач

Чтобы решить химическую задачу рекомендуется следующий порядок действий.

1. Изучите внимательно условия задачи. Определите, с какими величинами предстоит проводить вычисления, обозначьте их буквами, установите единицы их измерения (табл. 2.1), числовые значения, определите, какая величина является искомой. Запишите данные задачи в виде кратких условий.
2. Если в условиях задачи идет речь о взаимодействии веществ, запишите уравнение реакции (реакций) и уравняйте его (их) коэффициентами.
3. Выясните количественные соотношения между исходными данными задачи и искомой величиной. Для этого расчлените свои действия на этапы, начав с вопроса задачи, выяснения закономерности, с помощью которой можно определить искомую величину на последнем этапе вычислений. Если в исходных данных не хватает каких-либо величин, подумайте, как их можно вычислить, т.е. определите предварительные этапы расчета. Этих этапов может быть несколько.
4. Определите последовательность всех этапов решения задачи, запишите необходимые формулы расчетов.
5. Подставьте соответствующие числовые значения величин, проверьте их размерности, произведите вычисления.

Таблица 2.1

Физические величины, используемые при решении задач

Наименование величин	Обозначение	Единицы измерения	Форма записи
Масса вещества	m	мг, г, кг	$m(\text{C}_2\text{H}_4)=30 \text{ кг}$
Относительная атомная масса	A_r	безразмерная	$A_r(\text{C})=12$
Относительная молекулярная масса	M_r	безразмерная	$M_r(\text{CH}_4)=16$
Количество вещества	ν (ню)	моль	$\nu(\text{CH}_4)=1,2 \text{ моль}$
Молярная масса	M	г/моль, кг/моль	$M(\text{CO}_2)=44 \text{ г/моль}$
Объем вещества	V	л, м ³ , мл	$V(\text{O}_2)=10 \text{ л}$
Молярный объем	V_m	л/моль, м ³ /моль	$V_m=22,4 \text{ л/моль}$
Плотность вещества	ρ (ро)	г/мл, г/см ³ , кг/м ³	$\rho(\text{H}_2\text{O})=1 \text{ г/мл}$
Относительная плотность	D	безразмерная	$D_{\text{H}_2}=15$
Массовая доля вещества в растворе или смеси	ω (омега)	безразмерная или в %	$\omega(\text{C})=0,45$
Объемная доля газа в смеси	φ (фи)	безразмерная или в %	$\varphi(\text{CO}_2)=25\%$
Массовая доля выхода вещества в реакции	ω (омега)	безразмерная или в %	$\omega(\text{выхода } \text{CCl}_4)=75\%$

2.3. Вычисление массы вещества по его количеству и количества по массе

Задача. Вычислите массу метана количеством вещества 0,1 моль.

Подойдем к решению задачи в соответствии с вышеприведенным общим планом (см.п. 2.2). Запишем краткие условия задачи и решим ее.

Дано:

$$\nu(\text{CH}_4) = 0,1 \text{ моль.}$$

$$m(\text{CH}_4) = ?$$

Решение

Для определения массы метана используем формулу:

$$\nu(\text{CH}_4) = m(\text{CH}_4) / M(\text{CH}_4).$$

Из этой формулы следует:

$$m(\text{CH}_4) = \nu(\text{CH}_4) \cdot M(\text{CH}_4);$$

$$M(\text{CH}_4) = 16 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{CH}_4) = 0,1 \text{ моль} \cdot 16 \text{ г/моль} = 1,6 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{CH}_4) = 1,6 \text{ г.}$

2.4. Определение массовой доли элемента в веществе и компонента в смеси

Многие характеристики вещества являются суммой нескольких составляющих, каждая из которых представляет определенную долю от целого. Математически долю каждой составляющей определяют как частное от деления части на целое (меньшей величины на большую). Например, массовая доля водорода $\omega(\text{H})$ в этиловом спирте $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ вычисляется следующим образом:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 2M(\text{C}) + 6M(\text{H}) + M(\text{O}) = 2 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 16 = 46 \text{ г/моль};$$

$$\omega(\text{H}) = 6M(\text{H}) / M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 6 \text{ г} / 46 \text{ г} = 0,13.$$

Часто долю выражают в процентах. Для этого полученный результат умножают на 100. То есть в нашем случае это будет 13 %.

Полученная величина ω показывает, что в каждом г (кг, т) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ содержится 0,13 г (кг, т) водорода или каждые 100 г (кг, т) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ содержат 13 г (кг, т) водорода.

Задача 1. Вычислить массовые доли каждого из элементов, входящих в состав углеводорода, формула которого C_6H_{12} .

Дано:

Состав вещества C_6H_{12}

$$\omega(\text{C}) = ?$$

$$\omega(\text{H}) = ?$$

Решение

$$\omega(\text{C}) = 6M(\text{C}) / M(\text{C}_6\text{H}_{12}).$$

$$\omega(\text{H}) = 12M(\text{H}) / M(\text{C}_6\text{H}_{12}).$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 = 84 \text{ г/моль.}$$

$$\omega(\text{C}) = 6 \cdot 12 \text{ г} / 84 \text{ г} = 72 \text{ г} / 84 \text{ г} = 0,85 (85\%).$$

$$\omega(\text{H}) = 12 \text{ г} / 84 \text{ г} = 0,15 (15\%).$$

Ответ: $\omega(\text{C}) = 0,85 (85\%); \omega(\text{H}) = 0,15 (15\%).$

Задача 2. Из нефти получают бензин (массовая доля его в нефти составляет 25%) и мазут (55%). При дальнейшей переработке мазута получают еще некоторое количество бензина (60% от массы мазута). Рассчитайте массу бензина, который будет получен из нефти массой 200 кг.

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{нефти}) &= 200 \text{ кг} \\ \omega_1(\text{бензина в нефти}) &= 25\% \\ \omega_2(\text{бензина в мазуте}) &= 60\% \\ \omega(\text{мазута}) &= 55\% \end{aligned}$$

$$m(\text{бензина}) = ?$$

Решение

$m(\text{бензина}) = m_1 + m_2$, где m_1 – масса бензина, полученного из нефти; m_2 – масса бензина, полученного из мазута.

$$m_1 = m(\text{нефти}) \cdot \omega_1 = 200 \text{ кг} \cdot (25\% / 100\%) = 50 \text{ кг}.$$

$$m_2 = \omega_2 \cdot m(\text{мазута}).$$

Так как $m(\text{мазута}) = m(\text{нефти}) \cdot \omega(\text{мазута})$, то

$$m_2 = (60\% / 100\%) \cdot 200 \text{ кг} \cdot (55\% / 100\%) = 66 \text{ кг}.$$

$$\text{Отсюда } m(\text{бензина}) = 50 \text{ кг} + 66 \text{ кг} = 116 \text{ кг}.$$

Ответ: $m(\text{бензина}) = 116 \text{ кг}.$

2.5. Вычисление массы и объема газов

Задача 1. Вычислить объем диоксида углерода при н.у., взятого количеством вещества 3 моль.

Дано:

$$v(\text{CO}_2) = 3 \text{ моль}.$$

$$V(\text{CO}_2) = ?$$

Решение

Для расчета V газа воспользуемся формулой:

$$V(\text{CO}_2) = v(\text{CO}_2) \cdot V_m.$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль при н.у.}$$

$$V(\text{CO}_2) = 3 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 67,2 \text{ л}.$$

Ответ: $V(\text{CO}_2) = 67,2 \text{ л}.$

Задача 2. Вычислить массу этилена, занимающего при н.у. объем 28 л.

Дано:

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = 28 \text{ л при н.у.}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_4) = ?$$

Решение

Для расчета $m(\text{C}_2\text{H}_4)$ воспользуемся формулой:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4) = v(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_4). \quad (1)$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_4) = 28 \text{ г/моль}.$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль при н.у.}$$

$$v(\text{C}_2\text{H}_4) = V(\text{C}_2\text{H}_4) / V_m = 28 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 1,25 \text{ моль}.$$

Подставив эту величину в формулу (1), получим решение задачи

$$m(\text{C}_2\text{H}_4) = 1,25 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 35 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{C}_2\text{H}_4) = 35 \text{ г}.$

Задача 3. Вычислить объемную долю метана в смеси, состоящей из 30 л метана, 5 л этана и 2 л водорода. Объемы газов измерены при одинаковых условиях.

Дано:

$$V(\text{CH}_4) = 30 \text{ л};$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) = 5 \text{ л};$$

$$V(\text{H}_2) = 2 \text{ л}.$$

$$\varphi(\text{CH}_4) = ?$$

Решение

Объемная доля φ определяется по аналогии с массовой долей и равна отношению V данного газа к общему объему смеси:

$$\varphi(\text{CH}_4) = V(\text{CH}_4) / V(\text{смеси}).$$

$$V(\text{смеси}) = 30 \text{ л} + 5 \text{ л} + 2 \text{ л} = 37 \text{ л}, \text{ тогда}$$

$$\varphi(\text{CH}_4) = 30 \text{ л} / 37 \text{ л} = 0,81 \text{ (81\%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{CH}_4) = 0,81 \text{ (81\%)}.$

Довольно часто учащиеся не видят различий между массовыми и объемными долями веществ, считая их пропорциональными друг другу.

Чтобы показать ошибочность таких представлений, рассмотрим решение задачи, в которой расчет объемов газов связан с вычислениями их масс.

Задача 4. Имеется газовая смесь, массовые доли газа в которой равны (в %): метана – 65, водорода – 35. Определите объемные доли газов в этой смеси.

Дано:

$$\omega(\text{CH}_4) = 65\%,$$

$$\omega(\text{H}_2) = 35\%.$$

$$\varphi(\text{CH}_4) = ?$$

$$\varphi(\text{H}_2) = ?$$

Решение

Для расчетов выбираем массу газовой смеси, равную 100 г, т.е. $m(\text{смеси}) = 100 \text{ г}$. Тогда массы и количества веществ молекулярных водорода и азота будут равны:

$$m(\text{H}_2) = m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{H}_2);$$

$$m(\text{H}_2) = 100 \text{ г} \cdot 0,35 = 35 \text{ г};$$

$$m(\text{CH}_4) = m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{CH}_4);$$

$$m(\text{CH}_4) = 100 \text{ г} \cdot 0,65 = 65 \text{ г};$$

$$\nu(\text{H}_2) = m(\text{H}_2) / M(\text{H}_2);$$

$$\nu(\text{H}_2) = 35 \text{ г} / 2 \text{ г/моль} = 17,5 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{CH}_4) = m(\text{CH}_4) / M(\text{CH}_4);$$

$$\nu(\text{CH}_4) = 65 \text{ г} / 16 \text{ г/моль} = 4,06 \text{ моль}.$$

Пусть молярный объем газов при тех условиях, в которых находится смесь, равен V_m . Тогда объемы газов составят:

$$V(\text{H}_2) = V_m \nu(\text{H}_2);$$

$$V(\text{H}_2) = V_m \cdot 17,5 \text{ моль};$$

$$V(\text{CH}_4) = V_m \nu(\text{CH}_4);$$

$$V(\text{CH}_4) = V_m \cdot 4,06 \text{ моль}.$$

Если газы не вступали в химическое взаимодействие, то объем газовой смеси будет равен сумме объемов газов, т.е.

$$V(\text{смеси}) = V(\text{H}_2) + V(\text{CH}_4),$$

$$V(\text{смеси}) = (V_m \cdot 17,5 \text{ моль} + V_m \cdot 4,06 \text{ моль}) \text{ л} = (V_m \cdot 21,56 \text{ моль}) \text{ л}.$$

Определяем объемные доли газов:

$$\varphi(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) / V(\text{смеси});$$

$$\varphi(\text{H}_2) = (V_m \cdot 17,5) / (V_m \cdot 21,56) = 0,81 \text{ или } 81\%;$$

$$\varphi(\text{CH}_4) = V(\text{CH}_4) / V(\text{смеси});$$

$$\varphi(\text{CH}_4) = (V_m \cdot 4,06) / (V_m \cdot 21,56) = 0,19 \text{ или } 19\%.$$

Ответ: $\varphi(\text{H}_2) = 81\%$; $\varphi(\text{CH}_4) = 19\%$.

Следовательно, числовые значения массовых и объемных долей не совпадают

2.6. Вывод формул соединений

Этот вид расчетов чрезвычайно важен для химической практики, т.к. позволяет на основании экспериментальных данных определить формулу вещества (простейшую и молекулярную). На основании данных качественного и количественного анализов химик находит сначала соотношение атомов в молекуле (или другой структурной единице вещества), т.е. его простейшую формулу.

Например, анализ показал, что вещество является углеводородом C_xH_y , в котором массовые доли углерода и водорода соответственно равны 0,8 и 0,2 (80% и 20%). Чтобы определить соотношение атомов элементов, достаточно определить количества их вещества (число молей):

$$v(\text{C}) = m(\text{C}) / M(\text{C});$$

$$v(\text{C}) = 0,8 \text{ г} / 12 \text{ г/моль} = 0,0666 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}) = m(\text{H}) / M(\text{H});$$

$$v(\text{H}) = 0,2 \text{ г} / 1 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(\text{C}) : v(\text{H}) = 0,0666 : 0,2 = 1 : 3.$$

Целые числа (1 и 3) получены делением числа 0,2 на число 0,0666. Число 0,0666 примем за 1. Число 0,2 в 3 раза больше, чем число 0,0666. Таким образом, CH_3 является **простейшей** формулой данного вещества.

Соотношению атомов С и Н, равному 1:3, соответствует бесчисленное количество формул: C_2H_6 , C_3H_9 , C_4H_{12} и т.д., но из этого ряда только одна формула является **молекулярной** для данного вещества, т.е. отражающей истинное количество атомов в его молекуле. Чтобы вычислить молекулярную формулу, кроме количественного состава вещества, необходимо знать его молекулярную массу. Для определения этой величины часто используется значение относительной плотности газа D .

Так, для вышеприведенного случая $D_{\text{H}_2} = 15$.

Тогда $M(\text{C}_x\text{H}_y) = 15 M(\text{H}_2) = 15 \cdot 2 \text{ г/моль} = 30 \text{ г/моль}$.

Поскольку $M(\text{CH}_3) = 15$, то для соответствия с истинной молекулярной массой необходимо удвоить индексы в формуле. Следовательно, молекулярная формула вещества: C_2H_6 .

Определение формулы вещества зависит от точности математических вычислений. При нахождении значения ν элемента следует учитывать хотя бы два знака после запятой и аккуратно производить округление чисел. Например, $0,8878 \approx 0,89$, но не 1.

Соотношение атомов в молекуле не всегда определяется простым делением полученных чисел на меньшее число. Рассмотрим этот случай на следующем примере.

Задача 1. Установите формулу вещества, которое состоит из углерода ($\omega=25\%$) и алюминия ($\omega=75\%$).

Дано:

$$\omega(\text{C}) = 25\% (0,25)$$

$$\omega(\text{Al}) = 75\% (0,75)$$

$$\text{Al}_x\text{C}_y = ?$$

Решение

$$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}, M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}.$$

Величина ω показывает, сколько граммов каждого элемента приходится на 100 г соединения, т.е. $m(\text{Al}) = 75 \text{ г}$, $m(\text{C}) = 25 \text{ г}$.

$$\nu(\text{Al}) : \nu(\text{C}) = (75 \text{ г} / 27 \text{ г/моль}) : (25 \text{ г} / 12 \text{ г/моль}) = 2,78 : 2,08$$

Для приведения полученных чисел к целым недостаточно простого деления большего числа на меньшее ($2,78 : 2,08 = 1,34 : 1$).

Поэтому меньшее число делится последовательно на целые числа 2, 3, 4, 5 и т.д. до тех пор, пока полученная при делении величина не будет укладываться в большем числе целое число раз. Разделим 2,08 на 2. Полученное число 1,04 не укладывается целое число раз в числе 2,78 ($2,78 : 1,04 = 2,67 : 1$). Теперь разделим 2,08 на 3. При этом получается число 0,69, которое укладывается ровно 4 раза в числе 2,78 и 3 раза в числе 2,08. Следовательно, индексы x и y в формуле вещества Al_xC_y равны 4 и 3, соответственно.

Ответ: Al_4C_3 (карбид алюминия).

Более сложным вариантом задач на вывод формул соединений является случай, когда состав вещества задается через продукты сгорания этих соединений.

Задача 2. При сжигании углеводорода массой 8,316 г образовалось 26,4 г CO_2 . Плотность вещества при нормальных условиях равна 1,875 г/мл. Напишите его молекулярную формулу.

Дано:

$m(C_xH_y) = 8,316 \text{ г};$
 $m(CO_2) = 26,4 \text{ г};$
 $\rho(C_xH_y) = 1,875 \text{ г/л}.$

$x = ?$

$y = ?$

Решение

Для определения x и y (количества углерода и водорода) необходимо знание масс каждого элемента. Чтобы вычислить эти величины, определим массовую долю (ω) углерода в CO_2 , а затем его массу (m) и, тем самым, узнаем его содержание в исследуемом углеводороде:

$$M(CO_2) = (12 + 32) \text{ г/моль} = 44 \text{ г/моль};$$

$$\omega(C) = m(C) / m(CO_2) = (12 \text{ г}) / (44 \text{ г}) = 0,27;$$

$$m(C) = m(CO_2) \omega(C) = 26,4 \text{ г} \cdot 0,27 = 7,128 \text{ г}.$$

Тогда $m(H) = 8,316 \text{ г} - 7,128 \text{ г} = 1,188 \text{ г}.$

Определим простейшую формулу вещества:

$$\nu(C) : \nu(H) = 7,128/12 : 1,188 / 1 = 0,594 : 1,188.$$

После приведения к целым числам по вышеприведенной методике получаем простейшую формулу C_3H_6 $M(C_3H_6) = 42 \text{ г/моль}.$

Находим по плотности молекулярную формулу:

$$M = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 1,875 \text{ г/л} = 42 \text{ г/моль},$$

т.е. простейшая формула совпадает с молекулярной.

Ответ: C_3H_6 .

2.7. Расчеты по уравнениям реакций

Расчеты, связанные с уравнениями реакций, называются стехиометрическими. Они основаны на законе сохранения массы веществ и позволяют решать задачи:

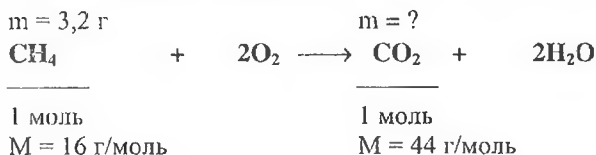
- вычисления массы (объема, количества вещества) продуктов реакции по массе (объему, количеству вещества) одного или двух реагирующих веществ (задачи на "избыток" и "недостаток");
- определения массовых (объемных) долей примесей в исходном веществе;
- расчета массовой (объемной) доли выхода продукта,
- расчета с учетом концентраций веществ.

Стехиометрические расчеты используются также для решения задач, обратных вышеперечисленным. В расчетах по уравнениям реакций важно уметь правильно расставить стехиометрические коэффициенты.

Расчет массы (объема, количества) продуктов реакции по массе (объему, количеству вещества) исходных веществ и обратные вычисления

Задача. Какую массу углекислого газа можно получить, если сжечь 3,2 г метана? Определите объем, который займет углекислый газ, образовавшийся в этой реакции при нормальных условиях.

Краткие условия в данном случае целесообразно записать, учитывая уравнение реакции сгорания метана, следующим образом:



Решение

1. Находим количество вещества метана, вступившего в реакцию,

$$\nu(\text{CH}_4) = m(\text{CH}_4) / M(\text{CH}_4) = 3,2 \text{ г} / 16 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}.$$

2. Количество углекислого газа согласно уравнению реакции равно количеству метана:

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{CH}_4) = 0,2 \text{ моль}.$$

3. Определяем массу CO_2 :

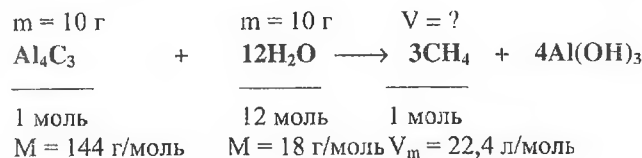
$$m(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 8,8 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{CO}_2) = 8,8 \text{ г}$.

Расчет массы (объема, количества) продуктов реакции при условии, что одно из реагирующих веществ взято в избытке

Задача. Какой объем метана (н.у.) выделится при взаимодействии 10 г карбида алюминия (Al_4C_3) с 10 г воды?

Краткие условия:



Решение

1. Находим количества вступивших в реакцию веществ:

$$\nu(\text{Al}_4\text{C}_3) = m(\text{Al}_4\text{C}_3) / M(\text{Al}_4\text{C}_3) = 10 \text{ г} / 144 \text{ г/моль} = 0,069 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 10 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 0,55 \text{ моль}.$$

Так как на 1 моль Al_4C_3 требуется в 12 раз большее количество вещества воды, то на 0,069 моль Al_4C_3 необходимо 0,828 моль воды. Следовательно, 0,55 моль воды недостаточно для реакции с 0,069 моль Al_4C_3 , который взят в избытке и прореагирует неполностью.

2. Определим $v(\text{CH}_4)$ по веществу, взятому в недостатке,

$$v(\text{CH}_4) = 0,55 \text{ моль} / 4 = 0,137 \text{ моль}.$$

3. Рассчитаем объем метана, образовавшегося в реакции,

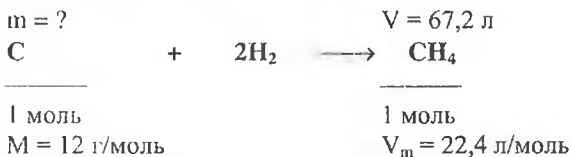
$$V(\text{CH}_4) = v(\text{CH}_4) \cdot V_m = 0,137 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 3,07 \text{ л}.$$

Ответ: $V(\text{CH}_4) = 3,07 \text{ л}$.

Расчет массы, объема и количества исходных веществ или продуктов реакции с учетом примесей

Задача. Определить массу образца технического углерода, содержащего 3% примесей, необходимого для получения 67,2 л (н.у.) метана.

Краткие условия:



Решение

1. Найдем массовую долю углерода в образце

$$\omega(\text{C}) = 100\% - 3\% = 97\% (0,97).$$

2. Определим количество вещества метана

$$v(\text{CH}_4) = V(\text{CH}_4) / V_m = 67,2 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 3 \text{ моль}.$$

3. Рассчитаем массу углерода по уравнению реакции с учетом его содержания в техническом образце:

$$v(\text{C}) = v(\text{CH}_4) = 3 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}) = v(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 3 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 36 \text{ г};$$

$$m(\text{образца C}) = m(\text{C}) / \omega(\text{C}) = 36 \text{ г} / 0,97 = 37,1 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{образца C}) = 37,1 \text{ г}$.

Расчет массы, объема и количества исходных веществ или продуктов реакции с учетом концентрации их в растворе (смеси)

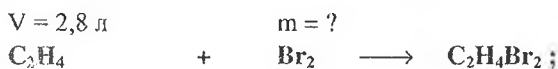
Задача. Сколько граммов бромной воды с массовой долей брома 3,2% потребуется для реакции с 10 л смеси этана и этилена, в которой объемная доля этилена равна 28%?

Решение

1. Определим объем этилена в исходной смеси газов:

$$V(C_2H_4) = V(\text{смеси}) \cdot \varphi(C_2H_4) = 10 \text{ л} \cdot 0,28 = 2,8 \text{ л}$$

2. С бромной водой реагирует этилен. Проведем расчет по уравнению реакции:



$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ моль} & & 1 \text{ моль} \\ V_M = 22,4 \text{ л/моль} & & M = 160 \text{ г/моль} \end{array}$$

$$v(C_2H_4) = V(C_2H_4) / V_m = 2,8 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,125 \text{ моль};$$

$$v(Br_2) = v(C_2H_4) = 0,125 \text{ моль};$$

$$m(Br_2) = v(Br_2) \cdot M(Br_2) = 0,125 \text{ моль} \cdot 160 \text{ г/моль} = 20 \text{ г}.$$

3. Определим массу бромной воды (раствора брома в воде)

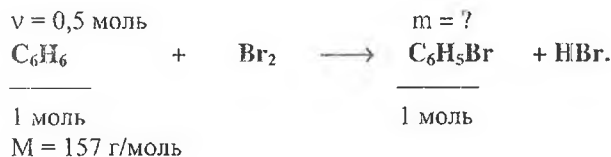
$$m(\text{раствора}) = m(Br_2) / \omega(Br_2) = 20 \text{ г} / 0,032 = 625 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{раствора } Br_2) = 625 \text{ г}.$

Расчет массы, объема и количества веществ с учетом выхода продукта реакции

Задача. Бензол количеством вещества 0,5 моль прореагировал с избытком брома (в присутствии катализатора). При этом получили бромбензол массой 70 г. Определите массовую долю выхода бромбензола.

Краткие условия:



Решение:

$$v(C_6H_5Br) = v(C_6H_6) = 0,5 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})_{\text{теор}} = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 0,5 \text{ моль} \cdot 157 \text{ г/моль} = 78,5 \text{ г};$$

$$\omega(\text{выхода } \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})_{\text{практ}} / m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})_{\text{теор}} = 70 \text{ г} / 78,5 \text{ г} = 0,89 \text{ (89\%)}. \quad \omega(\text{выхода } \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 0,89 \text{ (89\%)}. \quad \text{Ответ: } \omega(\text{выхода } \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 0,89 \text{ (89\%)}. \quad \text{2.8. Задачи повышенной трудности}$$

2.8. Задачи повышенной трудности

На олимпиадах и вступительных экзаменах в вузы предлагаются более сложные задачи, чем рассмотренные нами ранее. Обычно в них сочетаются различные типы расчетов – как по формулам веществ, так и по уравнениям реакций. Решение таких задач требует не только глубоких знаний химии, но и развитого логического мышления, владения алгебраическим аппаратом (системы уравнений с несколькими неизвестными, неравенства, степенные и логарифмические функции и т.п.).

Рассмотрим решение одной из олимпиадных задач (г. Самара).

Задача. При дегидрировании смеси циклогексана и циклогексена в бензол выделился водород массой, достаточной для полного восстановления 36,9 г нитробензола в анилине. Найти процентный (по массе) состав исходной смеси, если известно, что такая же масса этой смеси может обесцветить 480 г 10%-ного раствора брома в CCl_4 .

Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 36,9 \text{ г};$$

$$m(\text{р-ра Br}_2) = 480 \text{ г};$$

$$\omega(\text{Br}_2) = 10\%.$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_{10}) = ?$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_{12}) = ?$$

Решение

Для определения доли циклогексана и циклогексена в исходной смеси нужно определить массу каждого из этих веществ и массу смеси. Эти величины можно рассчитать по уравнениям реакций дегидрирования исходных углеводородов. Но предварительно необходимо определить количества веществ, по которым будут проведены расчеты искоемых величин.

1. Определим $m(\text{Br}_2)$ в растворе CCl_4

$$m(\text{Br}_2) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{Br}_2) = 480 \text{ г} \cdot 0,1 = 48 \text{ г}.$$

2. Из углеводородов исходной смеси с Br_2 реагирует только циклогексен C_6H_{10} , являющийся ненасыщенным соединением. По уравнению этой реакции рассчитаем массу C_6H_{10} :

$$m = ?$$



+

$$m = 48 \text{ г}$$



$$1 \text{ моль}$$

$$M = 82 \text{ г/моль}$$

$$1 \text{ моль}$$

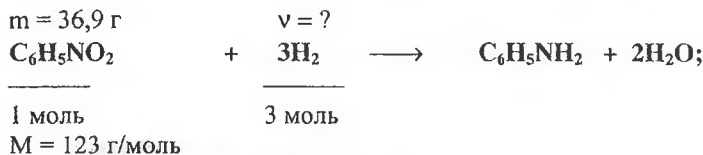
$$M = 160 \text{ г/моль}$$

$$\nu(\text{Br}_2) = m(\text{Br}_2) / M(\text{Br}_2) = 48 \text{ г} / 160 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ моль};$$

$$v(\text{C}_6\text{H}_{10}) = v(\text{Br}_2) = 0,3 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{10}) = v(\text{C}_6\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{10}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 82 \text{ г/моль} = 24,6 \text{ г}.$$

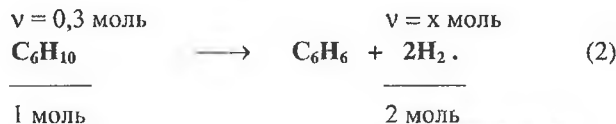
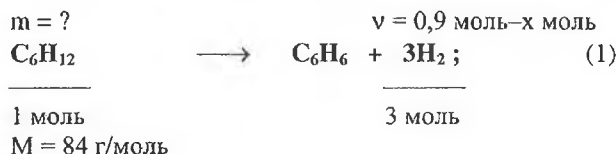
3. Рассчитаем количество вещества H_2 , использованного на восстановление нитробензола:



$$v(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) / M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 36,9 \text{ г} / 123 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}_2) = 3v(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 0,9 \text{ моль}.$$

4. Массу циклогексана рассчитаем из уравнений реакций дегидрирования углеводородов:



Из уравнения (2) следует, что $x = v(\text{H}_2) = 0,6 \text{ моль}$.

Тогда количество водорода, выделившегося в реакции (1),

$$v(\text{H}_2) = 0,9 \text{ моль} - 0,6 \text{ моль} = 0,3 \text{ моль}.$$

Отсюда: $v(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 0,3 \text{ моль} / 3 = 0,1 \text{ моль}$;

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}) = v(\text{C}_6\text{H}_{12}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 0,1 \text{ моль} \cdot 84 \text{ г/моль} = 8,4 \text{ г}.$$

5. Определим массу исходной смеси углеводородов

$$m(\text{смеси}) = m(\text{C}_6\text{H}_{12}) + m(\text{C}_6\text{H}_{10}) = 8,4 \text{ г} + 24,6 \text{ г} = 33,0 \text{ г}.$$

6. Рассчитаем массовые доли углеводородов в исходной смеси:

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_{10}) = m(\text{C}_6\text{H}_{10}) / m(\text{смеси}) = 24,6 \text{ г} / 33 \text{ г} = 0,745 (74,5\%);$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_{12}) = m(\text{C}_6\text{H}_{12}) / m(\text{смеси}) = 8,4 \text{ г} / 33 \text{ г} = 0,255 (25,5\%).$$

Ответ: $\omega(\text{C}_6\text{H}_{10}) = 0,745 (74,5\%); \omega(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 0,255 (25,5\%)$.

3. СБОРНИК ЗАДАЧ

В данном разделе собраны 105 расчетных задач. Задачи сгруппированы по типам расчетов в отдельные подразделы, но имеют сквозную нумерацию. Для их решения необходимо знать свойства органических соединений, относящихся к разным классам. Поэтому в нижеследующей таблице задачи классифицированы по тематике частей данного учебного комплекса.

Знаком * отмечены задачи повышенной трудности.

3.1. Классификация задач по темам учебного комплекса

Часть учебного комплекса	Номера задач
II. Углеводороды	3, 9-12, 14, 15, 17, 19, 22, 23, 26-35, 37-41, 43-55, 60, 62, 63, 66-72, 74-77, 82, 87, 89, 94-97, 101, 102
IV. Кислородсодержащие соединения (спирты, фенолы, карбоновые кислоты и их производные)	1, 2, 5-8, 13, 18, 20, 36, 42, 56, 58, 59, 61, 64, 65, 68, 70, 73, 78-81, 83, 84, 86, 88, 90-93, 98-100, 105
V. Азотсодержащие соединения (амины и их производные, аминокислоты)	4, 16, 21, 24, 57, 85, 103, 104

3.2. Вычисление массы вещества по его количеству и количества по массе

1. Какое количество вещества составляет 92 г этанола C_2H_5OH ?
2. Определите массу глюкозы, содержащей 0,6 моль атомного углерода.
3. Вычислить массу гексана количеством вещества 1,5 моль.
4. Вычислить массу нитробензола количеством вещества 0,3 моль.
5. Определить количество вещества глюкозы в навеске, составляющей 900 г.

6. Определить массу вещества уксусной кислоты в навеске, составляющей 0,5 моль этого вещества.
7. Сколько молей и сколько молекул этилацетата содержится в навеске этого вещества, равной 176 г?

3.3. Определение массовой доли элемента в веществе и компонента в смеси

8. Определите массовую долю кислорода (в %) в метиловом спирте, состав которого выражен формулой CH_3OH .
9. Какой объем водорода (н.у.) может присоединить смесь газов массой 15,4 г, которая содержит этилен ($\omega = 54,5\%$), пропилен ($\omega = 27,3\%$) и бутилен ($\omega = 18,2\%$).
10. Природный газ одного из месторождений содержит метан ($\varphi = 92\%$), этан ($\varphi = 3\%$), пропан ($\varphi = 1,6\%$), бутан ($\varphi = 0,4\%$), азот ($\varphi = 2\%$), другие газы ($\varphi = 1\%$). Определите массу органических веществ, входящих в состав 20 л (н.у.) природного газа.
- 11*. Анализ смеси метана и ацетилен показал, что общее содержание углерода в смеси по массе равно 88,46%. Определите состав смеси в % по массе.
12. Вычислите массовую долю углерода в метане.
13. Вычислите массовые доли элементов, входящих в состав бутанола-1 в процентах.
14. Определите процентный состав элементов, входящих в состав бензола.
15. Массовая доля углерода в составе молекулы пентена-2 составляет 85,7%. Какова массовая доля водорода в этом соединении?
16. Массовая доля углерода в молекуле анилина составляет 77,4%. Определите массовые доли двух других элементов, входящих в его состав. Какие это элементы?
17. Массовая доля углерода в углеводороде составляет 0,8. Определите массу углерода в навеске этого вещества массой 30 г.
18. Определите массовые доли элементов, входящих в состав молекулы метилацетата.
19. Определите массовую долю водорода, содержащегося в молекуле циклопентана.
20. Определите массовую долю кислорода, содержащегося в молекуле сахарозы.

21. Определите массовую долю азота в молекуле триметиламина.

3.4. Вычисление массы и объема газов

22. Какой объем воздуха потребуется для сжигания 30 л ацетилена C_2H_2 (н.у.), содержащего 5% негорючих примесей? Содержание кислорода в воздухе считать равным 20% по объему.

23*. При сгорании 13,44 л (н.у.) смеси монооксида углерода, метана и ацетилена образовалось 17,99 л CO_2 (н.у.) и 9 г H_2O . Сколько литров каждого газа содержится в смеси?

24*. Какой объем хлороводорода может прореагировать с 15 г смеси, состоящей из триметиламина, пропиламина и метилэтиламина?

25. Какой объем займут $3,01 \cdot 10^{23}$ молекул газа при нормальных условиях?

26. Какой объем займет смесь, состоящая из 0,5 моль метана и 0,25 моль этана?

27. Какую массу имеет пропан, занимающий при н.у. объем 67,2 л?

28. Какой объем займет при н.у. смесь 48 г метана и 90 г этана?

29. Рассчитайте массу 89,6 л бугана при н.у. Сколько в этом объеме газа содержится молей и молекул?

30. Какую массу имеет смесь пропана и бутана объемом 100 л при н.у., если объемная доля каждого газа 50%?

31. Масса 200 мл ацетилена при н.у. равна 0,232 г. Определите молярную массу ацетилена.

32. Масса 2,24 л газа при н.у. равна 2,8 г. Чему равна молекулярная масса газа?

33. Плотность этилена по кислороду равна 0,875. Определите молекулярную массу газа.

34. Взяты равные массы этана и пропана при н.у. Найдите отношение их объемов.

3.5. Вывод формул соединений

35. При сгорании алкана массой 3,6 г образуется оксид углерода (IV) объемом 5,6 л (н.у). Плотность алкана по водороду равна 36. Установите молекулярную формулу алкана.

36. Вывести молекулярную формулу вещества, если оно содержит С ($\omega = 39,97\%$), Н ($\omega = 6,73\%$) и О ($\omega = 53,3\%$) и 300 мл паров этого вещества (н.у.) имеют массу, равную 2,41 г.

- 37*. При взаимодействии 11,2 г алкена с бромоводородом получено 27,4 г вещества. Напишите формулы всех возможных изомеров алкена.
- 38*. При сгорании 14,6 г хлорсодержащего органического вещества было получено 13,44 л CO_2 и 3,6 г H_2O . Весь хлор, содержащийся в навеске, вдвое меньшей, чем исходная, переведен в AgCl массой 14,3 г. Плотность по водороду исследуемого хлорорганического вещества равна 74. Определите молекулярную формулу этого вещества.
39. Вывести простейшую формулу предельного углеводорода, если массовая доля углерода 82,76%.
40. Какова структурная формула газа, являющегося алканом, если масса 5,6 л его составляет 11 г.?
- 41*. Какова молекулярная формула углеводорода с открытой цепью углеродных атомов, если при сжигании 0,1 моль его образуется 5,4 г H_2O и выделяется 8,96 л CO_2 при н.у.?
- 42*. При сжигании 3,9 г органического вещества, плотность паров которого по водороду 39, образовалось 13,2 г оксида углерода (IV) и 2,7 г H_2O . Какова молекулярная формула исходного соединения?
43. Определите молекулярную формулу углеводорода, содержащего 20% по массе водорода и 80% углерода, если плотность его по водороду равна 15.
44. Определите молекулярную формулу углеводорода, если массовая доля углерода в нем составляет 82,76%. Относительная плотность его по водороду равна 29.
45. Хлоропроизводное предельного углеводорода имеет молекулярную массу 237. Массовая доля хлора в этом соединении 89,9%, углерода 10,1%. Определите его молекулярную формулу.
46. Определите простейшую формулу газа, на сжигание которого израсходовано 2 л кислорода, причем образовался 1 л оксида углерода (IV) и 2 л водяных паров (н.у.).
47. При сжигании углеводорода массой 8,4 г образовалось 26,4 г углекислого газа. Плотность вещества при н.у. равна 1,875 г/л. Найдите его молекулярную формулу.
48. Какова молекулярная формула газа, являющегося предельным углеводородом, если масса 11,2 л его (при н.у.) составляет 22 г?

3.6. Расчет характеристик продуктов реакции по характеристикам исходных веществ и обратные вычисления

49. Сколько г хлора потребуется для превращения 19 г бензола C_6H_6 в гексахлоран $C_6H_6Cl_6$?

50. Рассчитать объем метана при н.у., выделившийся при прокаливании 24,6 г ацетата натрия с избытком едкого натра.

51. Какова масса карбида алюминия, израсходованного для получения метана, массой 48 г?

52. При сжигании 50 г пропана получили оксид углерода (IV) объемом 67,2 л при н.у. Вычислите, весь ли пропан был израсходован?

53. Сколько мл бензола (плотность 0,88 г/мл) было получено при тримеризации ацетилена массой 2,6г?

54. Определить массу продукта реакции нитрования толуола, если в реакцию вступило 27,6 г толуола.

55. Сколько литров водорода (н.у.) требуется для гидрирования смеси этана и этилена объемом 10 л, если объемная доля этана в смеси равна 30%?

56. Определите массу осадка и объем газа, полученных в реакции "серебряного зеркала" из 6 г муравьиного альдегида.

57. Сколько граммов анилина получится в реакции Зинина из 12,3 г нитробензола?

58*. При взаимодействии смеси метанола и этанола массой 10 г с металлическим натрием выделилось 2,87 л водорода при н.у. Определите массы метанола и этанола в исходной смеси.

59. Сколько литров метана потратится на получение в три стадии диметилового эфира массой 9,2 г?

3.7. Расчет характеристик продуктов реакции при условии, что одно из реагирующих веществ взято в избытке

60. При нагревании иодметана CH_3I массой 2,84 г с металлическим натрием массой 0,69 г получили этан C_2H_6 объемом 179,2 мл при н.у. Определите объемную долю выхода продукта реакции.

61. При нагревании этанола массой 4,6 г с уксусной кислотой массой 7 г получили сложный эфир. Какова масса этого продукта?

62. Определить массу и объем углеводорода, полученного при взаимодействии 23 г натрия с 60 г хлорметана.
63. Определить, достаточно ли 7 л кислорода для сжигания 1 л бутана при н.у. Какой объем оксида углерода (IV) при этом получится?
64. Какая масса пропилата натрия может быть получена при взаимодействии пропанола-1 массой 30 г с натрием 18,4 г?
65. Метанол получают взаимодействием оксида углерода (II) с водородом. Для реакции взяты оксид углерода (II) объемом 22,4 л и водород объемом 50 л (при н.у.). Определить массу метанола, полученного в результате реакции.
66. При бромировании бензола в присутствии FeBr_3 получается монобромпроизводное бензола. Определите массу продукта, если в реакцию взято 156 г бензола и 180 г брома.
67. Смесь этилена и водорода объемом 10 л, объемная доля водорода в котором 40%, нагрели в присутствии платинового катализатора. Каков объем образовавшегося продукта реакции?
68. Фенол массой 9,4 г поместили в раствор едкого натра массой 200 г с массовой долей NaOH 5%. Какова масса образовавшегося фенолята натрия?
69. Определите массу хлороформа, который может быть получен при действии на 2 моль метана 140 л хлора при н.у.
70. К 200 г раствора уксусной кислоты, содержащей 15 % кислоты (по массе), добавили такую же массу раствора едкого натра с массовой долей NaOH также 15%. Определите массу образовавшегося ацетата натрия.

3.8. Расчет характеристик исходных веществ или продуктов реакции с учетом примесей

71. Сколько граммов 80%-го технического карбида кальция CaC_2 потребуется для получения 2,8 л ацетилена при н.у.?
72. Какую массу технического карбида кальция, содержащего 2% примесей, необходимо взять для получения 44,8 л ацетилена (объем рассчитан при н.у.)?
73. В промышленности ацетальдегид получают по методу Кучерова. Какую массу ацетальдегида можно получить из технического карбида кальция массой 500 кг, массовая доля примесей, в котором равна 10,4%?
74. Определите массовую долю углерода в коксе, если при сжигании 2 г его выделилось 3,36 л оксида углерода (IV).

75. На сжигание $105,26 \text{ м}^3$ природного газа, потребовалось 1000 м^3 воздуха при н.у. Вычислите объемную долю метана в природном газе, считая, что остальные примеси в нем не горючи. Объемная доля кислорода в воздухе равна 20%.

76. Вычислите массу и объем при н.у. метана, который можно получить из 400 кг природного газа. Массовая доля метана в газе составляет 96%.

77. Технический карбид алюминия массой 10 г поместили в воду. Массовая доля примесей в карбиде равна 10%. Вычислите объем газа при н.у., выделившийся в этой реакции.

78. Массовая доля крахмала в картофеле составляет 20%. Какую массу глюкозы можно получить из картофеля массой 810 кг?

79. При прокаливании со щелочью ацетата натрия, содержащего 18% примесей, получено 22,4 л метана при н.у. Определите массу ацетата натрия, истраченного при этом.

80. Образец технического натрия массой 0,5 г растворили в абсолютном этиловом спирте. При этом выделилось 224 мл водорода при н.у. Вычислите процентное содержание натрия в образце.

81. Навеску технического карбида кальция массой 5,0 г растворили в воде, выделившийся газ количественно превратили в уксусный альдегид, масса которого оказалась равной 2,2 г. Определите массовую долю чистого карбида кальция в техническом образце.

3.9. Расчет характеристик исходных веществ или продуктов реакции с учетом концентрации их в растворе (смеси)

82. Какую массу бромной воды с массовой долей брома 1,6% может обесцветить пропилен объемом 1,12 л (н.у.)?

83*. При окислении одноатомного спирта $m = 11,2 \text{ г}$ кислородом воздуха в присутствии катализатора при 500°C образовалась кислота, на нейтрализацию которой потребовалось 59,4 мл 20% раствора КОН ($\rho = 1,18 \text{ г/мл}$). Какова формула исходного спирта?

84. Какой объем 20%-ного раствора соляной кислоты потребуется для получения 12 г уксусной кислоты из ацетата натрия (плотность раствора HCl равна 1,1 г/мл)?

85. Сколько миллилитров 96%-ного этанола ($\rho = 0,8 \text{ г/мл}$) потребуется для этерификации 1,5 г аминоксусной кислоты, если спирт был взят с 200%-ным избытком?

86*. При взаимодействии 35,55 мл 30%-ного раствора ($\rho = 1,04 \text{ г/мл}$) одноосновной органической кислоты неизвестного строения с избытком

гидрокарбоната натрия выделилось 3,36 л газа при н.у. Определите, какая органическая кислота была взята в реакции.

87. Рассчитать, сколько граммов 10%-ного раствора едкого натра потребуется для нейтрализации газа, выделившегося при получении бромбензола из 31,2 г бензола.

88. Какой объем формальдегида (н.у.) необходимо пропустить через воду, чтобы получить 500 г 9,2%-ного раствора формалина?

89. Рассчитайте объем пропилена, который может обесцветить бромную воду массой 150 г. Массовая доля брома в бромной воде равна 3,2%.

90. При дегидратации пропанола-2 получен пропилен, который обесцветил бромную воду массой 100 г. Массовая доля брома в бромной воде равна 1,6%. Определите массу пропанола-2, использованного в реакции.

91. Рассчитайте массу тринитрофенола, который образуется при взаимодействии фенола с раствором азотной кислоты объемом 400 мл, массовая доля HNO_3 80%, плотность раствора 1,45 г/мл.

92. Рассчитайте массу фенолята натрия, который получается при взаимодействии фенола массой 9,4 г с раствором едкого натра объемом 9,94 мл, с массовой долей NaOH 35% (плотность раствора равна 1,38 г/мл).

93. Рассчитайте массу серебра, полученного в реакции «серебряного зеркала» при взаимодействии избытка аммиачного раствора оксида серебра с 200 г 11,6%-ного раствора пропанола.

3.10. Расчет массы, объема и количества веществ с учетом выхода продукта реакции

94. Сколько граммов толуола C_7H_8 потребуется для получения 113,5 г тринитротолуола $\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$, если массовая доля выхода продукта составляет 80% от теоретически возможного?

95. Сколько л водорода (н.у.) выделится при каталитическом дегидрировании 49 г метилциклогексана в толуол, если объемная доля выхода продукта равна 75% от теоретически возможного?

96. При взаимодействии ацетиленов с аммиачным раствором оксида серебра образуется взрывчатое вещество, не содержащее водорода. Какова формула этого соединения? Каков объем ацетилена (н.у.), необходимый для получения этого вещества массой 93,60 г, если массовая доля выхода равна 78% от теоретически возможного?

97. Рассчитайте массу 1,1-дихлорэтана, который может быть получен из 280 л ацетилена при н.у., если массовая доля выхода этого вещества составляет 80%.

98. Сколько граммов пропанола-1 потребуется для получения 104,4 г пропанола, если массовая доля выхода его составляет 90% от теоретического?

99. Какой объем этилена (н.у.) потребуется для получения этанола массой 34,4 г, если массовая доля выхода его равна 0,8?

100. Ацетальдегид, полученный из 11,2 л ацетилен (при н.у.), окислен в кислоту, которую подвергли реакции этерификации с избытком этанола. Определите массу образовавшегося эфира, если массовая доля выхода его составляет 80%.

101. Рассчитайте массовую долю выхода бензола, если 132,6 г его было получено тримеризацией 134,4 л (н.у.) ацетилена.

102. Какая масса бромбензола получится при взаимодействии 78 г бензола с 55 мл брома ($\rho=3,1$ г/мл) в присутствии бромида, железа (III), если массовая доля выхода равна 90% от теоретически возможного?

103. Какая масса анилина может быть получена при воздействии на нитробензол массой 24,6 г водородом, объем которого при н.у. составляет 15 л, если выход продукта равен 92% от теоретически возможного?

104*. Из уксусной кислоты двухстадийным синтезом получили 30 г аминоксусной кислоты. На нейтрализацию избытка уксусной кислоты после отделения ее от продуктов реакции потребовалось 25 мл 19%-ного раствора едкого кали (плотность раствора равна 1,18 г/мл). Какая масса уксусной кислоты была взята, если массовая доля выхода продукта реакции на каждой стадии синтеза составляла 80%?

105. Сколько миллилитров 100%-ного этанола ($\rho=0,8$ г/мл) потребуется для получения бутадиена-1,3, если известно, что выход продукта равен 75% от теории, а выделившегося при этом водорода хватит для гидрирования 5,376 л этилена (н.у.)?

4. ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

1. 2 моль. 2. 18 г. 3. 129 г. 4. 36,9 г. 5. 5 моль. 6. 30 г. 7. 2 моль; $1,2 \cdot 10^{24}$ молекул.

8. 50. 9. 10 л. 10. 14,8 г. 11. $\omega(\text{CH}_4) = 20,8\%$; $\omega(\text{C}_2\text{H}_2) = 79,2\%$, 12. 0,75. 13. C - 64,86%; H - 13,5%; O - 21,64%. 14. C - 15,3%; H - 84,7%. 15. 14%. 16. H - 7,5%; N - 15,1%. 17. 24 г. 18. C - 0,49; H - 0,08; O - 0,43. 19. 0,143. 20. 0,514. 21. 0,237.

22. 356,25 л. 23. $V(\text{CO}) = 5,04$ л; $V(\text{CH}_4) = 3,16$ л; $V(\text{C}_2\text{H}_2) = 5,24$ л. 24. 5,7 л. 25. 11,2 л. 26. 16,8 л. 27. 132 г. 28. 134,4 л. 29. 232 г; 4 моль; $2,4 \cdot 10^{24}$ молекул. 30. 227,7 г. 31. 26 г/моль. 32. 28. 33. 28. 34. 0,74; 0,51.

35. C_5H_{12} . 36. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. 37. $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$; $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$; $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$. 38. $\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$. 39. C_2H_5 . 40. $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ - пропан. 41. C_4H_6 . 42. C_6H_6 . 43. C_2H_6 . 44. C_4H_{10} . 45. C_2Cl_6 . 46. CH_4 . 47. C_3H_6 . 48. C_3H_8 .

49. 51,9 г. 50. 6,72 л. 51. 144 г. 52. Не прореагировало 6 г пропана. 53. 8,86 мл. 54. 68,1 г. 55. 70 л. 56. 4,48 л CO_2 и 86,4 г Ag. 57. 9,3 г. 58. $m(\text{CH}_3\text{OH}) = 4,1$ г; $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 5,9$ г. 59. 2,24 л.

60. 80%. 61. 8,8 г. 62. $m = 30$ г; $V = 11,2$ л. 63. Достаточно; $V(\text{CO}_2) = 4$ л. 64. 41 г. 65. 32 г. 66. 314 г. 67. 4 л. 68. 11,6 г. 69. 239 л. 70. 41 г.

71. 10 г. 72. 130,6 л. 73. 308 кг. 74. 90%. 75. 95%. 76. 384 кг; 537,6 м³. 77. 4,2 л. 78. 180 кг. 79. 100 г. 80. 92%. 81. 0,64.

82. 500 г. 83. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. 84. 33,18 мл. 85. 3,6 мл. 86. CH_3-COOH - уксусная кислота. 87. 160 г. 88. 22,4 л. 89. 0,672 л. 90. 0,6 г. 91. 1,13 кг. 92. 13,9 г. 93. 86,4 г.

94. 64,3 г. 95. 25,2 л. 96. Ag_2C_2 ; $V(\text{C}_2\text{H}_2) = 11,2$ л. 97. 990 г. 98. 120 г. 99. 11,2 л. 100. 35,2 г. 101. 85%. 102. 141,3 г. 103. 17,112 л. 104. 43,5 г. 105. 36,8 мл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если вы успешно решаете приведенные в данном пособии задачи, то это значит, что учебный материал усвоен достаточно хорошо. Однако есть весьма важная причина после решения задач вновь просмотреть теорию в соответствующих частях учебного комплекса "Органическая химия" (теоретические основы, углеводороды, кислородсодержащие и азотсодержащие соединения). Причина эта заключается в новом, более глубоком осмыслении теории после ее применения на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маршанова Г.Л. Сборник задач по органической химии. 10-11 кл. - М.: "Издательство", "РАЙЛ", 1997. -70 с.
2. Тесты по химии. 10-11 кл.: Учебно-методическое пособие/Суровцева Р.П., Гузей Л.С., Останин Н.Н., Татур А.О. - М.: Дрофа, 1997. -112 с.
3. Хомченко Г.П., Хомченко И.Г. Задачи по химии для поступающих в вузы: Учебное пособие. - 2-е изд., исправ и доп. - М.: Высшая школа, 1994. -302 с.
4. Хомченко И.Г. Сборник задач и упражнений по химии для средней школы. - М.: "Издательство Новая Волна", 1997. -221 с.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В															
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII								
1	H 1 1,008						(H)								2 He 4,003	
2	Li 3 6,94	Be 4 9,01	5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,0	9 F 18,9								10 Ne 20,18	
3	Na 11 22,98	Mg 12 24,3	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45								18 Ar 39,95	
4	K 19 39,10	Ca 20 40,1	Sc 21 44,96	Ti 22 47,9	V 23 50,9	Cr 24 52,0	Mn 25 54,94	Fe 26 55,85	Co 27 58,93	Ni 28 58,71						
	29 Cu 63,55	30 Zn 65,4	31 Ga 69,7	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,9								36 Kr 83,80	
5	Rb 37 85,47	Sr 38 87,6	Y 39 88,9	Zr 40 91,2	Nb 41 92,9	Mo 42 95,94	Tc 43 [99]	Ru 44 101,1	Rh 45 102,9	Pd 46 106,4						
	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,75	52 Te 127,6	53 I 126,9								54 Xe 131,3	
6	Cs 55 132,9	Ba 56 137,3	* La 57 138,9	Hf 72 178,5	Ta 73 180,9	W 74 183,8	Re 75 186,2	Os 76 190,2	Ir 77 192,2	Pt 78 195,1						
	79 Au 196,9	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 208,9	84 Po [210]	85 At [210]								86 Rn [222]	
7	Fr 87 (223)	Ra 88 (226)	** Ac 89 (227)	Rf 104 (261)	Db 105 (262)	Sg 106 (263)	Bh 107 (264)	Hs 108 (265)	Mt 109 (266)							

* ЛАНТАНОИДЫ

** АКТИНОИДЫ

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr