

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Некоторые формулы и обозначения	8
1. Стандартные (формальные) вычисления	11
1.1. Расчёты с использованием «количества вещества»	11
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	21
1.2. Растворы и смеси (массовая доля вещества в растворе или смеси)	23
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	32
2. Типовые расчёты по уравнениям реакций	38
2.1. Теоретический расчёт по химическим уравнениям	38
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	44
2.2. Решение задач «на чистое вещество» и «избыток — недостаток»	51
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	58
2.3. Решение задач «на выход продукта реакции»	65
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	73
3. Комплексные задачи	80
<i>Задачи для самостоятельного решения.</i>	118
4. Задачи по определению формул веществ	132
4.1. Определение формулы вещества по известному элементному составу	133

4.2. Определение формулы вещества по продуктам сгорания	.139
4.3. Определение формулы вещества по его реакционной способности	.141
4.4. Определение формулы вещества по известной общей формуле и массовой доле одного из элементов	.144
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	.145
5. Скорость химических реакций.	
Химическое равновесие	.152
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	.157
Развёрнутые ответы.	.161
Приложения	.270
<i>Приложение 1.</i> Некоторые величины, используемые при решении расчётных задач	.270
<i>Приложение 2.</i> Молярные массы неорганических веществ	.273
<i>Приложение 3.</i> Молярные массы органических веществ	.275
<i>Приложение 4.</i> Растворимость солей, оснований и кислот в воде	.276
Список использованной литературы	.277



СТАНДАРТНЫЕ (ФОРМАЛЬНЫЕ) ВЫЧИСЛЕНИЯ

1.1. Расчёты с использованием «количества вещества»

Атомы и молекулы вещества характеризуются их массой. Абсолютные значения масс отдельных атомов и молекул очень малы, поэтому их неудобно использовать. Для измерения масс атомов и молекул в системе СИ принята атомная единица массы, которая равна $1/_{12}$ части массы атома изотопа углерода ^{12}C . Для проведения практически необходимых расчётов используют относительные атомные (A_r) и относительные молекулярные (M_r) массы. Относительная атомная масса (A_r) показывает, во сколько раз масса атома больше $1/_{12}$ части массы атома изотопа углерода ^{12}C . Относительная молекулярная масса (M_r) показывает, во сколько раз масса молекулы больше $1/_{12}$ части массы атома изотопа углерода ^{12}C . Относительная молекулярная масса равна сумме относительных атомных масс всех элементов, которые входят в состав структурной единицы вещества. Относительные атомная и молекулярная массы — безразмерные величины, показывающие, во сколько раз масса частицы больше одной атомной единицы массы. Значения относительных атомных масс элементов приводятся в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева.

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49 \text{ г}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

$$n(\text{H}), n(\text{S}), n(\text{O}) = ?$$

Анализ и решение

Количество вещества n (ν) вычисляется по уравнению

$$n = m_{\text{в-ва}} / M_{\text{в-ва}},$$

где $m_{\text{в-ва}}$ — масса вещества (г),

$M_{\text{в-ва}}$ — молярная масса вещества (г/моль).

Вывод: для вычисления количества вещества необходимо

- 1) вычислить молярную массу серной кислоты;
- 2) по формуле найти количество вещества.

Количество вещества каждого из элементов определяется количественным составом вещества.

Вывод: количество каждого из элементов (H, S, O) найдём по количеству серной кислоты, содержащейся в 49 г вещества.

- 1) $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4 = 98 \text{ г/моль}$
- 2) $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49/98 = 0,5 \text{ моль}$
- 3) В 1 моль H_2SO_4 содержится 2 моль атомов водорода (H),
а в 0,5 моль H_2SO_4 — 1 моль атомов водорода (H).
- 4) В 1 моль H_2SO_4 содержится 1 моль атомов серы (S),
а в 0,5 моль H_2SO_4 — 0,5 моль атомов серы (S).
- 5) В 1 моль H_2SO_4 содержится 4 моль атомов кислорода (O),
а в 0,5 моль H_2SO_4 — 2 моль атомов кислорода (O). □

 Задачи для самостоятельного решения

1.1.1 Вычислите молекулярную массу следующих веществ:

- 1) NaOH; 2) H_3PO_4 ; 3) HNO_3 ; 4) O_2 ; 5) H_2CO_3 .

1.1.2 Какое количество вещества содержится в:

- 1) 80 г NaOH;
- 2) 9,8 г H_2SO_4 ;
- 3) 20 г CaCO_3 ;
- 4) 12,6 г HNO_3 ;
- 5) 64 г кислорода;
- 6) 128 г сернистого ангидрида SO_2 ?



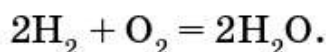
ТИПОВЫЕ РАСЧЁТЫ ПО УРАВНЕНИЯМ РЕАКЦИЙ

2.1. Теоретический расчёт по химическим уравнениям

Пример 21. Водород H_2 реагирует с кислородом O_2 . Какое количество вещества («сколько молей») кислорода прореагировало, если в реакцию вступило 4 моль водорода?

Решение

Запишем уравнение реакции и прочитаем его (поймём сделанную запись):

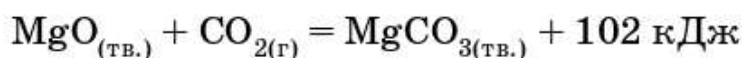


Это уравнение реакции показывает, что 2 моль водорода реагируют с 1 моль кислорода и в результате образуются 2 моль воды (продукта реакции).

Совершенно очевидно, что 4 моль водорода будут реагировать с 2 моль кислорода, 6 моль водорода с 3 моль кислорода и т. д.

Соотношения подобного рода называются пропорциональными (пропорциями). В химии пропорциональность определяется коэффициентами в уравнении реакции. Фактически мы составили и устно решили пропорцию:

Пример 27. В соответствии с термохимическим уравнением реакции



в реакцию вступило 4,48 л (н. у.) CO_2 . Определите количество выделившейся теплоты.

Ответ: _____ кДж. (Ответ приведите с точностью до десятых.)

Дано:

$$V(\text{CO}_2) = 4,48 \text{ л (н. у.)}$$

q — ?

Анализ и решение

Формула для расчёта:

$$n = V_{\text{г}} / V_{\text{м}}$$

План решения задачи

Логическая связь: требуется найти количество выделившейся теплоты, расчёт будем производить по количеству углекислого газа.

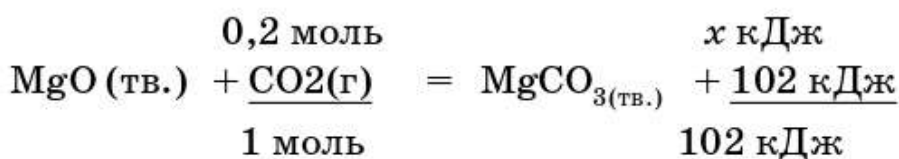
Демонстрация последовательности действий

- 1) Находим количество вещества CO_2 :

$$n = V_{\text{г}} / V_{\text{м}}$$

$$n(\text{CO}_2) = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ моль}$$

- 2) По уравнению реакции находим количество выделившейся теплоты:



$$x = 0,2 \cdot 102 / 1 = 20,4 \text{ кДж}$$

□



Задачи для самостоятельного решения

- 2.1.1** Какой объём (н. у.) водорода потребуется для восстановления 0,2 моль оксида меди(II)?
- 2.1.2** При растворении карбоната кальция в избытке азотной кислоты выделилось 5,6 л (н. у.) газа. Масса карбоната кальция равна _____ г.



КОМПЛЕКСНЫЕ ЗАДАЧИ

Основную трудность при решении комплексных задач составляет анализ условия, включающий 2 части:

- 1) составление уравнений реакций, которые описываются в условии задачи;
- 2) установление логических и количественных связей.

Как правило, в первую очередь сосредотачиваются на химической стороне задачи. Если вам удастся понять логику задачи, то вычисления, скорее всего, не вызовут затруднений.

Пример 40. 2,24 л (при н. у.) хлора количественно прореагировали с 177,62 мл раствора бромида калия плотностью 1,34 г/мл. Найдите массовую долю бромида калия в растворе и его молярную концентрацию.

Дано:

$$\begin{aligned} V(\text{Cl}_2) &= 2,24 \text{ л (н.у.)} \\ \left\{ \begin{aligned} V_{\text{р-ра}}(\text{KBr}) &= 177,62 \text{ мл} = 0,17762 \text{ л} \\ \rho_{\text{р-ра}}(\text{KBr}) &= 1,34 \text{ г/мл} \\ \omega(\text{KBr}) &= ? \\ C_{\text{М}}(\text{KBr}) &= ? \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Анализ и решение

Основные формулы для расчёта:

$$n = m_{\text{в-ва}} / M_{\text{в-ва}};$$

$$n_{\text{газ}} = V_{\text{газ}} / V_{\text{М}};$$

$$\omega = m_{\text{в-ва}} / m_{\text{р-ра}};$$

$$\rho = m / V;$$

$$C_{\text{М}} = n / V_{\text{р-ра(л)}}.$$

- 2) По уравнению реакции вычислить массы прореагировавших цинка и серебра.
- 3) Рассчитать по уравнению материального баланса количество выделившегося серебра.

Решение

- 1) Пусть $n(\text{Zn}) = x$ моль, тогда
 $M(\text{Zn}) = 65 \text{ г/моль}$; $m(\text{Zn}) = 65 x \text{ г}$
- 2) По уравнению реакции:
 $n(\text{Ag}) = 2n(\text{Zn}) = 2x$ моль
 $M(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль}$; $m(\text{Ag}) = 2x \cdot 108 = 216x \text{ г}$
- 3) По уравнению материального баланса:
 $-x \cdot 65 + 216x = 3,02$
 $x = 0,02$
 $m(\text{Ag}) = 0,02 \cdot 216 = 4,32 \text{ г}$

□

 Задачи для самостоятельного решения

- 3.1 К 150 г раствора нитрата свинца(II) добавили избыток сульфида натрия. Выпавший осадок отфильтровали и растворили в концентрированной азотной кислоте, среди продуктов реакции имеются сульфат свинца(II) и 8,96 л оксида азота(II) (н. у.). Найдите концентрацию соли в исходном растворе.
- 3.2 Для окисления некоторого количества серы потребовался такой объём кислорода (н. у.), который образуется при разложении 515,8 г хлората калия, содержащего 5 % бескислородной примеси. Определите массу серы, вступившей в реакцию, и объём образовавшегося продукта окисления (н. у.).
- 3.3 Масса кристаллов, выделившихся при охлаждении 200 мл 25%-ного раствора сульфата меди(II) плотностью 1,2 г/мл, составила 25 г. Какое количество осадка образуется при пропускании через фильтрат 5,6 л сероводорода?



ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФОРМУЛ ВЕЩЕСТВ

Химической формулой называется, как известно, условная запись состава вещества с помощью химических знаков и индексов. Каждое вещество имеет качественный и количественный состав. Качественный состав отражают знаки химических элементов, входящих в это вещество, количественный состав — индексы, показывающие число атомов элемента, например: CH_4 , C_2H_4 , C_3H_6 , C_4H_8 . Все эти вещества состоят из углерода и водорода (т. е. имеют одинаковый качественный состав — углерод и водород), однако отличаются числом атомов этих элементов в молекулах (имеют различный количественный состав).

Рассмотрим количественный состав веществ. В 1 молекуле метана содержится 1 атом углерода и 4 атома водорода; в 1 моль молекул метана CH_4 содержится 1 моль атомов углерода и 4 моль атомов водорода. Отношение количества атомов элементов («числа молей» атомов) $n(\text{C}) : n(\text{H}) = 1 : 4$ для 1 моль этого вещества совпадает с отношением индексов (отношением числа атомов) в 1 молекуле метана и самими индексами. В 1 моль этена C_2H_4 содержится 2 моль атомов углерода и 4 моль атомов водорода, т. е. $n(\text{C}) : n(\text{H}) = 2 : 4 = 1 : 2$, и отношение количества атомов не совпало с индексами. Некоторые другие примеры приведены в таблице.



СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Пример 67. Как изменится скорость реакции $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$, если объём газовой смеси уменьшить в 3 раза?

Дано:

$$V_1/V_2 = 3$$

$$v_2/v_1 = ?$$

Анализ и решение

Основные формулы:

$$v = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b$$

$$C = n/V \text{ [моль/л]}$$

где v — скорость химической реакции,

k — константа скорости,

C_A и C_B — молярные концентрации реагирующих веществ,

a и b — коэффициенты в уравнении реакции

n — количество вещества

V — объём, выраженный в литрах.

Логика (план) решения задачи

- 1) Найти величину скорости до изменения объёма (v_1).
- 2) Найти значения концентраций веществ после изменения условий (C_2).
- 3) Найти величину скорости после изменения условий (v_2).
- 4) Найти отношение v_2/v_1 .

Концентрация, моль/л	N ₂	H ₂	NH ₃
Начальная, C ₀	<i>x (4,2)</i>	<i>y (6,6)</i>	0
Изменение, ΔC	<u>1,8</u>	<u>5,4</u>	3,6
Конечная, C ₁	2,4	1,2	3,6

Находим количество прореагировавшего NH₃ и записываем в таблицу (курсив).

$$\Delta C_{\text{NH}_3} = 3,6 - 0 = 3,6 \text{ моль/л}$$

- 3) По уравнению реакции по изменению концентрации аммиака находим количество прореагировавших N₂ и H₂ (записано в таблицу подчёркнутым курсивом).

$$\Delta C_{\text{N}_2} = 1 \cdot 3,6 / 2 = 1,8 \text{ моль/л}$$

$$\Delta C_{\text{H}_2} = 3 \cdot 3,6 / 2 = 5,4 \text{ моль/л}$$

- 4) Находим исходные концентрации азота (x) и водорода (y).

$$x = 2,4 + 1,8 = 4,2 \text{ моль/л N}_2$$

$$y = 1,2 + 5,4 = 6,6 \text{ моль/л H}_2.$$



Задачи для самостоятельного решения

- 5.1 Реакция протекает по уравнению $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{г})}$. Как изменится скорость прямой реакции, если концентрацию азота увеличить в 4 раза, а концентрацию водорода — в 2 раза?
- 5.2 Реакция протекает по уравнению $2A + B = 2C$. Начальные концентрации реагирующих веществ (моль/л): $C_A = 0,4$, $C_B = 0,3$. Как изменится скорость реакции, если концентрацию веществ A и B увеличить до 0,6 моль/л?
- 5.3 Реакция идёт по уравнению $A_{(\text{г})} + 2B_{(\text{г})} \rightarrow C_{(\text{г})}$. Как изменится скорость реакции, если давление увеличить в 3 раза и одновременно повысить температуру на 30 °C? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.



РАЗВЁРНУТЫЕ ОТВЕТЫ

1. Стандартные (формальные) вычисления

1.1. Расчёты с использованием «количества вещества»

1.1.1

- 1) $M(\text{NaOH}) = 23 + 16 + 1 = 40 \text{ г/моль}$
- 2) $M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1 \cdot 3 + 31 + 16 \cdot 4 = 98 \text{ г/моль}$
- 3) $M(\text{HNO}_3) = 1 + 14 + 16 \cdot 3 = 63 \text{ г/моль}$
- 4) $M(\text{O}_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль}$
- 5) $M(\text{H}_2\text{CO}_3) = 1 \cdot 2 + 12 + 16 \cdot 3 = 62 \text{ г/моль}$

1.1.2

- 1) $M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$; $n(\text{NaOH}) = 80/40 = 2 \text{ моль}$
- 2) $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}$; $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 9,8/98 = 0,1 \text{ моль}$
- 3) $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}$; $n(\text{CaCO}_3) = 20/100 = 0,2 \text{ моль}$
- 4) $M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль}$; $n(\text{HNO}_3) = 12,6/63 = 0,2 \text{ моль}$
- 5) $M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}$; $n(\text{O}_2) = 64/32 = 2 \text{ моль}$
- 6) $M(\text{SO}_2) = 64 \text{ г/моль}$; $n(\text{SO}_2) = 128/64 = 2 \text{ моль}$

1.1.3

- 1) $M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}$; $m(\text{KOH}) = 1,5 \cdot 56 = 84 \text{ г}$
- 2) $M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \text{ г/моль}$; $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 2,5 \cdot 160 = 400 \text{ г}$
- 3) $M(\text{N}_2) = 28 \text{ г/моль}$; $m(\text{N}_2) = 0,5 \cdot 28 = 14 \text{ г}$

1.1.4

- 1) $M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}$; $n(\text{O}_2) = 80/32 = 2,5 \text{ моль}$;
 $V(\text{O}_2) = 2,5 \cdot 22,4 = 56 \text{ л}$
- 2) $M(\text{NO}) = 30 \text{ г/моль}$; $n(\text{NO}) = 3/30 = 0,1 \text{ моль}$;
 $V(\text{NO}) = 0,1 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ л}$