

Задача 1. Полезный синтез

Вещество **X** применяется в разных сферах: как пищевая добавка для консервирования овощей, фруктов и при ферментации молочных продуктов (например, в производстве творога и сыра); как лекарственное средство, восполняющее дефицит кальция; как противогололедный реагент для посыпки дорог. В лабораториях гигроскопичный **X** используют как осушитель.

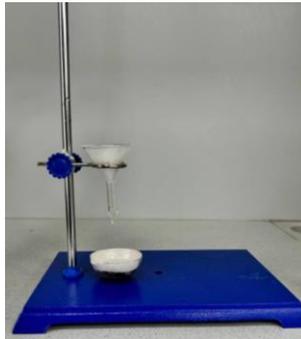
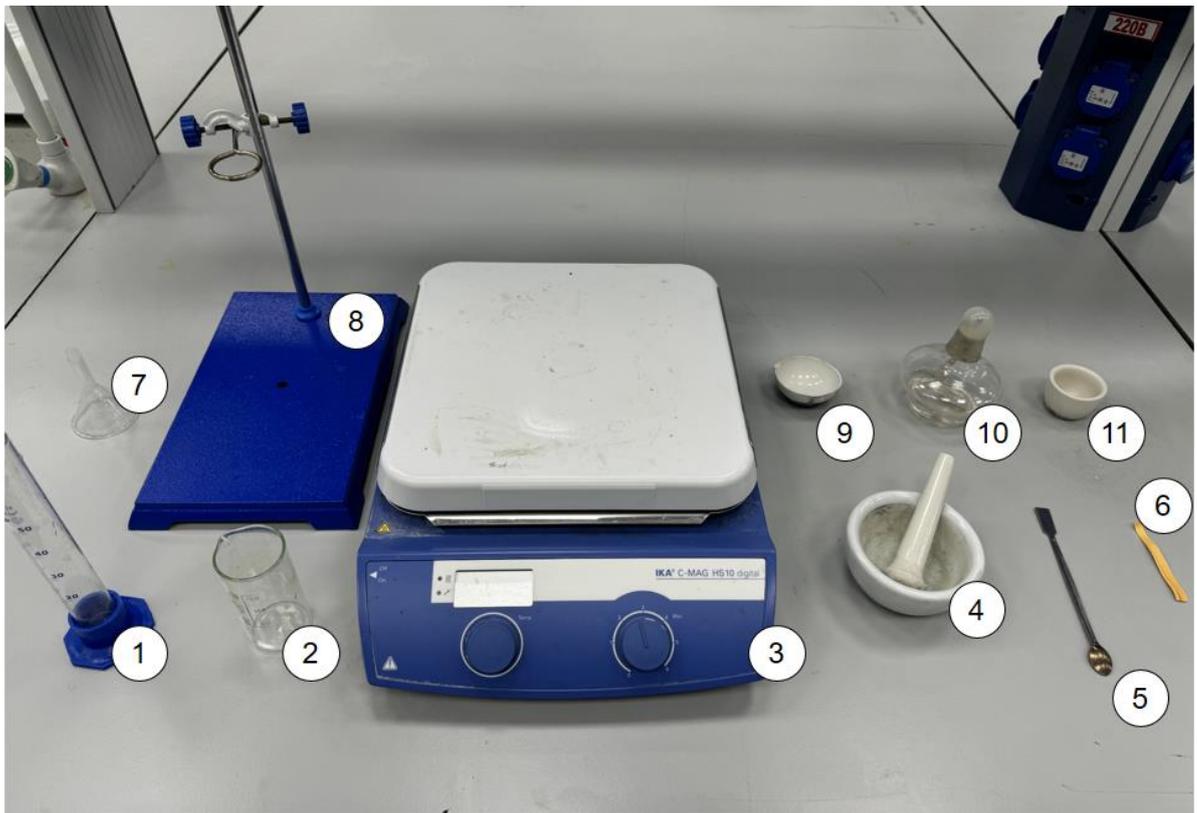
Юный химик Ильшат решил синтезировать **X**. Для этого он сначала приготовил всё необходимое (см. рисунок на следующей странице). С помощью **1** Ильшат приготовил 30 мл 15 % раствора соляной кислоты (плотность 1,07 г/мл) и поместил его в **2**. Ильшат также бросил туда магнитный якорь для перемешивания и, накрыв **2** часовым стеклом, поместил его на **3**. Далее он измельчил небольшое количество карбоната кальция с помощью **4**, взвесил на бумажке навеску $\approx 7,5$ г. Ильшат включил перемешивание и, периодически снимая часовое стекло, стал прибавлять карбонат кальция к раствору небольшими порциями с помощью **5**. Каждую следующую порцию он добавлял только после того, как прекратится бурное вспенивание. Ильшат присыпал карбонат кальция до тех пор, пока рН раствора не стал равным **5**, контролируя с помощью **6**.

Полученный раствор юный химик профильтровал, используя установку для фильтрования (**7-9**). Фильтрат он медленно упаривал, перемешивая стеклянной палочкой, чтобы не допустить кипения, пока его объем не уменьшился втрое (**8-10**). Охладив упаренный раствор, Ильшат наблюдал выпадение бесцветных кристаллов. Он отделил их от раствора декантацией (слив жидкость с осадка), просушил полученную массу между листами фильтровальной бумаги и взвесил, его масса составила 8,12 г.

1. Подпишите используемые химиком элементы посуды, оборудования и расходных материалов, обозначенные на рисунке цифрами **1-11**. Перепишите в бланк в формате «номер – слово».
2. Рассчитайте, какой объем товарной концентрированной (36 % по массе) соляной кислоты (плотностью 1,18 г/мл) Ильшату потребовалось разбавить водой, чтобы получить исходный раствор.
3. Напишите уравнение осуществленной химиком реакции.
4. Рассчитайте теоретическую массу продукта, г.

Масса продукта оказалась больше ожидаемой, но, немного подумав, Ильшат понял причину. Поместив продукт в **11**, он прокалил его на электроплитке. Масса полученного белого порошка составила 6,13 г.

5. Определите состав исходных кристаллов и напишите уравнение второй проведенной реакции.
6. Рассчитайте выход синтеза Ильшата, %.
7. Для хранения **X** и подобных ему веществ в лаборатории используют особый сосуд. Как он называется?



Решение

1. Приведённые на рисунке элементы посуды, оборудования и расходных материалов:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| 1 — мерный цилиндр | 7 — воронка, |
| 2 — химический стакан (стакан) | 8 — штатив, |
| 3 — магнитная мешалка | 9 — фарфоровая чашка, |
| 4 — ступка с пестиком | 10 — спиртовка |
| 5 — шпатель | 11 — тигель |
| 6 — индикаторная бумага | |

2. Обозначим исходный раствор как 1, полученный раствор как 2. Рассчитаем массу кислоты в полученном растворе:

$$m_{p-p2} = \rho_2 V_2 = 1,07 \cdot 30 = 32,1 \text{ г}, m_{HCl} = m_2 \omega_2 = 32,1 \cdot 0,15 = 4,82 \text{ г}$$

На основе этого определим необходимый объём концентрированной кислоты:

$$m_{p-p1} = \frac{m_{HCl}}{\omega_1} = \frac{4,82}{0,36} = 13,39 \text{ г}, V_1 = \frac{m_{p-p1}}{\rho_1} = \frac{13,39}{1,18} = 11,35 \approx 11 \text{ мл}$$

3. Синтез юного химика направлен на получение хлорида кальция:



4. Рассчитаем количество вещества исходных реагентов:

$$n_{HCl} = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl}} = \frac{4,82}{1+35,5} = 0,13 \text{ моль}, n_{CaCO_3} = \frac{m_{CaCO_3}}{M_{CaCO_3}} = \frac{7,5}{40+12+3 \cdot 16} = 0,075 \text{ моль.}$$

Соляная кислота в недостатке, поэтому $n_{CaCl_2} = \frac{n_{HCl}}{2} = 0,065 \text{ моль.}$

Теоретический выход составляет

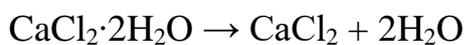
$$m_{\text{теор.}CaCl_2} = n_{CaCl_2} M_{CaCl_2} = 0,065 \cdot (40 + 35,5 \cdot 2) = 7,22 \text{ г.}$$

5. Масса полученных кристаллов превышает теоретическую массу продукта, и, поскольку вещество **X** — гигроскопичное, логично предположить образование кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot nH_2O$. При прокаливании происходит его обезвоживание с образованием $CaCl_2$, поэтому

$$\frac{M_{CaCl_2}}{M_{CaCl_2 \cdot nH_2O}} = \frac{m_{CaCl_2}}{m_{CaCl_2 \cdot nH_2O}} = \frac{6,13}{8,12} = 0,755. \text{ Тогда на 1 формульную единицу}$$

хлорида кальция приходится $n = \frac{(\frac{M_{CaCl_2}}{0,755} - M_{CaCl_2})}{M_{H_2O}} = 2$ молекулы воды, то

есть формула кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot 2H_2O$. Уравнение протекающей реакции дегидратации:



6. Выход составляет $l = \frac{m_{\text{практ.}CaCl_2}}{m_{\text{теор.}CaCl_2}} = \frac{6,13}{7,22} = 0,849 \approx 85 \%$.

7. Сосуд для хранения гигроскопичных соединений — эксикатор.

Система оценивания:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Элементы посуды и оборудования 1-11 по 1 баллу | 11 баллов |
| 2. Расчет объёма кислоты | 2 балла |
| 3. Уравнение реакции синтеза | 1 балл |
| 4. Расчет теоретической массы продукта | 2 балла |
| 5. Состав исходного кристаллогидрата 1 балл | 3 балла |
| Уравнение реакции дегидратации 1 балл | |

6. Расчет практического выхода
7. Указание эксикатора

1 балл
1 балл

ИТОГО

20 баллов

Задача 2. На пятёрку

*С такими-то двумя-тремя химиками, не умеющими отличить кислорода от А, но исполненными отрицания и самоуважения, да с великим Елисевичем Ситников, тоже готовящийся быть великим, толчется в Петербурге и, по его уверениям, продолжает «дело» Базарова.
И.С. Тургенев. Отцы и дети*

На прошедшем уроке химии учитель прочитал лекцию своим юным ученикам, начинающим химикам, посвящённую элементу А. Тимур, один из его учеников, запомнил, что простое вещество, образуемое элементом А, является основным компонентом воздуха — бесцветным малоактивным газом с прочной внутримолекулярной связью. На уроке ученики рассмотрели физические свойства бинарных (то есть двухэлементных) соединений элемента А с кислородом — вещества **В₁-В₅**). Вот, что Тимур отметил в своём конспекте:

Вещество **В₁** — газ при комнатной температуре с приятным сладковатым запахом и привкусом. Способен возбуждать нервную систему человека и вызывать смех, за что и получил своё тривиальное название «веселящий газ».

Вещество **В₂** — бесцветный газ при комнатной температуре, растворимый в воде, но не реагирующий с ней. Вещество в больших объёмах обладает удушающим и токсическим действиями, однако играет важную роль в межклеточной и внутриклеточной передаче сигналов у позвоночных и, как следствие, во множестве биологических процессов.

Вещество **В₃** — неустойчивое ярко-синее вещество, существующее только в твёрдом или жидком виде при температурах ниже -30 °С. Может быть получено взаимодействием веществ **В₂** и **В₄**.

Вещество **В₄** — окрашенный в бурый цвет газ, тривиальное название — «лисий хвост». Токсичен, является одним из опасных неорганических ядов.

Вещество **В₅** — бесцветные летучие кристаллы, которые разлагаются при комнатной температуре и стабильны ниже 10 °С. Является ангидридом важной кислоты, широко используемой в промышленности.

Также Тимур запомнил, что в ряду веществ **В₁-В₅** атомная доля элемента А монотонно уменьшается, а степень окисления увеличивается.

Примечание: атомной долей элемента называется отношение числа атомов этого элемента к общему числу атомов в молекуле.

1. Определите элемент А. Каким одним словом называется группа неорганических веществ, к которой можно отнести вещества **В₁-В₅**?
2. Определите формулы веществ **В₁-В₅**, укажите степень окисления элемента А в каждом из этих веществ.

3. Среди веществ **B₁-B₅** можно выделить кислотные и несолеобразующие. Отнесите *каждое* из этих веществ к одной из этих двух групп.

Во время урока учитель на доске записал ряд уравнений реакций, в которых участвуют вещества **B₁-B₅**. Вернувшись домой, Тимур расстроился, увидев, что листок в его тетради промок, видимо, под дождём, пока он добирался до дома. Поэтому, часть веществ в его записях стала размытой и невозможной для прочтения:

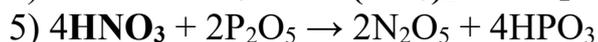
- 1)  → **B₁** + 2H₂O (термическое разложение)
 - 2) 6FeSO₄ + 2  + 4H₂SO₄ → 3Fe₂(SO₄)₃ + 4  + 2**B₂** + Na₂SO₄
 - 3) **B₃** + H₂O → 2 
 - 4) Cu + 4  →  + 2**B₄** + 2H₂O
 - 5) 4  + 2P₂O₅ → 2**B₅** + 4HPO₃
4. Тимур обратился за помощью к вам: помогите ему восстановить уравнения реакций, записав вместо «пятнышек» () необходимые для этого вещества. Одно «пятнышко» обозначает одно вещество, но разные «пятнышки» могут обозначать разные соединения даже в рамках одной реакции.

Решение:

1. Догадаться, что элемент **A** — **азот**, достаточно просто по описанию физико-химических свойств простого вещества и его бинарных соединений с кислородом — **оксидов**, веществ **B₁-B₅**. Также хорошо известно, что именно азот является основным компонентом воздуха.
2. Подсказка об атомных долях азота в рассматриваемых оксидах помогает вывести формулы веществ **B₁-B₅**. Азот образует 5 оксидов, в которых проявляет степень окисления от +1 до +5. Степень окисления кислорода во всех составляет -2. Таким образом, можно привести формулы всех оксидов, указав степень окисления азота в них: N₂⁺¹O⁻², N⁺²O⁻², N₂⁺³O₃⁻², N⁺⁴O₂⁻², N₂⁺⁵O₅⁻². Расчёт атомной доли позволяет установить соответствие между формулами оксидов и шифром:

N ₂ O	$\chi(\text{N}) = \frac{2}{2+1} \cdot 100\% = 66,67\%$	B₁
NO	$\chi(\text{N}) = \frac{1}{1+1} \cdot 100\% = 50,00\%$	B₂
N ₂ O ₃	$\chi(\text{N}) = \frac{2}{2+3} \cdot 100\% = 40,00\%$	B₃
NO ₂	$\chi(\text{N}) = \frac{1}{1+2} \cdot 100\% = 33,33\%$	B₄
N ₂ O ₅	$\chi(\text{N}) = \frac{2}{2+5} \cdot 100\% = 28,57\%$	B₅

3. Среди оксидов азота только **N₂O** и **NO** являются несолеобразующими, остальные (N₂O₃, NO₂, N₂O₅) — кислотные.
4. Уравнения реакций:
 - 1) NH₄NO₃ → N₂O + 2H₂O (допускается принимать брутто-формулу нитрата аммония, например, N₂H₄O₃)
 - 2) 6FeSO₄ + 2NaNO₃ + 4H₂SO₄ → 3Fe₂(SO₄)₃ + 4H₂O + 2NO + Na₂SO₄
 - 3) N₂O₃ + H₂O → 2HNO₂



Система оценивания:

1. За установление элемента А *1,5 балла*, за отношение В₁-В₅ **2,5 балла** к оксидам *1 балл*
2. За формулы веществ В₁-В₅ *по 1 баллу*, за степень окисления азота **10 баллов** по *1 баллу*
3. За установления верного соответствия оксида к одной из двух групп **2,5 балла** по *0,5 балла*
4. За формулы NH₄NO₃, H₂O, HNO₂ и Cu(NO₃)₂ вместо «пятнышка» **5 баллов** по *0,5 балла*. Остальные (HNO₃ и NaNO₃) по *1 баллу*

ИТОГО:

20 баллов

Задача 3. Об углекислом газе

Содержание углекислого газа в воздухе — важный показатель. Диоксид углерода образуется в результате дыхания человека и животных, процессов горения, гниения, брожения, а поглощается в процессе фотосинтеза.

Превышение концентрации углекислого газа нарушает окислительно-восстановительные процессы в организме человека. Небольшое превышение приводит к слабости, сонливости, снижению концентрации внимания. При дальнейшем росте концентрации наблюдается одышка, головная боль, шум в ушах, повышенное артериальное давление, а содержание в 8-10 % в воздухе приводит к быстрой потере сознания и смерти. Не забывайте проветривать!

1. Рассчитайте плотность углекислого газа (г/л) при н.у. Будет ли он скапливаться на потолке или на полу комнаты? Обоснуйте свой ответ, приняв молярную массу воздуха равной 29 г/моль.
2. В среднем за 1 час человек вырабатывает около 20 л углекислого газа. Рассчитайте объёмную долю CO₂ (%) в учебном кабинете длиной 6 м, шириной 9 м и высотой 3 м после проведения 1 урока (40 мин), если в классе присутствует 20 школьников и учитель, а двери и окна закрыты. Сравните со значением предельной допустимой концентрации CO₂ в школьных помещениях — 0,1 %.

Справочная информация: 1 л = 0,001 м³.

3. Сколько молекул CO₂ содержит 1 л воздуха в учебном кабинете (при н.у)?
4. Рассчитайте массовую долю CO₂ (%) в 1 л (при н.у) воздуха из кабинета.

Углекислый газ играет важную роль в тепловом балансе и изменении климата Земли. Выбросы в атмосферу пагубно влияют на экосистемы и усиливают распространение глобального потепления: за последние 10 лет на планете стало теплее на 0,25 градуса. Последствия этого — жара, наводнения,

засуха, смерчи, таяние полярных льдов и вечной мерзлоты. Для решения этой проблемы и разработке проектов по декарбонизации экономики в 2021 году в Башкирии создали карбоновый полигон. На 7 участках полигона учёные ведут исследования в лесной зоне, на пахотных и залежных землях, в болотной экосистеме и ковыльной степи.

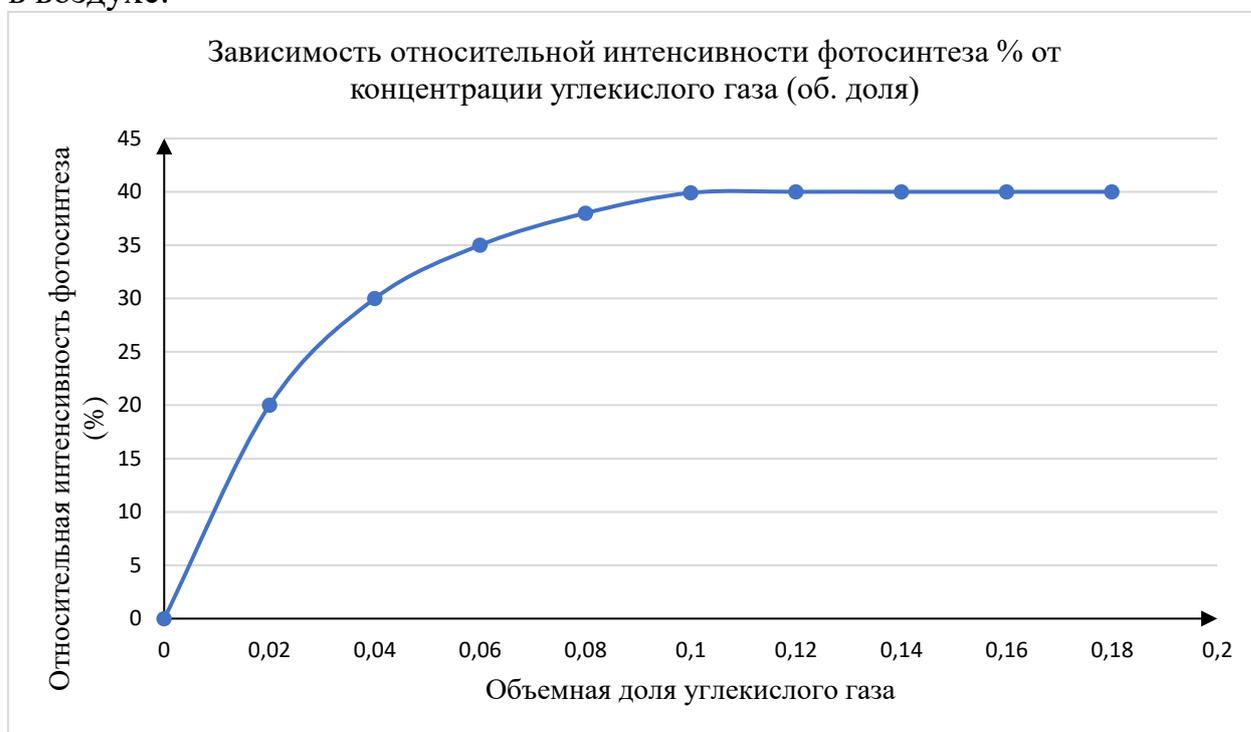
5. Почему углекислый газ влияет на увеличение температуры Земли?

Для определения концентрации CO_2 в воздухе разработано несколько методов, в санитарной практике наиболее широкое применение нашел портативный экспрессный метод Лунге-Цеккендорфа в модификации Д.В. Прохорова. Перед анализом воздуха готовят раствор карбоната натрия с концентрацией 0,1 моль/л, добавляют к нему фенолфталеин и 20 мл раствора помещают в шприц объёмом 150 мл. В шприц, держа его вертикально, набирают порцию исследуемого воздуха. Затем энергичным встряхиванием (7-8 раз) воздух приводят в контакт с поглотителем, после чего воздух выталкивается и вместо него набирается одна за другой порции исследуемого воздуха до изменения окраски раствора в шприце.

6. Напишите уравнение происходящей реакции. Какова роль фенолфталеина и как изменяется окраска раствора?

7. Рассчитайте объёмную концентрацию CO_2 в воздухе, если в ходе опыта в шприц было набрано 3 порции воздуха (360 мл в расчёте на н.у.). Ответ выразите в миллионных долях (ppm, англ. *parts per million* — «частей на миллион»).

Интенсивность фотосинтеза сильно зависит от концентрации CO_2 в воздухе:



Это часто используется в агропромышленности, а также эффективно применяется в теплицах: в некоторых из них даже используются генераторы углекислого газа.

8. После каких значений концентрации углекислого газа уже не имеет увеличивать его содержание в воздухе для эффективного фотосинтеза? Какое неорганическое соединение необходимо для фотосинтеза кроме CO_2 ?

Решение:

1. Расчёт плотности CO_2 при н.у:

$$\rho(\text{CO}_2) = \frac{M_r(\text{CO}_2)}{22,4} = \frac{44}{22,4} = \mathbf{1,96 \text{ г/л.}}$$

Молярная масса углекислого газа (44 г/моль) больше, чем молярная масса воздуха (29 г/моль), что означает, что скапливаться он будет **на полу комнаты.**

2. По размерам кабинета можно определить объём в помещении: $6 \cdot 9 \cdot 3 = 162 \text{ м}^3$. Объём углекислого газа через 40 минут составит $(20 \cdot \frac{2}{3}) \cdot 21 = 280 \text{ л} = 0,28 \text{ м}^3$. Объёмная доля углекислого газа равна $\frac{0,28}{162} \cdot 100 \% = 0,173 \%$, что превышает значение предельной допустимой концентрации.

3. В 1 л воздуха в кабинете будет содержаться $\frac{1}{100} \cdot 0,173 = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ л CO}_2$.

Количество углекислого газа равно $\frac{1,73 \cdot 10^{-3}}{22,4} = 7,72 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$.

Количество молекул CO_2 в таком случае равно $(7,72 \cdot 10^{-5}) \cdot (6,02 \cdot 10^{23}) = \mathbf{4,65 \cdot 10^{19}}$.

4. Количество углекислого газа было посчитано в предыдущем пункте: $7,72 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$. Тогда, $m(\text{CO}_2) = 44 \cdot (7,72 \cdot 10^{-5}) = 3,40 \cdot 10^{-3} \text{ г}$. Масса 1 л воздуха составит $n(\text{воздуха}) \cdot M_r(\text{воздуха}) = \frac{1}{22,4} \cdot 29 = 1,29 \text{ г}$, откуда $\omega(\text{CO}_2) = \frac{3,40 \cdot 10^{-3}}{1,29} \cdot 100 \% = \mathbf{0,26 \%}$.

5. Углекислый газ влияет на увеличение температуры Земли из-за «парникового эффекта» — явления, при котором газ свободно пропускает солнечные лучи, нагревающие Землю, но удерживают большую часть теплового излучения, не позволяя ему вернуться обратно в космос.

6. Уравнение реакции:



Фенолфталеин играет роль индикатора, а раствор меняется окраску с малинового на бесцветную из-за понижения pH.

7. Мы видим, что соотношение молей карбоната натрия к углекислому газу — 1 : 1. Найдём количество молей карбоната натрия: в изначальном растворе:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \cdot 0,02 = 0,002 \text{ моль};$$

Если мы израсходовали 360 мл воздуха, то в нём содержалось точно такое же количество молей CO_2 .

Тогда нам легко будет найти объём CO_2 , а отношение объёмов углекислого газа к объёму воздуха будет равно доле в нём.

$$V(\text{CO}_2) = 0,002 \cdot 22,4 = 0,0448 \text{ л.}$$

Найдём долю углекислого газа в 450 мл воздуха: ну

$$\frac{0,0448}{0,36} = 0,124 \text{ моль.}$$

Умножим полученную долю на 1000000, преобразовав значение в ppm, получим примерно 124000 ppm.

8. На графике видно, что после достижения концентрации CO_2 в 0,1 объёмную долю или 10 % рост эффективности фотосинтеза прекращается. Кроме углекислого газа для фотосинтеза необходима вода.

Система оценивания:

- | | |
|--|---------|
| 1. Расчёт плотности 2 балла, ответ о том, что углекислый газ будет скапливаться на полу (с объяснением) 1 балл | 3 балла |
| 2. Расчёт объёмной доли углекислого газа 2 балла | 2 балла |
| 3. Расчёт количества молекул 2 балла | 2 балла |
| 4. Расчёт массовой доли углекислого газа 2 балла | 2 балла |
| 5. Объяснение с упоминанием «парникового эффекта» 2 балла | 2 балла |
| 6. Уравнение реакции 2 балла, роль фенолфталеина 1 балл, изменение окраски раствора 1 балл | 4 балла |
| 7. Расчёт объёмной доли в ppm 2 балла | 2 балла |
| 8. Ответ о том, что после доли 0,1 (или 10 %) эффективность фотосинтеза прекращается 1 балл. Ответ о том, что кроме CO_2 необходима вода 2 балла. | 3 балла |

ИТОГО:

20 баллов

Задача 4. О Металле

Соединения металла **М** были известны древним алхимикам задолго до открытия самого металла. Ещё в Древнем Египте стекла окрашивали в фиолетовый цвет добавлением одного из минералов металла **М**. Впервые в чистом виде металл **М** был выделен в 1774 году учёными К. Шееле и Дж. Г. Ганном нагреванием его оксида **А** с углём (*реакция 1*). В настоящее время **М** широко применяется в металлургии в качестве добавки к стали, повышая её прочность и твёрдость. Его соединения используются в производстве микроудобрений и катализаторов, красок и цветных стекол.

Одно из самых известных соединений металла **М** — соль **Б**, которую можно найти практически в каждой школьной лаборатории. Она используется как антисептик в медицине и окислитель в органическом и неорганическом синтезе. Раствор **Б** имеет хорошо узнаваемую розовую (в разбавленном

растворе) или тёмно-фиолетовую (в концентрированном растворе) окраску. В промышленности её синтезируют в несколько этапов из оксида **A**, сплавляя его с калиевой щёлочи в присутствии кислорода (*реакция 2*). Получаемую при этом соль **B** тёмно-зелёного цвета окисляют хлором (*реакция 3*), в результате чего образуется **B** и хлорид калия.

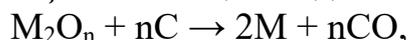
1. Определите металл **M**, название и формулу его оксида **A**, если известно, что для полного восстановления 1,000 г оксида **A** требуется 0,276 г углерода. Напишите уравнение *реакции 1*.
2. Определите названия и формулы солей **B** и **B**. Дополнительно известно, что массовая доля металла **M** в соли **B** составляет 27,92 %. Напишите уравнения *реакций 2 и 3*.

Интересно, что соль **B** является сильным окислителем, однако проявляет различные химические свойства в реакциях в зависимости от среды раствора. Например, при взаимодействии с сульфитом калия можно наблюдать следующие визуальные признаки: в среде серной кислоты раствор обесцветится (*реакция 4*), в нейтральной выпадет бурый осадок (*реакция 5*), а в растворе концентрированного гидроксида калия цвет раствора сменится на тёмно-зелёный (*реакция 6*).

3. Напишите уравнения *реакций 4-6*. Объясните наблюдаемые аналитические эффекты.

Решение:

1. Запишем уравнение *реакции 1* в общем виде:



где n — степень окисления металла. Из уравнения реакции нетрудно составить математическое уравнение:

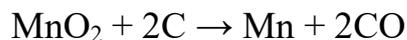
$$\frac{1,000 \cdot n}{M(M_2O_n)} = \frac{0,276}{M(C)}.$$

Составим таблицу перебора значений n от 1 до 8 и соответствующих этому значений молярных масс металла **M**:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$Mr(M),$ г/моль	13,74	27,48	41,22	54,96	68,70	82,43	96,17	109,91

Из таблицы становится ясно, что металл **M** — марганец Mn, а его оксид **A** — MnO_2 — оксид марганца (IV) (или диоксид марганца). До этого можно было догадаться и исходя из данных задачи, а именно из исторической справки, химических свойств, цвета раствора **B**, аналитических эффектов реакций и прочего.

Уравнение *реакции 1*:

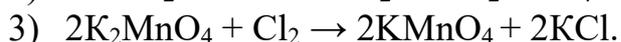


2. Определив металл, при помощи подсказок легко определить формулы солей **B** и **B**, перманганат калия $KMnO_4$ и манганат калия K_2MnO_4 соответственно. В случае затруднений с солью **B**, являющейся прекурсором

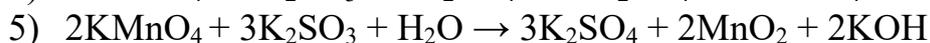
для синтеза перманганата, её можно определить из массовой доли марганца в ней:

$Mr(\mathbf{B}) = \frac{55}{0,2792} = 197 \text{ г/моль}$. После вычета марганца, по которому и ведётся расчёт, останется $197 - 55 = 142 \text{ г/моль}$. Учитывая, что вещество было получено окислением MnO_2 калиевой щелочью, очевидно, что оно должно содержать и калий, и кислород. После предположения о содержании двух атомов калия в соединении, то есть $142 - 39 \cdot 2 = 64 \text{ г/моль}$, остаток придётся на 4 атома кислорода. Отсюда и формула — K_2MnO_4 .

Уравнения *реакций 2 и 3*:



3. Уравнения *реакций 4-6*:



Аналитические эффекты объясняются продуктами реакций: в *реакции 4* нет осадков или окрашенных веществ, в *реакции 5* в осадок выпадает бурый оксид марганца (IV), в *реакции 6* тёмно-зеленую окраску даёт манганат калия.

Система оценивания:

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Металл М 2 балла, формула и название А по 1 баллу
Уравнение <i>реакции 1</i> 2 балла | 6 баллов |
| 2. Формулы и названия Б и В по 1 баллу
Уравнения <i>реакций 2 и 3</i> по 2 балла | 8 баллов |
| 3. Уравнения <i>реакций 4-6</i> по 1 баллу.
Объяснение трёх наблюдаемых эффектов, то есть указание
на цвет продуктов реакций по 1 баллу | 3 балла
3 балла |

ИТОГО:

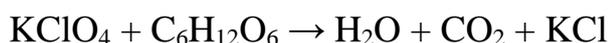
20 баллов

Реакции с неверными коэффициентами, но с верными продуктами оцениваются половиной от соответствующего числа баллов

Задача 5. Термитная смесь

Термитная смесь — порошкообразная смесь некоторого металла с оксидом другого металла. При поджигании в ней протекает реакция, выделяющая большое количество тепла, вследствие термитные смеси находят широкое применение: в производстве зажигательных снарядов, сварке и пиротехнике.

Для инициирования реакции горения термита требуется чрезвычайно высокая температура. Окислительно-восстановительной реакцией, способной запустить процесс горения термита, является взаимодействие перхлората калия с глюкозой:



1. **Расставьте коэффициенты** в приведённой схеме и запишите получившееся уравнение реакции.
2. Как называются реакции, в ходе которых выделяется тепло?
3. Какие массы реагентов необходимо использовать для получения 1000,0 кДж тепла, если известно, что протекающая реакция выделяет 2815,3 кДж тепла на 1 моль глюкозы?

Рассмотрим следующие термитные смеси: Mg и Fe₂O₃, Ti и Fe₂O₃, MnO₂ и Mg, Al и Fe₂O₃. В реакции горения термитов считайте, что исходный оксид восстанавливается до простого вещества, а металл окисляется до высшего оксида.

4. Запишите уравнения реакций горения перечисленных термитных смесей (4 уравнения реакций).
5. Исходя из приведенных ниже данных, рассчитайте стандартную теплоту реакции ΔQ_r^0 , кДж/моль, для каждой из представленных смесей.

Указание:

Стандартной теплотой образования вещества при заданной температуре называют теплоту реакции образования 1 моль вещества из простых веществ в стандартных состояниях (состояние чистого вещества при стандартных условиях).

Для решения воспользуйтесь следствием из закона Гесса:

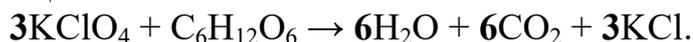
Тепловой эффект реакции равен разности сумм теплот образования продуктов и реагентов с учётом их стехиометрических коэффициентов: $\Delta Q_r^0 = \sum \Delta Q_{\text{обр}}^0(\text{продукты реакции}) - \sum \Delta Q_{\text{обр}}^0(\text{реагенты})$.

Оксид	Fe ₂ O _{3(ТВ)}	MgO _(ТВ)	TiO _{2(ТВ)}	MnO _{2(ТВ)}	Al ₂ O _{3(ТВ)}
Теплота образования, кДж/моль	822,0	601,5	943,9	521,5	1675,7

6. Для термитных смесей перечисленных составов рассчитайте количество тепла (в кДж), которое выделяется при сгорании 1 г. стехиометрической смеси (смеси, соответствующей уравнению реакции).
7. Какая термитная смесь из перечисленных является самой эффективной? А какая смесь является наиболее популярной и почему?

Решение:

1. Уравнение реакции:



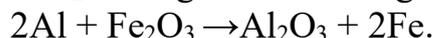
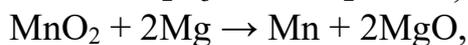
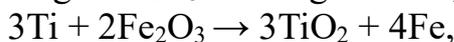
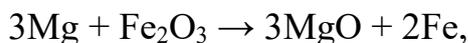
2. Реакции, в ходе которых выделяется тепло, называются **экзотермическими**.
3. Известно, что 1 моль глюкозы выделяется 2815,3 кДж тепла. Количество глюкозы, необходимое для выделения 1000 кДж тепла равно $\frac{2815,3}{1000,0} = 2,82$ раз меньше, то есть $\frac{1}{2,82} = 0,35$ моль. По уравнению реакции также можно заметить, что мольное соотношение глюкозы к перхлорату калия равно 1 к 3 соответственно, то есть количество

перхлората калия втрое больше. Таким образом, для выделения 1000,0 кДж тепла потребуется $0,35 \cdot 3 = 1,05$ моль KClO_4 . Рассчитаем массы реагентов:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,35 \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,35 \cdot 180 = \mathbf{63,00 \text{ г}};$$

$$m(\text{KClO}_4) = 1,05 \cdot M(\text{KClO}_4) = 1,05 \cdot 138,5 = \mathbf{145,43 \text{ г}}.$$

4. Уравнения реакций:



5. Из определения стандартной теплоты образования следует, что для простых веществ энтальпия образования равна нулю. Таким образом, искомые значения можно определить как разницу между энтальпиями оксидов с учётом коэффициентов реакции.

$$\Delta Q_{r1}^o = 3 \cdot 601,5 - 822 = 982,5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta Q_{r2}^o = 3 \cdot 943,9 - 822 \cdot 2 = 1187,7 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta Q_{r3}^o = 2 \cdot 601,5 - 521,5 = 681,5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta Q_{r4}^o = 1675,7 - 822 = 853,7 \text{ кДж/моль}$$

6. Проведём расчёт массы стехиометрических смесей в г/моль:

Mg и Fe_2O_3	$24 \cdot 3 + 160 = 232$ г/моль
Ti и Fe_2O_3	$48 \cdot 3 + 160 \cdot 2 = 464$ г/моль
MnO_2 и Mg	$55 + 32 + 24 \cdot 2 = 135$ г/моль
Al и Fe_2O_3	$2 \cdot 27 + 160 = 214$ г/моль

Для вычисления эффективности поделим количество теплоты на массу, например для первой смеси

$$\frac{982,5}{232} = 4,2 \text{ кДж/г}.$$

Ту же операцию необходимо проделать для каждой смеси. Тогда, получим следующие значения:

Mg и Fe_2O_3	4,2 кДж/г
Ti и Fe_2O_3	2,6 кДж/г
MnO_2 и Mg	5,0 кДж/г
Al и Fe_2O_3	4,0 кДж/г

Смесь Mg и MnO_2 выделяет наибольшее количество тепла на единицу массы среди рассматриваемых термитных смесей. Это означает, что она самая эффективная.

Самая популярная смесь — $\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$. При её использовании достигается приемлемое соотношение эффективности к цене, что является очень важным для любой промышленности.

Система оценивания:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Коэффициенты <i>2 балла</i> | 2 балла |
| 2. Название — <i>экзотермические 1 балл</i> | 1 балл |
| 3. Массы реагентов <i>по 1,5 балла</i> | 3 балла |

4. Уравнения реакций <i>по 1 баллу</i>	4 балла
5. Теплоты <i>по 1 баллу</i>	4 балла
6. Удельные теплоты <i>по 1 баллу</i>	6 баллов
Указание на самую эффективную смесь на основе расчёта <i>1 балл</i> (указание без расчёта оценивается в <i>0 баллов</i>)	
Указание на самую популярную смесь с объяснением <i>1 балл</i> , без объяснения <i>0,5 балла</i>	
ИТОГО	20 баллов