

Харківська обласна хімічна олімпіада – 2025, 8 клас

1. Нітратна кислота. Нітратна кислота є реагентом, важливим як для промисловості, так і в лабораторній практиці.

1. Найчастіше нітратна кислота поставляється у вигляді концентрованого розчину з масовою часткою HNO_3 65 % та густиною 1.39 г/см^3 . Розрахуйте молярну концентрацію HNO_3 у такому розчині.

2. Нітратна кислота може бути використана для визначення кількості речовини кальцій карбонату, що міститься у сировині (мармур, крейда, вапняк та інш.). Під час такого аналізу проводять розчинення зразку сировини CaCO_3 в кислоті. Напишіть рівняння відповідної реакції. Розрахуйте мінімальний об'єм розчину нітратної кислоти з п. 1, що потрібен для розчинення 3 г крейди, яка містить 6 % (за масою) нерозчинних домішок.

3. Нітратна кислота здатна розчиняти багато речовин, для цього часто застосовують її суміші з іншими кислотами. З якою іншою кислотою HNO_3 утворює суміш, що здатна розчиняти благородні метали, наприклад золото? З якою кислотою слід змішати азотну кислоту, щоб у такій суміші можна було розчинити скло або пісок? Запишіть рівняння відповідних реакцій.

2. Сад каміння. Український кристалічний щит простягається вздовж середньої течії р. Дніпро смугою довжиною понад 1000 км і шириною близько 250 км. З цим кристалічним масивом пов'язані родовища українських самоцвітів.



1. Білий оксид *p*-елементу **E**, який розміщений у третьому періоді, входить до складу багатьох самоцвітів. Визначте елемент **E**, якщо масова частка елемента в оксиді дорівнює 52.9 %.

2. Наявність слідової кількості іонів перехідних металів (ПМ) створює яскраві кольори в таких дорогоцінних каміннях, як рубін і сапфір. У рубінах знаходяться іони перехідного металу 1 (ПМ1), які поглинають зелене та синє світло, пропускаючи червоне світло. Синє забарвлення сапфіру обумовлено наявністю перехідних металів 2 та 3 (ПМ2 та ПМ3).

Визначте перехідні метали ПМ1, ПМ2 та ПМ3, використовуючи таку інформацію:

– у 76 г оксиду $(\text{ПМ1})_2\text{O}_3$ та 60 г оксиду $(\text{ПМ2})\text{O}_2$ міститься по 24 г атомів Оксигену;

– метал ПМ3, реагуючи з хлором, утворює бінарну сполуку $(\text{ПМ3})\text{Cl}_a$, яка при додаванні розчину калій роданіду утворює речовину криваво-червоного кольору;

– внаслідок додавання надлишку розчину аргентум (I) нітрату до розчину, в якому міститься 1.00 г $(\text{ПМ3})\text{Cl}_a$, випадає 2.65 г білого осаду;.

3. Домішки таких оксидів $(\text{ПМ1})_2\text{O}_3$, $(\text{ПМ3})_2\text{O}_3$ та V_2O_3 створюють зелений колір смарагду, основою якого є мінерал берил із загальною формулою $\text{Be}_x\text{Al}_y(\text{SiO}_3)_z$. Визначте індекси *x*, *y* та *z*, якщо масові частки елементів у берилі такі: $w(\text{Be}) = 5.03 \%$, $w(\text{Al}) = 10.06 \%$, $w(\text{Si}) = 31.28 \%$, $w(\text{O}) = 53.63 \%$.

3. Летючі кульки. Зворушлива традиція запускати повітряні кульки, яка відома всім з дитинства, викликає у хіміка суто фізичні питання.



1. Запропонуйте декілька газів, які будуть піднімати наповнені ними кульки вгору; відповідь обґрунтуйте фізичними міркуваннями.

2. Маємо кульку, яку при $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ наповнили сумішшю гелію з воднем (вважати, що гази у кульці поведуть себе як ідеальні). В результаті об'єм кульки став 5 л та встановився тиск $p = 101325\text{ Па}$, причому парціальний тиск гелію складає 24318 Па. Визначте мольну частку, кількість молей та масу кожного газу, що знаходяться у кульці.

3. Який максимальний вміст повітря може бути присутнім в кульці масою 5 г та об'ємом 5 л (за нормальних умов), наповненій гелієм, щоб така кулька була здатна самочинно підійматися вгору? Відповідь обґрунтуйте розрахунками.

4. Кульку наповнили бінарним газом, в результаті при $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ та $p = 101325\text{ Па}$ її об'єм став 5 л, а маса кульки збільшилася на 6.95 г. Газ з кульки був повністю поглинений реакційним розчином, що містив надлишок плюмбум (II) нітрату, в результаті утворився чорний осад. Визначте газ, яким заповнено кульку. Розрахуйте масу осаду.

4. Діоксид титану. Діоксид титану використовується у промисловості як пігмент, що забезпечує білий колір різних матеріалів: паперу, фарб, синтетичних волокон, гумових виробів, пластмас. Один з головних методів промислового отримання TiO_2 заснований на використанні мінералу ільменіту, який у чистому вигляді має склад FeTiO_3 або $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$.

1. Запишіть електронну конфігурацію атома Ti у вільному стані, а також конфігурацію атома Ti , що знаходиться у складі речовини FeTiO_3 .

2. Відомо, що у природі існує п'ять стабільних ізотопів Титану з відносною атомною масою від 46 до 50. Який з ізотопів Титану, на вашу думку, є найбільш розповсюдженим у природі? Відповідь обґрунтуйте. Для цього ізотопу визначте, яка кількість протонів та нейтронів входить до складу його ядра.

3. Для отримання TiO_2 з ільменіту, мінерал розчиняють у гарячій концентрованій сульфатній кислоті, одержуючи розчин, що містить сульфат титанілу $TiOSO_4$ (реакція 1). Після видалення з отриманого розчину солей Феруму, розчин нагрівають, і в результаті гідролізу випадає осад гідроксиду титану $TiO(OH)_2$ (реакція 2). Діоксид титану утворюється в результаті прожарювання гідроксиду титану (реакція 3). Запишіть рівняння реакцій 1–3.

4. Природний ільменіт, крім $FeTiO_3$, зазвичай містить певні домішки, до складу яких Ti не входить. Розрахуйте масу TiO_2 , яку можна отримати з 1 кг природного мінералу, якщо загальний вміст Ti в мінералі дорівнює 30 %, а вихід продукту для кожної з вищевказаних реакцій 1–3 дорівнює 95 %.

5. Вам простий чи подвійний? Середня сіль **A** ($w(O) = 41.27\%$, $w(X) = 19.97\%$) – важлива промислова сировина, яка використовується для отримання сполук неметалу **X**. Обробка солі **A** водним розчином кислоти **B** ($w(H) = 2.06\%$, $w(O) = 65.26\%$) призводить до утворення лише суміші речовин **B** ($w(O) = 51.23\%$) і **Г** ($w(O) = 55.76\%$). Якщо ж обробити **A** водним розчином кислоти **Д** ($w(H) = 3.09\%$), утворюється лише сіль **В**.

1. Розшифруйте речовини **A–З**, а також елемент **X**, використовуючи таку інформацію:

- сіль **A** – тернарна сполука (містить атоми трьох елементів);
- солі **A**, **В**, та **Г** забарвлюють полум'я пальника у цегляно-червоний колір;
- кислоти **B** та **Д** мають майже однакову молярну масу, і обидві реагують з розчином нітрату срібла з утворенням осаду: білого осаду **Є** ($w(Ag) = 69.19\%$) в першому випадку та жовтого осаду **Ж** ($w(Ag) = 77.31\%$) – в другому;
- 1 моль солі **В** містить стільки ж кристалізаційної води, що і 1 моль солі **Г**;
- під час нагрівання **Г** втрачає 20.93 % маси з утворенням середньої солі **З**.

2. Наведіть рівняння всіх згаданих реакцій.

3. Вкажіть, як використовується **В**, а також суміш **В** та **Г** в сільському господарстві? Як сіль **Г** використовується в медицині?

6. Суміш трьох солей. Хімік-аналітик отримав для аналізу суміш солей, що складається з безводних солей карбонату кальцію, силікату натрію та хлориду амонію. Його завданням було встановити масову частку кожного компонента в суміші, а також запропонувати метод розділення цієї суміші на компоненти. Для визначення складу цієї суміші хімік взяв наважку суміші масою 8.12 г та подіяв на неї надлишком концентрованого розчину хлоридної кислоти, в результаті виділився газ та утворився осад. Об'єм газу після приведення до нормальних умов склав 0.672 л, а маса осаду після обережного сушіння становила 1.562 г.

1. Розрахуйте склад суміші трьох солей у масових та мольних частках.

2. Запропонуйте метод розділення цієї суміші солей на компоненти.

3. Коротко опишіть, як використовуються у промисловості солі, що складають дану суміш.

7. Кольорові перетворення – завдання експериментального туру. Для проведення експерименту в шкільній лабораторії було приготовано водні розчини двох оксигеновмісних солей, розчин 1 та розчин 2, а також розчини сульфатної кислоти та їдкого натру (Фото 1). Невелику кількість розчину 1, що має інтенсивне фіолетове забарвлення, було додано до трьох пробірок (Фото 2-3). До першої з пробірок одразу було додано розчин 2, після чого в цій пробірці спостерігалось випадіння бурого осаду (Фото 4-5). До другої пробірки спочатку був доданий розчин кислоти, а потім розчин 2, в результаті в пробірці спостерігалось знебарвлення розчину (Фото 6). До третьої з пробірок з розчином 1 спочатку додали розчин лугу, а потім розчин 2, в результаті в пробірці спостерігалась зміна кольору на зелений (Фото 7). Всі три пробірки, після проходження в них хімічних реакцій, показано на Фото 8.

1. Визначте, які солі 1 та 2 було взято для проведення експерименту.

Для обґрунтування своєї відповіді використайте таку інформацію:

а) як сіль 1, так і сіль 2 забарвлюють безбарвне полум'я пальника у блідо-фіолетовий колір;

б) до складу солі 1 входять атоми трьох елементів: один з них знаходиться у другому періоді періодичної таблиці, а два інших – у четвертому; сіль 2 також містить атоми трьох елементів, два з них розташовані у 16-ій групі (VI A підгрупі) періодичної таблиці, а третій – у 1-ій;

в) масова частка атомів Оксигену у солі 1 дорівнює 40.5 %, а у солі 2 – 30.3 % .

2. Напишіть рівняння реакцій, які перебігають в кожній з трьох пробірок під час проведеного експерименту.

Фото експерименту





ФОТО 5



ФОТО 6



ФОТО 7





8 клас. Розв'язання

1. Нітратна кислота (автор – К. Брильова). Нітратна кислота є реагентом, важливим як для промисловості, так і в лабораторній практиці.

1. Найчастіше нітратна кислота поставляється у вигляді концентрованого розчину з масовою часткою HNO_3 65 % та густиною 1.39 г/см^3 . Розрахуйте молярну концентрацію HNO_3 у такому розчині.

2. Нітратна кислота може бути використана для визначення кількості речовини кальцій карбонату, що міститься у сировині (мармур, крейда, вапняк та інш.). Під час такого аналізу проводять розчинення зразку сировини CaCO_3 в кислоті. Напишіть рівняння відповідної реакції. Розрахуйте мінімальний об'єм розчину нітратної кислоти з п. 1, що потрібен для розчинення 3 г крейди, яка містить 6 % (за масою) нерозчинних домішок.

3. Нітратна кислота здатна розчиняти багато речовин, для цього часто застосовують її суміші з іншими кислотами. З якою іншою кислотою HNO_3 утворює суміш, що здатна розчиняти благородні метали, наприклад золото? З якою кислотою слід змішати азотну кислоту, щоб у такій суміші можна було розчинити скло або пісок? Запишіть рівняння відповідних реакцій.

1. Нітратна кислота (розв'язання).

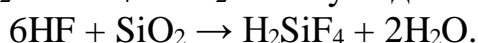
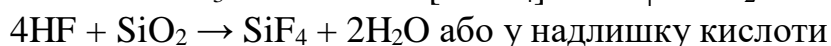
1. В 100 г розчину HNO_3 міститься 65 г кислоти. 100 г розчину кислоти має об'єм $V = 100/1,39 = 71,94$ мл або 0.07194 л. Тоді молярна концентрація такого розчину становить $c = (65/63.012)/0.07194 = 14.34$ моль/л.

2. Розчинення крейди, або карбонату кальцію відбувається згідно реакції



Кількість речовини у 3 г крейди з домішками міститься $3 \times 0.94 = 2.82$ г кальцій карбонату, що становить $2.82 / 100.09 = 0.0282$ моль. Згідно з рівнянням реакції, для розчинення потрібно $0.0282 \times 2 = 0.05635$ моль кислоти. З пункту 1 відомо, що в 1 л розчину азотної кислоти міститься 14.34 моль кислоти. Тоді для реакції необхідно $0.05635 / 14.34 = 0.0037$ л або 3,7 мл розчину з масовою часткою HNO_3 65 %.

3. Благородні метали, такі як золото, платину, паладій та інш., розчиняються у суміші концентрованих нітратної та хлоридної кислот, узятих у об'ємному співвідношенні 1 : 3, яка має назву «Царська вода». Для розчинення скла або піску можна застосувати суміш нітратної кислоти з фторидною кислотою, хоча остання й сама по собі розчиняє пісок та скло.



2. Сад каміння (автор – А. Лагута).

Український кристалічний щит простягається вздовж середньої течії р. Дніпро смугою довжиною понад 1000 км і шириною близько 250 км. З цим кристалічним масивом пов'язані родовища українських самоцвітів.



1. Білий оксид p -елементу E , який розміщений у третьому періоді, входить до складу багатьох самоцвітів. Визначте елемент E , якщо масова частка елемента в оксиді дорівнює 52.9 %.

2. Наявність слідової кількості іонів перехідних металів (ПМ) створює яскраві кольори в таких дорогоцінних каміннях, як рубін і сапфір. У рубінах знаходяться іони перехідного металу 1 (ПМ1), які поглинають зелене та синє світло, пропускаючи червоне світло. Синє забарвлення сапфіру обумовлено наявністю перехідних металів 2 та 3 (ПМ2 та ПМ3).

Визначте перехідні метали ПМ1, ПМ2 та ПМ3, використовуючи таку інформацію:

– у 76 г оксиду $(\text{ПМ1})_2\text{O}_3$ та 60 г оксиду $(\text{ПМ2})\text{O}_2$ міститься по 24 г атомів Оксигену;

– метал ПМ3, реагуючи з хлором, утворює бінарну сполуку $(\text{ПМ3})\text{Cl}_a$, яка при додаванні розчину калій роданіду утворює речовину криваво-червоного кольору;

– внаслідок додавання надлишку розчину аргентум (I) нітрату до розчину, в якому міститься 1.00 г $(\text{ПМ3})\text{Cl}_a$, випадає 2.65 г білого осаду;

3. Домішки таких оксидів $(\text{ПМ1})_2\text{O}_3$, $(\text{ПМ3})_2\text{O}_3$ та V_2O_3 створюють зелений колір смарагду, основою якого є мінерал берил із загальною формулою $\text{Be}_x\text{Al}_y(\text{SiO}_3)_z$. Визначте індекси x , y та z , якщо масові частки елементів у берилі такі: $w(\text{Be}) = 5.03\%$, $w(\text{Al}) = 10.06\%$, $w(\text{Si}) = 31.28\%$, $w(\text{O}) = 53.63\%$.

2. Сад каміння (розв'язання).

1. Молекулярна маса E_2O_3 : $(2 \times x) + (3 \times 16)$ г/моль,
Масова частка E : $2 \times x / ((2 \times x) + (3 \times 16)) = 0.529$,
 $x = 26.95$ г/моль, E – це Al .

2. Оксид металу ПМ1:

Спочатку знайдемо кількість молей оксигену в оксиді ПМ1 та ПМ2:

$$n(\text{O}) = 24 / 16 = 1.5 \text{ моль.}$$

В оксиді оксиду $(\text{ПМ1})_2\text{O}_3$ на 1 моль кисню припадає $2/3$ моль металу, тому кількість молей металу ПМ1:

$$n(\text{ПМ1}) = 1.5 \times 2/3 = 1 \text{ моль, маса металу ПМ1 в його оксиді:}$$

$m(\text{ПМ1}) = 76 - 24 = 52$ г, тобто молекулярна маса металу ПМ1 дорівнює 52 г/моль. Така молекулярна маса відповідає хрому.

В оксиді металу $(\text{ПМ2})\text{O}_2$ на 1 моль кисню припадає $1/2$ моль металу:

$$n(\text{ПМ2}) = 1.5 / 2 = 0.75 \text{ моль, маса металу ПМ2 в його оксиді:}$$

$$m(\text{ПМ2}) = 60 - 24 = 36 \text{ г, молекулярна маса ПМ2:}$$

$$M = 36 / 0.75 = 48 \text{ г/моль, така молекулярна маса відповідає титану.}$$

Утворення речовини криваво-червоного кольору сполукою $(\text{ПМЗ})\text{Cl}_a$ при додаванні розчину калій роданіду вказує, що метал ПМЗ, скоріше за все, є ферумом. Білий осад – це AgCl ,

$$n(\text{AgCl}) = 2.65 / 143.5 = 0.0185 \text{ моль,}$$

$$n((\text{ПМЗ})\text{Cl}_a) = 0.0185/a, \text{ тут } a \text{ – валентність металу ПМЗ.}$$

З іншого боку, виходячи з маси взятої солі, $n((\text{ПМЗ})\text{Cl}_a) = 1/(M + 35.5a)$,

$$0.0185/a = 1/(M + 35.5a), M = 55.66 \text{ г/моль, тобто ПМЗ – це дійсно Fe.}$$

Візьмемо 100 г берилу, тут маси кожного з елементів будуть:

$$\text{Маса берилію (Be)} = 5.03 \text{ г, } m(\text{Al}) = 10.06 \text{ г, } m(\text{Si}) = 31.28 \text{ г, } m(\text{O}) = 53.63 \text{ г.}$$

Обчислимо кількість моль кожного елемента: $n(\text{Be}) = 5.03/9 = 0.56$ моль, $n(\text{Al}) = 10.06/27 = 0.37$ моль, $n(\text{Si}) = 31.28/28 = 1.12$ моль, $n(\text{O}) = 53.63/16 = 3.35$ моль.

Знайдемо співвідношення між кількістю моль атомів кожного елемента, поділивши на найменшу кількість молекул (0.37 моль – для алюмінію): для берилію: $0.56 / 0.37 = 1.5$, для алюмінію: $0.37 / 0.37 = 1$, для кремнію: $1.12 / 0.37 = 3$, для оксигену: $3.35 / 0.37 = 9$. Для отримання цілих значень подвоїмо ці величини: для Be буде 3, для Al – 2, для Si – 3, для O – 18. Це дає брутто-формулу мінералу берилу $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$.

3. Летючі кульки (автор – А. Лагута). Зворушлива традиція запускати повітряні кульки, яка відома всім з дитинства, викликає у хіміка суто фізичні питання.



1. Запропонуйте декілька газів, які будуть піднімати наповнені ними кульки вгору; відповідь обґрунтуйте фізичними міркуваннями.

2. Маємо кульку, яку при $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ наповнили сумішшю гелію з воднем (вважати, що гази у кульці поводять себе як ідеальні). В результаті об'єм кульки став 5 л та встановився тиск $p = 101325\text{ Па}$, причому парціальний тиск гелію складає 24318 Па. Визначте мольну частку, кількість молей та масу кожного газу, що знаходяться у кульці.

3. Який максимальний вміст повітря може бути присутнім в кульці масою 5 г та об'ємом 5 л (за нормальних умов), наповненій гелієм, щоб така кулька була здатна самочинно підійматися вгору? Відповідь обґрунтуйте розрахунками.

4. Кульку наповнили бінарним газом, в результаті при $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ та $p = 101325\text{ Па}$ її об'єм став 5 л, а маса кульки збільшилася на 6.95 г. Газ з кульки був повністю поглинений реакційним розчином, що містив надлишок плюмбум (II) нітрату, в результаті утворився чорний осад. Визначте газ, яким заповнено кульку. Розрахуйте масу осаду.

3. Летючі кульки (розв'язання).

1. Щоб кулька могла підніматися, вона повинна бути легшою за повітря, тобто її густина повинна бути меншою за густину повітря, яка в середньому дорівнює 1.2255 г/л. Цю величину за нормальних умов приблизно можна розрахувати, використовуючи середню молярну масу повітря, $29/22.4 = 1.2946\text{ г/л}$. Таким чином, гази, які мають молярну масу менше, ніж 29 г/моль, будь мати й меншу густину. Такими будуть, наприклад, водень або гелій, метан. Кульки, що заповнені цими газами, завдяки дії сили Архімеда, будуть підійматися вгору.

Якщо підійти до розв'язання цього питання більш точно, необхідно врахувати власну масу самої кульки (m_k) та масу газу, що її заповнює під тиском P (MPV/RT). Тобто, для кульки об'ємом V , ρ молярною масою M маємо:

$$\frac{\overline{M}_{\text{пов}} P_0 V}{RT} \geq m_k + \frac{MPV}{RT};$$

$$M \leq \frac{\overline{M}_{\text{пов}} V P_0 - m_k RT}{PV} = \overline{M}_{\text{пов}} \frac{P_0}{P} - m_k \frac{RT}{PV}.$$

Якщо взяти $m = 1\text{ г}$; $V = 5\text{ л}$; $P = 1.1P_0$ (максимальний надлишковий тиск у кульці, що можна досягти легеннями), то за температури $T = 298\text{ К}$ та нормального атмосферного тиску маємо за цією формулою $M \leq 22\text{ г/моль}$.

2. Знаючи парціальний тиск гелію, можемо обчислити мольну частку гелію та водню в суміші газів. Мольна частка гелію: $x(\text{He}) = p(\text{He})/p_{\text{total}} = 24318/101325 \approx 0.24$, мольна частка водню $x(\text{H}_2) = 1 - x(\text{He}) = 1 - 0.24 = 0.76$.

Ідеальний газ підпорядковується рівнянню: $pV = nRT$, розрахуємо загальну кількість молей газів

$$n_{\text{total}} = pV/RT = 101325 \times 0.005 / 8.314 \times 298.15 \approx 0.0204\text{ моль},$$

$$n(\text{He}) = x(\text{He}) \times n_{\text{total}} = 0.24 \times 0.0204 \approx 0.0049\text{ моль},$$

$$n(\text{H}_2) = x(\text{H}_2) \times n_{\text{total}} = 0.76 \times 0.0204 \approx 0.0155\text{ моль},$$

$$m(\text{He}) = n(\text{He}) \times M(\text{He}) = 0.0049 \times 4 = 0.0196\text{ г},$$

$$m(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \times M(\text{H}_2) = 0.0155 \times 2 = 0.031\text{ г}.$$

3. Маса кульки дорівнює сумі її власної маси (5 г) та маси суміші повітря з гелієм об'ємом 5 л,

$$m(\text{кульки з сумішшю}) = m(\text{суміші}) + m(\text{кульки}) = m(\text{суміші}) + 5,$$

густина кульки, заповненої сумішшю, в г/л, буде дорівнювати

$$d(\text{кульки}) = m(\text{кульки з сумішшю}) / V = (m(\text{суміші}) + 5) / 5.$$

Нехай, за нормальних умов у кульці міститься суміш з об'ємною часткою повітря, що дорівнює x , тоді об'ємна частка гелію буде $(1 - x)$. За нормальних умов у кульці буде знаходитись $5/22.4 = 0.223$ моль газів, з них повітря – $0.223x$, гелію – $0.223(1 - x)$. Маса кожного з компонентів суміші буде становити, відповідно: $0.223x \times 29 = 6.467x$ та $0.223(1 - x) \times 4 = 0.892(1 - x)$, а маса всієї суміші $6.467x + 0.892 - 0.892x = 5.575x + 0.892$. Для того, щоб кулька підіймалася у повітрі, необхідно виконання нерівності:

$$d(\text{кульки}) < d(\text{повітря}),$$

$$(5.575x + 0.892 + 5) / 5 < 1.2946, (5.575x + 5.892) / 5 < 1.2946,$$

$$1.115x + 1.178 < 1.2946, 1.115x < 0.116, x < 0.104.$$

Таким чином, вміст повітря у такій кульці не повинен перевищувати 10.4 % за об'ємом.

4. $n(\text{газу}) = 101325 \times 0.005 / (8.314 \times 298.15) \approx 0.204$ моль. Можна знайти молекулярну масу газу $M = 6.95 / 0.204 \approx 34.06$ г/моль. Таку молярну масу має сірководень, який є бінарним газом, а також дає чорний осад з розчинними солями Pb^{2+} : $\text{Pb}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{PbS} \downarrow + 2\text{H}^+$.

$$n(\text{PbS}) = n(\text{H}_2\text{S}) = 0.0204 \text{ моль}, m(\text{PbS}) = 0.0204 \times 239 = 4.88 \text{ г}.$$

4. Діоксид титану (автор – С. Єльцов). Діоксид титану використовується у промисловості як пігмент, що забезпечує білий колір різних матеріалів: паперу, фарб, синтетичних волокон, гумових виробів, пластмас. Один з головних методів промислового отримання TiO_2 заснований на використанні мінералу ільменіту, який у чистому вигляді має склад FeTiO_3 або $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$.

1. Запишіть електронну конфігурацію атома Ті у вільному стані, а також конфігурацію атома Ті, що знаходиться у складі речовини FeTiO_3 .

2. Відомо, що у природі існує п'ять стабільних ізотопів Титану з відносною атомною масою від 46 до 50. Який з ізотопів Титану, на вашу думку, є найбільш розповсюдженим у природі? Відповідь обґрунтуйте. Для цього ізотопу визначте, яка кількість протонів та нейтронів входить до складу його ядра.

3. Для отримання TiO_2 з ільменіту, мінерал розчиняють у гарячій концентрованій сульфатній кислоті, одержуючи розчин, що містить сульфат титанілу TiOSO_4 (реакція 1). Після видалення з отриманого розчину солей Феруму, розчин нагрівають, і в результаті гідролізу випадає осад гідроксиду титану $\text{TiO}(\text{OH})_2$ (реакція 2). Діоксид титану утворюється в результаті прожарювання гідроксиду титану (реакція 3). Запишіть рівняння реакцій 1–3.

4. Природний ільменіт, крім FeTiO_3 , зазвичай містить певні домішки, до складу яких Ti не входить. Розрахуйте масу TiO_2 , яку можна отримати з 1 кг природного мінералу, якщо загальний вміст Ti в мінералі дорівнює 30 %, а вихід продукту для кожної з вищевказаних реакцій 1–3 дорівнює 95 %.

4. Діоксид титану (розв'язання).

1. Ti – це елемент № 22. Електронна конфігурація атома – $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 2p^6 4s^2 3d^2$ у речовині зі складом $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ атом Титану знаходиться у ступені окиснення +4, тому його конфігурація буде такою: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 2p^6$.

2. Вказано, що у природі існує п'ять стабільних ізотопів Титану з такою атомною масою: 46, 47, 48, 49, 50. У періодичній таблиці вказана середня атомна маса природного Титану – 47.87, або округлено 48. Скоріше за все, ізотоп з таким масовим числом й буде найбільш розповсюдженим. Хоча не можна виключати й такої ситуації, що найбільш розповсюдженими є атоми з масами 46 та 50, а атомів з масами 47, 48, 49 дуже мало, тоді в середньому будемо мати, що на один атом Ti доводиться 48 одиниць маси. Нехай, найбільш розповсюдженим є атом з масою 48, в його ядрі буде знаходитись 22 протони та 46 нейтронів.

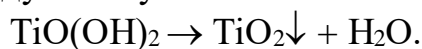
3. Розчинення мінералу у сульфатній кислоті:



Гідроліз сульфату титанілу:



Прожарювання гідроксиду титану:



4. В 1 кг природного ільменіту міститься 300 г Ti , враховуючи, що вихід продукту реакції для кожної з реакцій 1–3 дорівнює 95 %, після проведення цих перетворень до TiO_2 перейде $300 \times (0.95)^3 = 257.21$ г металу. 47.87 г металу утворюють 79.87 г діоксиду титану а з 257.21 г Ti утвориться $79.87 \times 257.21 / 47.87 = 429.15$ г TiO_2 .

5. Вам простий чи подвійний? (автор – І. Запорожець). Середня сіль **A** ($w(\text{O}) = 41.27\%$, $w(\text{X}) = 19.97\%$) – важлива промислова сировина, яка використовується для отримання сполук неметалу **X**. Обробка солі **A** водним розчином кислоти **B** ($w(\text{H}) = 2.06\%$, $w(\text{O}) = 65.26\%$) призводить до утворення лише суміші речовин **B** ($w(\text{O}) = 51.23\%$) і **Г** ($w(\text{O}) = 55.76\%$). Якщо ж обробити **A** водним розчином кислоти **Д** ($w(\text{H}) = 3.09\%$), утворюється лише сіль **В**.

1. Розшифруйте речовини **A–З**, а також елемент **X**, використовуючи таку інформацію:

- сіль **A** – тернарна сполука (містить атоми трьох елементів);
- солі **A**, **В**, та **Г** забарвлюють полум'я пальника у цегляно-червоний колір;
- кислоти **B** та **Д** мають майже однакову молярну масу, і обидві реагують з розчином нітрату срібла з утворенням осаду: білого осаду **Є**

($w(\text{Ag}) = 69.19\%$) в першому випадку та жовтого осаду **Ж** ($w(\text{Ag}) = 77.31\%$) – в другому;

- 1 моль солі **В** містить стільки ж кристалізаційної води, що і 1 моль солі **Г**;
- під час нагрівання **Г** втрачає 20.93 % маси з утворенням середньої солі **З**.

2. Наведіть рівняння всіх згаданих реакцій.

3. Вкажіть, як використовується **В**, а також суміш **В** та **Г** в сільському господарстві? Як сіль **Г** використовується в медицині?

5. Вам простий чи подвійний? (розв'язання). Цегляно-червоний колір полум'я вказує на присутність **Ca**. Отже, **A** має формулу $\text{Ca}_a\text{X}_b\text{O}_c$.

Оскільки **A** – тернарна речовина, то $w(\text{O}) = 100 - 41,27 - 19,97 = 38,76\%$

$$a : b : c = w(\text{Ca})/\text{Ar}(\text{Ca}) : w(\text{X})/\text{Ar}(\text{X}) : w(\text{O})/\text{Ar}(\text{O}) =$$

$$38,76/40,08 : 19,97/\text{Ar}(\text{X}) : 41,27/16,00 = 0,96707 : 19,97/\text{Ar}(\text{X}) : 2,5794 = 1 : 19,97/(0,96707\text{Ar}(\text{X})) : 2,667$$

Ціле число атомів **O** можна отримати, якщо $a = 3$:

$$a : b : c = 3 : 3 \cdot 19,97 / (0,96707 \text{Ar}(\text{X})) : 8$$

Якщо $a = 3$ і $c = 8$, то

$$\text{Ar}(\text{X}) = 3 \cdot 19,97 / (0,96707 \cdot b) = 61,95/b$$

Якщо $b = 2$, $\text{Ar}(\text{X}) = 30,9 \Rightarrow \text{X} - \text{P}$, **A** - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

Наступними можна визначити кислоти **Б** та **Д**.

$$w(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot \text{Ar}(\text{H}) / M(\text{Б}) \Rightarrow M(\text{Б}) = n(\text{H}) \cdot \text{Ar}(\text{H}) / w(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot 1,008 / 0,0206$$

Аналогічне рівняння можна записати для кислоти **Д**.

$$M(\text{Д}) = n(\text{H}) \cdot \text{Ar}(\text{H}) / w(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot 1,008 / 0,0309.$$

Кількість атомів **H** – невелике ціле число, тому молярну масу можна знайти методом перебору, використовуючи той факт, що молярні маси кислот **Б** та **Д** мають бути близькими. Відомо, що кислота **Б** – оксигеновмісна, тоді кількість атомів **O** $n(\text{O}) = M(\text{Б})w(\text{O})/\text{Ar}(\text{O}) = 97,86 \cdot 0,6526/16,00 = 4$. Тоді на інші елементи в складі кислоти залишається $97,86 - 2 \cdot 1,008 - 4 \cdot 16,00 \approx 32$, що відповідає сірці. Отже, **Б** - сульфатна кислота, H_2SO_4 , **Є** - Ag_2SO_4 . Крім того, можна помітити, що $97,86 - 3 \cdot 1,008 - 4 \cdot 16,00 \approx 31$, що відповідає H_3PO_4 - фосфатній кислоті (**Д**). Додаткова підказка - утворення жовтого осаду Ag_3PO_4 (**Ж**) - якісна реакція на фосфат-йон.

$n(\text{H})$	$M(\text{Б})$		$n(\text{H})$	$M(\text{Д})$
1	48,93		1	32,62
2	97,86		2	65,24
3	146,80		3	97,86

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ реагує із сульфатною кислотою з утворенням суміші кальцій дигідрофосфату ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, **В**) та гіпсу (**Г**, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

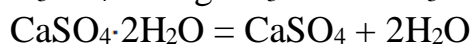
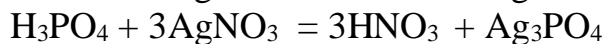
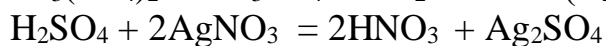
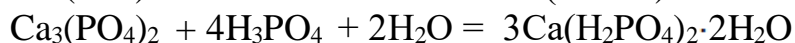
Кількість молекул кристалізаційної води можна визначити, виходячи з того, що масова частка води в **Г** - 20.93 %. Якщо записати формулу **Г** як

$$\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}, \text{ то } x \cdot M(\text{H}_2\text{O}) / (M(\text{CaSO}_4) + x \cdot M(\text{H}_2\text{O})) = 0.2093, \text{ тоді } x = 2.$$

Ця суміш відома також під назвою простий суперфосфат. Реакція із фосфатною кислотою призводить до утворення лише **В**, що також має назву подвійний суперфосфат. Саме на простий і подвійний суперфосфат натякає назва задачі.

Зневоднення гіпсу призводить до утворення ангідриту (**З**, CaSO_4)

2. Рівняння реакцій:



3. Простий та подвійний суперфосфат використовуються як добрива.

4. Гіпс використовується для виготовлення гіпсових пов'язок, що застосовуються у випадку переломів кісток.

6. Суміш трьох солей (автор – С. Єльцов). Хімік-аналітик отримав для аналізу суміш солей, що складається з безводних солей карбонату кальцію, силікату натрію та хлориду амонію. Його завданням було встановити масову частку кожного компонента в суміші, а також запропонувати метод розділення цієї суміші на компоненти. Для визначення складу цієї суміші хімік взяв наважку суміші масою 8.12 г та подіяв на неї надлишком концентрованого розчину хлоридної кислоти, в результаті виділився газ та утворився осад. Об'єм газу після приведення до нормальних умов склав 0.672 л, а маса осаду після обережного сушіння становила 1.562 г.

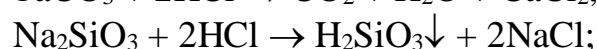
1. Розрахуйте склад суміші трьох солей у масових та мольних частках.

2. Запропонуйте метод розділення цієї суміші солей на компоненти.

3. Коротко опишіть, як використовуються у промисловості солі, що складають дану суміш.

6. Суміш трьох солей (розв'язання).

1. Рівняння реакцій:



$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0.672/22.4 = 0.03 \text{ моль}, m(\text{CaCO}_3) = 0.03 \times 100 = 3 \text{ г};$$

$$n(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = n(\text{H}_2\text{SiO}_3) = 1.562/78.1 = 0.02 \text{ моль}, m(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 0.02 \times 122 = 2.44 \text{ г}.$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 8.12 - (3 + 2.44) = 2.68 \text{ г}, n(\text{NH}_4\text{Cl}) = 2.68/53.5 = 0.05 \text{ моль}.$$

Загальна кількість моль речовини в суміші: $0.03 + 0.02 + 0.05 = 0.1$ моль.

Мольні частки:

$$x(\text{CaCO}_3) = 0.03/0.1 = 0.3 \text{ або } 30\%, x(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 0.02/0.1 = 0.2 \text{ або } 20\%,$$

$$x(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0.05/0.1 = 0.5 \text{ або } 50\%.$$

Масові частки:

$$w(\text{CaCO}_3) = 3/8.12 = 0.3695 \text{ або } 36.95\%, w(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 2.44/8.12 = 0.3005$$

$$\text{або } 30.05\%, w(\text{NH}_4\text{Cl}) = 2.68/8.12 = 0.3300 \text{ або } 33.00\%.$$

2. Метод розділення цієї суміші солей на компоненти: хлорид амонію має властивість до розкладання на газоподібні HCl та NH_3 при $337.6\text{ }^\circ\text{C}$, при охолодженні HCl та NH_3 знов утворюють вихідну сіль. Таким чином хлорид амонію фактично сублимується, а потім при охолодженні конденсується. Коли із суміші після нагрівання до приблизно $340\text{ }^\circ\text{C}$ видаляється NH_4Cl , суха суміш CaCO_3 та Na_2SiO_3 може бути перенесена до води, при цьому натрій силікат розчиняється, а кальцій карбонат є нерозчинним та залишається у вигляді осаду.

3. Натрій силікат використовуються у виготовленні мийних засобів, для виробництва клею, та й навіть, у харчовій промисловості як антиспікаючий агент. Кальцій карбонат широко використовують в паперовій та харчовій промисловості, при виробництві пластмаси, фарб, гуми, скла, продуктів побутової хімії, будівельних матеріалів та сумішей. Хлорид амонію застосовується в сільському господарстві як азотне добриво, в промисловості за допомогою хлориду амонію видаляють оксидну плівку з поверхонь металевих виробів при пайці.

7. Кольорові перетворення – завдання експериментального туру (автор – С. Єльцов). Для проведення експерименту в шкільній лабораторії було приготовано водні розчини двох оксигеновмісних солей, розчин 1 та розчин 2, а також розчини сульфатної кислоти та їдкою натру (Фото 1). Невелику кількість розчину 1, що має інтенсивне фіолетове забарвлення, було додано до трьох пробірок (Фото 2-3). До першої з пробірок одразу було додано розчин 2, після чого в цій пробірці спостерігалось випадіння бурого осаду (Фото 4-5). До другої пробірки спочатку був доданий розчин кислоти, а потім розчин 2, в результаті в пробірці спостерігалось знебарвлення розчину (Фото 6). До третьої з пробірок з розчином 1 спочатку додали розчин лугу, а потім розчин 2, в результаті в пробірці спостерігалась зміна кольору на зелений (Фото 7). Всі три пробірки, після проходження в них хімічних реакцій, показано на Фото 8.

1. Визначте, які солі 1 та 2 було взято для проведення експерименту.

Для обґрунтування своєї відповіді використайте таку інформацію:

а) як сіль 1, так і сіль 2 забарвлюють безбарвне полум'я пальника у блідо-фіолетовий колір;

б) до складу солі 1 входять атоми трьох елементів: один з них знаходиться у другому періоді періодичної таблиці, а два інших – у четвертому; сіль 2 також містить атоми трьох елементів, два з них розташовані у 16-ій групі (VI A підгрупі) періодичної таблиці, а третій – у 1-ій;

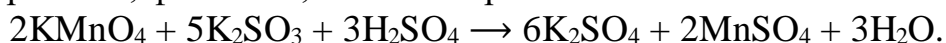
в) масова частка атомів Оксигену у солі 1 дорівнює 40.5 %, а у солі 2 – 30.3 % .

2. Напишіть рівняння реакцій, які перебігають в кожній з трьох пробірок під час проведеного експерименту.

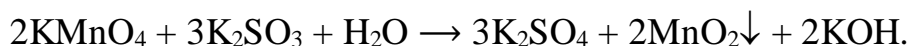
7. Кольорові перетворення (розв'язання).

1. Забарвлення полум'я пальника у блідо-фіолетовий колір свідчить про наявність у цих двох солях катіона калію; цей елемент у періодичній таблиці знаходиться у першій групі та четвертому періоді. Оскільки обидві солі є оксигеновмісними, то другим елементом у складі солей буде Оксиген, елемент, який у періодичній таблиці знаходиться у VI А групі та у другому періоді. Третім елементом у складі цих солей буде певний кислотоутворюючий елемент. Виходячи з кольору вихідного розчину та зміни кольору під час описаних перетворень, для першої солі можна запропонувати Манган, як кислотоутворюючий елемент. Тоді сіль 1 буде KMnO_4 , зробимо перевірку для цієї солі: $w(\text{O}) = 64/158 = 0.405$ або 40.5 %. Виходячи з відновних властивостей солі 2, та положення третього елемента зі складу цієї солі, можна запропонувати Сульфур, як кислотоутворюючий елемент. Тоді сіль 2 буде K_2SO_3 , зробимо перевірку для цієї солі: $w(\text{O}) = 48/158 = 0.303$ або 30.3 %.

2. В кислому середовищі перманганат іон відновлюється до Mn^{2+} , який у розведеному розчині, фактично, є безкольоровим:



У нейтральному середовищі – до MnO_2 , який випадає у вигляді бурого осаду:



В лужному середовищі – до манганат іону, який має зелене забарвлення

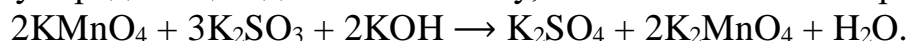


Фото експерименту





ФОТО 5



ФОТО 6



ФОТО 7



