

**III ЕТАП ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ УЧНІВСЬКОЇ ХІМІЧНОЇ ОЛІМПІАДИ,  
ХАРКІВСЬКА ОБЛАСТЬ, 2019/2020 НАВЧАЛЬНИЙ РІК**

**8 клас, завдання та розв'язки**

**1. Чисті речовини та їх суміші.**

1. Для нижчевказаних систем, визначте, які з них є чистими речовинами, а які – сумішшю декількох речовин (відповідь поясніть): а) повітря; б) питна вода; в) дистільована вода; г) питна сода; д) ювелірне золото 583 проби. Для сумішей запишіть формули речовин, що можуть входити до їх складу.

2. Запропонуйте методи розділення та послідовність їх застосування, що необхідні для виділення кожного компонента у вигляді чистої речовини із вказаних сумішей: а) водний розчин кухонної солі; б) тверда суміш крейди та кальцинованої соди; в) розчин спирту у воді; г) суміш трьох газів: азоту, кисню та аргону.

3. Суміш солей складається з NaCl та KCl. При розчиненні у воді наважки такої суміші масою 20.75 г та подальшій дії надлишку розчину AgNO<sub>3</sub> випав осад, маса якого після висушування дорівнює 43.05 г. Розрахуйте масові частки солей у суміші.

4. Природне срібло складається з двох стабільних ізотопів <sup>107</sup>Ag та <sup>109</sup>Ag. Використовуючи значення відносної атомної маси Аргентуму, що наведена у Періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва, яка дорівнює 107.87, розрахуйте вміст кожного з ізотопів у природному сріблі.

**1. Чисті речовини та їх суміші.**

1. а) повітря – суміш (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O);

б) питна вода – розчин (суміш) солей у воді (H<sub>2</sub>O, NaCl, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> та інш.); а також газів (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>);

в) дистільована вода – чиста речовина;

г) питна сода – чиста речовина;

д) ювелірне золото 583 проби – суміш (Au, Cu, Ag).

2. а) Водний розчин кухонної солі можна розділити випаровуванням розчину з наступною конденсацією водяної пари;

б) Крейда не розчиняється у воді, тоді як кальцинованої сода – добре розчинна; застосовуючи воду у якості розчинника отримуємо розчин соди та осад крейди, яку відділяємо фільтруванням; соду з розчину отримуємо в результаті випаровування розчинника;

в) Компоненти системи спирт–вода можна розділити фракційною перегонкою, але тільки до вмісту спирту не більше 96%; щоб отримати 100% спирт воду необхідно зв'язувати хімічно, наприклад, використовуючи негашене вапно, або утворювати потрібну суміш вода–спирт–бензол, яка в результаті перегонки дає чистий спирт;

г) Суміш трьох газів – азоту, кисню та аргону – фактично імітує повітря. У промисловості для розділення повітря на компоненти може застосовуватися, наприклад, метод низькотемпературної ректифікації. Спочатку повітря стискається компресором, потім, після чого охолоджується до температури 93 К і перетворюється в рідину. Подальший розділ рідкого повітря заснований на відмінності температури кипіння його компонентів: кисню – 90.2 К, азоту – 77.4 К, аргону – 87.3 К. При поступовому випаровуванні рідкого повітря спочатку випаровується переважно азот, а рідина, що залишається збагачується киснем та аргоном. Повторюючи подібний процес багато разів на ректифікаційних колонах, отримують рідкий кисень, азот і аргон потрібної чистоти.

3. В результаті дії надлишку розчину AgNO<sub>3</sub> на розчин суміші солей NaCl та KCl утворюється осад AgCl, причому з 1 моль кожної солі утворюється 1 моль осаду;  $43.05/143.5 = 0.30$  моль. Нехай маса NaCl становить  $x$  г, тоді KCl –  $(20.75 - x)$  г. Кількості речовини солей становлять  $x/58.5$  моль та  $(20.75 - x)/74.5$  моль, відповідно. Отримуємо рівняння  $x/58.5 + (20.75 - x)/74.5 = 0.3$ , розв'язання якого дає  $m(\text{NaCl}) = 5.85$  г,  $m(\text{KCl}) = 14.90$  г, звідки  $\omega(\text{NaCl}) = 5.85/20.75 = 0.2819$  або 28.19%,  $\omega(\text{KCl}) = 0.7181$  або 71.81%.

4. Відносна атомна маса Аргентуму, що наведена у Періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва, яка дорівнює 107.87, є середньою масою, визначеною з урахуванням вмісту кожного з ізотопів <sup>107</sup>Ag та <sup>109</sup>Ag. Використовуючи рівняння для розрахунку середньої молярної маси маємо:

$$107.87 = 107x + 109(1 - x),$$

де  $x$  – масова частка ізотопу <sup>107</sup>Ag. Розв'язуючи маємо:  $\omega(^{107}\text{Ag}) = 0.565$ ,  $\omega(^{109}\text{Ag}) = 0.435$ .

**2. Нітратна кислота.** Водні розчини нітратної (азотної) кислоти мають дуже широке застосування: від виробництва мінеральних добрив, фарб та ліків до ювелірної справи та військової промисловості. Важливим є те, що в залежності від концентрації кислоти у розчині її реакції можуть відбуватися з утворенням різних продуктів, тому необхідним є контроль концентрації  $\text{HNO}_3$ .

1. У лабораторії чисту нітратну кислоту (густина 1,51 г/мл) об'ємом 500 мл обережно прилили до одного літру води і отримали розчин об'ємом 1380 мл. Розрахуйте масову частку та молярну концентрацію  $\text{HNO}_3$  в отриманому розчині. Чому було обрано саме такий спосіб приготування – додати кислоту до води – а не навпаки?

2. Під час стояння на світлі азотна кислота розкладається з утворенням газу бурого кольору, який розчиняється в ній та надає розчину жовтого відтінку. Визначте, який це газ. Запишіть рівняння реакції.

3. Наведіть один приклад, який підтверджує, що в залежності від концентрації  $\text{HNO}_3$  в результаті реакції за її участі можуть утворюватися різні продукти.

### 2. Нітратна кислота.

1. Під час заємодії азотної кислоти з водою виділяється багато тепла (екзотермічний процес), що може суттєво нагріти розчин, який утворюється. Якщо додавати воду до чистої кислоти, то вода, маючи меншу густину, залишається на поверхні кислоти. Тепло, що виділяється, йде на нагрівання верхнього шару рідини, при цьому може відбуватися її випаровування та розбризкування. При додаванні більш в'язкої кислоти до води відбувається рівномірний розподіл тепла, що виділяється, без утворення зон перегріву. Знаходимо маси компонентів розчину та його масу, потім – масову частку  $\text{HNO}_3$ :

$$\begin{aligned}m(\text{HNO}_3) &= 500 \cdot 1.51 = 755 \text{ г}, \\m(\text{H}_2\text{O}) &= 1000 \text{ г}, \quad \omega(\text{HNO}_3) = 755 / 1755 = 0.430 \text{ (или 43.0\%)} \\m(\text{р-ра}) &= 1000 + 755 = 1755 \text{ г}.\end{aligned}$$

Знаходимо густину розчину, кількість речовини  $\text{HNO}_3$  та молярну концентрацію розчину.

$$\begin{aligned}\rho(\text{р-ра}) &= 1755 \text{ г} / 1380 \text{ мл} = 1.27 \text{ г/мл}, \\v(\text{HNO}_3) &= 755 / 63 = 11.98 \text{ моль}, \\c(\text{HNO}_3) &= 11.98 \text{ моль} / 1.38 \text{ л} = 8.68 \text{ М}.\end{aligned}$$

2. Газ бурого кольору –  $\text{NO}_2$ ; реакція:  $4\text{HNO}_3 \rightarrow 4\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ .

3.  $\text{Zn} + 4\text{HNO}_3$  (конц.)  $\rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ,  
 $5\text{Zn} + 12\text{HNO}_3$  (розб.)  $\rightarrow 5\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ .

**3. Сухий лід.** Сухий лід – це твердий оксид карбону(IV), який має густину 1.56 г/мл. При звичайних умовах (нормальний тиск, кімнатна температура) сухий лід переходить у газоподібний стан, минаючи рідку фазу. Такий перехід із твердого стану безпосередньо до газоподібного має назву сублімація.

1. Розрахуйте, у скільки разів збільшується об'єм оксиду карбону(IV) при його сублімації із стану сухого льоду до вуглекислого газу при нормальних умовах.

2. Вапняна вода, яка являє собою розчин кальцій гідроксиду, під час занурення до неї сухого льоду спочатку каламутніє, потім з неї випадає білий осад, який з часом розчиняється. Поясніть, чому відбуваються такі зміни; запишіть рівняння реакцій.

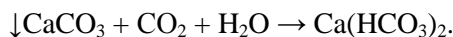
3. Диоксид карбону, який утворюється під час сублімації сухого льоду, може бути використаний для тушіння більшості типів пожеж у хімічній лабораторії. Проте, існують певні реакції горіння, для яких  $\text{CO}_2$  не виявляє пожежогасних властивостей. Поясніть, на чому засноване використання вуглекислого газу для гасіння пожежи, а також наведіть один приклад реакції горіння, яка не припиняється під дією  $\text{CO}_2$ .

### 3. Сухий лід.

1. Візьмемо 1 моль сухого льоду, його маса буде становити 44 г. При його сублімації до вуглекислого газу при нормальних умовах утворюється газ об'ємом 22.4 л, в той час як тверда речовина буде мати об'єм всього  $44/1.56 = 28.21$  мл або 0.0282 л. Таким чином, при сублімації об'єм  $\text{CO}_2$  збільшується у  $22.4/0.0282 = 794.3$  рази.

2.  $\text{CO}_2$ , який утворює сухий лід, взаємодіє з кальцій гідроксидом, спочатку утворюючи нерозчинний кальцій карбонат; це веде до появи каламуті, а потім й до його випадіння у вигляді білого осаду. З часом, за умови надлишку вуглекислого газу, осад буде розчинятися внаслідок утворення розчинного гідрокарбонату. Рівняння реакцій:





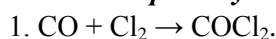
3. Діоксид карбону може бути використаний для тушіння більшості типів пожеж у хімічній лабораторії, оскільки він не підтримує найрозповсюдженіші реакції горіння такі, як, наприклад, горіння органічних речовин. Маючи густину, більшу ніж у повітря,  $\text{CO}_2$  осідає на поверхні горіння, позбавляючи її контакту з киснем; внаслідок цього реакція взаємодії речовини з киснем припиняється. Проте, є такі реакції горіння, в яких відновник взаємодіє також і з  $\text{CO}_2$ , у цих випадках вуглекислий газ не виявляє пожежо-гасних властивостей. Як приклад, можна навести реакції горіння магнію або лужних металів, які продовжуються і в атмосфері  $\text{CO}_2$ :  $2\text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{C}$ .

**4. Синтез фосгену.** Фосген має формулу  $\text{COCl}_2$ , це безбарвний газ, надзвичайно отруйний, завдяки чому застосовувався як бойова отруйна речовина під час Першої світової війни; ефективним захистом від його дії є протигаз. Фосген виявляє сильні хлоруючі властивості, що використовується в органічній хімії для отримання хлорпохідних. Спосіб отримання фосгену із  $\text{CO}$  та  $\text{Cl}_2$  запропоновано Г. Деві у 1811 році та потім модифіковано для покращення виробництва.

Хімік для синтезу фосгену ввів  $\text{CO}$  та  $\text{Cl}_2$  у вакуумовану ємність при температурі 600 К і тиску  $1,01 \cdot 10^5$  Па. Через деякий час він проаналізував вміст ємності і виявив, що в ній міститься 56 г  $\text{CO}$ , 71 г  $\text{Cl}_2$  та 198 г  $\text{COCl}_2$ .

1. Напишіть рівняння реакції синтезу  $\text{COCl}_2$ .
2. Розрахуйте масові частки  $\text{CO}$  та  $\text{Cl}_2$  у вихідній суміші.
3. Розрахуйте, який об'єм за нормальних умов займали би  $\text{CO}$  та  $\text{Cl}_2$ , які були взяті для проведення синтезу. Визначте об'єм ємності, що була використана для проведення синтезу.
4. Визначте величину тиску, що спостерігався в ємності під час проведення аналізу.

**2. Синтез фосгену.**



2. Знаходимо кількість речовини газів до реакції  $n_1$  та їх маси  $m_1$

$$n_1(\text{CO}) = n(\text{CO}) + n(\text{COCl}_2) = 4 \text{ моль}; m_1(\text{CO}) = n_1 * M = 112 \text{ г.}$$

$$n_1(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) + n(\text{COCl}_2) = 3 \text{ моль}; m_1(\text{Cl}_2) = n_1 * M = 106,5 \text{ г.}$$

$$w(\text{CO}) = 112 / 218,5 = 51,26 \%, w(\text{Cl}_2) = 106,5 / 218,5 = 48,74 \%$$

3. 2 моль  $\text{CO}$  займатиме об'єм  $22,4 * 2 = 44,8$  л, 1 моль  $\text{Cl}_2$  займатиме об'єм 22,4 л.

4. Об'єм ємності відповідатиме об'єму газів у кількості 7 моль на початку синтезу.

$$pV = nRT; V = nRT/p; V = 0,35 \text{ м}^3.$$

5. При  $T, V = \text{const}$  рівняння Менделєєва–Клапейрона має вигляд:  $p = k * n$ ,

до реакції:  $p_1 = k * n_1$  та після  $p_2 = k * n_2$ ,

де  $n_1$  та  $n_2$  – кількість моль усіх газів до та після реакції,  $n_1 = 7$  моль,  $n_2 = 5$  моль.

$$k = p_1 / n_1; p_2 = p_1 / n_1 * n_2 = 0,721 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

**5. Хімічний кросворд.** Розв'яжіть кросворд, назвавши елементи 1–9, якщо про них відомо:

1. Атом елемента має таку кількість протонів в ядрі, яка дорівнює номеру періоду, в якому він знаходиться.

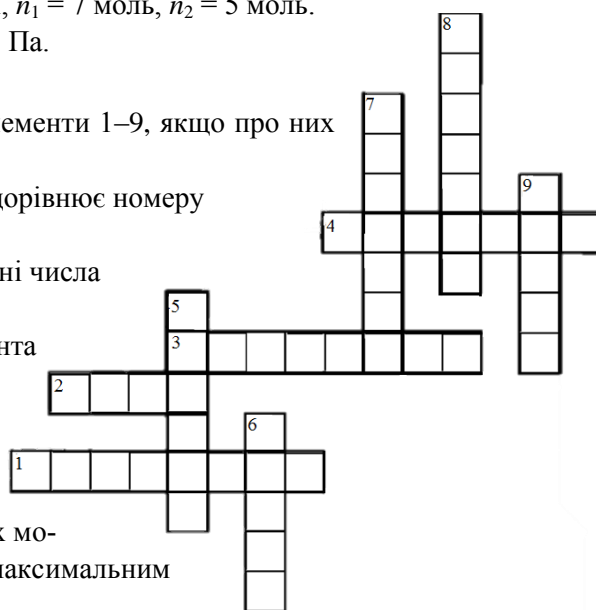
2. Елемент має два природних стабільних ізотопи, нуклідні числа яких дорівнюють 35 і 37.

3. Нуклонне число найрозповсюдженішого ізотопу елемента дорівнює номеру періоду, взятому у ступені, що дорівнює номеру періоду.

4. Вищий оксид елемента має формулу  $\text{EO}_2$ , а число протонів у його молекулі дорівнює 30.

5. Елемент може існувати у вигляді декількох алотропних модифікацій, одна з яких має твердість за шкалою Мооса 10, що є максимальним значенням.

6. Потік ядер цього елемента називається альфа-випромінюванням.



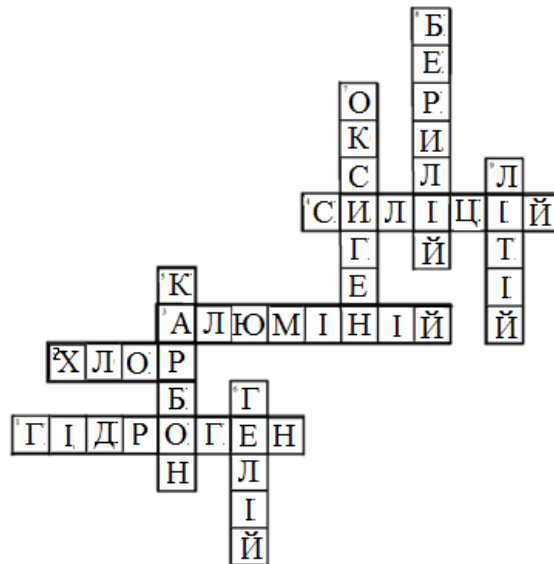
7. Кількість електронів в атомі елемента, що розташовується на всіх *s*-орбіталях, дорівнює кількості електронів на його *p*-орбіталях.

8. Кількість електронів, розташованих на кожному енергетичному підрівні в атомі елемента, збігається з номером групи, у якій знаходиться елемент у періодичній системі.

9. Кількість протонів в ядрі найрозповсюдженного ізотопа елемента дорівнює сумі номеру періоду та групи в періодичній системі, а кількість нейтронів на один більше, ніж заряд ядра.

### 5. Хімічний кросворд.

1. Гідроген.
2. Якщо елемент має два стабільних ізотопи з масами 35 і 37, то його молярна маса коливається від 35 до 37. Елемент, що підходить це Хлор.
3. Можливі варіанти нуклонного числа 1, 4, 27, 256, (наступне значення 3125). Гідроген вже був (далі не зйдеється). Стабільних нуклідів у другому і четвертому періоді з нуклонним числом 4 і 256 нема. Єдина правильна відповідь – Алюміній.

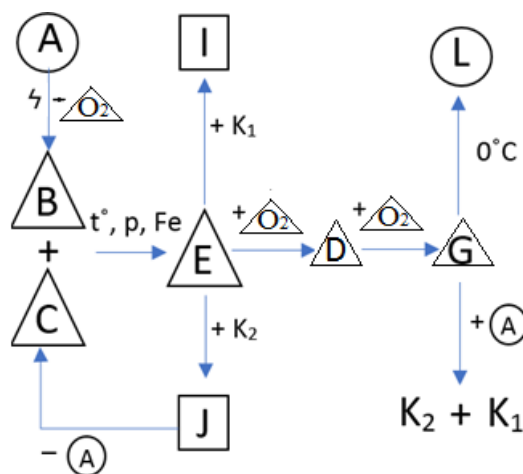


4. Силіцій.
5. 10 по шкалі твердості Мооса має алмаз. Елемент – Карбон.
6. Гелій.
7. Перша *p*-орбіталь починає заповнюватися, коли кількість *s*-електронів досягає 4. Далі 2*p*-орбітали заповнюються 6 електронами і починає заповнюватися 3*s*-орбіталь. Далі кількість електронів на *p*-орбіталях завжди переважає над кількістю електронів на *s*-орбіталях. Можливі лише дві конфігурації елемента:  $1s^2 2s^2 2p^4$  і  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ , що, відповідно, є Оксиген і Магній. Оксиген підходить по кількості літер.
8. Оскільки кожний елемент має *s*-підрівень на якому можуть знаходитися максимум два електрони, то якщо у елемента заповнюється *p*-підрівень більше ніж на 2 електрони, то він не підходить. Тобто, можливі лише елементи 1 або 2 групи та 1 і 2 періодів. Це відповідає Гідрогену і Берилію. Гідроген не підходить по літерам.
9. Першій умові відповідають всі елементи другого періоду. Другій умові відповідають: Літій, Берилій, Бор, Фтор. За кількістю літер підходить Літій.

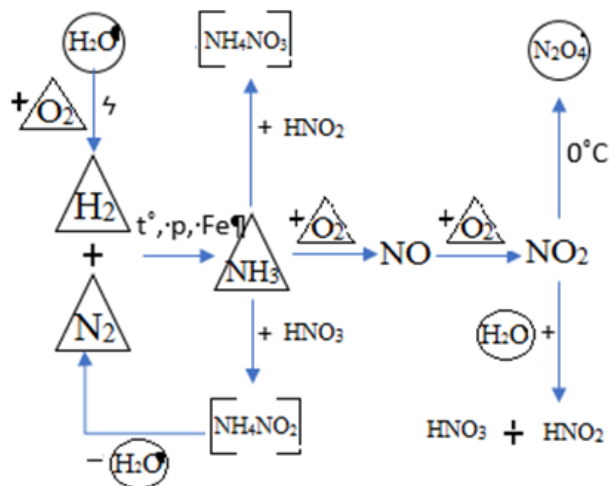
**6. Амон-Ра.** За однією з версій, речовина **Е** отримала свою назву від давньоєгипетського слова амоніан, яким називали людей, які поклоняються богу Амону, бо єгиптяни під час своїх ритуальних обрядів нюхали мінерал, який при нагріванні випаровує **Е**. На схемі, що зображена зліва, показано взаємоперетворення, у яких бере участь речовина **Е**. Всі речовини крім **А** та **В**, містять елемент **Х**.

1. Розгадайте всі речовини, що є на схемі, а також елемент **Х**, якщо відомо, що:

- масова частка елемента **Х** в сполуці **Е** дорівнює 82.22 %;
  - речовина **А** покриває дві третини поверхні Землі;
  - водний розчин **Е** забарвлює універсальний індикатор в синій колір, а **К1** і **К2** – в червоний;
  - форма рамки речовини на схемі відповідає агрегатному стану сполук за нормальних умов.
2. Напишіть рівняння всіх реакцій, що є на схемі.



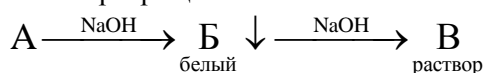
6. Амон-Ра. Заповнена схема перетворень із вказаними речовинами та схемами реакцій



7. **Завдання експериментального туру.** Речовина А є кристалогідратом подвійної солі складу  $XYZ_2 \cdot nH_2O$  (X та Y – метали, Z – кислотний залишок), при розчиненні А у воді утворюється безбарвний розчин. При прожарюванні до постійної маси 3 г кристалогідрату А за температури 120 °С маса солі зменшується на 1.367 г. Катіон одного з металів, що входять до складу А осаджується з розчину за допомогою розчину NaOH, при цьому випадає білий осад речовини Б. При подальшому додаванні NaOH до Б осад розчиняється (кількість речовини Б і NaOH співвідносяться як 1:1) з утворенням безбарвного розчину речовини В. Також відомо, що при внесенні солі А в полум'я, воно забарвлюється в бузково-фіолетовий колір. А при додаванні розчину барій хлориду до розчину солі А випадає білий дрібнокристалічний осад Г нерозчинний у мінеральних кислотах.

1. Визначте речовини А, Б, В, Г; напишіть рівняння всіх згаданих хімічних реакцій;
2. Запишіть хімічну формулу кристалогідрату солі А та його тривіальну назву, якщо відомо, що масова частка металів в кристалогідраті складають 8.24 % та 5.69 %;
3. Зробіть висновок про властивості речовини Б, якщо також відомо, що Б: а) розчиняється в хлоридній кислоті; б) розкладається при нагріванні; в) реагує також і з твердим NaOH за умов сплавлення. Запишіть рівняння даних реакцій.

7. **Завдання експериментального туру.** Из условия задачи становится понятно, что была осуществлена цепочка превращений:



При прокаливании 3 г кристаллогидрата соли А масса уменьшилась на 1.367 г за счет испарения кристаллизационной воды.

$$\omega(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{m(\text{вещ.})} = \frac{1.367}{3} = 0.4557$$

Так как формула кристаллогидрата  $XYZ_2 \cdot nH_2O$ , массовая доля анионов будет составлять:

$$\omega(Z) = 1 - (\omega(X) + \omega(Y) + \omega(H_2O)) = 1 - (0.0823 + 0.0570 + 0.4557) = 0.4050$$

По условию задачи при добавлении  $BaCl_2$  к раствору А выпадает белый осадок растворимый в минеральных кислотах, что соответствует наличию сульфат-ионов в растворе, а значит Г –  $BaSO_4$ . Следовательно Z – это сульфат ионы. Тогда находим молярную массу кристаллогидрата:

$$Mr(\text{кр.гидр.}) = \frac{2Mr(SO_4^{2-})}{\omega(SO_4^{2-})} = \frac{2 \cdot (32 + 16 \cdot 4)}{0.4050} = 474$$

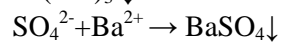
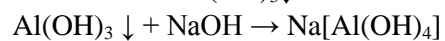
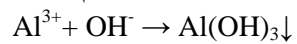
$$\text{Тогда } Ar(X) = 474 \cdot 0.0823 = 39.01 \Rightarrow X = K.$$

$$Ar(Y) = 474 \cdot 0.0570 = 27.02 \Rightarrow Y = Al.$$

Кристаллогидрат **A** – это алюмокалиевые квасцы  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Следовательно

**B** –  $Al(OH)_3 \downarrow$ ; **B** –  $Na[Al(OH)_4]$ , **Г** –  $BaSO_4 \downarrow$

Реакции:



$Al(OH)_3$  проявляет амфотерные свойства, что подтверждается реакциями:

