

М.А.Н.

Завдання

IV етапу Всеукраїнських
учнівських олімпіад
з навчальних предметів

2024/2025 навчальний рік

ХІМІЯ



Київ — 2025



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР «МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ»

Завдання

IV етапу Всеукраїнських
учнівських олімпіад
з навчальних предметів
2024/2025 навчальний рік

ХІМІЯ

Практикум

Київ
Національний центр
«Мала академія наук України»
2025

Автори:

*В. В. Бур'янов, канд. хім. наук, К. С. Гавриленко, канд. хім. наук,
А. І. Ганопольський, А. Г. Готинчан, А. Б. Гриньова, Т. В. Друженко,
М. О. Зайченко, М. О. Іваниця, Е. М. Камалова, О. С. Комарницький,
І. Д. Кона, В. І. Краплин, О. В. Кудрик, В. В. Листван, канд. хім. наук,
О. Ю. Ляпунов, канд. хім. наук, Є. Б. Минак, М. О. Пашко,
Д. С. Радченко, канд. хім. наук, Б. О. Шеметов*

Відповідальна за випуск:

А. І. Грітчина, канд. пед. наук

Упорядники:

І. І. Токменко, канд. хім. наук, доц., Т. М. Кречотіна

*Рекомендовано для використання в освітньому процесі
рішенням науково-методичної ради
Національного центру «Мала академія наук України»
(протокол № 2 від 16.06.2025)*

3-13 **Завдання** IV етапу Всеукраїнських учнівських олімпіад з навчальних предметів. 2024/2025 навчальний рік. Хімія : практикум / В. В. Бур'янов, К. С. Гавриленко, А. І. Ганопольський та ін.; відп. за вип. А. І. Грітчина ; упоряд.: І. І. Токменко, Т. М. Кречотіна. — Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2025. — 216 с.

ISBN 978-617-7945-94-8

Основу збірника становлять завдання, які охоплюють різні теми з хімії, що вивчаються у 8–11 класах, і можуть бути використані для поглиблення та розширення знань учнів і вихованців під час індивідуальної та групової роботи, спрямованої на підготовку до участі в олімпіадах, конкурсах, турнірах. Відповіді до завдань дають можливість перевірити рівень знань із хімії, визначити динаміку їх покращення, об'єктивно оцінити досягнення.

Видання призначене для учнів закладів загальної середньої та вихованців позашкільної освіти, які виявляють бажання підвищити результати навчання з предмета, педагогів, які організують роботу з підготовки дітей до участі у конкурсах й олімпіадах, а також усіх охочих самостійно визначити рівень знань із хімії.

УДК 373

© Бур'янов В. В., Гавриленко К. С.,
Ганопольський А. І. та ін., 2025

© Національний центр

«Мала академія наук України», 2025

ISBN 978-617-7945-94-8

ЗМІСТ

| | |
|------------------------------------|-----|
| Вступ | 4 |
| Пам'ятка учасникам олімпіади | 5 |
| Довідкові матеріали | 6 |
| Завдання | 11 |
| 8 клас | 12 |
| 9 клас | 35 |
| 10 клас | 64 |
| 11 клас | 91 |
| Відповіді | 141 |
| 8 клас | 142 |
| 9 клас | 157 |
| 10 клас | 169 |
| 11 клас | 186 |
| Список літератури | 213 |
| Відомості про авторів | 214 |

ВСТУП

Олімпіада з хімії — мотиватор до ґрунтовного вивчення предмета, свідчення глибини знань і практичних навичок їх використання, своєрідний калейдоскоп можливостей і викликів, засіб гартування характеру. Тому метою має бути не лише пошук способу правильного розв'язання завдання, а й воля до перемоги, уміння сприймати успіх і поразку, адже такі якості важливі для формування представника нового покоління, здатного захистити власні ідеї та державні інтереси.

Як традиційне щорічне зібрання, олімпіада з хімії дає можливість учням отримати насолоду від перемоги й знайти нових друзів, а педагогам об'єднатися в захоплену наукою дружню команду, створити нові творчі зв'язки та поділитися досвідом під час спілкування з колегами з різних куточків нашої держави.

У збірник увійшли завдання з хімії, що забезпечують розширення й поглиблення знань, набуття досвіду застосовувати їх для розв'язання практичних завдань, розвивають логічне мислення та творчі здібності — важливі складники наукового мислення. Відповіді на завдання дають можливість виявити повноту і глибину знань, визначити динаміку їх опанування, об'єктивно оцінити успіхи, дотримуватись вимог академічної доброчесності.

Сподіваємось, що видання буде корисним учням закладів загальної середньої та вихованцям позашкільної освіти для досягнення мети усвідомленого регулювання власної пізнавальної діяльності — забезпечення таких її результатів, які відповідали б поставленим цілям, педагогам — для підготовки дітей до участі конкурсах й олімпіадах із предмета, а також усім охочим самостійно поглибити знання з хімії й визначити їх рівень.

Анна Грітчина,
заступниця директора
з методичної роботи НЦ «МАНУ»,
кандидатка педагогічних наук

Пам'ятка учасникам олімпіади

1. Для розв'язання теоретичних завдань надається 4 години. Час закінчення туру вказується на дошці. Затримка з припиненням роботи після закінчення часу на 5 хвилин чи більше призводить до скасування результатів туру.

2. Під час виконання завдань дозволяється користуватися лише ручкою і довідковими матеріалами, виданими організаторами. Також можна скористатись власними олівцями, лінійками й непрограмованими калькуляторами. Використання шпаргалок, гаджетів, зокрема мобільних телефонів і смартгодинників, додаткових довідкових матеріалів, консультування з будь-якими особами, окрім кураторів класів і спостерігачів у визначених випадках, заборонено.

3. З питаннями щодо правильного розуміння змісту завдань можна звернутись до куратора, якого запросить контролер.

4. Результати потрібно записувати лише на призначених для цього полях аркушів для відповідей. Усе написане в будь-якому іншому місці не оцінюється. Як чернетку можна використати зворотний бік аркушів або чистий папір. Якщо потрібно замінити зіпсований аркуш для відповідей, звертайтеся до спостерігача.

5. До кожного питання дайте лише одну правильну відповідь, позначте її, закресливши відповідну комірку на призначених для цього полях аркушів для відповідей.

6. Якщо в умові задачі не сказано інше, то для розрахунків використовуйте значення молярних мас елементів із двома знаками після коми.

Довідкові матеріали

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (довгоперіодний варіант)

| ПЕРІОДИ | | ГРУПИ ЕЛЕМЕНТІВ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-----------------|-----|------|-----|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|----------------|----------|
| | | IA | IIA | IIIB | IVB | VB | VIB | VIB | VIB | VIIB | | | | |
| 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | He | Гелій | 4,0026 | | |
| 2 | 3 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 9 | F | Фтор | 18,998 |
| | 4 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 10 | Ne | Неон | 20,179 |
| | 5 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 11 | Na | Натрій | 22,990 |
| | 6 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 12 | Mg | Магній | 24,305 |
| | 7 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 13 | Al | Алюміній | 26,982 |
| | 8 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 14 | Si | Силіцій | 28,086 |
| | 9 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 15 | P | Фосфор | 30,974 |
| | 10 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 16 | S | Сульфур | 32,066 |
| | 11 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 17 | Cl | Хлор | 35,453 |
| | 12 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 18 | Ar | Аргон | 39,948 |
| | 13 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 19 | K | Калій | 39,098 |
| | 14 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 20 | Ca | Кальцій | 40,078 |
| | 15 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 21 | Sc | Скандій | 44,956 |
| | 16 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 22 | Ti | Титан | 47,88 |
| | 17 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 23 | V | Ванадій | 50,942 |
| | 18 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 24 | Cr | Хром | 51,996 |
| | 19 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 25 | Mn | Манган | 54,938 |
| | 20 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 26 | Fe | Залізо | 55,847 |
| | 21 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 27 | Co | Кобальт | 58,933 |
| | 22 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 28 | Ni | Нікель | 58,69 |
| | 23 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 29 | Cu | Мідь | 63,546 |
| | 24 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 30 | Zn | Цинк | 65,39 |
| | 25 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 31 | Ga | Галій | 69,723 |
| | 26 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 32 | Ge | Германій | 72,59 |
| | 27 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 33 | As | Арсен | 74,922 |
| | 28 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 34 | Se | Селен | 78,96 |
| | 29 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 35 | Br | Бром | 79,904 |
| | 30 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 36 | Kr | Криптон | 83,80 |
| | 31 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 37 | Rb | Рубідій | 85,468 |
| | 32 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 38 | Sr | Стронцій | 87,62 |
| | 33 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 39 | Y | Йттрій | 88,906 |
| | 34 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 40 | Zr | Цирконій | 91,224 |
| | 35 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 41 | Nb | Ніобій | 92,906 |
| | 36 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 42 | Mo | Молибден | 95,94 |
| | 37 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 43 | Tc | Технецій | 98,906 |
| | 38 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 44 | Ru | Рудій | 101,07 |
| | 39 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 45 | Rh | Родій | 102,91 |
| | 40 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 46 | Pd | Паладій | 106,42 |
| | 41 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 47 | Ag | Срібло | 107,87 |
| | 42 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 48 | Cd | Кадмій | 112,41 |
| | 43 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 49 | In | Індій | 114,82 |
| | 44 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 50 | Sn | Свинець | 118,71 |
| | 45 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 51 | Sb | Стибій | 121,75 |
| | 46 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 52 | Te | Телур | 127,60 |
| | 47 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 53 | I | Йод | 126,90 |
| | 48 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 54 | Xe | Ксенон | 131,29 |
| | 49 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 55 | Cs | Цезій | 132,91 |
| | 50 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 56 | Ba | Барій | 137,33 |
| | 51 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 57 | La* | Лантан | 138,91 |
| | 52 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 58 | Ce | Церій | 140,12 |
| | 53 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 59 | Pr | Промітій | 140,91 |
| | 54 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 60 | Nd | Неодім | 144,24 |
| | 55 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 61 | Pm | Промітій | 144,91 |
| | 56 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 62 | Sm | Самарій | 150,36 |
| | 57 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 63 | Eu | Європій | 151,96 |
| | 58 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 64 | Gd | Гадоліній | 157,25 |
| | 59 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 65 | Tb | Тербій | 158,93 |
| | 60 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 66 | Dy | Диспрозій | 162,50 |
| | 61 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 67 | Ho | Гольмій | 164,93 |
| | 62 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 68 | Er | Ербій | 167,26 |
| | 63 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 69 | Tm | Тулій | 168,93 |
| | 64 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 70 | Yb | Йттробій | 173,04 |
| | 65 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 71 | Lu | Лютецій | 174,97 |
| | 66 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 72 | Hf | Гафній | 178,49 |
| | 67 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 73 | Ta | Тантал | 180,95 |
| | 68 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 74 | W | Вольфрам | 183,85 |
| | 69 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 75 | Re | Рений | 186,21 |
| | 70 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 76 | Os | Осій | 190,2 |
| | 71 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 77 | Ir | Ірідій | 192,22 |
| | 72 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 78 | Pt | Платина | 195,08 |
| | 73 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 79 | Au | Золото | 196,97 |
| | 74 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 80 | Hg | Ртуть | 200,59 |
| | 75 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 81 | Tl | Талій | 204,38 |
| | 76 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 82 | Pb | Свинець | 207,2 |
| | 77 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 83 | Bi | Висмут | 208,98 |
| | 78 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 84 | Po | Полоній | (209) |
| | 79 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 85 | At | Астат | (210) |
| | 80 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 86 | Rn | Радон | (222) |
| | 81 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 87 | Fr | Францій | (223) |
| | 82 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 88 | Ra | Радій | (226,03) |
| | 83 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 89 | Ac** | Актиній | (227) |
| | 84 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 90 | Th | Торій | 232,04 |
| | 85 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 91 | Pa | Протактіній | (231) |
| | 86 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 92 | U | Уран | 238,03 |
| | 87 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 93 | Np | Нептуній | (237) |
| | 88 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 94 | Pu | Плутоній | (244) |
| | 89 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 95 | Am | Америцій | (243) |
| | 90 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 96 | Cm | Курій | (247) |
| | 91 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 97 | Bk | Берклій | (247) |
| | 92 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 98 | Cf | Каліфорній | (251) |
| | 93 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 99 | Es | Ейнштейнівій | (252) |
| | 94 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 100 | Fm | Фермій | (257) |
| | 95 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 101 | Md | Менделєєвій | (258) |
| | 96 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 102 | No | Нобелій | (259) |
| | 97 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 103 | Lr | Лоренцій | (260) |
| | 98 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 104 | Rf | Риф | (261) |
| | 99 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 105 | Db | Дубній | (262) |
| | 100 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 106 | Sg | Сігмундівій | (263) |
| | 101 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 107 | Bh | Бергівій | (264) |
| | 102 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 108 | Hs | Гасковій | (265) |
| | 103 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 109 | Mt | Міттерберґівій | (266) |
| | 104 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 110 | Uun | Уунівій | (269) |
| | 105 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 111 | Uuq | Уукувій | (271) |
| | 106 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 112 | Uub | Уубівій | (272) |
| | 107 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 113 | Uut | Уутівій | (273) |
| | 108 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 114 | Uuq | Уукувій | (274) |
| | 109 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 115 | Uuq | Уукувій | (275) |
| | 110 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 116 | Uuq | Уукувій | (276) |
| | 111 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 117 | Uuq | Уукувій | (277) |
| | 112 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 118 | Uuq | Уукувій | (278) |
| | 113 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 119 | Uuq | Уукувій | (279) |
| | 114 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 120 | Uuq | Уукувій | (280) |
| | 115 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 121 | Uuq | Уукувій | (281) |
| | 116 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 122 | Uuq | Уукувій | (282) |
| | 117 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 123 | Uuq | Уукувій | (283) |
| | 118 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 124 | Uuq | Уукувій | (284) |
| | 119 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 125 | Uuq | Уукувій | (285) |
| | 120 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 126 | Uuq | Уукувій | (286) |
| | 121 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 127 | Uuq | Уукувій | (287) |
| | 122 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 128 | Uuq | Уукувій | (288) |
| | 123 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 129 | Uuq | Уукувій | (289) |
| | 124 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 130 | Uuq | Уукувій | (290) |
| | 125 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 131 | Uuq | Уукувій | (291) |
| | 126 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 132 | Uuq | Уукувій | (292) |
| | 127 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 133 | Uuq | Уукувій | (293) |
| | 128 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 134 | Uuq | Уукувій | (294) |
| | 129 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 135 | Uuq | Уукувій | (295) |
| | 130 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 136 | Uuq | Уукувій | (296) |
| | 131 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 137 | Uuq | Уукувій | (297) |
| | 132 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 138 | Uuq | Уукувій | (298) |
| | 133 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 139 | Uuq | Уукувій | (299) |
| | 134 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 140 | Uuq | Уукувій | (300) |
| | 135 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 141 | Uuq | Уукувій | (301) |
| | 136 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 142 | Uuq | Уукувій | (302) |
| | 137 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 143 | Uuq | Уукувій | (303) |
| | 138 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 144 | Uuq | Уукувій | (304) |
| | 139 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 145 | Uuq | Уукувій | (305) |
| | 140 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 146 | Uuq | Уукувій | (306) |
| | 141 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 147 | Uuq | Уукувій | (307) |
| | 142 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 148 | Uuq | Уукувій | (308) |
| | 143 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 149 | Uuq | Уукувій | (309) |
| | 144 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 150 | Uuq | Уукувій | (310) |
| | 145 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 151 | Uuq | Уукувій | (311) |
| | 146 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 152 | Uuq | Уукувій | (312) |
| | 147 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 153 | Uuq | Уукувій | (313) |
| | 148 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 154 | Uuq | Уукувій | (314) |
| | 149 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 155 | Uuq | Уукувій | (315) |
| | 150 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 156 | Uuq | Уукувій | (316) |
| | 151 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 157 | Uuq | Уукувій | (317) |
| | 152 | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | 158 | Uuq | Уукувій | (318)</ |

Електрохімічний ряд напруг елементів

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|
| Li | K | Ba | Ca | Na | Mg | Al | Mn | Cr | Zn | Fe | Co | Sn | Pb | H ₂ | Cu | Hg | Ag | Pt | Au |
|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|

Основні значення

| Опис | Значення константи / формула |
|---------------------------------------|---|
| Стала Авогадро | $N_A = 6,0221 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ |
| Універсальна газова стала | $R = 8,314 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} = 0,08205 \text{ атм} \cdot \text{л} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ |
| Стала Фарадея | $F = 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$ |
| Стала Планка | $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ |
| Швидкість світла у вакуумі | $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Нуль за шкалою Цельсія | 273,15 К |
| Заряд електрона | $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ |
| Нормальні умови (н. у.) | $T = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ К};$ $P = 1 \text{ атм} = 760 \text{ Торр} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$ |
| Стандартні умови (с. у.) | $T = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ К};$ $P = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$ |
| Середня молярна маса повітря | 29 г/моль |
| Розмірність ньютона | $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Значення електрон-вольта у Дж | $1 \text{ еВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ |
| Об'єм кулі | $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ |
| Рівняння стану ідеального газу | $PV = nRT$ |
| Енергія фотона | $E = hc / l$ |

Розчинність солей, кислот і основ у воді (25 °C)

| Аніони | Назва аніона | Катіони | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---|
| | | H ⁺ | Li ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | NH ₄ ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Sr ²⁺ | Ba ²⁺ | Al ³⁺ | Cr ³⁺ | Mn ²⁺ | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Co ²⁺ | Ni ²⁺ | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ | Cd ²⁺ | Ag ⁺ | Pb ²⁺ | Sn ²⁺ | Hg ²⁺ | |
| OH ⁻ | ГІДРОКСИД | | М | Р | Р | Р | Н | М | М | Р | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | · | Н | Н | · | |
| F ⁻ | ФЛУОРИД | Р | М | Р | Р | Р | Н | Н | М | М | М | Р | М | М | М ^Г | Р | Р | М | Н | Р | Р | М | Р | Г | |
| Cl ⁻ | ХЛОРИД | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Н | М | Р ^Г | Р | |
| Br ⁻ | БРОМИД | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Н | М | Р ^Г | М | |
| I ⁻ | ІОДИД | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | М | Р | Р | — | Р | Р | — | Р | Р | Н | М | М ^Г | Н | |
| CO ₃ ²⁻ | КАРБОНАТ | М | М | Р | Р | Р ^Г | М ^Г | Н | Н | Н | — | — | Н | Н | — | Н ^Г | Н ^Г | Н ^Г | Н ^Г | Н | Н | Н | Н | Г | — |
| SiO ₃ ²⁻ | СИЛКАТ | Н | М | Р | Р | — | Н | Н | Н | Н | Н ^Г | Н ^Г | Н | Н | Н ^Г | Н | Н | Н | Н | М | Н | Н | Г | — | |
| NO ₂ ⁻ | НІТРИТ | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Г | Г | Р | Р | Г | Р | Р | Р | Р | Р | М | Р | Г | — | |
| NO ₃ ⁻ | НІТРАТ | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | |
| CH ₃ COO ⁻ | АЦЕТАТ | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р ^Г | Р | Р | Р | Н ^Г | Р | Р | Р | Р | Р | М | Р | Г | Р | |
| PO ₃ ⁻ | МЕТАФОСФАТ | Р | Р | Р | Р | Р | Н | Н | Н | Н | Н | Н | — | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | — | Г | Г | |
| PO ₄ ³⁻ | ОРТФОСФАТ | Р | М | Р | Р | Г | М | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | |
| S ²⁻ | СУЛФІД | М | Р | Р | Р | — | М ^Г | М ^Г | М | Р | Г | Г | Н | Н | Н ^Г | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | Н | |
| SO ₃ ²⁻ | СУЛФІТ | Р | Р | Р | Р | Р | М | Н | Н | М | — | — | М | — | Н | Н | Н | М | М | М | Н | — | — | — | |
| SO ₄ ²⁻ | СУЛФАТ | Р | Р | Р | Р | Р | М | М | Н | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | Р | М | Н | Р ^Г | Н | |

| | | | | | |
|----------|---|----------|--|----------|--|
| Р | Розчинна речовина (> 1 г на 100 г води) | Н | Практично нерозчинна речовина (< 0,01 г на 100 г води) | · | Речовина нестійка і розкладається при утворенні |
| М | Малорозчинна речовина (від 0,01 г до 1 г на 100 г води) | Г | Речовина існує, але взаємодіє з водою, її неможливо виділити з розчину (розчинність визначити неможливо) | — | Речовина не існує, або немає достовірних відомостей про її існування |

Коди небезпеки, надані Глобальною гармонізованою системою класифікації та маркування хімічних речовин (GHS)

| Сполука | Назва | Піктограми небезпеки | GHS код небезпеки |
|----------------------|--------------------------------|----------------------|---|
| K_2CrO_4 | Калій хромат | | H315, H317, H319, H335, H340, H350i, H410 |
| $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | Купрум(II) сульфат пентагідрат | | H319, H411 |
| HCl | Хлоридна кислота | | H290, H314, H335 |
| $CaCO_3$ | Кальцій карбонат | — | — |
| K_2CO_3 | Калій карбонат | | H315, H319, H335 |
| $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ | Купрум(II) хлорид | | H290, H302+H312, H315, H318, H410 |
| | Тетрагідрофуран | | H225, H302, H319, H335, H336, H351 |
| $AgNO_3$ | Аргентум(I) нітрат | | H272, H290, H314, H410 |
| Na_3PO_4 | Натрій фосфат | | H315, H319, H335 |
| $Pb(NO_3)_2$ | Плюмбум(II) нітрат | | H302+H332, H317, H318, H351, H360Df, H372, H410 |
| Na_2CO_3 | Натрій карбонат | | H319 |
| $BaCl_2$ | Барій хлорид | | H301, H332 |
| H_2SO_4 | Сульфатна кислота | | H314 |
| NaOH | Натрій гідроксид | | H290, H302, H314 |

Опис кодів небезпеки

Фізична небезпека

H225 — легкозаймиста рідина і пара

H272 — може прискорювати горіння, окисник

H290 — може викликати корозію металів

Небезпека для здоров'я людини

H301 — токсично у разі проковтування

H302 — шкідливий у разі проковтування

H312 — шкідливо у разі контакту зі шкірою

H314 — викликає серйозні опіки шкіри та пошкодження очей

H315 — спричиняє подразнення шкіри

H317 — може викликати алергічну реакцію шкіри

H318 — може спричинити ушкодження або серйозне подразнення очей

H319 — викликає серйозне подразнення очей

H332 — шкідливо у разі вдихання

H335 — може спричинити подразнення дихальних шляхів

H336 — може викликати сонливість або запаморочення

H340 — може спричинити генетичні дефекти

H350i — може викликати онкологічні захворювання

H351 — ймовірно, може спричинити онкологічні захворювання

H360Df — може шкодити плоду в утробі матері; ймовірно, може шкодити репродуктивним функціям

H372 — шкідливий у разі проковтування: викликає пошкодження щитоподібної залози за тривалого впливу

Небезпека для навколишнього середовища

H410 — вкрай токсично для водних організмів (із довготривалими наслідками)

H411 — отруйно для водних організмів (із тривалими наслідками)

ЗАВДАННЯ

8 клас

I теоретичний тур

8.1. Необережний Андрійко

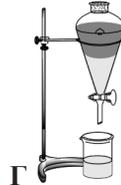
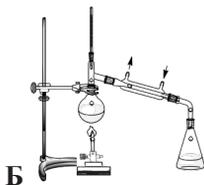
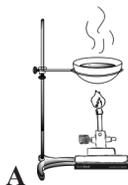
Юний хімік Андрійко отримав від учителя коробку з хімічними речовинами для практичної роботи. Коли він підійшов до робочого місця, то перечепився через портфель, упав і, не втримавши, впустив коробку. У результаті колби розбилися, хімічні речовини змішалися, а дистильована вода вилілася з пластикової місткості для промивання й залила аркуш зі списком речовин. Андрійко тепер мав суміш твердих речовин, уламків скла й аркуш з окремими частинами тексту та завданням:

«Кожна з баночок містить одну просту або складну речовину. Перелік простих речовин: ___ д (маса 2 г), ___ то (маса 0,5 г), з ___ (маса 3 г). Перелік складних речовин: натрій с ___ (маса 2,5 г), літій ___ (маса ___ г). Встановіть відповідність між речовинами та їхніми назвами. Відповідь аргументуйте».

Учитель сказав, що можна отримати високу оцінку, якщо визначити, які речовини були в коробці. Андрійко вирішив, що спробує виконати завдання.

Спершу він звернув увагу на тверді частинки з металічним блиском. Хлопчик підніс магніт, і частинки притягнулися до нього. Потім він поклав залишки суміші у хімічний стакан і додав дистильованої води: білий порошок розчинився, а на дно осіли уламки скла, перемішані з чорно-сірими частинками й жовтуватими з металічним блиском.

Завдання 1. Оберіть метод (обведіть відповідний малюнок), який допоможе Андрійкові відділити утворений розчин від осаду.



Після відділення осаду Андрійко нагрів його в порцеляновій чашці, при цьому спостерігав утворення фіолетової пари. Через якийсь час парування припинилося, а на дні лишилися тільки жовтуваті частинки з металічним блиском, перемішані з уламками скла.

Завдання 2. Поясніть спостережене під час нагрівання.

Завдання 3. Наведіть перелік назв простих речовин, що містилися в суміші, а також їх формули.

Розчин, що залишився, Андрійко розділив на дві рівні частини. До однієї з них було додано надлишок розчину барій нітрату. Утворився білий осад, не розчинний у кислотах. Цей осад хлопчик відфільтрував, а до фільтрату додав надлишок підкисленого розчину аргентум(I) нітрату. Утворився білий сирнистий осад масою 3,38 г.

Завдання 4. Запишіть рівняння реакцій, що пояснюють ці спостереження.

Завдання 5. Наведіть перелік назв складних речовин, що містилися в суміші, та їх формули.

Завдання 6. Обчисліть масову частку компонента, який має назву «літій ___», у початковій суміші (цей компонент утворює білий сирнистий осад з розчином аргентум(I) нітратом), нехтуючи уламками скла.

8.2. Якийсь шлак

Шлакопортландцемент — важливий будівельний матеріал, широко застосовуваний у будівельній індустрії завдяки високим експлуатаційним властивостям і економічній ефективності. Основною особливістю цього виду цементу є гранульований доменний шлак, який забезпечує покращену міцність, довговічність і стійкість до агресивних середовищ. Для виробництва шлакопортландцементу використовуються сировинні компоненти, такі як шлак і *портландцементний клінкер*, який складається з оксидів різних металів і кремнезему, а технологічний процес передбачає точне дотримання пропорцій і умов змельювання.

Масовий мінеральний склад сухого шлакопортландцементу в перерахунку на оксиди наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

| Компонент | w, % мас. |
|---|-----------|
| $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | 35 |
| $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | 25 |
| $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | 5 |
| $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | 10 |
| Шлак | 25 |

Завдання 1. Обчисліть масові частки окремих оксидів у сухому цементі, вважаючи, що шлак не містить оксидів.

Для отримання клінкеру було використано природні мінерали: кальцит (CaCO_3), гематит (Fe_2O_3), кремнезем (SiO_2) і каолінит ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Ці мінерали у точному масовому співвідношенні змішали й нагріли в печі до температури вище ніж 700°C , у результаті чого отримали *клінкер*.

Завдання 2. Наведіть рівняння реакцій термічного розкладу кальциту та каоліниту. Вважайте, що продуктами цих перетворень є лише бінарні сполуки.

Завдання 3. Розрахуйте маси кальциту, гематиту, кремнезему, каоліниту та шлаку, необхідні для отримання 100 т шлакопортландцементу.

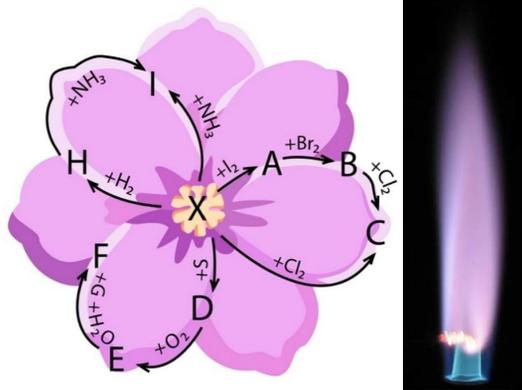
У разі додавання води до сухого цементу починається реакція гідратації, в результаті якої спрощено можна вважати, що утворюється кальцій гідрогенсилікат, що зв'яже частинки цементу. Це призводить до поступового затвердіння матеріалу і набуття міцності.

Завдання 4. Наведіть рівняння реакції утворення кальцій гідрогенсилікату з відповідних оксидів.

8.3. Хімія загадкового елемента

Щовесни вулиці багатьох міст України перетворюються на казковий сад — завітчуються ніжно-фіолетовими суцвіттями бузку. У такий самий колір забарвлюється полум'я солі металу X. Його проста речовина проходить низку хімічних перетворень, зазначених на схемі, до якої надаються наступні дані:

- $w(\text{X})$ в **A** становить 40,25 %;
- у результаті реакції розчину **E** з розчином барій хлориду утворюється осад білого кольору;
- подвійна сіль **F** утворюється під час взаємодії сполук **E** та **G**, що за своїм якісним складом відрізняються лише катіонами;
- за обережного нагрівання **F** до 250 °C його маса зменшується на 41,52 %;
- **G** містить амфотерний метал **M**, у результаті реакції розчинних солей цього металу з розчином NaOH спочатку утворюється осад **J** з $w(\text{M}) = 34,60\%$, що у разі подальшого додавання лугу розчиняється з утворенням сполуки **K**.



Завдання 1. Розшифруйте невідомі речовини **A — K**, метал **M** і елемент **X**. Відповідь підтвердьте розрахунками.

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A | B | C | D | E | F |
| | | | | | |
| G | H | I | J | K | M |
| | | | | | |
| X | | | | | |
| | | | | | |

Завдання 2. Запишіть рівняння реакцій, згаданих в умові задачі.

| | |
|------------------------------|--|
| $X + I_2 \rightarrow A$ | |
| $A + Br_2 \rightarrow B$ | |
| $B + Cl_2 \rightarrow C$ | |
| $X + Cl_2 \rightarrow C$ | |
| $X + H_2 \rightarrow H$ | |
| $H + NH_3 \rightarrow I$ | |
| $X + NH_3 \rightarrow I$ | |
| $X + S \rightarrow D$ | |
| $D + O_2 \rightarrow E$ | |
| $E + G + H_2O \rightarrow F$ | |
| $F \rightarrow$ | |
| $E + BaCl_2 \rightarrow$ | |
| $G + NaOH \rightarrow J$ | |
| $J + NaOH \rightarrow K$ | |

Завдання 3. Дайте стисле пояснення, чому метал **X** має більш виражені металічні властивості, ніж елемент, атом якого містить 19 протонів у ядрі.

Завдання 4. Поясніть, чому йони металічних елементів забарвлюють полум'я пальника в певні кольори.

8.4. Гідроген і ядерні реакції на Сонці

Природний Гідроген складається з трьох ізотопів: протію — 1H , дейтерію — 2H і радіоактивного тритію — 3H . Позначають ці ізотопи, відповідно, як **H**, **D** і **T**.

Завдання 1. Заповніть таблицю і вкажіть, скільки протонів, нейтронів й електронів містить кожен з атомів — **H**, **D** і **T**.

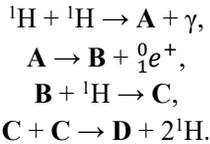
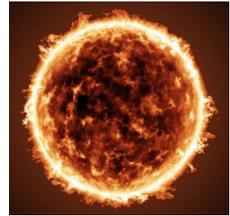
| Частинки | Кількість частинок в атомі | | |
|---------------------|----------------------------|----------|----------|
| | H | D | T |
| Протони (p^+) | | | |
| Нейтрони (n^0) | | | |
| Електрони (e^-) | | | |

Завдання 2. Приготовано газову суміш, що містить 3 моль H_2 , 2 моль D_2 та 1 моль T_2 . Розрахуйте середню молярну масу цієї суміші.

Завдання 3. Обчисліть мольні частки (%) нуклідів у природному Гідрогені. Відносна атомна маса природного Гідрогену дорівнює 1,00794.

Примітка. Вмістом тритію ^3H можна знехтувати.

Більшість зірок у Всесвіті світять завдяки ядерним реакціям, що відбуваються в них. Одне з основних перетворень всередині зірок — це синтез ядер Гелію ^4He з протонів. Гідроген може перетворюватись на Гелій різними шляхами. Так, наприклад, на Сонці основним є протон-протонний цикл, схема якого виглядає так:

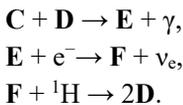


Завдання 4. Визначте нукліди **A — D**.

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| | | | |

Завдання 5. Поясніть, чому досі неможливо використовувати термоядерні реакції для виробництва енергії на Землі в промислових масштабах?

В іншому варіанті протон-протонного циклу нуклід, який утворився на третій стадії, взаємодіє з вже наявним у найближчому оточенні ядром **D**, що призводить до подальшої послідовності реакцій:



Завдання 6. Розшифруйте нукліди **E** і **F**.

| E | F |
|---|---|
| | |

Відомо, що перетворення нукліда **E** в **F** належить до основних типів розпаду й називається α -захопленням. Період напіврозпаду для **E** становить приблизно 53 дні.

Завдання 7. Визначте, скільки ядер нукліда **E** розпадеться через 159 днів, якщо початкова кількість зразка **E** становила 16 мг.

8.5. Heavy, not metal

Залізний купорос ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) є одним з найбільш відомих кристалогідратів. Його блакитно-зелене забарвлення зумовлене комплексоутворенням іонів Fe^{2+} з молекулами води. У процесі нагрівання кристалогідрати втрачають молекули води, перетворюючись на безводні солі. Часто це супроводжується зміною кольору, наприклад безводний FeSO_4 є безбарвним.

Сполука **A** також є кристалогідратом і має блакитно-зелене забарвлення. Наважку речовини **A** масою 10 г прожарили в інертній атмосфері до сталої маси, внаслідок чого утворилася безбарвна сполука **B** масою 5,201 г.

Половину одержаної наважки сполуки **B** розчинили у звичайній воді, а потім упарили цю воду, в результаті чого отримали 4,759 г залізного купоросу.

Завдання 1. Розшифруйте сполуки **A** та **B** і напишіть рівняння відповідних реакцій.

Іншу половину наважки сполуки **B** розчинили у 7 г води за 90°C , після чого охолодили до 15°C і відфільтрували одержаний осад залізного купоросу.

Завдання 2. Розрахуйте масу осаду, якщо за 15°C у 10 г води розчиняється 2,88 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, а за 90°C — 10,1 г.

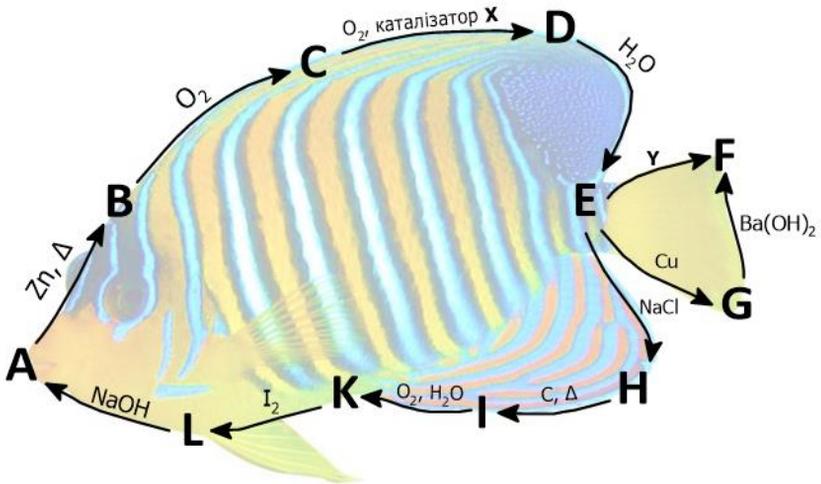
Завдання 3. Вкажіть, які з перелічених сполук є кристалогідратами.

| | | | | |
|---|---|------------------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{D}_2\text{O}$ | $\text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_6$ | $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ | $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ |

8.6. Тропічна fish

Елемент **A** є невіддільним складником живих організмів і найвиразніше представлений у риб: він входить до складу амінокислот і білків та відіграє ключову роль у метаболічних процесах і функціонуванні м'язових тканин. Тобто у рибі міститься значна кількість цього елемента, що робить її цінною для раціону людини.

Серед найяскравіших представників, що містить значну кількість елемента **A**, є тропічна риба. Цікавий факт, що вона, як і проста речовина цього елемента, є *жовтою*. І ось одна з таких риб припливла зі схемою хімічних перетворень, що стосуються елемента **A** (де « Δ » — нагрівання, «**C**» — вугілля в перетворенні **H** → **I**):



Завдання 1. Визначте елемент **A**, сполуки **B** — **L**, каталізатор **X** і метал **Y**, коли відомо, що:

- **C**, **D** і **X** — оксиди;
- масова частка Оксигену у **X** становить 43,99 %;
- у перетворенні **E** на **G** та **E** на **H** вважайте **E** концентрованою;
- у всіх інших перетвореннях вважайте **E** розбавленою;
- **F**, **G**, **H** — солі з однаковим аніоном, **B** та **I** — теж солі з іншим однаковим аніоном;
- масові частки Натрію та Оксигену у **K** дорівнюють 29,09 % і 30,35 % відповідно;

• для повного перетворення **К**, що міститься у 20 мл розчину **К** з молярною концентрацією 0,1 моль/л, на **Л** знадобилося 20 мл розчину йоду з молярною концентрацією 0,05 моль/л; масова частка елемента **А** у речовині **Л** становить 47,46 %;

• у разі взаємодії **Л** з NaOH утворюється речовина **А** і сіль, у якій елемент **А** має такий ступінь окиснення, як і у **С**.

Завдання 2. Наведіть рівняння усіх згаданих реакцій.

Завдання 3. Зобразіть просторову будову оксидів **С**, **Д** та кислоти **Е**.

| С | Д | Е |
|----------|----------|----------|
| | | |

II теоретичний тур

8.1. Контраст

Одним із найефективніших методів діагностики в медицині є магнітно-резонансна томографія (МРТ). Цей метод дає змогу одержати висококонтрастне зображення тканин тіла, і тому його широко застосовують для візуалізації тканин мозку, серця, м'язів, а також новоутворень. Для поліпшення візуалізації внутрішніх структур тіла використовують речовини для контрасту, поміж яких є сполуки металу **Г**.

Речовина **А** є бінарною сполукою металу **Г**, що містить 59,65 % металу, який є *f*-елементом. Для її отримання оксид цього металу (речовина **В**) розчинили в розчині безоксигенової кислоти **С** з масовою часткою 10 %, густиною 1,0474 г/мл та молярною концентрацією 2,872 моль/л.

Завдання 1. Розшифруйте всі невідомі речовини.

Завдання 2. Наведіть рівняння описаної вище реакції розчинення **В**.

Речовина **А** утворює кристалогідрат **Д** із вмістом води 29,07 %.

Завдання 3. Визначте формулу речовини **Д**.

Завдання 4. Обчисліть об'єм води, який необхідно додати до кристалогідрата масою 3,525 г, щоб отримати розчин з масовою часткою 2,024 %.

8.2. Сполука Р

Р — неорганічна сполука, яка відіграє важливу роль у сучасних космічних технологіях. Завдяки окисним властивостям ця речовина використовується як основний компонент твердого ракетного палива. Зокрема, **Р** використовувалася у виробництві пального для твердопаливних прискорювачів космічних кораблів «Space Shuttle».



У лабораторних умовах речовину **Р** найзручніше добути реакцією обміну амоній гідрогенкарбонату та сильною одноосновної кислоти **А** ($w(O) = 63,71\%$). Кислоту **А** отримують дією безводної сульфатної кислоти на речовину **В**, що є калієвою сіллю кислоти **А**. Сіль **В** можна добути обережним нагріванням солі **С** (бертолетова сіль), причому молярна маса солі **В** у 1,13 раза більша за молярну масу солі **С**. Сіль **С** можливо отримати пропусканням жовто-зеленого газу **Д**, що є простою речовиною, через гарячий розчин калій гідроксиду.

Завдання 1. Розшифруйте сполуки **А** — **Д**, **Р**.

Завдання 2. Наведіть рівняння всіх згаданих у умові реакцій.

Розкладання **Р** залежно від температури може відбуватися з утворенням різних продуктів реакцій. Наприклад, за температури більше ніж $300\text{ }^\circ\text{C}$ утворюється бінарний газ **Е** ($w(N) = 46,67\%$), а за температури $200\text{ }^\circ\text{C}$ — бінарний газ **Ф** ($w(N) = 63,65\%$).

Завдання 3. Напишіть рівняння згаданих реакцій розкладу **Р**, розшифруйте сполуки **Е** та **Ф**.

Проте промислове виробництво таких речовин приховує небезпеку. Так, у 1988 році на заводі «Percone» (США) сталася пожежа, при цьому на промисловому об'єкті зберігалось близько 4500 тонн матеріалу з масовим вмістом **Р** 40%. Пожежа спричинила серію потужних вибухів, було зафіксовано два землетруси магнітудою 3,5 бали, двоє осіб загинуло й сотні постраждало.

Завдання 4. Обчисліть загальну енергію вибухів, враховуючи, що під час розкладання 1 моль **Р** виділяється 295,77 кДж енергії.

Примітка. Якщо не вдалося визначити склад **P**, то вважайте, що її молярна маса дорівнює 130 г/моль.

8.3. Газовий п'єдестал

Азот, кисень і аргон є найпоширенішими газами в атмосфері Землі, тому сьогодні обговоримо суміш цих газів і що цікавого можна з нею зробити.

У герметичній колбі об'ємом 4 л за температури 40,85 °С міститься суміш N_2 , O_2 та Ar . Тиск у колбі становить 202,32 кПа. До вмісту колби додали стехіометричну кількість чадного газу й нагріли до 700 °С, щоб увесь чадний газ прореагував. Після охолодження до початкової температури тиск у колбі становив 274,11 кПа.

Завдання 1. Визначте масу O_2 (у грамах) в початковій суміші та напишіть рівняння реакції, що відбулася.

Після цього отриману суміш газів пропустили через надлишок розчину $NaOH$, повернули в колбу та додали платиновий пил (каталізатор) і вдвічі більше H_2 , ніж потрібно для реакції. Колбу знову нагріли до 700 °С, при цьому водень прореагував повністю. Після повернення до початкової температури суміш газів пропустили через надлишок розчину H_2SO_4 , з яким повністю прореагував один із газів. Залишкову суміш газів повернули в колбу і встановили початкові умови. Тиск у колбі становив 234,95 кПа.

Завдання 2. Визначте масу N_2 та Ar у початковій суміші й напишіть рівняння реакцій, що відбулися.

Завдання 3. Уявіть, що в початковій суміші аргон замінили такою самою масою гелію. При цьому густина суміші (*відповідь обведіть*):

- збільшилась;
- зменшилась;
- не змінилась.

Наостанок перевіримо вашу обізнаність щодо фізико-хімічних характеристик газів.

Завдання 4. Зазначте, який з газів є безбарвним (відповідь обведіть):

- Cl₂;
- NO₂;
- Ar;
- O₃.

8.4. Кому треба електрон

Енергія n -ї іонізації відповідає найменшій енергії, необхідній для видалення найбільш слабкозв'язаного електрона з частинки, що має заряд $(n - 1)$. Простіше кажучи, перша енергія іонізації — це енергія, яка потрібна, щоб відірвати електрон від нейтрального атома, друга енергія іонізації зумовлює відривання електрона від утвореного однозарядного катіона, третя — відривання електрона від двозарядного катіона, і так далі. Наприклад, друга енергія іонізації Карбону відповідає перетворенню: $C^+ \rightarrow C^{2+} + e^-$.

Нижче вказано значення енергій іонізації Карбону.

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|------|------|------|------|--------|
| E, кДж/моль | 1086 | 2352 | 4620 | 6222 | 37 827 |

Завдання 1. Розрахуйте енергію, необхідну для того, щоб відірвати чотири електрони від атома С. Обчислення проведіть для 1 моль атомів Карбону.

Завдання 2. Поясніть, чому енергія іонізації збільшується зі значенням n , і передбачте, чи буде ця тенденція залежати від елемента.

Завдання 3. Поясніть, чому п'ята енергія іонізації Карбону настільки сильно відрізняється від попередніх.

Завдання 4. Позначте правильне твердження (відповідь обгрунтуйте):

- енергії іонізації Силіцію будуть більші, ніж відповідні енергії іонізації Карбону;
- енергії іонізації Силіцію будуть менші, ніж відповідні енергії іонізації Карбону;
- енергії іонізації Силіцію будуть ідентичні відповідним енергіям іонізації Карбону.

Нижче надано значення енергій йонізації для елемента X.

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-----|-------|-------|--------|--------|
| E, кДж/моль | 801 | 2 427 | 3 660 | 25 026 | 32 826 |

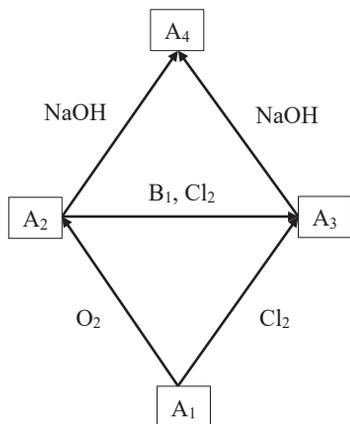
Завдання 5. Передбачте, в якій групі перебуває елемент X (відповідь поясніть).

Енергія n -ї спорідненості до електрона — це енергія, яка виділяється чи поглинається під час захоплення електрона атомом або йоном із зарядом $(1 - n)$. Інакше кажучи, перша енергія спорідненості до електрона — це енергія, яка виділяється чи поглинається під час захоплення електрона нейтральним атомом, друга енергія спорідненості до електрона — це енергія, яка виділяється чи поглинається під час захоплення електрона утвореним однозарядним аніоном, третя — під час захоплення електрона двозарядним аніоном, і так далі.

Завдання 6. Розрахуйте енергію і вкажіть, поглинається вона чи виділяється у разі переходу електрона від атомарного Na до атомарного Cl, якщо перша енергія спорідненості до електрона Cl дорівнює 328,8 кДж/моль, а перша енергія йонізації Na становить 495,8 кДж/моль.

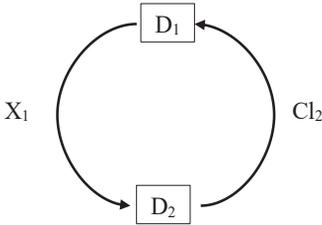
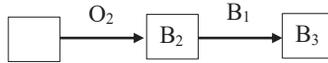
8.5. Геометричні фігури

У хімії часто використовується математика, тому пропонуємо трохи погратися з геометричними фігурами.



Ромб – фігура чарівна,
В ній рівних сторін сповна,
Діагоналі хрест кладуть,
Форми досконалість тут!

Лінія тягнеться легко й рівно,
Може бути прямою, а може — кривою.
Веде нас уперед, не знає межі,
Малює узори у просторі й тиші.



Коло рівне, без кутів,
Досконале поміж всіх.
Центр один, а шлях без краю,
Форму кращу хто ще знає?

Примітка. Усі вірші згенеровано штучним інтелектом (з виправленням граматичних помилок та деяких слів).

Відомо, що:

- A_1 , B_1 , D_1 , X_1 — прості речовини;
- D_2 — кислота;
- A_4 містить такі елементи: Na (22,58 %), O (62,85 %), H (3,96 %), а також ще 1 елемент;
 - в A_3 цього елемента 9,23 % за масою;
 - B_2 і B_3 — бінарні речовини та є газами, їх відносна густина дорівнює 1,57;
 - D_1 — за н. у. є рідиною бурого кольору;
 - X_1 — газ, що з вибухом реагує з киснем з утворенням поширеної у природі й всім знайомої рідини X_2 .

Завдання 1. Назвіть зашифровані речовини.

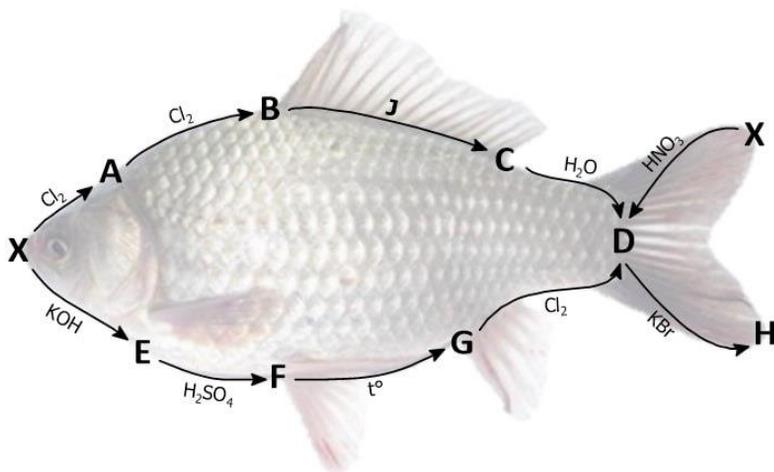
Завдання 2. Напишіть рівняння всіх згаданих реакцій (10).

Завдання 3. Дайте визначення поняття «каталізатор».

8.6. Річкова fish

Елемент **X** — незамінний для організму людини. Його сполуки є важливими складниками кісток, зубів, навіть ДНК і РНК. Неможливо уявити функціонування мембран клітин без речовин, що містять **X**. У дитинстві нам часто казали, що потрібно їсти більше риби, бо в ній є **X**.

Найпоширенішою рибою у прісноводних водоймах є карась, і навіть він знає хімію елемента **X**. Одного разу двоє рибалок ловили рибу і їм пощастило впіймати особливого карася. Рибина була хитра, свого не впустила, тому побилася з рибалками об заклад: якщо вони не зможуть повністю розшифрувати схему перетворень **X**, то відпустять її назад у воду, якщо ж розшифрують, то зможуть приготувати й з'їсти. Оскільки рибалки прогулювали хімію у школі, то, звісно, програли й лишилися без обіду. Проте умови задачі в них збереглися, тож пропонуємо ознайомитись.



Найактивніша алотропна модифікація елемента **X** має біле забарвлення з жовтуватим відтінком. Вона легко вступає з хлором у взаємодію, яка відбувається поетапно: спочатку утворюється речовина **A**, а за продовження хлорування **A** перетворюється на **B**. Також **X** легко реагує з киснем з утворенням речовини **J**, що містить 14 атомів. Під час взаємодії **B** з **J** отримують речовину **C**, яка складається з трьох елементів і має один подвійний зв'язок. Масові частки елементів у **C**:

$w(O) = 10,44 \%$, $w(X) = 20,2 \%$. **C** активно взаємодіє з водою з утворенням відомої та важливої кислоти **D**.

Проте **D** — не єдина кислота з елементом **X**. Так, лише одна алотропна модифікація **X** гарно диспропорціює у водному розчині калій гідроксиду з утворенням солі **E** з $w(O) = 30,75 \%$ та бінарного газу **I**. У розчині сульфатної кислоти сіль **E** перетворюється на кислоту **F**, що має відновні властивості. Сильне нагрівання розчину **F** призводить до появи нової кислоти **G** з $w(O) = 58,56 \%$ та виділення газу **I**. **G**, своєю чергою, окиснюється до **D** пропусканням крізь розчин хлору. Кислоту **D** можна отримати й в одну стадію — взаємодією **X** з концентрованою нітратною кислотою. Сама ж кислота **D** є важливою для промисловості й використовується для добування деяких галогеноводнів з їх солей. Наприклад, гідроген бромід добувають взаємодією кислоти **D** з калій бромідом, а другим продуктом реакції є сіль **H** з $w(O) = 47,03 \%$.

Завдання 1. Знайдіть зашифровані сполуки, коли відомо, що **F** — одноосновна, **G** — двоосновна, **D** — триосновна кислоти.

Завдання 2. Наведіть усі рівняння реакцій, згаданих в умові задачі та схемах перетворень.

Завдання 3. Поясніть, що таке алотропні модифікації. Вкажіть назви принаймні трьох алотропних модифікацій елемента **X**.

Завдання 4. Зобразіть просторову будову **X**, **F**, **G**, **C**, **D**; для кожної речовини зазначте гібридизацію центрального атома **X**.

Практичний тур

8.1. Розділення суміші твердих речовин

Розділення сумішей — доволі типова задача, для якої немає універсального розв'язку. Послідовність дій залежить від кількості компонентів суміші, їх властивостей і конкретної задачі — які саме з компонентів необхідно виділити у чистому виді. Пропонується дослід з розділення суміші, що містить розчинну у воді неорганічну сіль (K_2CrO_4 або $CuSO_4 \cdot 5H_2O$), нерозчинну сіль ($CaCO_3$) і механічні домішки (скляні кульки). Обробка цієї суміші водою призведе до розчинення розчинної солі. Після фільтрування та висушування залишиться суміш кальцій

карбонату та механічних домішок. За різницею маси можна визначити масу розчинної солі. Обробка утвореної суміші сильною кислотою, наприклад хлоридною, призведе до хімічної взаємодії та розчинення карбонату:



Залишок після фільтрування та висушування є механічними домішками, а за різницею маси можна визначити масу кальцій карбонату.

Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Масова частка кислоти в розчині | Кількість | Маркування |
|--------------------|---------------|---------------------------------|-----------|------------|
| Хлоридна кислота | водний розчин | 10 % | 50 мл | HCl |
| Досліджувана суміш | твердий | – | – | задача |

Перелік посуду та допоміжних матеріалів

| Посуд / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|----------------------------------|----------------|
| Лійка для рідин | 1 |
| Скляна паличка | 1 |
| Мірний циліндр, 50 мл | 1 |
| Хімічний стакан, 100 мл | 1 |
| Колба конічна, 250 мл | 2 |
| Фільтр паперовий | 2 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |

Перелік обладнання загального користування

| Обладнання / допоміжні матеріали | Кількість, шт. | |
|----------------------------------|----------------|--------------------|
| Ваги | 3 | 1 (на лабораторію) |
| Сушильна шафа | 3 | 1 (на лабораторію) |
| Папір для зважування | 3 | 1 (на лабораторію) |

Хід роботи

1. Знайдіть на робочому місці віалу з написом «Варіант №» і запишіть її номер у комірці на початку сторінки.

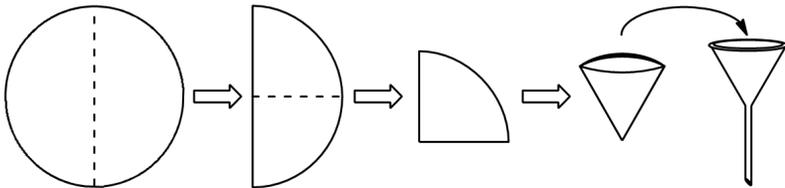
2. Відгвинтіть кришку, зважте віалу разом із сумішшю, значення запишіть у таблицю 1 (продублюйте її у зошит, де й фіксуєте результати).

3. Перенесіть вміст віали у стакан об'ємом 100 мл. За необхідності промийте стінки віали дистильованою водою, яку також перелийте у стакан із сумішшю.

4. Протріть віалу фільтрувальним папером, щоб не було залишків суміші або води. Зважте суху та чисту віалу, масу її запишіть в таблицю, а також розрахуйте і зафіксуйте масу вихідної суміші.

5. Відміряйте 30–40 мл дистильованої води за допомогою мірного циліндра і додайте її у стакан із сумішшю. Перемішуйте скляною паличкою до повного розчинення розчинної солі (3–4 хвилини).

6. Підготуйте паперовий фільтр: складіть його у 4 рази, відокремте один шар паперу, надайте фільтру форму конуса. Вставте його у лійку, притисніть до стінок і змочіть водою з промивалки. Фільтр прилипне до стінок лійки й стане готовим до використання.



7. Помістіть лійку з фільтром у порожню конічну колбу об'ємом 250 мл.

8. Перелийте порціями вміст стакана у фільтр. Додайте мінімально дистильованої води з промивалки у стакан, щоб кількісно перенести увесь вміст суміші на фільтр. Будьте уважні, щоб рівень розчину в лійці не перевищував країв фільтрувального паперу. Дочекайтесь, поки вся рідина профільтрується.



9. Промийте вміст фільтра невеликою кількістю дистильованої води, дочекайтесь, поки вся рідина профільтрується.

10. Повторіть процедуру.

11. Обережно дістаньте фільтр з лійки, тримаючи за тришарову частину, й перемістіть у тигель (*зверніться до викладача*).

12. Помістіть тигель з фільтром у сушильну шафу на 40 хв (*зверніться до викладача*). Під час очікування виконуйте іншу задачу.

13. За 40 хв витягніть тигель з сушильної шафи (*зверніться до викладача*).

14. Поки фільтр охолоджується, промийте і протріть фільтрувальним папером стакан, зважте його й запишіть масу в таблицю.

15. Осад у фільтрі назвемо «Суміш № 2». Обережно перенесіть Суміш № 2 з фільтра в стакан, зважте і запишіть масу в таблицю. За різницею мас розрахуйте й запишіть масу Суміші № 2.

16. Невеликими порціями, постійно перемішуючи скляною паличкою, додайте у стакан, що містить Суміш № 2, 30–40 мл розчину хлоридної кислоти (за допомогою мірного циліндра). Кожну наступну порцію кислоти додавайте після припинення бурхливої реакції. Залиште стакан до припинення виділення газу.

17. Складіть фільтр, профільтруйте й промийте осад таким чином, як це описано у пунктах 6–10, в іншу конічну колбу на 250 мл.

18. Перенесіть фільтр з осадом у тигель і помістіть у сушильну шафу на 30 хв (*зверніться до викладача*). Під час очікування виконуйте іншу задачу.

19. Витягніть тигель з сушильної шафи (*зверніться до викладача*).

20. Осад у фільтрі назвемо «Залишок». Після охолодження обережно перенесіть Залишок у суху та чисту віалу, де містилась початкова суміш. Можете використовувати чисту та суху лійку.

21. Зважте віалу разом з осадом і запишіть масу в таблицю.

22. За різницею мас розрахуйте і запишіть масу Залишку (маса віали вже відома, оскільки її зважували на початку роботи).

23. Розрахуйте масові частки кожного з компонентів суміші й запишіть з точністю до одного знака після коми (XX,X %).

24. Дайте відповідь на запитання в кінці таблиці (п.п. 12–14).

Таблиця 1

| № | Параметр | Значення | |
|---|--|------------|-----------|
| 1 | Маса віали з вихідною сумішшю, г | | |
| 2 | Маса віали, г | | |
| 3 | Маса вихідної суміші, г | | |
| 4 | Маса порожнього стакану, г | | |
| 5 | Маса стакану з Сумішшю № 2, г | | |
| 6 | Маса Суміші № 2, г | | |
| 7 | Маса віали з Залишком, г | | |
| 8 | Маса Залишку, г | | |
| 9 | Масова частка солі, XX,X % | | |
| 10 | Масова частка CaCO ₃ , XX,X % | | |
| 11 | Масова частка механічних домішок, XX,X % | | |
| Які з компонентів вихідної суміші можна виділити у чистому виді (√)? | | | |
| | Компонент | Так | Ні |
| 12 | Розчинна сіль | | |
| 13 | CaCO ₃ | | |
| 14 | Механічні домішки | | |
| Місце для розрахунків | | | |

8.2. Розділення суміші рідких речовин

Розділимо суміш рідин, що необмежено змішуються одна з одною. Зазвичай для цього використовують фізичні методи: перегонку, виморожування тощо, але іноді додавання якоїсь хімічної речовини до гомогенної суміші призводить до різкої зміни властивостей одного з рідких компонентів, змінюючи його здатність змішуватись з іншими. Треба розділити суміш води й органічного розчинника ТГФ, які можуть змішуватися у будь-яких співвідношеннях, але, якщо додати калій карбонат у кількості, достатній для утворення насиченого водного розчину, ТГФ перестає змішуватись з водним розчином і виділяється з суміші майже кількісно. Подальше розділення компонентів виконується механічно.

Реактиви

| Назва | Стан | Концентрація | Кількість | Маркування | Локація |
|----------------|-----------------|----------------|-----------|--------------------------------|-------------------------|
| Суміш рідин | рідина | – | – | задача | на робочому місці |
| Калій карбонат | тверда речовина | чиста речовина | 4 · 100 г | K ₂ CO ₃ | біля ваг |

Перелік посуду та допоміжних матеріалів

| Посуд / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|-----------------------------|----------------|
| Віала з задачею, 40 мл | 1 |
| Віала, 20 мл | 1 |
| Мірний циліндр, 50 мл | 1 |
| Піпетка Пастера, 3 мл | 1 |

Хід роботи

1. Виміряйте об'єм вихідної суміші: відгвинтіть кришку віали об'ємом 40 мл і перелийте її вміст у мірний циліндр, значення запишіть у таблицю 2 (продублюйте її у зошит, де й фіксуєте результати). Перелийте суміш назад у віалу.

2. Зважте на папері для зважування 4,5 г калій карбонату. Додайте його до суміші, щільно загвинтіть кришку віали й інтенсивно струшуйте до повного розчинення солі (1–2 хв).

3. Залиште віалу до повного розшарування рідин.

4. За цей час промийте циліндр дистильованою водою й етанолом (зверніться до викладача).

5. Відгвинтіть кришку віали з сумішшю, за допомогою піпетки Пастера порціями відберіть верхній шар, що містить ТГФ, й обережно перенесіть його у порожню віалу об'ємом 20 мл.

6. Нижній водний шар перелийте у чистий циліндр і запишіть його об'єм у таблицю.

7. За різницею об'ємів суміші й водної фази розрахуйте об'єм ТГФ, результат запишіть у таблицю.

8. Розрахуйте об'ємні частки компонентів у суміші, результат запишіть у таблицю.

Таблиця 2

| № | Параметр | Значення |
|---|------------------------------------|----------|
| 1 | Об'єм суміші, мл | |
| 2 | Об'єм водної фази, мл | |
| 3 | Об'єм ТГФ, мл | |
| 4 | Об'ємна частка води у суміші, XX % | |
| 5 | Об'ємна частка ТГФ у суміші, XX % | |

8.3. Якісний аналіз для визначення неорганічних речовин (початковий рівень)

Визначаємо вміст кожної пробірки з невідомим розчином. Можна використовувати: допоміжні реактиви; попарне злиття невідомих розчинів; розчини, склад яких вже достовірно визначений; комбінацію цих підходів.

Примітка. Кожна речовина вважається визначеною, якщо правильно вказано *номер пробірки*, наведено необхідне *рівняння реакції* (чи рівняння реакцій) і вказано *візуальні ознаки* визначення.

На початку задачі вкажіть ваш варіант.

Перелік обладнання на робочому місці

| Обладнання / посуд / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|--|----------------|
| Штатив для пробірок пластиковий (на 20 пробірок) | 1 |
| Пробірка скляна | 20 |
| Піпетка Пастера, 3 мл | 9 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |
| Індикаторний папір | — |

Завдання. У семи пронумерованих пробірках містяться водні розчини (по 15 мл) таких речовин: CuCl_2 , AgNO_3 , Na_3PO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2CO_3 , BaCl_2 , H_2SO_4 з концентрацією 0,1 моль/л. Також є допоміжні реагенти: розчини NaOH та HCl з молярними концентраціями 1 моль/л.

Перенесіть у зошит і заповніть таблицю 3, вказавши номер пробірки, візуальні ознаки, рівняння реакцій, необхідних для однозначного визначення речовини.

Таблиця 3

| Речовина | № пробірки | Рівняння реакції(й) | Спостереження |
|----------------------------|------------|---------------------|---------------|
| CuCl_2 | | | |
| AgNO_3 | | | |
| $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ | | | |
| Na_2CO_3 | | | |
| BaCl_2 | | | |
| H_2SO_4 | | | |

9 клас

I теоретичний тур

9.1. Вкажіть, в якому рядку елементи розташовані за порядком зростання першої енергії йонізації:

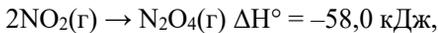
A Na, K, Rb

Б F, N, B

В Cl, F, Ne

Г Cl, K, Na

9.2. Використовуючи термохімічні рівняння:



визначте ΔH° (кДж) для реакції: $2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{г})$:

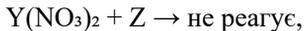
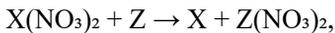
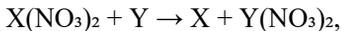
A -171,2 кДж

Б -35,2 кДж

В -190,4 кДж

Г -156,6 кДж

9.3. Розгляньте реакції:



і визначте правильний порядок зростання активності металів X, Y, Z:

A $X < Y < Z$

Б $X < Z < Y$

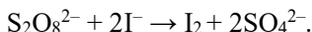
В $Z < Y < X$

Г $Z < X < Y$

9.4. Вкажіть, що у реакції $\text{ClO}_3^- + 5\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ є окисником і відновником:

- А Cl^- і ClO_3^-
- Б ClO_3^- і Cl^-
- В ClO_3^- і H^+
- Г Cl^- і H^+

9.5. У таблиці наведено час, за який утворюється однакова кількість I_2 (за наведених початкових концентрацій і 25 °С):



| Експеримент | Початкова $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$, моль/л | Початкова $[\text{I}^-]$, моль/л | Час, с |
|-------------|---|--------------------------------------|--------|
| 1 | 0,05 | 0,1 | 46 |
| 2 | 0,05 | 0,05 | 92 |
| 3 | 0,0125 | 0,1 | 184 |
| 4 | 0,1 | 0,025 | ? |

Визначте час для експерименту 4:

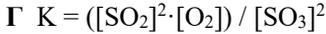
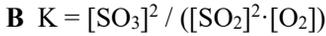
- А 46 с
- Б 92 с
- В 138 с
- Г 184 с

9.6. 300,0 мл насиченого розчину Li_2CO_3 було упарено до 80,0 мл. Встановіть, яка маса твердого Li_2CO_3 утворилася ($K_{\text{sp}}(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 4 \cdot 10^{-3}$):

- А 1,03 г
- Б 1,628 г
- В 2,22 г
- Г 2,584 г

9.7. Вкажіть рівняння константи рівноваги для реакції $2\text{SO}_2(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{r})$:

- А $K = 2[\text{SO}_3] / (2[\text{SO}_2] + [\text{O}_2])$
- Б $K = (2[\text{SO}_2] + [\text{O}_2]) / 2[\text{SO}_3]$



9.8. Вкажіть значення рН розчину, отриманого додаванням 50 мл $0,2 \text{ моля} \cdot \text{л}^{-1}$ розчину натрію гідроксиду до 100 мл $0,25 \text{ моля} \cdot \text{л}^{-1}$ розчину оцтової кислоти ($K_a(\text{оцтової кислоти}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$):

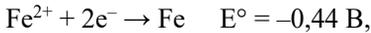
А 4,58

Б 4,93

В 2,88

Г 3,63

9.9. Використовуючи стандартні потенціали відновлення:



визначте стандартний потенціал для реакції $\text{Fe} + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}$:

А 0,34 В

Б 2,2 В

В 1,16 В

Г 1,24 В

9.10. Встановіть молярну концентрацію йонів калію в 350,0 мл водного розчину, що містить 12 г K_2SO_4 :

А 0,169 моль/л

Б 0,197 моль/л

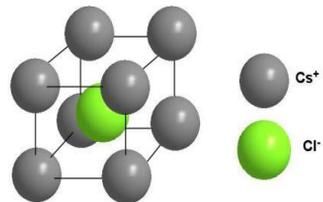
В 0,253 моль/л

Г 0,394 моль/л

9.11. Цезій хлорид утворює кубічну елементарну комірку, зображену праворуч, з довжиною ребра: $a = 410 \text{ пм}$. Вкажіть, яка густина CsCl ?

А $3,59 \text{ г/см}^3$

Б $4,06 \text{ г/см}^3$



В 4,89 г/см³

Г 5,18 г/см³

9.12. Визначте, в якій молекулі є дві різні довжини зв'язків сульфур — флуор:

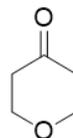
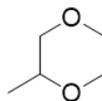
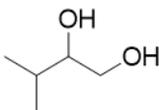
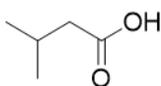
А SF₆

Б SOF₂

В SO₂F₂

Г SF₄

9.13. Вкажіть, які з наведених сполук є ізомерами:



А 1 і 2

Б 1 і 3

В 2 і 3

Г 3 і 4

9.14. У разі додавання 6 М розчину натрій гідроксиду з молярною концентрацією 6 моль/л до невідомої білої твердої речовини вона розчинилась. Визначте, що це за речовина:

А Mg(OH)₂

Б Al(NO₃)₃

В BaCO₃

Г AgCl

9.15. Студент має 25 мл розчину, що може містити будь-які або всі з перелічених катіонів у концентрації 0,01 моль/л: Ва²⁺, Ag⁺, Mn²⁺. До цього розчину додають 25 мл розчину HCl з молярною концентрацією 1 моль/л, що спричиняє утворення осаду. Після фільтрування осаду до фільтрату

додають розчин H_2SO_4 з молярною концентрацією 1 моль/л, і знову утворюється осад. Встановіть, яка речовина є другим осадом:

- А Ag_2SO_4
- Б BaSO_4
- В суміш BaSO_4 і MnSO_4
- Г суміш BaSO_4 й Ag_2SO_4

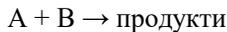
9.16. Визначте, який із наведених розчинів з молярною концентрацією 0,1 моль/л має найменше значення рН:

- А $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- Б MgCl_2
- В NaHCO_3
- Г CH_3COONa

9.17. Електрохімічний елемент, з участю якого відбувається реакція $\text{Cu}^{2+} + \text{M} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{M}^{2+}$, має $E^\circ = 0,75 \text{ В}$. Стандартний електродний потенціал для $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}$ є 0,34 В. Вкажіть значення стандартного електродного потенціалу для $\text{M}^{2+} \rightarrow \text{M}$:

- А 1,09 В
- Б 0,410 В
- В -0,410 В
- Г -1,09 В

9.18. Початкова швидкість реакції:

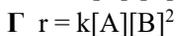
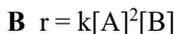


змінюється залежно від початкових молярних концентрацій А і В у такий спосіб.

| [A], М | [B], М | Початкова швидкість, моль/л · с |
|--------|--------|---------------------------------|
| 0,5 | 0,6 | 0,044 |
| 1 | 0,6 | 0,088 |
| 0,5 | 1,8 | 0,043 |

Вкажіть рівняння швидкості для цієї реакції:

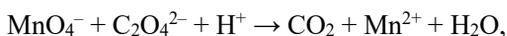
- А $r = k[\text{A}]$
- Б $r = k[\text{A}][\text{B}]$



9.19. Зазначте, яка молекула має НЕ нульовий дипольний момент:



9.20. Вкажіть, яка сума всіх коефіцієнтів рівняння:



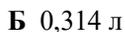
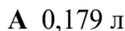
урівняного з найменшими цілими коефіцієнтами:



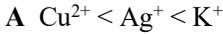
9.21. Визначте, яка речовина може поглинати гарячу суміш CO_2 і H_2O без утворення кисню:



9.22. Встановіть, який об'єм CO_2 (за н. у.) утвориться у разі додавання 70 мл розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією $0,4 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ до 100 мл розчину натрій карбонату з молярною концентрацією $0,2 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$:



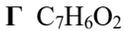
9.23. Наведені нижче йони розташовані за порядком зростання радіуса, окрім:



9.24. Визначте, який аніон може піддаватися і окисненню, і відновленню:



9.25. Масові частки елементів у сполуці становлять: Карбон — 68,85 %, Гідроген — 4,92 %, Оксиген — 26,23 %. Вкажіть, яка брутто-формула такої сполуки:



9.26. Визначте, який тип радіоактивного розпаду утворює дочірнє ядро з вищим атомним номером:

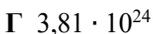
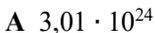
А α (альфа-розпад)

Б β^- (бета-мінус-розпад)

В γ (гамма-розпад)

Г β^+ (бета-плюс-розпад)

9.27. Вкажіть, скільки нейтронів міститься в 10 г атомів ${}^{15}_7\text{N}$?

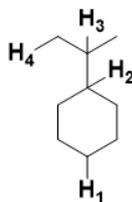


9.28. Середній ступінь окиснення празеодиму в оксиді Pr_6O_{11} становить:

- А 3,11
- Б 3,33
- В 3,67
- Г 4,33

9.29. У разі заміни якого атома Гідрогену на Бром у наведеній речовині утворюється хіральна молекула:

- А H_1
- Б H_2
- В H_3
- Г H_4



30. Вкажіть, яка молекула є НЕ лінійною:

- А CO_2
- Б N_2O
- В XeF_2
- Г SO_2

9.31. Газоподібний вуглеводень має густину 1,37 г/л за температури 80°C і 720 мм рт. ст. Його молекулярна формула:

- А C_2H_6
- Б C_2H_4
- В C_3H_6
- Г C_3H_8

9.32. Вкажіть, які одиниці вимірювання константи швидкості k для рівняння швидкості:

$$r = k \cdot [\text{A}][\text{B}]^2,$$

якщо швидкість реакції виражена в моль \cdot л⁻¹ \cdot с⁻¹:

- А л \cdot моль \cdot с
- Б л \cdot моль⁻¹ \cdot с⁻¹
- В л² \cdot моль⁻² \cdot с⁻¹
- Г л³ \cdot моль⁻³ \cdot с⁻²

9.33. Вкажіть число ізомерів, що відповідає формулі C_6H_{14} :

- А 3
- Б 4
- В 5
- Г 6

9.34. Струм 2,0 А використовується для осадження Ni з 500 мл розчину Ni^{2+} з молярною концентрацією 1 моль/л. Встановіть молярну концентрацію йонів Ni^{2+} , яка буде в розчині після трьох годин електролізу (змінюю об'єму розчину знехтуйте і вважайте, що вихід за струмом 100 %):

- А 0,39 моль/л
- Б 0,46 моль/л
- В 0,78 моль/л
- Г 0,89 моль/л

9.35. Визначте, яке значення рН має 2 %-й (за масою) розчин амоніаку, якщо його густина дорівнює 0,99 г/мл, а $pK_b(NH_3) = 4,74$:

- А 10,56
- Б 11,03
- В 11,33
- Г 11,66

9.36. 0,250 г елемента **М** реагує з надлишком фтору, утворюючи 0,547 г гексафториду MF_6 . Вкажіть, який це елемент:

- А Cr
- Б Mo
- В S
- Г Te

9.37. Визначте, який із запропонованих наборів не містить йонних сполук:

- А NH_4Cl , OF_2 , H_2S
- Б CO_2 , Cl_2 , CCl_4
- В BF_3 , AlF_3 , TiF_3
- Г I_2 , CaO , CH_3Cl

9.38. Вкажіть, яку просторову будову має BrF_5 :

- А тетраедричну
- Б тетрагонально-пірамідальну
- В октаедричну
- Г пласку п'ятикутну

9.39. Визначте, яка реакція є окисненням (у реакціях вказані лише молекули, що містять Карбон):

- А $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2$
- Б $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$
- В $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{HCOOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OOCCH}_3$
- Г $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$

9.40. Вкажіть, яка гібридизація атома Карбону в молекулі CO_2 :

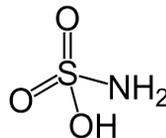
- А sp
- Б sp^2
- В sp^3
- Г sp^3d

II теоретичний тур

9.1. Побутово-аналітична хімія

Сульфамінова кислота (H_3NSO_3) є стандартним складником комерційно доступних засобів для видалення іржі та вапняного нальоту. Встановлення вмісту цієї кислоти у чистильних засобах відіграє важливу роль у контролюванні якості цих продуктів.

Визначення вмісту кислоти можна здійснити за допомогою прямого алкаліметричного титрування з використанням стандартного розчину натрій гідроксиду.



У мірну колбу об'ємом 200 мл було наважено 8 г зразка чистильного засобу **X**, який містить сульфамінову кислоту (одноосновна у водному розчині), після чого її доповнили водою. Для визначення було відібрано аліквоту об'ємом 20 мл, яку відтитрували

мірним розчином натрій гідроксиду з молярною концентрацією $0,2 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$.

Завдання 1. Розрахуйте масову частку сульфамінової кислоти у засобі X, на титрування якого пішло 5,76 мл розчину натрій гідроксиду. Вважайте, що інші складники засобу не впливають на рН розчину та результат титрування.

Завдання 2. Розрахуйте pK_a сульфамінової кислоти, якщо відомо, що рН відібраної аліквоти до початку титрування становив 1,39.

Другим варіантом визначення є подвійне зворотне окисно-відновне титрування на основі церійметричного визначення нітритів. Наявність інших складників у чистильному засобі для застосування цього методу не заважає.

Титрування ґрунтується на тому, що під час взаємодії сульфамінової кислоти з нітритом вивільняється еквівалентна кількість газоподібного азоту. До нітритів, що не прореагували, додається надлишок церієвої солі, яка окиснює їх. Надлишок церієвої солі визначається подальшим титруванням сіллю феруму(II) з використанням окисно-відновного індикатора, наприклад фероїну.

У *мірну колбу № 1* було наважено 8 г зразка чистильного засобу Y, який містить сульфамінову кислоту, після чого її об'єм було доведено водою до 200 мл. Наважка солі Мора $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ масою 1,750 г була розчинена у воді та 5 мл розбавленої сульфатної кислоти, кількісно перенесена у *мірну колбу № 2* та доведена водою до об'єму 200 мл.

Для визначення вмісту сульфамінової кислоти було відібрано 10 мл аліквоти засобу Y з *мірної колби № 1*. До неї додали 50 мл розчину натрій нітриту, молярна концентрація якого становила $0,01 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$, та певну кількість розбавленої сульфатної кислоти, після чого до утвореного розчину додали 50 мл солі церію $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ з молярною концентрацією $0,02 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$. Утворений розчин добре розмішали, залишили настоятися впродовж 30 хв і далі відтитрували мірним розчином солі Мора, якого знадобилося 17,83 мл.

Завдання 3. Розрахуйте концентрацію катіонів Fe^{2+} у мірному розчині солі Мора.

Завдання 4. Наведіть йонні рівняння усіх трьох реакцій, які проводились для визначення.

| | |
|-------------|--|
| Реакція № 1 | |
| Реакція № 2 | |
| Реакція № 3 | |

Підказка. Сульфамінова кислота реагує з нітритом у мольному співвідношенні 1:1, а під час відновлення солі церію утворюється Ce^{3+} .

Завдання 5. Розрахуйте масову частку сульфамінової кислоти у засобі Y.

Завдання 6. Назвіть принаймні дві з інших кислот, які додають для видалення вапняного нальоту в чистильні засоби, напишіть їх формули.

Завдання 7. Поясніть, чому мірні розчини Fe^{2+} та церієвої солі готують у сильноокислому середовищі.

Завдання 8. Вкажіть, яким іншим окисно-відновним методом титрування можна визначати нітрит-йони.

9.2. Терпени

Ялівець звичайний (*Juniperus communis* L.) — хвойна рослина роду Ялівець родини Кипарисові. Широко розповсюджений у Карпатах (нижній гірський лісовий пояс), на Поліссі, а також в Криму. Ялівець використовується в медицині й у харчовій промисловості.



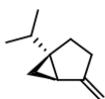
Клас органічних сполук, що зазвичай наявні в ягодах ялівцю, відомий як монотерпени.

Монотерпени — велика група легких сполук, які містяться в ефірних оліях рослин, особливо хвойних і цитрусових дерев, що має формулу $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$, а оксигеновмісні похідні монотерпенів називаються **монотерпеноїдами**.

На рисунку 1 наведено приклади таких монотерпенових та монотерпеноїдних сполук, наявних у ягодах ялівцю.



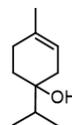
1. α -Пінен



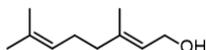
2. Сабінен



3. β -Пінен



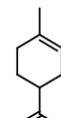
4. Терпінен-4-ол



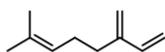
5. Гераніол



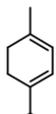
6. Борнеол



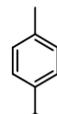
7. Лімонен



8. β -Мірцен



9. Терпінен



10. п-Цимол

Рисунок 1

Завдання 1. Розрахуйте, який об'єм кисню витратиться на повне спалювання 10 г монотерпену.

Завдання 2. Визначте, які речовини на рисунку 1 є структурними ізомерами для сабінену (речовина 2) та борнеолу (речовина 6), запишіть номери речовин.

| |
|-----------|
| Сабінен — |
| Борнеол — |

Завдання 3. Керуючись рисунком, вкажіть, які структури зображені з визначеною конфігурацією хірального центра (позначте зірочкою хіральні центри).

Завдання 4. Установіть відповідність між класами органічних сполук, які можна виокремити серед наведеного (рис. 1), і номерами речовин.

| Клас органічних сполук | Номер речовини |
|------------------------|----------------|
| Спирти | |
| Циклічні алкени | |
| Циклічні алкадієни | |
| Ациклічні алкени | |
| Ациклічні алкадієни | |
| Арен | |

Завдання 5. Вкажіть усі геометричні ізомери для структур 4 та 5.

| |
|---|
| 4 |
| 5 |

α -Пінен є реакційноздатним завдяки наявності чотиричленного кільця, розташованого поруч з алкеном. Сполука схильна до перегрупувань, а також реакцій приєднання. На рисунку 2 наведено характерні перетворення для α -пінену.

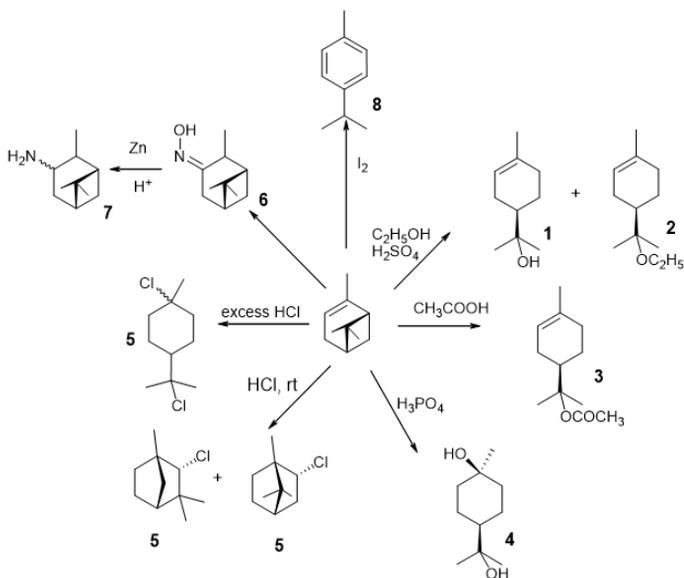


Рисунок 2

Відомо, що:

- у сполуках **F**, **G**, **H** та **I** масова частка Флуору становить 13,02 %, 31,00 %, 42,81 % та 51,17 % відповідно;
- під час взаємодії з водою **H** диспропорціює з утворенням сполуки **J** з координаційним числом елемента **X**, що дорівнює 6;
- для утворення **E** з 10,00 г **A** необхідно 2,648 л хлору за н. у.;
- у сполуках **L** та **H** однаковий ступінь окиснення елемента **X**;
- червоно-коричнева кристалічна речовина **K** є адуктом з двома молекулами амоніаку, яка може вибухнути у разі легкого струшування.

Завдання 1. Визначте елемент **X** і розшифруйте всі невідомі сполуки **A** — **M** (відповідь підтвердьте розрахунками).

| | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| X — | A — | B — | C — | D — |
| E — | F — | G — | H — | I — |
| J — | K — | L — | M — | |

Завдання 2. Запишіть рівняння реакцій, зазначених на схемі перетворень.

| | |
|--|--|
| $A + F_2 \rightarrow F$ | |
| $F + F_2 \rightarrow G$ | |
| $G + F_2 \rightarrow H$ | |
| $H + F_2 \rightarrow I$ | |
| $I + H_2O \rightarrow J$ | |
| $A + NH_3 \cdot H_2O \rightarrow K + M + H_2O$ | |
| $A + Cl_2 \rightarrow E$ | |
| $A + KOH \rightarrow B + D + H_2O$ | |
| $B + CuSO_4 \rightarrow A + C$ | |
| $B + Cl_2 \rightarrow A$ | |
| $A + O_2 \rightarrow L$ | |
| $L + CO \rightarrow A$ | |

Завдання 3. Встановіть будову і тип гібридизації атома **X** у сполуках **F, G, H, I, J**.

| Сполука | F | G | H | I | J |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Будова | | | | | |
| Тип гібридизації атома X | | | | | |

Завдання 4. Поясніть, чому до водного розчину **A** додають сполуку **B**. Запишіть рівняння реакції їх взаємодії.

Завдання 5. Вкажіть, яким аналітичним методом можна визначити концентрацію **A** в розчині, запропонуйте відповідний реагент і запишіть рівняння реакції, на якому ґрунтується цей метод.

9.4. Невідома синь

Синій пігмент **A** має неорганічну природу і з початку XIX століття широко застосовувався у живописі. Відомо, що **A** — це змішаний оксид, який містить елементи **X** (30,50 % за масою), **Y** (33,31 % за масою) та Оксиген.

За одним із методів, отримання цього пігменту починається з прикrapування розчину, який має у своєму складі хлориди **B** (містить **X**) та **C** (містить **Y**), до розчину NaOH з рН = 10. Утворюється осад, що має у своєму складі суміш гідроксидів **D** (містить **X**) та **E** (містить **Y**). Прожарювання цього осаду за температури вище ніж 1000 °C призводить до утворення **A**.

Розчин хлоридів двох металів отримують шляхом розчинення відповідних кристалогідратів хлоридів — **B*** та **C***. Безводний хлорид **C** блакитного кольору можна одержати шляхом нагрівання **C*** рожевого кольору, при цьому втрачається 45,43 % маси. Проте безводний хлорид **B** з **B*** аналогічним чином одержати неможливо — натомість утворюється сполука **F** і суміш пари води та хлоридної кислоти. Сполуку **F** також можна одержати шляхом термічного розкладання **D**, при цьому зі 100 г **D** утворюється 65,35 г **F**, все решта — вода.

Відомо, що для одержання 10 г синього пігменту **A** необхідно використати не менше ніж 27,30 г кристалогідрата **B*** та 13,45 г кристалогідрата **C***.

Завдання 1. Визначте елементи **X** і **Y** та брутто-формулу пігменту **A** (відповідь підтвердьте розрахунком).

| | | |
|------------|------------|------------|
| X — | Y — | A — |
|------------|------------|------------|

Завдання 2. Встановіть склад сполук **B**, **B***, **C**, **C***, **D**, **E**, **F**.

| | | | |
|------------|------------|------------|-------------|
| B — | C — | D — | C* — |
| E — | F — | | B* — |

Завдання 3. Запишіть рівняння реакцій, згаданих в умові задачі. У разі відсутності визначених катіонів металів у сполуках напишіть рівняння реакції з використанням символів елементів **X** і **Y**.

У процесі отримання синього пігменту цим методом дуже важливо використати не надто концентрований розчин лугу, оскільки в надлишку концентрованого лугу гідроксид **D** розчиняється з утворенням координаційних сполук. **E** практично нерозчинний в лугах, натомість добре розчиняється в концентрованому розчині амоніаку. Проте у разі тривалого перебування на повітрі блідо-жовтий розчин забарвлюється у коричневий колір.

Завдання 4. Запишіть рівняння реакцій **D** з надлишком NaOH та **E** з надлишком розчину амоніаку.

Завдання 5. Зобразіть просторову будову координаційних йонів, які утворюються під час реакцій **D** з надлишком NaOH та **E** з надлишком розчину амоніаку. Вкажіть координаційне число йону металу в продуктах реакції.

| Продукт D + NaOH | Продукт E + NH ₃ |
|------------------|-----------------------------|
| | |
| КЧ = | КЧ = |

Завдання 6. Поясніть, чому розчин E в надлишку розчину амоніаку темнішає у разі тривалого перебування на повітрі.

Історично A отримували шляхом спікання D і G — оксиду металу Y (містить 73,42 % Y за масою) за температури 1250 °C. Відомо, що Y реагує з концентрованим розчином хлоридної кислоти під час кип'ятіння, при цьому утворюється розчин сполуки C і виділяється газ із різким запахом.

Завдання 7. Вкажіть формулу сполуки G, запишіть рівняння згаданих реакцій взаємодії G з D і хлоридною кислотою.

| | |
|------------|--|
| Формула G | |
| Рівняння 1 | |
| Рівняння 2 | |

Завдання 8. Розрахуйте кількість D і G, потрібну для одержання 10 г пігменту A.

| | |
|--------------|--------------|
| Кількість D: | Кількість G: |
|--------------|--------------|

9.5. Термохімія для всіх

Завдання 1. Визначте енергію зв'язку Xe–F у молекулі XeF₂, якщо енергія зв'язку F–F становить 154 кДж/моль, а $\Delta H_f^0(\text{XeF}_2) = -108$ кДж/моль.

Завдання 2. Напишіть рівняння хімічного процесу, який відбудеться у разі взаємодії XeF₂ з водою.

Завдання 3. Визначте кількість теплоти, яка виділиться під час реакції 1 моль XeF_2 з водою: $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{\text{рід}}) = -286$ кДж/моль; $\Delta_f H^0(\text{HF}_{\text{газ}}) = -273$ кДж/моль.

Завдання 4. У разі повного згоряння 1 кг вуглецю виділяється 32,8 МДж теплоти. Знайдіть ентальпію реакції $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ (виразить у кДж/моль).

Завдання 5. Реакція $\text{HgO} = \text{Hg} + 1/2\text{O}_2$ має $\Delta H^0 = +90,8$ кДж/моль; $\Delta S^0 = +108,2$ Дж/(моль · К). Визначте температуру, вище якої термодинамічно вигідним стає розкладання HgO .

Завдання 6. Реакція $2\text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_4$ характеризується термодинамічними параметрами: $\Delta H^0 = -57,2$ кДж/моль; $\Delta S^0 = -175,8$ Дж/(моль · К). Знайдіть константу рівноваги цього процесу за температури 20 °С.

Завдання 7. Поясніть, чому NO_2 — бурий, а N_2O_4 — безбарвний.

9.6. Термодинаміка та кінетика розкладання SO_2Cl_2

За кімнатної температури сульфурилхлорид (SO_2Cl_2) є безбарвною рідиною з різким запахом; температура кипіння дорівнює 70 °С. За подальшого нагрівання ця речовина розкладається на SO_2 та Cl_2 .

У вакуумованій реактор об'ємом 3 л помістили 8,1 мл SO_2Cl_2 (густина — 1,67 г/мл) і нагріли до 90 °С. Через певний час у реакторі встановився тиск 152 кПа.

Завдання 1. Розрахуйте початковий тиск (у барах) в посудині (за 90 °С) до початку розкладання SO_2Cl_2 .

Початковий тиск —

Завдання 2. Розрахуйте рівноважні тиски (у барах) сульфурилхлориду та продуктів реакції у разі встановлення рівноваги. Визначте константу рівноваги K_p реакції розкладу.

$P(\text{SO}_2\text{Cl}_2) =$

$P(\text{SO}_2) =$

$P(\text{Cl}_2) =$

Константа рівноваги: $K_p =$

Константа рівноваги розкладання SO_2Cl_2 за температури 100 °С становить 1,23 бара.

Завдання 3. Розрахуйте сумарний тиск ($p_{\text{сум}}$) у системі за $100\text{ }^\circ\text{C}$ і ступінь перетворення сульфурилхлориду (η).

| | |
|--------------------|----------|
| $p_{\text{сум}} =$ | $\eta =$ |
|--------------------|----------|

Вивчаючи кінетику досліджуваної реакції, певну кількість SO_2Cl_2 нагріли в посудині до $100\text{ }^\circ\text{C}$ і досліджували зміну тиску внаслідок розкладання. Були отримані такі результати.

| | | | | | |
|---|------|------|------|------|--------|
| Час (с) | 0 | 2500 | 5000 | 7500 | 10 000 |
| Парціальний тиск SO_2Cl_2 (бар) | 1,00 | 0,95 | 0,89 | 0,85 | 0,80 |

Завдання 4. Визначте порядок реакції розкладання сульфурилхлориду та константу її швидкості. Залежність молярної концентрації від часу для реакцій 0-го, 1-го та 2-го порядків описується наступними рівняннями.

| | | |
|------------------|--------------------------|------------------------------------|
| $n = 0$ | $n = 1$ | $n = 2$ |
| $C = C_0 - kt$ | $\ln \frac{C_0}{C} = kt$ | $\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = kt$ |
| Порядок реакції: | | Константа швидкості реакції: |

Завдання 5. Визначте час (у годинах), через який розкладеться кількість SO_2Cl_2 , розрахована вами в завданні 3.

| |
|-------------------------|
| Час розкладання: |
|-------------------------|

За температури у реакторі $90\text{ }^\circ\text{C}$ загальний тиск через 10 000 с становитиме 1,02 бара.

Завдання 6. Розрахуйте енергію активації реакції розкладання SO_2Cl_2 .

$E_a =$

Завдання 7. Серед наведених тверджень виберіть правильні для розкладання SO_2Cl_2 :

- А** швидкість реакції збільшується за підвищення температури;
- Б** швидкість реакції збільшується за підвищення тиску;
- В** константа рівноваги збільшується за підвищення температури;
- Г** константа рівноваги зменшується за підвищення температури;
- Д** константа рівноваги збільшується за підвищення тиску;
- Е** константа рівноваги зменшується за підвищення тиску.

Практичний тур

9.1. Кількісне визначення сульфатів. Гравіметрія

Один з методів кількісного визначення сульфат-іонів базується на утворенні нерозчинної солі під час реакції обміну із солями барію. Утворений BaSO_4 майже не розчинний у воді, витримує прожарювання та має доволі велику молярну масу, що підвищує точність визначення. Якщо відома точна маса вихідної наважки, то можна розрахувати вміст сульфат-йону у речовині / суміші або визначити формулу невідомої речовини. До розчину, що містить сульфат-йони в кислому середовищі, повільно додають осаджувач (BaCl_2) таким чином, щоб утворювався грубокристалічний BaSO_4 . Осад фільтрують через паперовий фільтр з відомою масою, промивають і переносять у попередньо зважений тигель. Висушують і зважують тигель разом з BaSO_4 . За різницею мас можна розрахувати кількість сульфат-іонів у вихідній наважці.

Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Концентрація | Кількість | Маркування |
|----------------------|---------------|--------------|-----------|-------------------|
| Хлоридна кислота | водний розчин | 10 % | 15 мл | HCl |
| Наважка суміші | твердий | – | – | задача |
| Барій хлорид | водний розчин | 0,2 моль/л | 50 мл | осаджувач |
| Аргентум(I) нітрат | водний розчин | 0,025 моль/л | 20 мл | AgNO ₃ |
| Метилловий оранжевий | водний розчин | 1 % | 5 мл | індикатор MO |

Перелік обладнання та посуду на робочому місці

| Посуд / обладнання / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|--|----------------|
| Лійка для рідин | 1 |
| Колба конічна, 250 мл | 1 |
| Колба конічна з наважкою, 250 мл | 1 |
| Фільтр паперовий | 2 |
| Штатив для пробірок | 1 |
| Пробірка скляна | 2 |
| Мірний циліндр, 50 мл | 1 |
| Скляна паличка | 1 |
| Піпетка Пастера пластикова | 2 |
| Тигель | 1 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |

Перелік обладнання загального користування

| Обладнання | Кількість, шт. | |
|---------------|----------------|--------------------|
| Ваги | 4 | 1 (на лабораторію) |
| Сушильна шафа | 4 | 1 (на лабораторію) |

Хід роботи

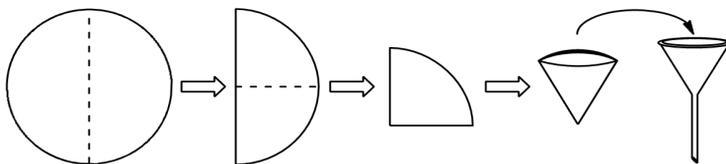
1. Конічна колба об'ємом 250 мл з написом «Варіант №_», розташована на робочому місці, вже містить точну наважку суміші солей (задачу). Запишіть її номер у комірку на початку сторінки, а масу наважки у *таблицю 1*.

2. Додайте у колбу з задачею 75–100 мл дистильованої води й перемішуйте до повного розчинення солі.

3. До утвореного розчину додайте 2–3 краплі розчину індикатора (метилового оранжевого).

4. У цей же розчин піпеткою Пастера накарапайте розчин хлоридної кислоти до появи червоного забарвлення, додатково додайте ще 3 краплини кислоти.

5. Підготуйте паперовий фільтр: складіть фільтр у 4 рази, відокремте один шар паперу від трьох та надайте йому форму конуса. Вставте фільтр у лійку, притисніть до стінок і змочить водою з промивалки. Фільтр прилипне до стінок лійки й буде готовий до використання.



6. Встановіть лійку з фільтром у конічну колбу і за допомогою мірного циліндра налейте у фільтр 40 мл розчину осаджувача. Таке повільне фільтрування / введення розчину осаджувача є необхідним для утворення відносно грубих кристалів осаду.

7. Після цього визначте повноту осадження. Для цього почекайте кілька хвилин до утворення шару прозорого розчину над осадом і додайте на фільтр ще 2–5 мл розчину осаджувача. Відсутність утворення нового осаду або помутніння розчину в місці потрапляння крапель осаджувача свідчить про повне осадження сульфат-йону. В іншому випадку продовжуйте вводити осаджувач до припинення утворення нового осаду.

8. Залиште колбу на 15 хв для звершення процесу кристалізації.

9. За цей час зважте порожній тигель і чистий паперовий фільтр, у таблицю 1 (перенесіть у зошит) запишіть маси й номер тигля.

10. Промийте лійку дистильованою водою, складіть і встановіть новий паперовий фільтр.

11. Встановіть лійку з вологим фільтром в іншу конічну колбу й перенесіть більшу частину надосадової рідини на фільтр методом декантації. Для цього обережно, щоб не замутити осад, нахиліть колбу і злийте більшу частину рідини по скляній паличці у фільтр. Таким чином основну частину розчинних домішок буде видалено.



12. Додайте до осаду у колбі ~10 мл дистильованої води з промивалки, перенесіть на фільтр і дочекайтесь закінчення фільтрування. Повторюйте процедуру до повного перенесення осаду.

13. Промийте осад на фільтрі 3 рази невеликою кількістю дистильованої води з промивалки. Перед додаванням наступної порції обов'язково дочекайтесь майже повного стікання попередньої порції. Спрямувайте струмінь на зовнішні частини фільтру для уникнення непромитих ділянок осаду.

14. Перевірте повноту промивання: піпеткою Пастера додайте у пробірку 2 мл розчину AgNO_3 і перенесіть лійку з суспензією таким чином, щоб краплі фільтрату потрапляли у розчин. Промивання вважається завершеним за відсутності утворення осаду або помутніння. В іншому випадку повторіть промивання й потім ще раз перевірте його повноту.



15. Дочекайтесь закінчення фільтрування, обережно дістаньте фільтр з лійки, тримаючи за тришарову частину, і перемістіть у тигель (зверніться до викладача).

16. Сушіть осад 90 хвилин (у цей час виконуйте наступну задачу).

17. Через півтори години витягніть тигель з фільтром із сушильної шафи й дочекайтесь його охолодження ~15 хв (зверніться до викладача).

18. Зважте тигель разом з фільтром й осадом, масу запишіть у таблицю.

19. Розрахуйте масу осаду, результат запишіть у таблицю.

20. Використовуючи отримані експериментальні дані, обчисліть масову частку сульфат-йонів у вихідній наважці, результат запишіть

у форматі XX,X %. Прийміть молярні маси SO_4^{2-} як 96,06 г/моль, BaSO_4 як 233,39 г/моль.

Таблиця 1

| № | Параметр | Значення |
|--------------------|--------------------------------------|----------|
| 1 | Маса вихідної наважки, г | |
| 2 | Номер тигля | |
| 3 | Маса тигля, г | |
| 4 | Маса фільтра, г | |
| 5 | Маса тигель + фільтр + осад, г | |
| 6 | Маса BaSO_4 | |
| 7 | Масова частка SO_4^{2-} , % | |
| Розрахунки: | | |

9.2. Кількісне визначення сульфатів. Титриметрія

Якщо концентрація сульфат-йонів мала, гравіметрія не забезпечує потрібної точності. В такому випадку можна використовувати замісникове титрування. До аліквоти досліджуваного розчину додають точно відому кількість розчину барій хлориду, надлишок якого відтитрують комплексометрично. За різницею загальної кількості йонів барію та того, що у надлишку, можна розрахувати кількість сульфат-йонів у пробі.

Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Концентрація | Кількість | Маркування |
|---|---------------|--------------|-----------|---------------------------|
| $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$ | водний розчин | – | 100 мл | амоніачний буфер |
| Еріохром чорний Т | водний розчин | 1 % | 10 мл | індикатор ЕХЧТ |
| BaCl_2 | водний розчин | 0,025 моль/л | 100 мл | BaCl_2 |
| Трилон Б | водний розчин | 0,01 моль/л | 100 мл | трилон Б (робочий розчин) |
| Розчин Na_2SO_4 | водний розчин | ? | | задача |

Перелік реактивів загального користування

| Назва | Кількість | |
|-------------------|-----------|---|
| Дистильована вода | – | – |

Перелік обладнання та посуду на робочому місці

| Посуд / обладнання / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|--|----------------|
| Штатив | 1 |
| Тримач для бюретки | 1 |
| Бюретка | 1 |
| Лійка для бюретки | 1 |
| Піпетка Мора, 10 мл | 2 |
| Груша гумова | 1 |
| Колба конічна для титрування, 250 мл | 2 |
| Мірний циліндр, 50 мл | 1 |
| Склянка, 100 мл | 1 |
| Колба мірна з задачею, 100 мл | 1 |
| Піпетка Пастера пластикова | 1 |
| Пробірка мірна, 10 мл | 1 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |

Хід роботи

1. Мірна колба об'ємом 100 мл вже містить певну кількість досліджуваного розчину Na_2SO_4 . Доведіть рівень рідини у колбі дистильованою водою до мітки, яку розмістіть на рівні очей. Нижня межа меніска має збігатись з позначкою на колбі.

2. Закрийте корком мірну колбу і ретельно побовтайте: повільно переверніть її догори дном і поверніть у вихідне положення, повторіть процедуру 10–15 разів.

3. За допомогою лійки й склянки наповніть бюретку робочим розчином трилону Б (носик бюретки не повинен містити повітря). Зніміть лійку.

4. У колбу для титрування внесіть піпеткою Мора 10 мл задачі. Далі за допомогою піпетки Мора додайте 10 мл розчину барій хлориду і 5 мл амоніачного буферного розчину, а за допомогою мірної пробірки — 20 мл дистильованої води. Додайте пластиковою піпеткою Пастера 3–4 краплі індикатора еріохрому чорного Т.

5. Доведіть рівень розчину трилону Б в бюретці до позначки «0»: поступово випускайте розчин, доки нижня межа меніска не збігатиметься з нульовою позначкою бюретки. Рівень рідини має бути розташований на рівні очей.

6. Постійно перемішуючи вміст колби, повільно титруйте розчином трилону Б до зміни забарвлення розчину у колбі з рожево-малинового на синьо-блакитне (без фіолетового відтінку).

7. Запишіть значення об'єму розчину трилону Б (у мл), витраченого на титрування, у таблицю 2 (перенесіть у зошити і фіксуйте результати).

8. За необхідності кроки 3–7 повторіть кілька разів.

Примітка. Значення об'єму розчину трилону Б, витраченого на титрування, може бути отримане усередненням даних кількох титрувань або одержане в одиничному досліді, який, на вашу думку, виконаний найточніше.

9. Розрахуйте масу іонів SO_4^{2-} в розчині задачі, результати запишіть у форматі $X,XX \cdot 10^{XX}$ г. Прийміть молярну масу SO_4^{2-} як 96,06 г/моль.

Таблиця 2

| Номер титрування | V _{аліквоти} , мл | V(BaCl ₂), мл | V(трилону Б), мл | V _{прийняте для розрахунків (трилону Б), мл} | m(SO ₄ ²⁻), г |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|---|--------------------------------------|
| | 10,0 | 10,0 | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Розрахунки: | | | | | |

10 клас

I теоретичний тур

Увага! Для виконання тестової частини (10.1–10.8) будуть запропоновані твердження, щодо яких слід вказати, чи є воно істинним (Т), чи хибним (F).

10.1. На *рисунку* наведено структуру активного центра гемоглобіну — важливого білка, що виконує функцію транспорту кисню в організмі. Йон Феруму в ньому має ступінь окиснення +2.

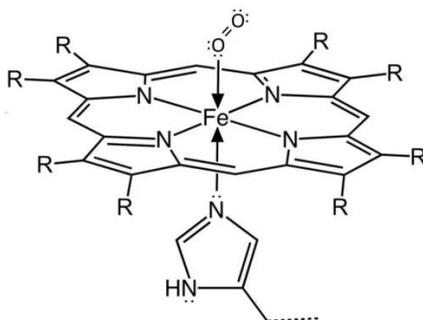
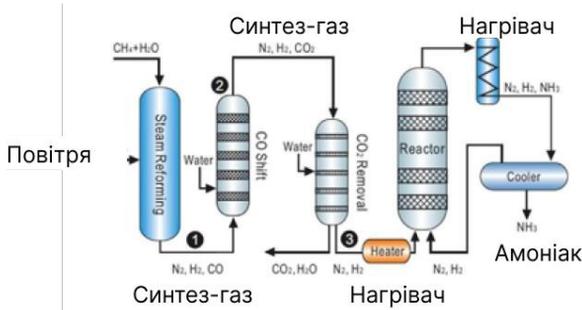


Figure modified from: Smokefoot - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=63789703>

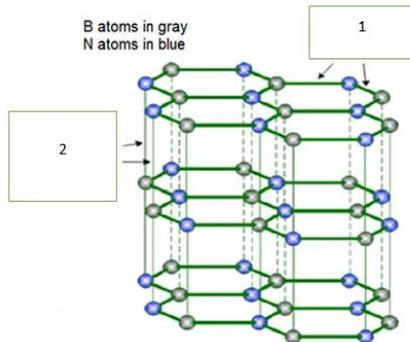
| | |
|--|--|
| Координаційне число Феруму в цьому комплексі дорівнює 6 | |
| У комплексі є тетраедричний ліганд | |
| Зображений комплекс є позитивно зарядженим | |
| Зв'язування молекули чадного газу цим комплексом може бути лише шляхом заміщення одного з лігандів | |
| Згідно з теорією кристалічного поля у цього комплексу є три вироджені за енергією <i>d</i> -орбіталі | |

10.2. На *рисунку* зображено цикл синтезу амоніаку за Габером — Бошем.



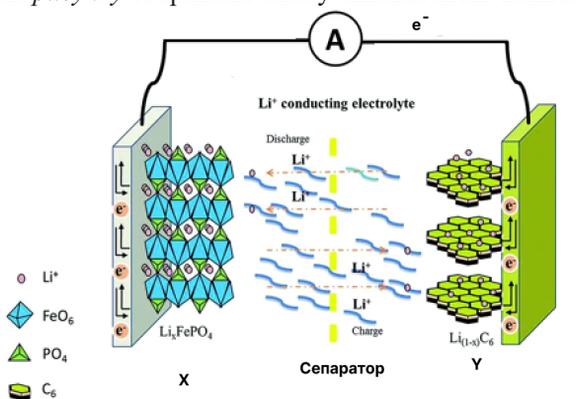
| | |
|---|--|
| У циклі Карбон у метані відновлюється | |
| Джерелом азоту є повітря | |
| Зайвий вуглець видаляється адсорбцією | |
| Суміш азоту, водню й амоніаку розділяється під час хімічної реакції | |
| Реакція азоту з воднем є самовільною за кімнатної температури (не потребує додаткового джерела енергії) | |

10.3. На *рисунку* зображено структуру молекули, що містить бор і азот.



| | |
|--|--|
| Цифрою 1 позначено ковалентні зв'язки | |
| Цифрою 2 позначено йонні нековалентні взаємодії | |
| Брутто-формула цієї молекули — BN_3 | |
| У цій молекулі азот є sp^2 -гібридизованим | |
| Молекулу неможливо синтезувати сполученням елементів за температури до 100°C | |

10.4. На *рисунку* зображено схему типової літій-йонної батареї.

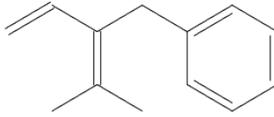


| | |
|--|--|
| Літерою X позначено катод | |
| Потік електронів рухається зліва направо | |
| Стандартний потенціал реакції визначається константою адсорбції йонів літію на вуглецi | |
| Залізо під час роботи батареї окиснюється | |
| Зарядити батарею можливо додаванням літій хлориду в праву частину батареї | |

10.5. Вкажіть правильні твердження.

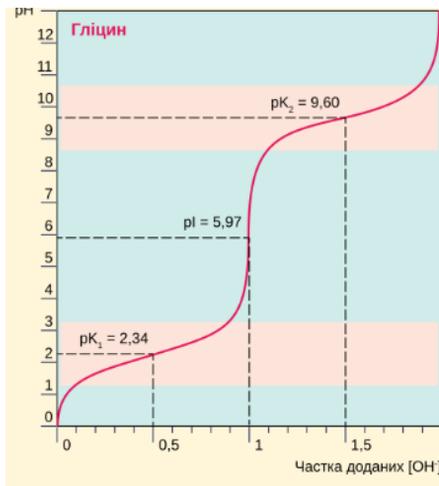
| | |
|---|--|
| За постійного об'єму і тиску тепловий ефект хімічної реакції не залежить від шляху реакції, а лише від початкового і кінцевого станів системи | |
| Температурний коефіцієнт теплового ефекту хімічної реакції дорівнює зміні теплоємності внаслідок перебігу реакції | |
| Можливий періодичний процес, єдиним результатом якого є перетворення теплоти в роботу | |
| Енергію Гельмгольца можна вважати повною хімічною енергією системи | |
| Рівновага — стан системи, який лишається незмінним у часі й не підтримується яким-небудь зовнішнім процесом відносно системи | |

10.6. На *рисунку* зображено органічну сполуку, яку піддали озонолізу (розщепленню озоном) у присутності диметилсульфіду — відновника.



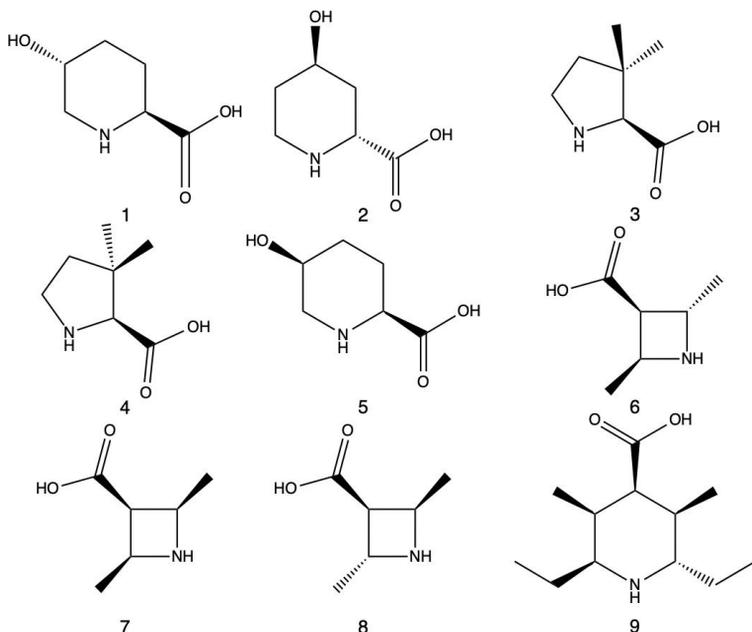
| | |
|---|--|
| Серед продуктів цієї реакції є формальдегід | |
| Серед продуктів цієї реакції є ароматична сполука | |
| Один із продуктів цієї реакції має дві альдегідні карбонільні групи | |
| Серед продуктів цієї реакції є фенол | |
| Один із продуктів цієї реакції не має інших ізомерів | |

10.7. На *рисунку* зображено криву титрування амінокислоти гліцину ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) натрій гідроксидом.



| | |
|--|--|
| У діапазоні рН 1,5–3,5 набуває буферних властивостей | |
| У діапазоні рН 3,5–8,5 набуває буферних властивостей | |
| pI — перша точка еквівалентності | |
| pK ₁ — перша точка еквівалентності | |
| pK ₂ — друга точка еквівалентності | |
| $pI = (pK_1 + pK_2) / 2$ | |

10.8. На рисунку зображено кілька сполук.



| | |
|--|--|
| Кожна з пар сполук: 1 і 5, 3 і 4 є діастереомерами | |
| Сполуки 6 і 8 є енантіомерами | |
| Сполука 1 має лише 4 стереоізомери | |
| Конфігурація всіх стереоцентрів у сполуці 2 є R | |
| Сполука 7 є оптично активною і здатною обертати площину поляризації світла | |
| У сполуці 9 є 4 хіральні центри | |

10.9. Закон Гесса

Цей закон був сформульований у 1840 році швейцарським хіміком Германом Гессом. Він є прямим наслідком першого закону термодинаміки й стверджує, що зміна ентальпії під час хімічного процесу не залежить від послідовності етапів проходження реакції. Використовуючи це твердження, виконайте запропоновані завдання.

Додаткові матеріали

| Зв'язок | Енергія зв'язку, кДж моль ⁻¹ |
|--------------------------|---|
| C–N | 305 |
| C–O | 358 |
| C=O | 745 |
| C=O (в CO ₂) | 799 |
| O–H | 467 |
| N–H | 391 |

Стандартні ентальпії утворення речовин

| Речовина | ΔH_f° (кДж/моль) |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| CO ₂ (г) | –393,5 |
| H ₂ O (г) | –241,8 |
| H ₂ O (р) | –285,5 |
| C ₂ H ₂ (г) | 226,8 |

Завдання 1. Розрахуйте тепловий ефект реакції згоряння ацетилену за стандартних умов у перерахунку на 1 моль ацетилену (у кДж) за умови, що всі реагенти та продукти перебувають у газовій фазі.

Завдання 2. Обчисліть стандартну ентальпію конденсації води (у кДж).

Завдання 3. Розрахуйте стандартний тепловий ефект реакції горіння ацетилену з подальшою конденсацією води.

Завдання 4. Розрахуйте тепловий ефект реакції утворення сечовини з вуглекислого газу й амоніаку (298 К).

Завдання 5. Обчисліть, як зміниться тепловий ефект такої реакції, якщо вона відбувається за 428 К (стандартна теплоємність цього процесу дорівнює: $\Delta_r C_p = 2,88 \frac{J}{K \cdot mol}$).

10.10. Координаційні сполуки рідкісноземельних елементів

Комплекси рідкісноземельних елементів з ЕДТА (етилендіамінтетраоцтовою кислотою) здатні реагувати з лігандами, наприклад з тироном (динатрієвою сіллю 4,5-дигідроксибензен-1,3-дисульфонової кислоти, Na₂H₂T), з утворенням змішаної комплексної

сполуки, у якій координаційне число йону металу дорівнює восьми. Стеричні взаємодії й електростатичне відштовхування між лігандами можуть безпосередньо впливати на швидкість утворення таких змішаних комплексів.

Завдання 1. Намалуйте структурні формули лігандів ЕДТА і тирону та визначте їх дентатність у комплексній сполуці, що утворюється.

| Сполука | ЕДТА | Na ₂ H ₂ T |
|-------------|------|----------------------------------|
| Структура | | |
| Дентатність | | |

Пропонуємо вивчити кінетику подібних реакцій комплексоутворення на прикладі Ітрію. Шляхом розчинення оксиду цього рідкісноземельного металу в розведеній перхлоратній кислоті з подальшим додаванням лігандів ЕДТА і тирону було отримано вихідний розчин з рН = 7,47 і початковими молярними концентраціями компонентів, зазначеними нижче.

| C ₀ (Y ³⁺), 10 ⁻³ моль/л | C ₀ (EDTA ⁴⁻), 10 ⁻³ моль/л | C ₀ (HT ³⁻), 10 ⁻³ моль/л |
|--|---|---|
| 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Оскільки співвідношення $\frac{C_0(Y^{3+})}{C_0(EDTA^{4-})}$ дорівнювало 1, вважайте, що йони Y³⁺ і EDTA⁴⁻ спершу перебували в стані зв'язаного комплексу Y-EDTA⁻.

Завдання 2. Запишіть рівняння реакцій розчинення оксиду в перхлоратній кислоті та подальше утворення комплексу Ітрію з ЕДТА.

Завдання 3. Поясніть, чи можна було б замість розчину перхлоратної кислоти взяти хлоридну (відповідь обґрунтуйте).

Відомо, що подальша взаємодія відбувається за рівнянням:



Усіма іншими рівновагами можна знехтувати.

Після проведення експериментів було одержано зазначені нижче дані.

| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| C(Y-EDTA⁻), ммоль/л | 0,4739 | 0,3922 | 0,3226 | 0,1887 | 0,1300 | 0,07692 |
| t, мс | 1 | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 |

Завдання 4. Запишіть рівняння швидкості утворення комплексу в диференційній формі.

Завдання 5. Визначте загальний порядок цієї реакції та константу швидкості, вкажіть її розмірність.

В останньому експерименті $C_0(\text{HT}^{3-})$ змінили з 0,5 на 0,8 ммоль/л, а інші концентрації лишили незмінними.

Завдання 6. Розрахуйте молярну концентрацію комплексу Y-EDTA-HT⁴⁻ через 10 мс у цьому експерименті.

10.11. Такий знайомий і водночас незвичний¹

Усі студенти-хіміки на I курсі вивчають неорганічну хімію, і звісно, вони мають скласти іспит з цього предмета. Один зі студентів старанно готувався і в доленосний день з'явився до екзаменатора. Списані чернетки, години роздумів, але ніяк остання задача не піддавалась.

Спробуймо допомогти йому. Умови задачі:

«Елемент X — метал, який зазвичай використовується, як легувальна домішка. Він доволі крихкий, але найтвердіший з чистих металів за шкалою Мооса. На повітрі X пасивується завдяки утворенню на його поверхні тонкого шару оксиду А. X реагує з хлором (за нагрівання) з утворенням речовини В. Додавання до водного розчину сполуки В розчину NaOH спричиняє спочатку утворення осаду сполуки К зеленого кольору, який за подальшого додавання луку розчиняється, утворюючи смарагдово-зелений розчин речовини L. У разі взаємодії розчину L з перекисом водню його колір через утворення сполуки С змінюється на жовтий, а за додавання H₂SO₄ через утворення речовини D — на оранжевий. За додавання надлишку сульфатної кислоти й сильного охолодження з розчину викристалізуються темно-червоні кристали бінарної сполуки E, яка існує чистою, або в органічному розчиннику, або

¹ Персонажі в задачі вигадані, а збіги з реальними людьми випадкові.

в сухому виді. Нагрівання **E** призводить до утворення **A**. У разі взаємодії розчину **E** в KOH з H_2O_2 за 0°C утворюється червоно-коричнева сполука **F** з масовим вмістом Оксигену 43,05 %».

Завдання 1. Розшифруйте речовини **X**, **A** — **F**, **K**, **L**.

| | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| X | A | B | C | D | E | F | K | L |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|

Завдання 2. Напишіть рівняння всіх реакцій.

У разі взаємодії сполуки **K** з оцтовою кислотою утворюється гексагідрат **G** фіолетового кольору (вміст **X** дорівнює 16,00 мас. %). Взаємодія **X** з хлоридною кислотою в інертному середовищі призводить до утворення сполуки **H** блакитного кольору, а додавання розчину натрій ацетату до неї призводить до кристалізації сполуки **M** червоного кольору (вміст **X** дорівнює 27,66 мас. %), яка має однаковий якісний склад зі сполукою **K**, але доволі нестійка у випадку зберігання на повітрі. Додавання луку призводить до перетворення **H** на жовтий осад **J**.

Завдання 3. Розшифруйте речовини **G**, **H**, **J** та **M**.

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| G | H | J | M |
| | | | |

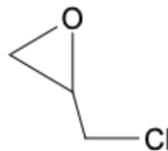
Завдання 4. Напишіть рівняння всіх реакцій.

Завдання 5. Намалуйте структури аніонів **L** та **F**.

| | |
|----------|----------|
| L | F |
| | |

10.12. Епіхлорогідрин

Епіхлорогідрин (на схемі праворуч) є прекурсором багатьох промислово важливих органічних сполук. Він може бути отриманий з вуглеводню **A**, з масовою часткою Карбону — 85,7 %. За опромінення під час радикального процесу цей вуглеводень перетворюється на молекулу **B** з масовою часткою Хлору — 45,8 %. Далі у процесі реакції з еквімолярною сумішшю водяної пари та хлору утворюється сполука **C**, яка має один хіральний центр і в присутності луку під час внутрішньомолекулярної реакції S_N2 заміщення перетворюється на цільовий продукт (епіхлорогідрин).



Завдання 1. Визначте сполуки **A**, **B**, **C**.

| A | B | C |
|---|---|---|
| | | |

Завдання 2. Скільки хіральних центрів має епіхлорогідрин.

Припустимо, що в реакцію перетворення **C** на епіхлорогідрин вступив *R*-ізомер **C**.

Завдання 3. Зобразіть структуру продукту реакції, вказавши правильний енантіомер.

Важливий препарат пропранолол отримують за таким алгоритмом:

- 1) реакція нафтален-1-олу (1-нафтолу, похідної нафталіну) з епіхлорогідрином у присутності KOH;
- 2) реакція продукту реакції а) з ізопропіламіном.

Завдання 4. Зобразіть структуру пропранололу (наявності в нього стереоізомерів можна знехтувати).

Завдання 5. Визначте склад газової суміші (у парціальних тисках за температури 25 °C), що утвориться після спалювання 10 г епіхлорогідрину в реакторі об'ємом 25 л. Вважайте, що весь кисень витрачено на спалювання вихідної речовини.

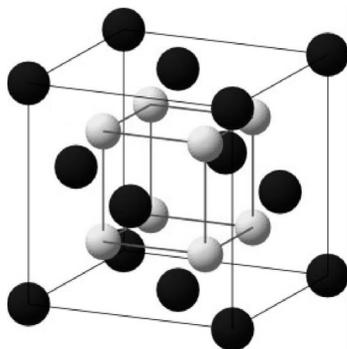
10.13. Металічний зв'язок

Метод поверхневого плазмонного резонансу, що використовується для вивчення шарів органічних молекул, нанесених на поверхню металу, взятого у виді тонкої плівки, став важливою технологією в галузі біохімії. Через особливі властивості інтерметалід **A**, що складається з металічних елементів **X** та **Y**, є перспективним матеріалом у сучасній технології.

Метал **X** у присутності кисню розчиняється в натрій ціаніді з утворенням сполуки **B** лінійної будови з $w(\text{X}) = 72,42\%$, $w(\text{N}) = 10,29\%$, $w(\text{C}) = 8,82\%$.

Завдання 1. Визначте сполуку **B**. Запишіть рівняння реакції взаємодії **X** із розчином натрій ціаніду.

На *рисунку* зображено елементарну кубічну комірку сполуки **A**. Водночас $a = 6,000 \text{ \AA}$, $\rho = 7,716 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, один з атомів **X** займає позицію з координатами $(0;0;0)$, а один з атомів **Y** — $(\frac{1}{4}; \frac{1}{4}; \frac{1}{4})$.



Завдання 2. Виведіть формулу **A**, визначте елементи **X** та **Y**. Відповідь підтвердьте розрахунками.

| Формула A | Елемент X | Елемент Y |
|------------------|------------------|------------------|
| | | |

За співвідношенням металічних радіусів можна знайти координаційне число металів в **A**.

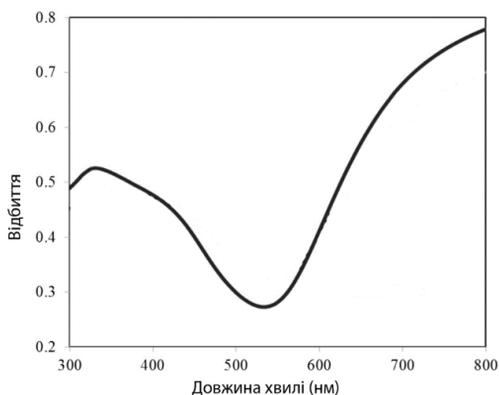
| | | | | | |
|-------------|-----------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| $r(X)/r(Y)$ | $< 0,155$ | $0,155-0,225$ | $0,225-0,414$ | $0,414-0,732$ | $0,732-1,0$ |
| КЧ(X) | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 |

Значення металічних радіусів для елементів X та Y становлять 0,144 нм і 0,143 нм відповідно.

Завдання 3. Встановіть координаційні числа елементів X та Y, відповідь підтвердьте розрахунками.

Сполука А має характерне забарвлення, завдяки якому вона знайшла широке застосування в електроніці й ювелірній промисловості. На *рисунку* наведено спектр відбиття цієї сполуки.

Завдання 4. Визначте, у який колір забарвлена сполука А, відповідь поясніть.



II теоретичний тур

10.1. Потенціометрія

Окисно-відновне титрування базується на реакціях окиснення та відновлення. Одним з методів визначення концентрації йонів феруму (Fe^{2+}) у водних розчинах є титрування цих йонів за допомогою солей церію. Для визначення точки еквівалентності титрування використовується потенціометрія — метод, заснований на вимірюванні електрорушійної сили як функції молярної концентрації аналіту.

Припустимо, що 30 мл проби, яка містить розчин Fe^{2+} з молярною концентрацією 0,1 моль/л, титрують за допомогою розчину Ce^{4+} з молярною концентрацією 0,1 моль/л у присутності розчину HClO_4 з молярною концентрацією 1 моль/л.

Примітка. $E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,767 \text{ В}$, $E^0_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}} = 1,70 \text{ В}$.

Завдання 1. Розрахуйте потенціал пари $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, що встановиться після додавання 10 мл титранту за стандартних умов.

Примітка. У точці еквівалентності концентрації Fe^{3+} і Ce^{3+} є рівними.

Завдання 2. Розрахуйте електрорушійну силу, утворену потенціалами напівреакцій $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ та $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ у точці еквівалентності за стандартних умов.

Завдання 3. Розрахуйте потенціал напівреакції $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ після додавання 70 мл титранту за стандартних умов.

Завдання 4. Нарисуйте криву титрування для цієї окисно-відновної пари.

Завдання 5. Наведіть два інші види визначення аналітів окисно-відновним титруванням і рівняння реакцій, на яких вони ґрунтуються.

10.2. Квазізолоті монети

Відомий англійський махінатор і фальшивомонетник XIX століття одержав нове цікаве завдання від агента Шломіка. Маючи у себе пластикові заготовки монет, які потрібно видати за золоті, на основі знань з хімії він зробив наступне:

- 1) взяв розчин солі **X**;
- 2) покрити монети тонким графітовим шаром;
- 3) помістив заготовки в розчин, під'єднав їх до катода й пропускав струм силою 2 А протягом 3,2 години;
- 4) отримані монети занурив у розчин хлориду **Y**, почекав кілька хвилин, промив, висушив і прогрів їх.

Ось і «золоті» монети. Вони мали діаметр 2 см і товщину 5 мм до нанесення покриття (*рельєфом монет можна знехтувати*).



Завдання 1. Визначте сіль **X**, якщо товщина покриття — 1 мм (з обох сторін монети), його густина — $7,133 \text{ г/см}^3$, а на аноді виділяється газ жовто-зеленого кольору з різким, задушливим запахом.

Завдання 2. Напишіть, які процеси відбуваються на катоді й аноді під час електролізу солі **X**.

Катод:

Анод:

Завдання 3. Встановіть, яка реакція відбувалася у розчині хлориду Y . Цей хлорид утворює синій осад у результаті реакції з лугом та синій розчин у разі розчинення осаду в розчині амоніаку. Чистий метал Y не реагує з хлоридною кислотою, проте розчиняється у концентрованій нітратній кислоті з виділенням NO_2 . Визначте метал Y .

Завдання 4. Поясніть, чому після нагрівання монети стали «золотими» та який сплав було утворено.

Завдання 5. Визначте, скільки енергії парового двигуна (кДж) необхідно використати для отримання електроенергії, щоб покрити 100 таких монет. Напруга в ванночці для електролізу дорівнює 32 В. ККД джерела електроенергії — 8 %.

Завдання 6. Напишіть рівняння реакції електролізу (катод, анод і сумарне рівняння).

| | |
|--|--|
| NaCl (холодний водний розчин) | |
| CaCl ₂ (розплав) | |
| KNO ₂ (розчин) | |
| (NH ₄) ₂ S (розчин) | |

10.3. На Західному фронті без змін

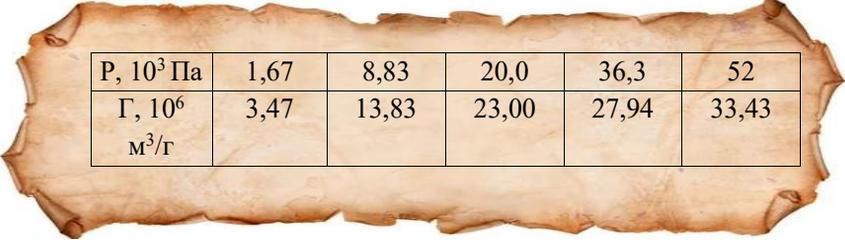
«Я пам'ятаю той день, наче все сталося вчора. Повітря мало дивний, солодкуватий запах, що чіплявся до шкіри, пробирався в легені й палив горло. Спочатку ніхто нічого не розумів — люди просто зупинялися, озиралися навколо, здивовані цим незвичним відчуттям. А потім... Потім усе пішло шкереберть.

Хтось почав задихатися, хапаючи повітря судомними рухами, ніби сподівався знайти серед нього чистий ковток життя. Інші падали просто на землю, хапаючись за голови, за груди, мов відчайдушно боролися з невидимим ворогом. Очі палилися, мов від кислоти, сльози текли рікою, але полегшення не приносили. Крики, стогони й той невимовний страх, що зчіплював душу в крижані обійми.

Я біг. Біг, не розбираючи дороги, штовхаючи всіх, хто траплявся на шляху. Дихати ставало дедалі важче, і десь у глибині свідомості з'явилося жахливе розуміння — це хімічна атака. Ми стали мішенню.

І лише одне запитання не давало мені спокою: чому? Чому це сталося? За що? Але відповіді не було, тільки біль і безмежний, задушливий морок, що накочувався хвилиною, позбавляючи свідомості. Тільки забігши у якусь закинуту лабораторію, я знайшов порятунок...»

Ви, хімік-розвідник часів Першої світової війни, отримали записник Фріца Габера з експериментальними даними залежності адсорбції на вугіллі (Γ , $\text{м}^3/\text{г}$) хлору — компонента першої хімічної зброї — від тиску газу (p).



| | | | | | |
|-------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| $p, 10^3 \text{ Па}$ | 1,67 | 8,83 | 20,0 | 36,3 | 52 |
| $\Gamma, 10^6 \text{ м}^3/\text{г}$ | 3,47 | 13,83 | 23,00 | 27,94 | 33,43 |

Примітка. Адсорбція в системах «газ — тверда речовина» підкоряється рівнянню ізотерми Ленгмюра:

$$\theta = \frac{K \cdot p}{1 + K \cdot p},$$

де θ — частка (відсоток) поверхні, зайнята адсорбованою речовиною, p — тиск газу над поверхнею, K — константа рівноваги процесу.

Завдання 1. Побудуйте графік залежності: $p/\Gamma = f(p)$.

Завдання 2. Перетворіть ізотерму Ленгмюра на лінійну залежність: $p/\Gamma = f(p)$.

Завдання 3. Знайдіть граничне значення адсорбованого хлору на 1 г вугілля.

Завдання 4. Розрахуйте константу адсорбційного обміну.

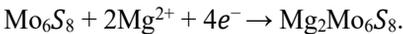
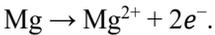
Завдання 5. Знайдіть ступінь насиченості адсорбенту, якщо тиск хлору — 30 Па.

Завдання 6. З'ясуйте, за якого тиску ступінь заповнення адсорбенту сягне 0,5.

10.4. Крок у майбутнє

Магнієві батареї — це новітній напрям у розвитку енергетичних технологій, у якому вбачають значний прорив у збереженні та використанні енергії. Вони відрізняються від традиційних акумуляторів використанням магнію як анода, що робить їх більш екологічними, дешевшими й потенційно ефективнішими. Магній — недорогий, широкодоступний і нетоксичний матеріал, що відкриває перспективи для створення сталих джерел енергії з меншим впливом на навколишнє середовище. З огляду на швидкий розвиток технологій і потребу в нових рішеннях для зберігання енергії магнієві батареї можуть стати важливим етапом у досягненні енергетичної незалежності та сталого розвитку.

На аноді та катоді магнієвої батареї спостерігаються наступні реакції:



Завдання 1. Напишіть повне рівняння реакції, що відбувається під час роботи батареї.

Примітка. Стандартні відновні потенціали катодної й анодної напівреакцій становлять $-1,3$ В і $-2,4$ В відповідно.

Завдання 2. Визначте значення вільної енергії Гіббса в реакції з попереднього завдання.

А тепер перевіримо, наскільки вигіднішим буде використання магнієвих батарей у порівнянні з літєвими. Припустимо, що питома енергетична щільність літій-йонної батареї становить $149 \text{ Вт} \cdot \text{год} \cdot \text{кг}^{-1}$. Маса Mg та Mo_6S_8 разом становить 70 % загальної маси батареї. Питома енергетична щільність батареї (у $\text{Вт} \cdot \text{год} \cdot \text{кг}^{-1}$) — це показник, що визначає кількість енергії (у $\text{Вт} \cdot \text{год}$), яку акумулятор може зберегти на одиницю маси батареї (у кг):

$$C = \frac{q \cdot E}{m \cdot t},$$

де q (Кл) — заряд електронів, що виробляється батареєю; E — різниця потенціалів катода й анода; m — маса батареї, t — час роботи.

Завдання 3. З'ясуйте, у скільки разів магнієві батареї мають бути важчі, щоб закласти таку саму кількість енергії, що й літєві.

Припустимо, що є комерційний Mg-йонний акумулятор загальною ємністю $400 \text{ mA} \cdot \text{год}$. Батарея була зібрана з надлишком Mg на 30 % кількості, необхідної для стехіометрії, з Mo_6S_8 , де Mg та Mo_6S_8 разом становлять 70 % загальної маси батареї.

Завдання 4. Обчисліть загальну масу цього акумулятора.

Завдання 5. Вкажіть правильну відповідь.

| | |
|--|--|
| Обчисліть масу нікелю, що виділиться на катоді у разі пропускання через розчин нікель(II) сульфату електричного заряду, величиною 96500 Кл: А 39 г Б 96 г В 29,5 г Г 155 г | |
| Вкажіть, яке рівняння реакції відбувається на графітовому аноді під час електролізу розчину калій гідроксиду: А $2\text{H}_2\text{O} - 4e \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2$ Б $\text{K} - e \rightarrow \text{K}^+$ В $\text{C} - 4e \rightarrow \text{C}^{4+}$ Г $4\text{OH}^- - 4e \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | |
| Оберіть правильне твердження: А стандартний електродний потенціал водневого електрода дорівнює 0 В Б у гальванічному елементі електрична енергія перетворюється на хімічну В залізо має більшу хімічну активність ніж магній Г ЕРС гальванічного елемента розраховують за рівнянням Нерста | |
| Стандартний електродний потенціал вимірюють за температури: А 273 К Б 25 °С В 0 °С Г 0 К | |

10.5. Вибухова сполука

Речовина **X** — малорозчинна сіль металу шостого періоду, дрібний кристалічний порошок білого або світло-жовтого кольору. За своєю структурою — це бінарна речовина з масовою часткою важкого металу 71,15 %. Окрім металу в сіль входить лише елемент другого періоду. Відома ця речовина з 1891 року, застосовується в військових цілях з 1907 року. Через певні властивості вона досі використовується, хоча є надзвичайно токсичною.

Примітка. За температури 25 °С добуток розчинності: $K_s = 1,2 \cdot 10^{-9}$ моль/л. За 45 °С: $K_s = 9,9 \cdot 10^{-9}$ моль/л.

Завдання 1. Визначте речовину **X** і напишіть рівняння реакції її утворення.

Завдання 2. Обчисліть, у скільки разів збільшиться розчинність **X** за 45 °С порівняно з 25 °С

Часто після роботи з речовиною **X** залишається наліт на всій посудині, де вона перебувала. Зазвичай посуд замочують у розведеній хлоридній кислоті, але це теж не цілком безпечно. Також можливе використання речовин, що переводять її у розчинні комплекси. Таким чином можна використовувати натрій тіосульфат, аніон якого координує з металом у складі **X**.

Завдання 3. Визначте, чи можливо перевести **X** в координовану розчинну форму, використавши для цього $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (константа стійкості утвореного комплексу: $K_{\text{CT}} = 10^{7,2}$) за 25 °С та 45 °С.

Один хімік випадково синтезував 800 г речовини **X**. Недовго думаючи, він всипав її у 2 літри розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ з молярною концентрацією 2 моль/л. Після цього хімік дуже злякався, бо **X** окрім токсичних має ще й вибухові властивості.

Завдання 4. Обчисліть, яка маса **X** перейде у розчинну форму, і визначте, чи вистачить кількості **X** для досягнення енергії вибуху — $3 \cdot 10^4$ кДж.

Примітка. Теплота вибуху **X** — 1,536 МДж/кг.

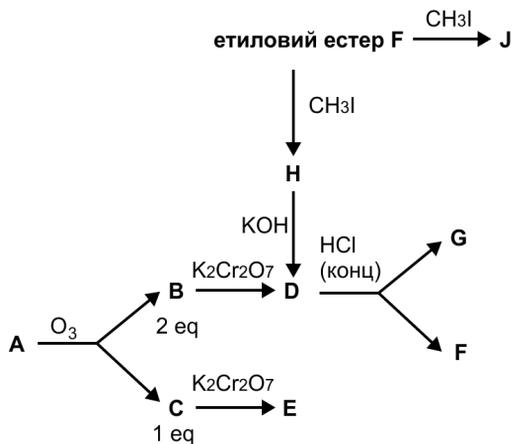
10.6. Природна сполука

Сполуці **A** традиційно приписували дуже багато різних цілющих властивостей. Майже всі вони не підтвердилися, проте через її відносну високу реакційну здатність продовжують знаходитися її реакції з біологічними молекулами. Через неспецифічні реакції з багатьма біологічними молекулами цю сполуку віднесли до PAINS — сполук, що через структурні особливості дають хибнопозитивні відповіді в біологічних системах.



Під час озонування сполуки в присутності диметилсульфіду **A** утворюється суміш двох сполук **B** і **C** у співвідношенні 2:1. Якщо цю суміш окиснити додатково калій дихроматом, утворяться сполуки **D** ($C_8H_8O_4$) та **E** ($C_5H_4O_6$) у співвідношенні 2:1. В D_2O сполука **D** має 4 сигнали в 1H ЯМР-спектрі у співвідношенні 3:1:1:1. Сполука **E** має лише один сигнал 1H ЯМР-спектрі в таких самих умовах. ^{13}C ЯМР-спектр сполуки **E** має 3 сигнали. У концентрованій хлоридній кислоті сполука **D** розкладається з утворенням сполуки **F**. В D_2O сполука **F** має 3 сигнали в 1H ЯМР-спектрі у співвідношенні 1:1:1. Під час розкладання сполуки **D** також утворюється одноатомний спирт **G**. Для повної нейтралізації сполуки **F** необхідно використати 3 еквіваленти $NaOH$.

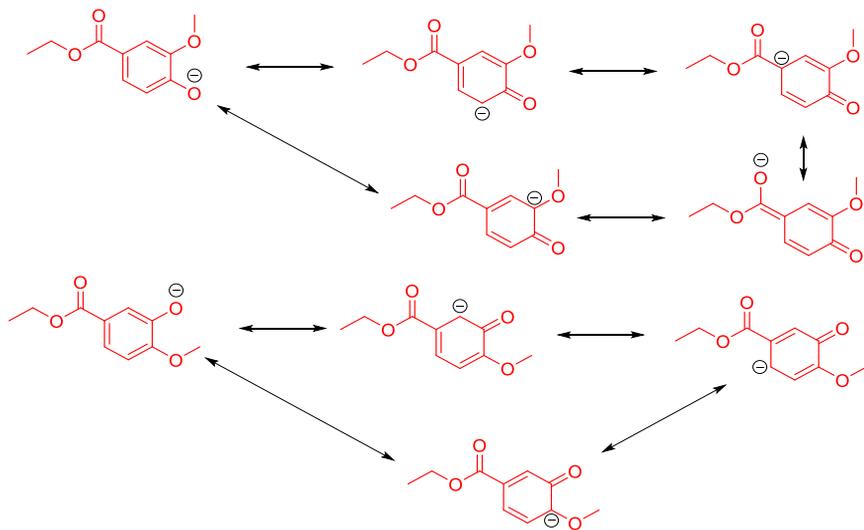
Метилування одним еквівалентом CH_3I етилового естеру сполуки **F** призводить до утворення суміші двох ізомерів **H** та **J**. З них **H** є більш сильною кислотою ніж **J**. Саме з нього, а не з **J**, у разі розщеплення естерного зв'язку можливо отримати сполуку **D**.



Завдання 1. Визначте сполуки **A** — **J**. Врахуйте, що сполука **F** координує Fe^{2+} як бідентатний ліганд, а в її спектрі ^1H ЯМР є синглетний сигнал.

| | | |
|----------|----------|----------|
| A | B | C |
| | | |
| D | E | F |
| | | |
| G | H | J |
| | | |

Завдання 2. За допомогою резонансних структур поясність, чому **H** має більшу кислотність ніж **J**.



Завдання 3. Схематично зобразить ^1H ЯМР-спектр анісової (пара-метоксibenзойної) кислоти в дейтерованому хлороформі. Вкажіть кількість сигналів, співвідношення інтегральної інтенсивності та мультиплетності.

10.7. Непростий газ

Препаративним методом отримання газу **X** є взаємодія трихлорбромметану з концентрованою сульфатною кислотою. Для аналізу **X** його зразок об'ємом 2,4640 л (н. у.) і масою 15,785 г розчинили у воді та нейтралізували стехіометричною кількістю натрій гідроксиду. До утвореного розчину додали надлишок розчину аргентум(I) нітрату, при цьому утворився осад, який складається з еквімолярної суміші трьох солей аргентуму (**A**, **B** і **C**) загальною масою 66,730 г. Осад відфільтрували й обробили його надлишком розведеного розчину хлоридної кислоти. У результаті виділився газ **D** (за н. у. густина — 1,964 г/л) об'ємом 1,4125 л за 40 °С і тиску 2 атм, маса солі **A** збільшилася, маса солі **B** не змінилася, а мольне співвідношення **A**:**B** після оброблення хлоридною кислотою становило 3:1.

Завдання 1. Розшифруйте всі речовини.

Завдання 2. Запишіть рівняння реакції препаративного отримання X і описаних вище перетворень.

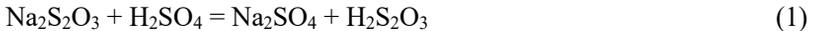
Завдання 3. Розрахуйте масову частку аргентуму в еквімолярній суміші сполук A, B, C.

Завдання 4. Наведіть структурні формули молекул X і D, вкажіть стан гібридизації центральних атомів.

Практичний тур

10.1. Визначення концентрації натрій тіосульфату кінетичним методом

Взаємодія натрій тіосульфату та сильної кислоти є дуже складним багатостадійним процесом. У першому наближенні це можна описати наступними рівняннями:



Реакція (1) відбувається миттєво, тоді як реакція (2) проходить повільно та визначає швидкість процесу. Візуальною ознакою перебігу реакції є утворення сірки, що спостерігається як помутніння розчину. Визначити константу швидкості реакції неможливо, оскільки невідомі: поточна концентрація тіосульфат-йону у довільний момент часу; порядок реакції за кожним з реагентів; вплив каталітичної дії кислоти.

Проте можна провести серію дослідів, в яких:

- кислота є у великому надлишку;
- молярна концентрація кислоти однакова;
- початкова молярна концентрація тіосульфату змінна;
- ознакою певного ступеня перетворення тіосульфат-йону є помутніння розчину;
- час завжди фіксується за перших ознак помутніння.

Таким чином, маємо можливість побудувати модель, що пов'яже *час* та *початкову молярну концентрацію тіосульфату*. Це дасть змогу визначити невідому молярну концентрацію розчину натрій тіосульфату з достатньою точністю. Для цього необхідно використовувати лише

2 розчини відомих молярних концентрацій — сульфатну кислоту, об'єм якої є постійним, та змінний об'єм натрій тіосульфату. Постійний об'єм суміші підтримується додаванням дистильованої води.

Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Молярна концентрація | Кількість | Маркування |
|-------------------|---------------|----------------------|-----------|---|
| Сульфатна кислота | водний розчин | 1 моль/л | 150 мл | H ₂ SO ₄ |
| Натрій тіосульфат | водний розчин | 0,1 моль/л | 100 мл | Na ₂ S ₂ O ₃ |
| Натрій тіосульфат | водний розчин | ? | 50 мл | задача К № |

Перелік обладнання та посуду на робочому місці

| Посуд / обладнання / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|--|----------------|
| Штатив для пробірок | 1 |
| Пробірка скляна | 13 |
| Піпетка градуйована, 10 мл | 2 |
| Шприц без голки, 10 мл | 1 |
| Стакан, 100 мл | 1 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |
| Секундомір | 1 |
| Шаблон для визначення | 1 |

Хід роботи

1. Підпишіть 9 пробірок номерами від 1 до 9 та розташуйте їх у штативі.

2. У кожен пробірку градуйованими піпетками на 10 мл налейте розчин натрій тіосульфату та дистильовану воду відповідно до її номера за таблицею 1.

3. Шаблон для визначення прозорості встановіть у другому ряду позаду досліджуваної пробірки.

4. Налийте у стакан об'ємом 100 мл розчин сульфатної кислоти з молярною концентрацією 1 моль/л.

5. Відберіть 10 мл розчину сульфатної кислоти за допомогою шприца об'ємом 10 мл.

6. Убризніть розчин сульфатної кислоти в пробірку № 1 й одночасно увімкніть секундомір (див. інструкцію). Додавати кислоту потрібно швидко, але не допускати розхлюпування вмісту пробірки.

7. Дочекайтесь ознак реакції: уважно дивіться на шаблон крізь досліджуваний розчин до моменту, коли найтонша лінія зникне. Зупиніть секундомір і запишіть час (хв:с) у *таблицю 1*. Скиньте значення часу на секундомірі.

8. Повторіть пункти 5–7 для пробірок 2–9.

9. Розрахуйте загальний об'єм суміші й початкове значення молярної концентрації натрій тіосульфату для кожної суміші та запишіть у *таблицю 1*.

10. Переведіть час у секунди (хв:с → с) і запишіть у відповідний стовпчик.

11. За одержаними даними побудуйте графік, відкладаючи на осі абсцис *початкову молярну концентрацію* $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (моль/л), а на осі ординат *1/час* (с^{-1}). Проведіть апроксимаційну лінію через отримані експериментальні точки.

12. Знайдіть *тангенс кута* нахилу прямої до осі концентрації. Це значення і є константою швидкості хімічної реакції. Зазначте температуру, за якої виконувалося дослідження.

| | |
|--|--|
| Значення константи швидкості хімічної реакції з точністю до 4 знаків після коми | |
| Температура | |

13. Промийте градуйовану піпетку об'ємом 10 мл дистильованою водою і розчином натрій тіосульфату невідомої молярної концентрації (з місткості «Задача К №»).

14. У чисту пробірку градуйованою піпеткою налийте 10 мл розчину «Задача К №».

15. Відберіть за допомогою шприца 10 мл розчину сульфатної кислоти.

16. Убризніть розчин сульфатної кислоти в пробірку й одночасно увімкніть секундомір.

17. Дочекайтесь ознак реакції, зупиніть секундомір і запишіть час (хв:с) у таблицю 2.

18. Повторіть пункти 14–17 ще 1–2 рази за необхідності.

19. Використовуючи побудований графік й отримане значення часу, розрахуйте молярну концентрацію невідомого розчину і запишіть у таблицю 2.

Таблиця 1

| № пробірки | V, мл | | | | Молярна концентрація $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ у суміші, моль/л | Час, хв:с | Час, с |
|------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|-------|---|-----------|--------|
| | $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ | H_2O | H_2SO_4 | Суміш | | | |
| 1 | 2 | 8 | 10 | | | | |
| 2 | 3 | 7 | 10 | | | | |
| 3 | 4 | 6 | 10 | | | | |
| 4 | 5 | 5 | 10 | | | | |
| 5 | 6 | 4 | 10 | | | | |
| 6 | 7 | 3 | 10 | | | | |
| 7 | 8 | 2 | 10 | | | | |
| 8 | 9 | 1 | 10 | | | | |
| 9 | 10 | 0 | 10 | | | | |

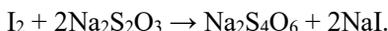
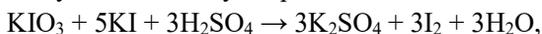
Таблиця 2

| № досл. | V, мл | | Час, хв:с | Час, обраний для розрахунку, хв:с | Час, с | Молярна концентрація $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, моль/л |
|---------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|--------|---|
| | $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ | H_2SO_4 | | | | |
| 1 | 10 | 10 | | | | |
| 2 | 10 | 10 | | | | |
| 3 | 10 | 10 | | | | |

10.2. Визначення молярної концентрації натрій тіосульфату титриметричним методом

Для точного визначення молярної концентрації натрій тіосульфату зазвичай використовують пряме або замісне титрування з такими окисниками, як I_2 , $K_2Cr_2O_7$, KIO_3 тощо. Останній особливо привабливий тим, що на відміну від йоду не потребує стандартизації й на відміну від калій дихромату забезпечує найбільш чіткий кольоровий перехід.

При цьому відбуваються наступні реакції:



Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Концентрація | Кількість | Маркування |
|-------------------|---------------|--------------|-----------|------------|
| Сульфатна кислота | водний розчин | 1 моль/л | 100 мл | H_2SO_4 |
| Натрій тіосульфат | водний розчин | ? | 100 мл | задача Т № |
| Крохмаль | водний розчин | 1 % | 5 мл | крохмаль |
| Калій йодат | водний розчин | 0,01 моль/л | 50 мл | KIO_3 |
| Калій йодид | водний розчин | 10 % | 50 л | KI |

Перелік обладнання та посуду на робочому місці

| Посуд / обладнання / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|--|----------------|
| Бюретка у штативі, 25 мл | 1 |
| Лійка для бюретки | 1 |
| Колба конічна, 250 мл | 3 |
| Піпетка градуйована, 10 мл | 1 |
| Піпетка Мора, 10 мл | 1 |
| Піпетка Пастера пластикова | 2 |
| Стакан, 50 мл | 1 |
| Груша гумова | 1 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |

Хід роботи

1. За допомогою лійки наповніть бюретку розчином натрій тіосульфату невідомої молярної концентрації з місткості «Задача Т №» (носок бюретки не має містити повітря). Доведіть рівень робочого розчину до позначки «0» за нижнім меніском.

2. У конічну колбу для титрування внесіть: 10 мл стандартного розчину KIO_3 піпеткою Мора, 10 мл 10 %-го розчину KI градуйованою піпеткою, 3 мл розчину H_2SO_4 з молярною концентрацією 1 моль/л пластиковою піпеткою Пастера.

3. Титруйте вміст колби робочим розчином натрій тіосульфату до світло-жовтого забарвлення розчину. Внесіть пластиковою піпеткою Пастера 4–5 крапель розчину крохмалю до появи характерного синього забарвлення і продовжуйте титрувати робочим розчином до знебарвлення.

4. Повторіть п.п. 1–3 ще два-три рази.

5. Результати запишіть у *таблицю 3*.

6. Використовуючи отримані експериментальні дані, розрахуйте молярну концентрацію розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ і запишіть у форматі $X,XX \cdot 10^{XX}$ моль/л.

Таблиця 3

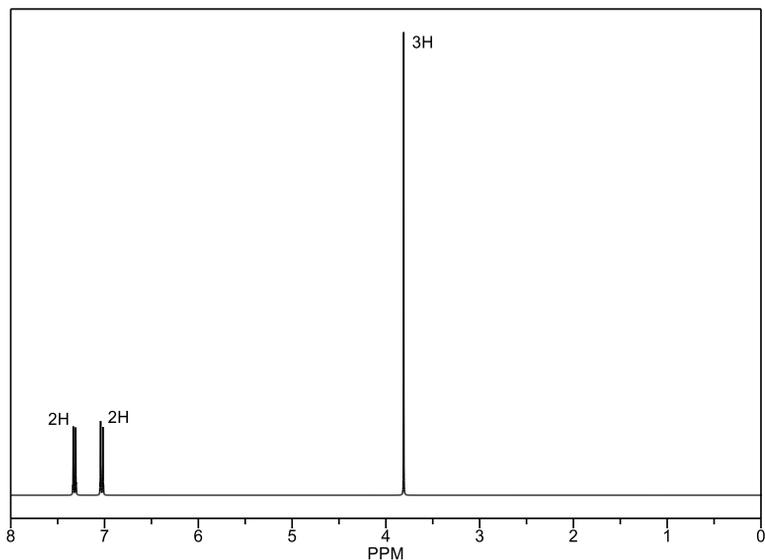
| Номер титрування | $V_a(\text{KIO}_3)$, мл | $V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, мл | $V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, обраний для розр., мл | $C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, моль/л |
|--------------------|--------------------------|---|--|---|
| | 10,0 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Розрахунок: | | | | |

11 клас

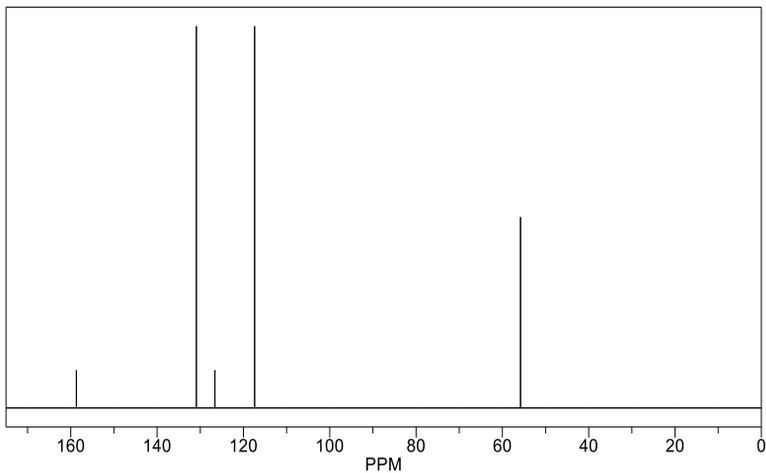
I теоретичний тур

11.1. Хлоропохідні

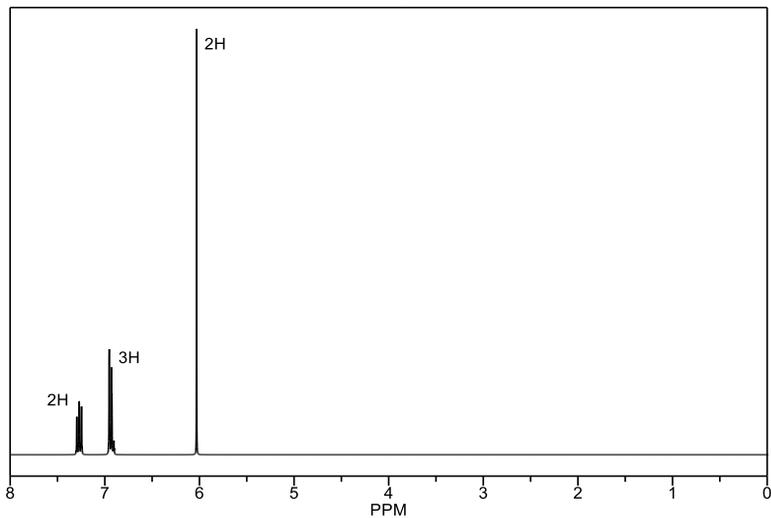
Для сполуки **X** може існувати чотири монохлоропохідні **A**, **B**, **C** і **D**. Вам надано їх ^1H та ^{13}C ЯМР-спектри. Дві з цих монохлоропохідних можуть бути одержані з прийнятним виходом прямим хлоруванням сполуки **X**. Для синтезу ще однієї з монохлоропохідних потрібно провести взаємодію дихлорометану з натрій сульфідом за нагрівання, а утворену натрієву сіль **Y** ввести в реакцію з лужним розчином фенолу.

 ^1H ЯМР-спектр сполуки **A**

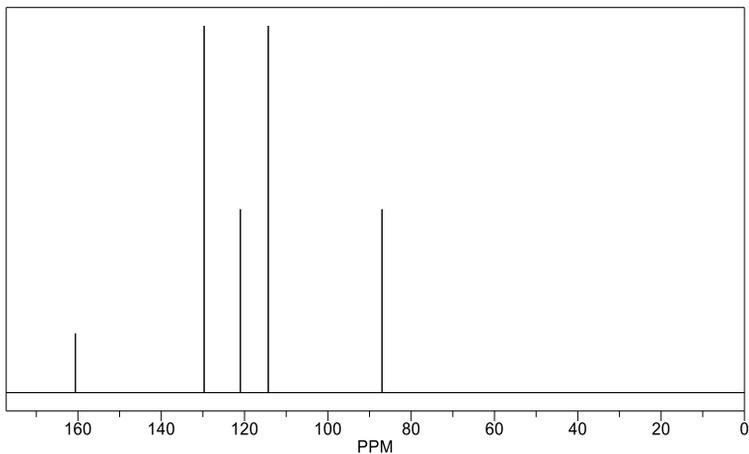
^{13}C ЯМР-спектр сполуки А



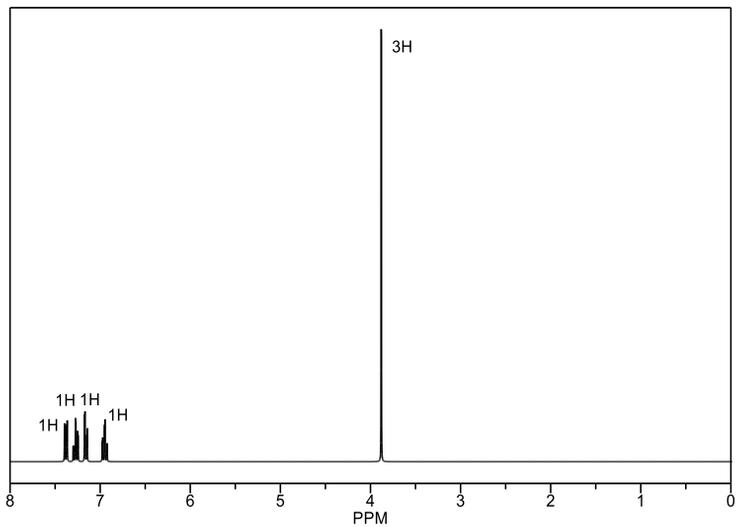
^1H ЯМР-спектр сполуки В



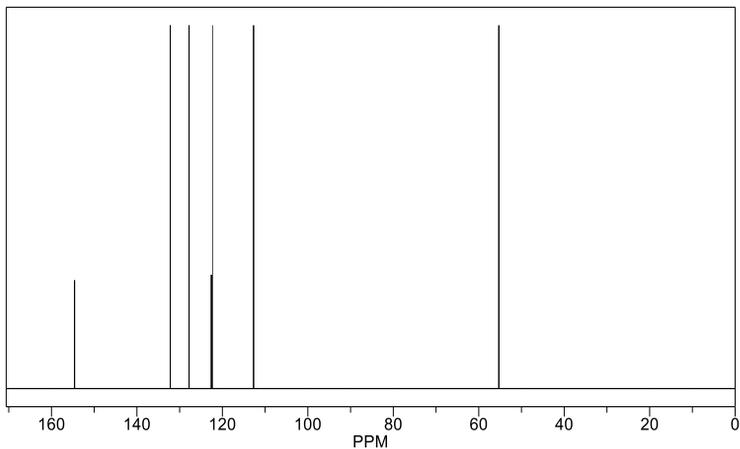
^{13}C ЯМР-спектр сполуки В



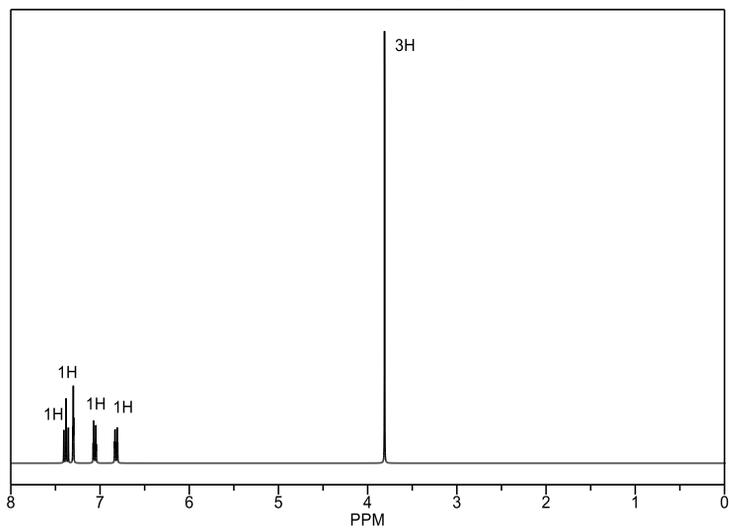
^1H ЯМР-спектр сполуки С



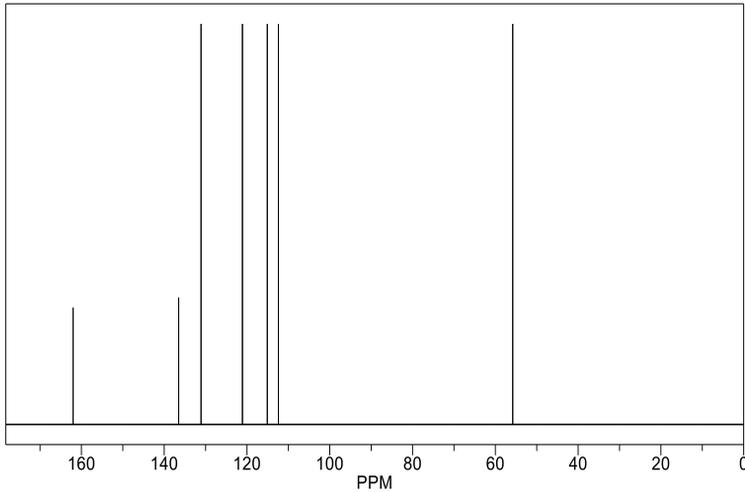
^{13}C ЯМР-спектр сполуки С



^1H ЯМР-спектр сполуки D



^{13}C ЯМР-спектр сполуки **D**



Завдання 1. Наведіть структурні формули речовин **A** — **D**, **X** та **Y**.

| | | |
|----------|----------|----------|
| A | B | C |
| | | |
| D | X | Y |
| | | |

Завдання 2. Вкажіть, синтез яких із хлоропохідних описано в умові задачі.

Прямим хлоруванням —

З використанням солі **Y** —

Завдання 3. Наведіть механізм прямого хлорування сполуки **X** на прикладі будь-якого з ізомерів.

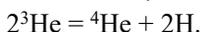
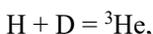
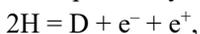
Завдання 4. Співвіднесіть перелічені нижче сигнали у ЯМР-спектрах сполук **A — D**. Для цього повторно наведіть їх структури й позначте зірочкою атоми, яким зображені сигнали відповідають. Також для сигналів ^1H ЯМР-спектрів позначте мультиплетність.

| Речовина | Хімічний зсув, м. ч. | Мультиплетність | Структура та співвіднесення |
|----------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|
| A | 117,4 | X | |
| B | 6,03 | | |
| C | 6,95 | | |
| C | 3,88 | | |
| C | 154,6 | X | |
| D | 7,06 | | |
| D | 136,5 | X | |

11.2. Сонячна енергетика

Сонце є найбільшим ядерним реактором у нашій зоряній системі.

У його надрах відбуваються наступні процеси:



Завдання 1. Запишіть сумарне рівняння утворення атома Гелію з чотирьох атомів Гідрогену.

Завдання 2. Відповідно до записаного рівняння на Сонці мали б накопичуватися електрони й позитрони. Поясніть, чому цього не відбувається.

Завдання 3. Розрахуйте дефект маси (Δm) для перетворення Протію на Гелій-4. Відповідь виразіть в а. о. м. на 1 моль Гелію-4.

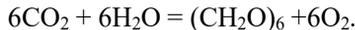
| | |
|-----------------|-----------------|
| H | 1,0078 а. о. м. |
| ${}^4\text{He}$ | 4,0026 а. о. м. |

Завдання 4. Переведіть отримане значення в кілограми. Якщо не вдалося обчислити значення дефекту маси, то для подальших розрахунків прийміть: $\Delta m = 0,04$ а. о. м.

Завдання 5. Використовуючи формулу Айнштейна ($E = m \cdot c^2$), визначте кількість енергії, яка виділяється під час синтезу одного ядра ${}^4\text{He}$.

Завдання 6. Щосекунди Сонце випромінює $3,85 \cdot 10^{26}$ Дж енергії. Розрахуйте, яка маса Протію споживається на Сонці за секунду?

Серед живих організмів сонячну енергію використовують не лише рослини, а й різноманітні бактерії. Класична схема фотосинтезу описується рівнянням:



Завдання 7. Визначте окисник і відновник у цьому процесі.

Існує також аноксигенний фотосинтез, під час якого не виділяється кисень, а відновниками є сульфіді або сполуки феруму (+2).

Завдання 8. Запишіть схеми аноксигенного фотосинтезу з утворенням глюкози, використовуючи як відновник: а) H_2S ; б) FeCl_2 . Розставте коефіцієнти в записаних схемах.

11.3. Нітрування

Серед багатьох органічних реакцій, відомих людству, нітрування посідає особливе місце. В сучасному світі суспільство асоціює хімічну науку з лікарськими засобами й побутовою хімією. Але з нітруванням все геть не так. Сполуки та матеріали, що утворюються внаслідок нітрування, вже більше ніж сто років є ключовими елементами, які визначають розвиток військової промисловості. Синтез нових нітросполук і масштабування виробництва вже наявних визначає можливості сектору оборони щодо протистояння збройній агресії.

Однією з перших вибухонебезпечних нітросполук був тринітрогліцерол (TG, $C_3H_5N_3O_9$). Гроші, зароблені з його продажу, дали можливість Альфреду Нобелю заснувати премію свого імені. Іншою, ще більш відомою нітросполукою є тринітротолуен (TNT, $C_7H_5N_3O_6$).

Завдання 1. Запишіть рівняння (з коефіцієнтами) вибухового розкладання TG та TNT, якщо при цьому за відсутності повітря утворюються прості речовини та лише дві (для TG) й одна (для TNT) складні речовини.



Стандартні ентальпії утворення деяких сполук

| Формула | $\Delta_f H^\circ$, кДж/моль |
|---------------------|-------------------------------|
| $H_2O_{(l)}$ | -285,8 |
| $CO_{2(g)}$ | -393,5 |
| $CO_{(g)}$ | -110,5 |
| $CH_{4(g)}$ | -74,8 |
| $N_2O_{(g)}$ | 82,1 |
| $C_3H_5N_3O_{9(l)}$ | -371 |
| $C_7H_5N_3O_{6(s)}$ | -63,2 |

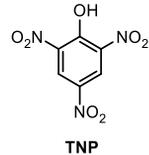
Завдання 2. Використайте табличні дані та розрахуйте значення стандартної ентальпії реакції детонації TG і TNT.

У промисловості TNT отримують постадійним введенням нітрогруп під час нітрування толуену. Спочатку отримують мононітро-, потім — динітро- і врешті — TNT.

Завдання 3. Вкажіть кількість ізомерів згаданих нітросполук, що утворюються під час реакції, та зобразіть їх структурні формули.

Завдання 4. Розгляньте механізм реакції на прикладі введення першої нітрогрупи в молекулу толуену і поясніть селективність процесу нітрування.

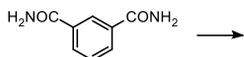
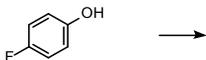
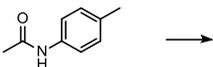
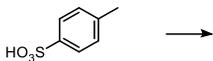
Ще одним прикладом вибухової речовини є 2,4,6-тринітрофенол (TNP), який широко використовувався для наповнення артилерійських снарядів приблизно сто років тому, проте з часом втратив свою популярність.



Завдання 5. Позначте правильні твердження щодо властивостей TNP (оберіть один варіант і позначте у полі для відповіді).

| | |
|---|--|
| Фізико-хімічні властивості TNP визначаються: | |
| мезомерним ефектом нітрогрупи | |
| індукційним ефектом нітрогрупи | |
| мезомерним та індукційним ефектом нітрогрупи | |
| Чи можна отримати TNP прямим нітруванням фенолу? | |
| так | |
| ні | |
| Молекула TNP є симетричною | |
| так | |
| ні | |
| TNP — | |
| сильна кислота | |
| сильна основа | |
| не проявляє кислотно-основних властивостей | |
| Реакція нітрування фенолу порівняно з нітруванням толуену відбувається за: | |
| жорсткіших умов | |
| м'якших умов | |

Завдання 6. Зобразіть структурні формули продуктів
моніторингу наступних сполук:



11.4. Аналізуємо зразок сировини

Зразок мінеральної сировини містить Ферум, Цинк, Купрум у виді сульфідів і домішки, що не впливають на проведення аналізу.

Цей зразок масою 0,5 г розчинили за нагрівання в концентрованій нітратній кислоті.

Завдання 1. Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються.

До отриманого розчину додали невелику кількість карбаміду і довели його об'єм до 100 мл у мірній колбі (розчин 1). Відібрали аліквоту 50 мл, розвели водою до 200 мл, нагріли й по краплях додавали надлишок BaCl_2 . Отриманий осад відділили, промили й прожарили, його маса становила 0,6267 г.

Завдання 2. Розрахуйте вміст Сульфуру в зразку.

Аліквоту розчину 1 об'ємом 10 мл нагріли й додали до неї надлишок водного розчину NH_3 . Осад відфільтрували й промили розчином NH_3 , фільтрат зібрали у мірну колбу об'ємом 25 мл. У мірні колби об'ємом 25 мл внесли по 3 мл концентрованого розчину NH_3 і вказані у таблиці об'єми стандартного розчину Cu^{2+} (1 мг/мл) або 15 мл фільтрату. Довели розчини до міток, перемішали й виміряли їх оптичну густину за довжини хвилі 610 нм у кюветі з товщиною поглинального шару 1 см.

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| V(Cu ²⁺), мл | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 мл фільтрату |
| A ₆₁₀ | 0,003 | 0,094 | 0,193 | 0,378 | 0,569 | 0,755 | 0,952 | 0,542 |

Завдання 3. Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються, і розрахуйте вміст Купруму в зразку.

Примітка. У наступних завданнях врахуйте, що комплекс Fe³⁺ з ЕДТА є достатньо стабільним за рН = 2, тоді як аналогічні комплекси Cu²⁺ та Zn²⁺ потребують рН близько 5.

До аліквоти 20 мл розчину 1 додали 5 мл розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією 0,05 моль/л й кілька крапель розчину сульфосаліцилової кислоти. Відтитрували стандартним розчином EDTA з молярною концентрацією 0,025 моль/л до зміни забарвлення з червоного на жовте, об'єм становив 15,3 мл.

Завдання 4. Обґрунтуйте, який саме компонент визначали, проілюструйте відповідь рівняннями реакцій. Обчисліть його вміст у зразку.

До жовтого розчину, відтитрованого у завданні 4, додали 2 мл натрій ацетату з молярною концентрацією 1 моль/л натрій ацетату (рН став ~5) і кілька крапель індикатора піридилазонафтолу. Отриманий рожевий розчин відтитрували розчином EDTA з молярною концентрацією 0,025 моль/л до жовтого забарвлення, його витратилося 24,3 мл.

Завдання 5. Розрахуйте вміст всіх компонентів у зразку.

| | | | |
|-----------|------------|------------|------------|
| S — ... % | Cu — ... % | Fe — ... % | Zn — ... % |
|-----------|------------|------------|------------|

Завдання 6. Поясніть, з якою метою проводилися зазначені в умові дії.

| |
|--|
| Додали невелику кількість карбаміду... |
| Розвели водою до 200 мл, нагріли та по краплях додали надлишок BaCl ₂ ... |

| |
|---|
| Нагріли... |
| |
| Додали 2 мл розчину натрій ацетату з молярною концентрацією 1 моль/л... |
| |

11.5. Гортаючи сторінки шкільного підручника

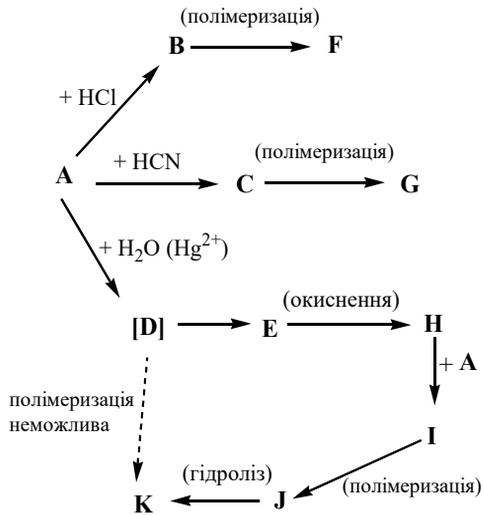
Вуглеводень **A** — безбарвний газ. За взаємодії з воднем хлоридом він утворює продукт приєднання **B**, з ціанідною кислотою — **C**, з водою в присутності катіонів Hg^{2+} утворює проміжну сполуку **D**, що у вільному стані не існує, а в момент утворення трансформується у свій стійкий ізомер **E**.

Сполука **B** використовується як мономер для одержання одного з найрозповсюдженіших термопластів **F**, що застосовується, зокрема, в електротехнічній промисловості.

Полімеризація речовини **C** призводить до утворення високомолекулярної сполуки **G**, що використовується переважно як синтетичне волокно, придатне, наприклад, для виготовлення одягу, а також перероблення на карбонове волокно для виробництва вуглепластиків.

Речовина **E** (безбарвна рідина) легко окиснюється до сполуки **H**, що також є безбарвною рідиною. Реакція приєднання **H** до вуглеводню **A** призводить до утворення естеру **I**, що також здатний до полімеризації з утворенням речовини **J**, яка використовується у виробництві клеїв і мастик. Гідроліз полімеру **J** дає змогу отримати сполуку **K**, що є полімером нереального мономера **D**. Водорозчинний полімер **K**, на відміну від свого мономера, є цілком стійким і використовується для виробництва плівок і хірургічного волокна.

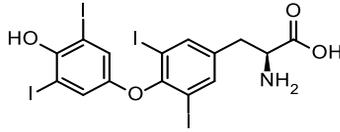
Відомо, що під час спалювання 8,6 г **I** утворюється 17,6 г CO_2 та 5,4 г водяної пари, а маса пари речовини **I** у 43 рази більша, ніж маса такого самого об'єму водню за аналогічних умов.



Завдання 1. Зобразить структурні формули речовин **A** — **K**.
Відповідь підтвердьте розрахунком.

| A | B | C | D |
|--------------------|----------|----------|----------|
| | | | |
| E | F | G | H |
| | | | |
| I | J | K | |
| | | | |
| Розрахунок: | | | |

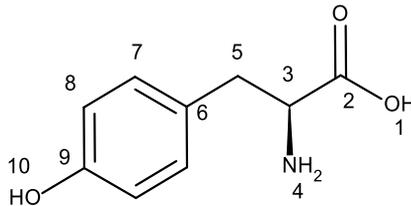
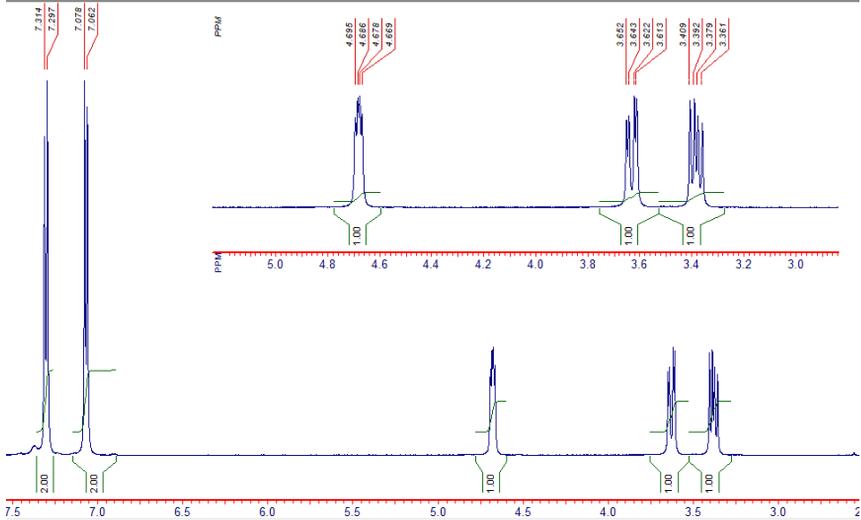
Структурна формула левотироксину



Завдання 1. Вкажіть конфігурацію левотироксину за R–S номенклатурою. Напишіть стисле пояснення.

ЯМР-спектр тирозину (Тур) знято у дейтеро трифтороцтовій кислоті (врахуйте, що на спектрі не видно обмінних протонів).

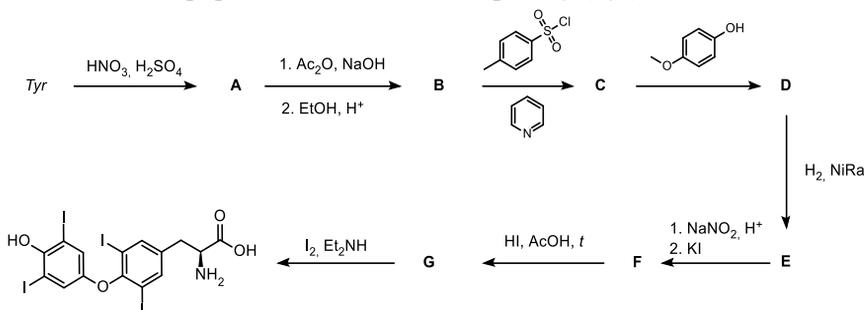
ЯМР-спектр тирозину



Завдання 2. Співвіднесіть сигнали в ^1H ЯМР-спектрі (500 MHz, TFA) δ .

| Хімічний зсув | Номер атома |
|---------------------------------|-------------|
| 7,31 (d, J = 8 Hz, 2H) | |
| 7,07 (d, J = 8,5 Hz, 2H) | |
| 4,68 (dd, J = 8, 4,6 Hz, 1H) | |
| 3,63 (dd, J = 15,4, 4,6 Hz, 1H) | |
| 3,39 (dd, J = 15,1, 8,8 Hz, 1H) | |

Сучасний метод синтезу левотироксину, зображений на схемі, починається з природної амінокислоти тирозину (Tyr).



Завдання 3. Наведіть структурні формули речовин А — G.

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| | | | |
| E | F | G | |
| | | | |

Хімік вирішив дослідити вміст левотироксину в таблетках, випущених двома виробниками, в різних лабораторіях. В одній з лабораторій для аналізу препарату методом ВЕРХ (високоєфективна рідинна хроматографія) було приготовано стандартний розчин з масовою концентрацією 10 мкг/мл. Екстракт досліджуваної таблетки також розбавили до масової концентрації 10 мкг/мл. Об'єм розчину екстракту — 10 мл.

У результаті аналізу отримали такі дані:

- для стандартного розчину площа піка становила 1250 ум. од.;
- для розчину таблетки площа піка становила 1187 ум. од.

Завдання 4. Обчисліть масову концентрацію левотироксину в розчині екстракту, приготованого з однієї таблетки, та масу активної речовини в таблетці.

Для визначення масової концентрації левотироксину в лікарському препараті у другій лабораторії використали метод спектрофотометрії за довжини хвилі 225 нм. Було приготовано стандартний розчин з масовою концентрацією 10 мкг/мл, оптична густина якого становила 0,3. Екстракт з таблетки мав оптичну густина — 0,27, об'єм розчину екстракту — 10 мл.

Завдання 5. Розрахуйте масову концентрацію левотироксину у розчині екстракту, приготованого з однієї таблетки, та визначте масу активної речовини у таблетці.

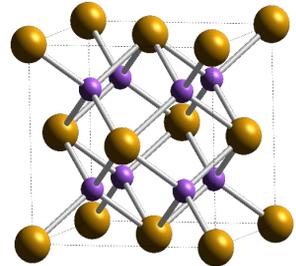
11.7. Енергія кристалічної ґратки

Одним з методів визначення енергії кристалічної ґратки речовин є цикл Борна — Габера, в основі якого лежить закон Гесса.

Енергією кристалічної ґратки називають енергію, що виділилася б під час утворення 1 моль кристалів цієї речовини з частинок, що входять до складу її решітки, якби ці частинки на початку перебували в стані ідеального газу за тієї самої температури, за якої відбувається процес кристалізації.

На *рисунку* зображено кристалічну структуру калій сульфід (K₂S) — кубічна елементарна ґратка зі стороною 7,39 Å.

Завдання 1. Напишіть електронні конфігурації частинок: K, K⁺, S, S²⁻. Вкажіть, радіус якої частинки більший серед запропонованих пар.



| K | K ⁺ | S | S ²⁻ |
|------------------------------|----------------|--|-----------------|
| | | | |
| K чи K ⁺ більший? | | K ⁺ чи S ²⁻ більший? | |

Завдання 2. Визначте кількість формульних одиниць K_2S , що припадають на одну елементарну комірку, та густину кристала калій сульфідру (г/см³).

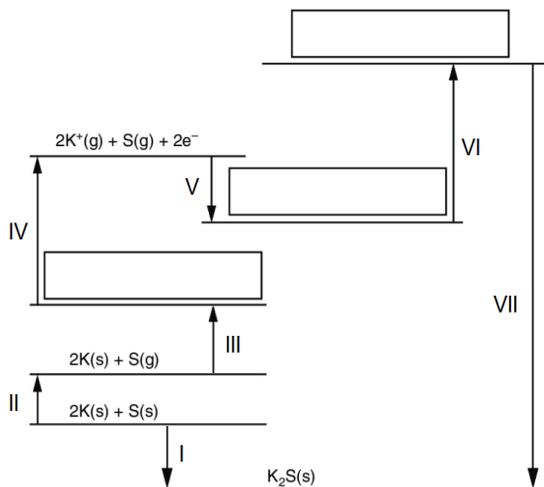
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Кількість формульних одиниць: | Густина: $\rho =$ |
|--------------------------------------|-----------------------------|

Реакція 2,2 г K_2S із надлишком хлоридної кислоти супроводжується виділенням 6,07 кДж теплоти.

Завдання 3. Наведіть термохімічне рівняння описаної реакції та розрахуйте теплоту утворення калій сульфідру, скориставшись такими відомостями.

| Речовина | HCl | H ₂ S | KCl |
|-------------------------------|----------------------------|------------------|---------|
| ΔH_f° , кДж/моль | -92,21 | -20,63 | -436,68 |
| Термохімічне рівняння: | Теплота утворення K_2S : | | |

Нижче наведено цикл Борна — Габера для калій сульфідру (з пропусками): кожній горизонтальній межі на енергетичній діаграмі відповідає певний стан, а вертикальними стрілками позначено процеси переходу з одного стану в інший (вказано римськими цифрами).



Завдання 4. Заповніть усі пропуски станів на схемі відповідними частинками. Кожному з процесів відповідає своя енергія (деякі з них вказані у таблиці). Наприклад, енергія, що виділяється в процесі I, називається теплотою утворення K_2S .

| Процес | II | III | IV | V | VI |
|-----------------------------|---------|------------|-------------|---------|---------|
| ΔH° , кДж/моль | +278,95 | +88,79 · 2 | +419,41 · 2 | -200,12 | +640,23 |

Завдання 5. Зіставте процеси й назви їхніх енергій:

- енергія кристалічної ґратки;
- енергія зв'язку;
- потенціал йонізації;
- спорідненість до електрона.

Назвіть процеси й вкажіть, енергія якого(-их) з них не згадана в списку.

| | |
|-----|--|
| II | |
| III | |
| IV | |
| V | |
| VI | |
| VII | |

Завдання 6. Розрахуйте енергію кристалічної ґратки калій сульфіді.

Енергія кристалічної ґратки:

$U_o =$

Крім циклу Борна — Габера енергії кристалічних ґраток можна обчислити теоретично. Для розрахунку енергії U_o (у Дж/моль) кристалічних ґраток йонної сполуки А. Капустинський запропонував таку напівемпіричну формулу:

$$U_o = - \frac{1,2 \cdot 10^6 \cdot Z^+ \cdot Z^- \cdot \sum \vartheta}{r^+ + r^-} \left(1 - \frac{0,345}{r^+ + r^-} \right),$$

де $\sum \vartheta$ — число йонів в емпіричній формулі речовини;

r^+ та r^- — радіуси катіона й аніона, виражені в Å;

Z^+ та Z^- — числа заряду катіона й аніона.

Завдання 7. Оцініть енергію кристалічної ґратки K_2S за формулою Капустинського й на основі результатів оберіть правильне твердження.

| | |
|---|--|
| І цикл Борна — Габера і формула Капустинського для K_2S приводять до схожих значень енергії ґраток | |
| Значення, отримані за допомогою циклу Борна — Габера, взагалі не збігаються із результатами формули Капустинського для K_2S | |

11.8. Метал

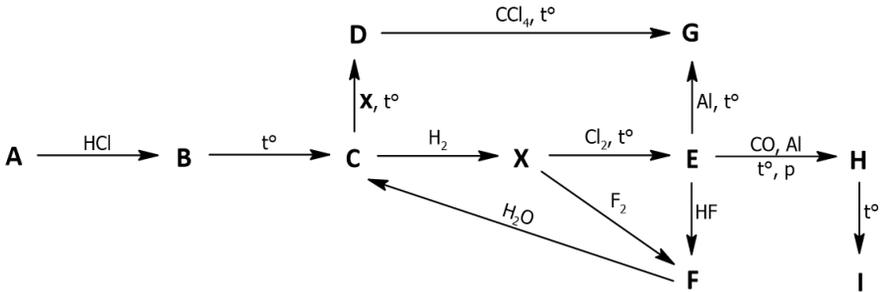
Метал **X** має величезне значення для виготовлення різальних інструментів, бурових установок, свердел, кулькових ручок, бронебійних осердь, а також ювелірних прикрас. Він є найбільш важкоплавким з-поміж усіх елементів і найтвердішим серед металів. Англійська й французька назва металу **X** походить від слова, що позначає однойменний мінерал (зараз він називається «шесліт») і перекладається як «важкий камінь». Ще до середини XX століття його іноді позначали як **Tu**.

Головним джерелом для видобування металу **X** є мінерали, зокрема ґюбнерит, що має хімічний склад — $Mn[ХО_4]$. Під час нагрівання $Mn[ХО_4]$ з натрій карбонатом у присутності кисню утворюється сіль **A** та два оксиди.

Далі сіль **A** обробляється хлороводнем з утворенням кислоти **B** жовтого кольору, яка за нагрівання розкладається на оксид **C** (порошок канарково-жовтого кольору) та воду. Для отримання чистого металу **X** оксид **C** відновлюється воднем. Якщо нагріти суміш металу **X** та оксиду **C**, у результаті компрорціонування утворюються коричневі кристали оксиду **D** (масова частка Оксигену — 14,83 %).

З порошку металу **X** отримують хлорид **E** (масова частка Хлору — 53,64 %), що має темно-синій колір та є доволі реакційноздатним. У разі його оброблення флуороводневою кислотою утворюється флуорид **F**, який є найважчим у світі газом за стандартних умов. Під час реакції **F** з водою утворюється всім відомий оксид **C**. У разі відновлення **E**

металічним алюмінієм за високої температури можна отримати бурий хлорид **G**, який також утворюється під час реакції оксиду **D** з тетрахлорометаном за 250 °С. Цікаво, що ця реакція *не є окисно-відновною*. Ще одна сполука, яку можна отримати з хлориду **E**, — це карбоніл **H**, який має широке застосування, наприклад для отримання карбїду **I** в результаті його розкладання за температури 1000 °С.



Завдання 1. Встановіть метал **X**, сіль **A** і доповніть рівняння реакції.

| Розрахунок: | | |
|-------------|----------|--|
| X | A | $_ \text{Mn}[\text{XO}_4] + _ \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \Rightarrow _ \text{A} + 4\text{CO}_2 + _ \text{Mn}_2\text{O}_3$ |
| | | |

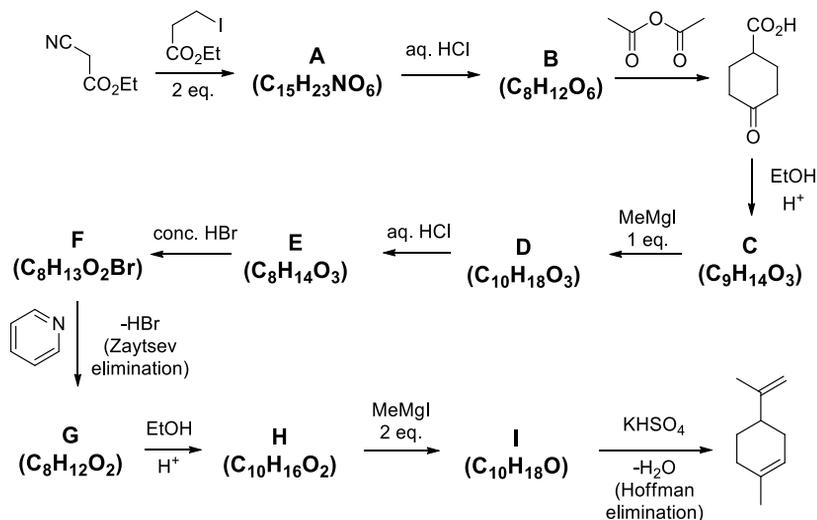
Завдання 2. Встановіть речовини **B** — **I** та наведіть рівняння усіх згаданих реакцій.

| B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | |
| Рівняння реакцій: | | | | | | | |
| | | | | | | | |

II теоретичний тур

11.1. Лімонен

Лімонен є природною сполукою, що має запах цитрусових. Тотальний синтез лімонену здійснив Вільям Генрі Перкін у далекому 1904 році, використавши реакції, які зараз є класичними й вивчаються у школі. Однак на початок минулого сторіччя синтез лімонену був високотехнологічним дослідженням, результати якого оприлюднені в журналі Лондонського хімічного товариства.



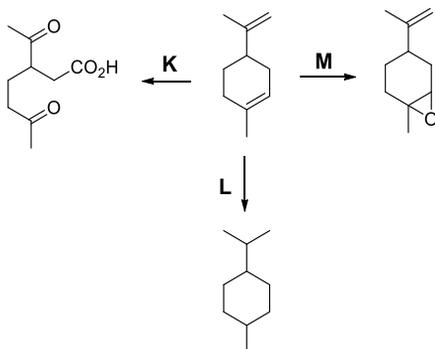
Завдання 1. Наведіть будову проміжних продуктів, зашифрованих літерами, якщо:

- синтези проміжних продуктів **A** та **F** відбуваються через реакції нуклеофільного заміщення;
- **A** повністю гідролізує й однократно декарбоксилюється з утворенням **B**;
- перетворення **C** \rightarrow **D** та **H** \rightarrow **I** є реакціями Гріньяра;
- синтези сполук **C** і **H** — реакції естерифікації;
- відщеплення HBr відбувається з утворенням продукту **G** з більш заміщеним подвійним зв'язком (за правилом Зайцева).

| | | |
|----------|----------|----------|
| A | B | C |
| | | |
| D | E | F |
| | | |
| G | H | I |
| | | |

Завдання 2. Запропонуйте механізм перетворення **E** → **F**.

Завдання 3. З'ясуйте, які реагенти або системи реагентів можна використати для одержання наступних сполук з лімонену:



| | |
|----------|--|
| K | |
| L | |
| M | |

11.2. Теорія ймовірності й незвичні ступені окиснення

Найпоширеніші ізотопи елемента **X** мають масові числа 32 і 34. Ізотоп з масовим числом 32 зустрічається в природі у 22 рази частіше, ніж з масовим числом 34. Елемент **X** схильний до утворення молекул складу **X₈**.

Завдання 1. Користуючись лише наведеними даними, розрахуйте значення m/z та відносної інтенсивності двох найбільш інтенсивних сигналів у мас-спектрі речовини **X₈**. Інтенсивність найбільш інтенсивного сигналу прийміть за 100 %.

| | |
|----------------|-----------|
| $m/z_1 =$ | $m/z_2 =$ |
| $I_1 = 100 \%$ | $I_2 =$ |

Проста речовина X_8 розчиняється під час кип'ятіння в концентрованому розчині NaOH з утворенням солей **A** і **B**. У процесі нагрівання з надлишком X_8 сіль **A** утворює сіль **C**, а сполука **B** — сполуку **D** ($w(X) = 58,24 \%$).

Сіль **C** використовують для кількісного визначення йоду у процесі аналізу, утворюються натрій йодид і сіль **E**.

Завдання 2. Визначте елемент **X** і сполуки **A** — **E**.

| | | |
|------------|------------|------------|
| X — | A — | B — |
| C — | D — | E — |

Найпоширенішими з них є **F**, який утворюється під час горіння простої речовини X_8 на повітрі, та **G**, який отримують реакцією **F** з киснем у присутності каталізатора V_2O_5 . Однак обережне окиснення X_8 трифторнадоцтовою кислотою CF_3CO_2H дає оксид **H** ($w(X) = 94,13 \%$).

Завдання 3. Запропонуйте брутто-формули оксидів **F**, **G** та **H**.

| F | G | H |
|----------|----------|----------|
| | | |

Завдання 4. Розрахуйте формальний ступінь окиснення елемента **X** у сполуках **C**, **D**, **E**, **H**. Структурними особливостями молекул і йонів можна знехтувати.

| C | D | E | H |
|----------|----------|----------|----------|
| | | | |

Завдання 5. Зобразить структурні формули аніонів солей **С** і **Е**, а також молекули **Н**. Враховуючи структуру частинок, визначте ступінь окиснення кожного атома **Х**.

| С | Е | Н |
|---|---|---|
| | | |

Під час реакції 2 моль вищого оксиду **Г** і 1 моль води утворюється кислота **І**.

Завдання 6. Запишіть рівняння утворення кислоти **І** та її реакції з надлишком NaOH .

Завдання 7. Запропонуйте метод отримання натрієвої солі кислоти **І**. Запишіть рівняння відповідної хімічної реакції.

11.3. Кристалічна ґратка

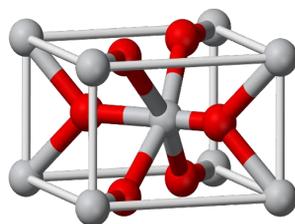
Речовина **А**, бінарна сполука металу **Х**, має тетрагональну кристалічну ґратку (див. рис.) та густину — $11,45 \text{ г/см}^3$. Масова частка елемента **Х** у сполуці **А** дорівнює 85,60 %.

Завдання 1. Знайдіть речовини **А** та **Х**, використовуючи дані, що **А** має параметри елементарної комірки:

$$a = 4,48 \text{ \AA},$$

$$b = 4,48 \text{ \AA},$$

$$c = 3,21 \text{ \AA}.$$



| А | Х |
|---|---|
| | |

Інша бінарна сполука металу **Х**, речовина **В** (масова частка **Х** — 74,83 %), утворюється під час нагрівання **А** на повітрі. Сполука **В**, попри її токсичність, використовується в органічному синтезі. Сполука **В** також здатна реагувати зі спиртами в різних умовах. У процесі кип'ятіння **В** в етиловому спирті утворюється сполука **С** і певний органічний продукт окиснення спирту **Е** (масова частка Карбону — 54,53 %).

Завдання 2. Визначте формули сполук **B**, **C** та **E**, якщо окрім **X** до складу **C** входять лише Оксиген і Гідроген, а молярні маси **B** і **C** співвідносяться як 1:1,016.

| | | | | | |
|----------|--|----------|--|----------|--|
| B | | C | | E | |
|----------|--|----------|--|----------|--|

Під час взаємодії **B** з етиловим спиртом за додавання луку утворюється комплексна сполука **D** і органічна речовина **E**. Відомо, що масова частка **X** та Гідрогену в комплексному аніоні сполуки **D** дорівнюють 65,54 % і 1,389 % відповідно.

Завдання 3. Встановіть формулу аніона сполуки **D**, якщо його якісний склад ідентичний **C**, він не містить нейтральних молекул у внутрішній координаційній сфері, а ступінь окиснення **X** в ньому на 2 більший, ніж ступінь окиснення в сполуці **C**. Намалуйте структурні формули аніона **D** і сполуки **E** та вкажіть в них гібридизацію некінцевих атомів.

Завдання 4. Наведіть рівняння реакції взаємодії **B** з етиловим спиртом у згаданих умовах.

Прикладом застосування **B** в органічній хімії є каталіз утворення *цис*-гліколів за взаємодії алкенів з гідроген пероксидом.

Завдання 5. Наведіть структурні формули продуктів взаємодії циклогексену та 2*Z*-бутену з гідроген пероксидом у присутності **B**, вказавши стереохімію всіх асиметричних центрів в них.

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Циклогексен: | 2<i>Z</i>-бутен: |
| | |

Під час взаємодії **X** з простою речовиною **I** залежно від температури можуть утворитися дві бінарні сполуки — **G** та **F**. За нагрівання у вакуумі сполука **G** диспропорціонує на **F** та іншу бінарну сполуку **H** (масова частка **X** — 72,85 %).

Завдання 6. Наведіть формули сполук **F**, **G**, **H** та **I**, якщо ступінь окиснення **X** в **F** у 2 рази більший, ніж в **H**. Запишіть рівняння згаданих реакцій.

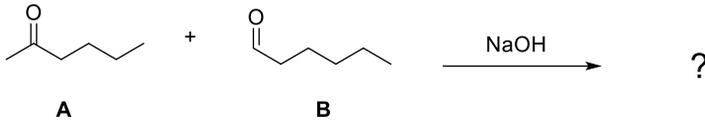
| F | | G | | H | | I | |
|-------------------------|--|----------|--|----------|--|----------|--|
| Рівняння реакцій | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

11.4. Органічний синтез

Реакції за участю енолів та енолятів широко використовуються в органічному синтезі для побудови нових C–C зв'язків. Одним із представників цього класу реакцій є альдольна конденсація.

У найпростішому варіанті проведення цієї реакції використовується каталіз сильною основою, наприклад NaOH. Однак за спроби провести «перехресну» конденсацію між 2 різними карбонільними сполуками зазвичай утворюються суміші різних сполук.

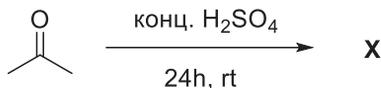
Завдання 1. Зобразіть структурні формули всіх сполук складу $C_{12}H_{24}O_2$, що можуть утворитися в умовах альдольної конденсації з суміші сполук **A** та **B**.



| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |

Утворені в такий спосіб сполуки містять групи, здатні до повторної енолізації, а отже, здатні вступати у наступні альдольні конденсації.

Сполуку **X** можна отримати у разі дії концентрованої сульфатної кислоти на ацетон.

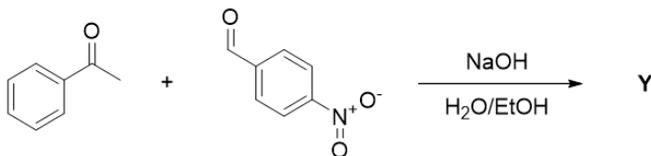


Відомо, що під час спалювання 1 г сполуки X утворюється 1,68 л (н. у.) CO₂ та 0,9 г H₂O. Сполука X кипить за 164,7 °С і атмосферного тиску, а її ПМР-спектр містить 2 сигнали зі співвідношенням інтенсивностей 3:1.

Завдання 2. Наведіть структурну формулу сполуки X.

| Розрахунок: | |
|-------------|--|
| X | |

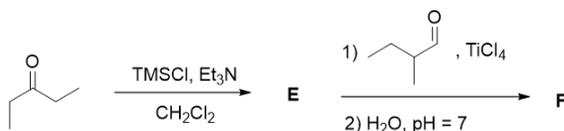
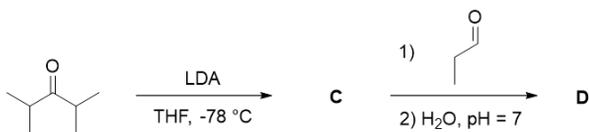
Під час реакції між фенілацетоном та пара-нітробензальдегідом утворюється лише продукт «перехресної» реакції Y.



Завдання 3. Наведіть структурну формулу сполуки Y. Назвіть 2 причини утворення виключно продукту «перехресної» реакції.

| | |
|-------------------------------|--|
| Y | |
| Причини утворення виключно Y: | |

Для контрольованого проведення альдольної конденсації між двома подібними за реакційною здатністю карбонільними сполуками використовуються синтетичні еквіваленти енолів. Приклади таких перетворень зображено на схемі.



Завдання 4. Наведіть структурні формули сполук **C**, **D**, **E** та **F**.

| | |
|----------|----------|
| C | D |
| | |
| E | F |
| | |

Завдання 5. Оберіть правильні твердження (+).

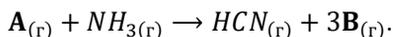
| | |
|--|--------------------------|
| Для утворення сполуки D достатньо використання каталітичної кількості LDA | <input type="checkbox"/> |
| Перетворення C → D має циклічний перехідний стан | <input type="checkbox"/> |
| Перетворення E → F має циклічний перехідний стан | <input type="checkbox"/> |
| TiCl ₄ використовується як основа Льюїса | <input type="checkbox"/> |
| TiCl ₄ використовується як кислота Льюїса | <input type="checkbox"/> |

Завдання 6. Зобразіть механізм перетворення **E** → **F**.

11.5. Токсична рівновага

Синильна кислота (HCN) — безбарвна летка рідина або газ із характерним запахом гіркої мигдалю. Вона є слабкою кислотою і добре розчиняється у воді, утворюючи ціанід-йони (CN⁻). HCN надзвичайно

токсична, оскільки блокує клітинне дихання, перешкоджаючи транспорту кисню в організмі. У промисловості синильну кислоту використовують для виробництва ціанідів, акрилонітрилу (для синтетичних волокон), пестицидів і фармацевтичних препаратів. У промислових масштабах її отримують за реакцією амоніаку та газу **A** з використанням платинового каталізатора за високої температури. В результаті цієї реакції крім HCN утворюється газ **B**:



Завдання 1. Визначте речовини **A** та **B** і наведіть рівняння реакції.

| A | B | Рівняння реакції |
|----------|----------|-------------------------|
| | | |

| Речовина | $\Delta_f H^\circ / \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ | $\Delta_f S^\circ / \text{Дж моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ |
|--------------------------------|--|--|
| A _(r) | -74,6 | 186,3 |
| B _(r) | x | 130,68 |
| NH ₃ _(r) | -45,9 | 192,8 |
| HCN _(r) | 135,1 | 201,8 |

Завдання 2. Розрахуйте стандартну ($T = 298,15 \text{ K}$, 1 бар) енергію Гіббса цієї реакції. Напишіть, чому дорівнює значення величини **x**.

X =

$\Delta G_r^\circ =$

Еквімолярну суміш речовини **A** й амоніаку ввели у реактор за високої температури ($>1000 \text{ K}$) та постійного тиску 1 бар. Після встановлення рівноваги об'ємна частка газу **B** становила 50,53 %.

Завдання 3. Обчисліть константу рівноваги **K_p** реакції за наведених умов.

K_p =

Завдання 4. З'ясуйте, як зміниться значення константи рівноваги за підвищення температури або тиску (зросте / не зміниться / зменшиться), відповідь поясніть.

Еквімолярну суміш газів А та амоніаку ввели у реактор за температури 1200 К.

Завдання 5. Визначте молярні частки всіх компонентів рівноважної суміші за стандартного тиску 1 бар.

| |
|--------------------|
| $x(\text{CH}_4) =$ |
| $x(\text{NH}_3) =$ |
| $x(\text{HCN}) =$ |
| $x(\text{H}_2) =$ |

Завдання 6. Розрахуйте, за якого тиску ступінь конверсії газу А буде дорівнювати 95 %.

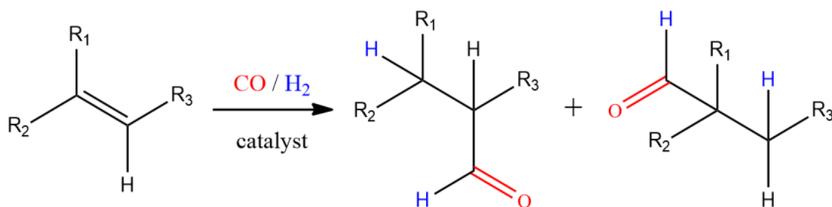
Синильну кислоту використовують у виробництві 1,4-диціанобутану за допомогою каталітичної реакції речовини С з HCN.

Завдання 7. Наведіть структурну формулу речовини С та її систематичну назву. Напишіть рівняння реакції отримання 1,4-диціанобутану.

| С | Назва С | Рівняння реакції |
|---|---------|------------------|
| | | |

11.6. Кінетика та оксосинтез. Копа Іван

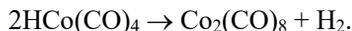
В органічній хімії гідроформілювання (також відоме як оксосинтез) є промисловим процесом виробництва альдегідів з алкенів. У результаті цієї хімічної реакції відбувається приєднання формільної групи ($-\text{CHO}$) і атома Гідрогену до подвійного зв'язку Карбон — Карбон.



Завдання 1. Нарисуйте усі можливі продукти гідроформілювання зображеного алкену.



Як каталізатор цього процесу використовують комплексну кислоту $\text{HCo}(\text{CO})_4$, яка за нагрівання розкладається за рівнянням:



Обидва комплекси можна розглядати як каталізатори для промислового гідроформілювання алкенів, тому було проведено низку експериментів з вивчення швидкості цієї реакції.

Спершу вимірювали початкові швидкості r_0 розкладання $\text{HCo}(\text{CO})_4$ за різних початкових молярних концентрацій $[\text{HCo}(\text{CO})_4]_0$ та тисків водню $p_0(\text{H}_2)$ й чадного газу $p_0(\text{CO})$ у системі за температур 25 °C та 45 °C. Отримані дані наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

| Температура, °C | $[\text{HCo}(\text{CO})_4]_0$, моль/л | $p_0(\text{H}_2)$, атм | $p_0(\text{CO})$, атм | r_0 , моль/(л · с) |
|--------------------|---|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 25 | 0,591 | 0,321 | 0,467 | $7,48 \cdot 10^{-6}$ |
| 25 | 0,296 | 0,321 | 0,467 | $1,85 \cdot 10^{-6}$ |
| 25 | 0,296 | 0,648 | 0,467 | $1,87 \cdot 10^{-6}$ |
| 25 | 0,591 | 0,321 | 0,236 | $1,51 \cdot 10^{-5}$ |
| 45 | 0,296 | 0,648 | 0,467 | $1,33 \cdot 10^{-5}$ |

Завдання 2. Користуючись цими даними, визначте порядки за кожною сполукою, яка бере участь у реакції. Стисло поясніть відповідь.

| | | |
|---|--|---|
| Порядок за $\text{HCo}(\text{CO})_4$: | Порядок за H_2: | Порядок за CO: |
|---|--|---|

Завдання 3. Наведіть вираз для визначення швидкості цієї реакції та розрахуйте константу швидкості k_{obs} , яка спостерігається під час експерименту. Вкажіть розмірність цієї константи.

| Вираз для визначення швидкості | Розраховане значення константи швидкості | Розмірність константи швидкості |
|---------------------------------------|---|--|
| | | |

Завдання 4. Розрахуйте константу швидкості k_H розкладання $\text{HCo}(\text{CO})_4$ за постійних тисків чадного газу CO та водню H_2 . Вкажіть розмірність цієї константи.

| Розраховане значення константи швидкості | Розмірність константи швидкості |
|---|--|
| | |

Завдання 5. Визначте енергію активації реакції розкладання $\text{HCo}(\text{CO})_4$.

| |
|---------------------------|
| Енергія активації: |
|---------------------------|

Для наступного експерименту було взято дейтеровану форму каталізатора. Експеримент було проведено за постійних тисків газів CO та H_2 . Результати зміни концентрації $[\text{DCo}(\text{CO})_4]$ від часу наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $[\text{DCo}(\text{CO})_4]$, моль/л | 0,407 | 0,310 | 0,228 | 0,187 | 0,159 | 0,113 |
| t, год | 0 | 12 | 30 | 45 | 60 | 100 |

Завдання 6. Визначте порядок та константу k_D швидкості розпаду $\text{DCo}(\text{CO})_4$. Вкажіть розмірність константи.

| Порядок реакції | Розраховане значення константи швидкості | Розмірність константи швидкості |
|-----------------|--|---------------------------------|
| | | |

Кінетичний ізотопний ефект — зміна реактивності сполуки, викликана заміною якогось елемента в ній його ізотопом. Цей ефект визначається відношенням констант швидкості сполук з різними ізотопами у складі.

Завдання 7. Обчисліть кінетичний ізотопний ефект для досліджуваної реакції k_H/k_D . Оберіть правильне пояснення отриманому значенню.

| | |
|---|--|
| Отримане значення набагато більше за 1, що означає, що відривання протона потребує великої кількості енергії й гальмує реакцію | |
| Отримане значення набагато більше за 1 через різницю мас ізотопів майже у 2 рази | |
| Отримане значення близьке до 1 через схожі умови реакції (концентрації реагентів, температуру, тиск тощо) | |
| Отримане значення близьке до 1, що вказує на те, що лімітувальною стадією не є реакція відривання Гідрогену від Кобальту | |
| Отримане значення набагато менше за 1 через різницю у механізмах розпаду $\text{HCo}(\text{CO})_4$ та $\text{DCo}(\text{CO})_4$ | |

Примітка. Якщо не вийшло визначити k_H і k_D , використайте наступні значення:

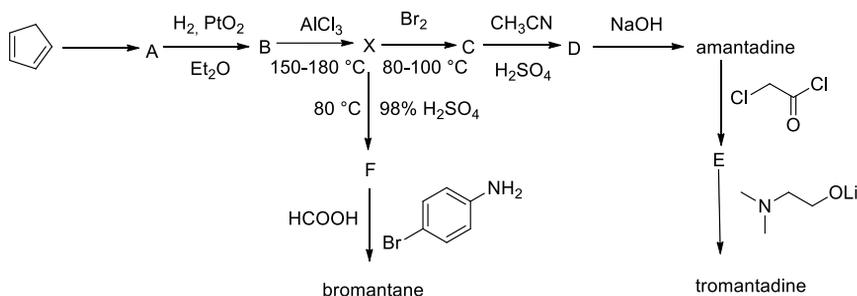
$$k_H = 5,20 \cdot 10^{-5},$$

$$k_D = 4,33 \cdot 10^{-5}.$$

Розмірність відповідає порядку реакції.

11.7. Органічний алмаз

Вуглеводень **X** через схожість його структури зі структурою алмазу отримав назву, що походить з грецької назви мінералу. Він є вихідною речовиною для синтезу багатьох медичних засобів, які використовуються, зокрема, як противірусні препарати та ліки від хвороби Паркінсона. Серед таких засобів є амантадин, бромантан і тромантадин. Синтез вуглеводню **X** і згаданих препаратів зображено на схемі.



Відомо, що:

- відносна густина пари речовини **A** вдвічі більша за відносну густину пари циклопентадієну;
- у вуглеводнів **B** і **X** однаковий кількісний склад, а в ^1H ЯМР-спектрі **X** є лише два сигнали;
- масова частка Брому у сполуці **C** становить 37,14 %, у бромантані — 26,09 %; масова частка Оксигену у сполуці **F** становить 10,65 %. Брутто-формула амантадину — $\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{N}$.

Завдання 1. Наведіть структурні формули речовин **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **X**, амантадину, тромантадину та бромантану.

| A | B | C | D | E |
|----------|----------|-----------|-------------|-----------|
| | | | | |
| F | X | Амантадин | Тромантадин | Бромантан |
| | | | | |

Завдання 2. Поясніть регіоселективність (переважне або виняткове утворення одного з кількох можливих продуктів) реакції отримання речовини **E** з амантадину.

Завдання 3. Структурним аналогом вуглеводню **X** є третинний амін **Y**. Цей амін отримують взаємодією сполуки **G** ($\omega(\text{H}) = 17,76\%$) зі сполукою **J**, водний розчин якої використовують для консервування біологічних препаратів. Визначте сполуки **G**, **J**. Наведіть схему синтезу та структурну формулу **Y**, якщо в його ^1H ЯМР-спектрі є тільки один синглет. Вкажіть, де використовується амін **Y**.

11.8. Розчинити золото

Загальновідомий факт, що золото не розчиняється звичайними кислотами. Проте метод екстракції золота з руд навіть не потребує застосування кислот, достатньо використати розчин натрій ціаніду у присутності повітря.



Яку ж роль виконує в цьому процесі натрій ціанід? Відомо, що напрямок окисно-відновних реакцій можна передбачити за допомогою розрахунку електрорушійної сили реакції з використанням стандартних електродних потенціалів окисника і відновника.

Стандартний електродний потенціал можна визначити як електродний потенціал, розрахований за допомогою рівняння Нернста, в якому молярні концентрації всіх учасників окисно-відновної напівреакції дорівнюють 1 моль/л. Для напівреакції Au^+/Au стандартний електродний потенціал дорівнює 1,692 В. Проте додавання ціаніду в реакційну суміш значно зменшує кількість вільного Au^+ в розчині внаслідок утворення комплексної сполуки, зміщуючи рівновагу реакції.

Для визначення стандартного електродного потенціалу пари $\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}$ необхідно використати рівняння Нернста та константу стійкості комплексу $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ($K_{\text{stab1}} = 1 \cdot 10^{37}$):

$$K_{\text{stab1}} = \frac{[\text{Au}(\text{CN})_2^-]}{[\text{Au}^+][\text{CN}^-]} = 1 \cdot 10^{37}.$$

$$E\left(\frac{\text{Au}^+}{\text{Au}}\right) = E^0\left(\frac{\text{Au}^+}{\text{Au}}\right) + \frac{RT}{zF} \ln[\text{Au}^+].$$

$$E^0\left(\text{Au}\left(\frac{\text{CN}}{\text{Au}}\right)_2^-\right) = E^0\left(\frac{\text{Au}^+}{\text{Au}}\right) + 0,059 \cdot \log\left(\frac{[\text{Au}(\text{CN})_2^-]}{[\text{CN}]^2 K_{\text{stab1}}}\right).$$

Завдання 1. Розрахуйте стандартний окисно-відновний потенціал пари $\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}$ за молярної концентрації CN^- 1 моль/л і $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ також 1 моль/л.

$$E^0(\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}) =$$

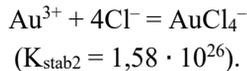
Завдання 2. Визначте стандартну електрорушійну силу (ЕРС) реакції (1) шляхом порівняння стандартних електродних потенціалів пар $\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}$ та O_2/OH^- .

Увага! Реакція є самочинною, якщо $\text{ЕРС} > 0$.

Стандартна ЕРС реакції (1):

Проте всім відома інша суміш, здатна розчиняти золото, — так звана *aqua regia*, або царська вода. Саме таким чином хімік Дьєрдь де Гевеші зміг розчинити нагороди двох нобелівських лауреатів, врятувавши золото від експропріації нацистськими окупантами у 1940 році.

Царська вода — це суміш концентрованих хлоридної та нітратної кислот. Чому ж суміш кислот здатна розчиняти золото, а окремо взяті кислоти — ні? Для цього є кілька причин. Перша з них — наявність надлишкової кількості Cl^- у розчині, яка сприяє утворенню комплексу складу AuCl_4^- :



Завдання 3. Аналогічним чином розрахуйте стандартний потенціал пари $\text{AuCl}_4^-/\text{Au}$, якщо прийняти: $[\text{AuCl}_4^-] = 1$ моль/л, а $[\text{Cl}^-] = 8,23$ моль/л у царській воді.

$$E(\text{AuCl}_4^-/\text{Au}) =$$

Але на відміну від концентрованої HCl , яка є слабким окисником лише завдяки H_3O^+ , царська вода містить NO_3^- , а також такі частинки, як NOCl , Cl_2 , NO та інші.

Завдання 4. Запишіть рівняння реакцій утворення NOCl , NO , Cl_2 в цій суміші.

| |
|----------------------|
| Рівняння (2): |
| Рівняння (3): |

Завдання 5. Використовуючи потенціал, розрахований у завданні 3, а також дані з таблиці 3, вкажіть знаком «+», які з цих частинок можуть окиснювати золото, і підтвердьте приблизним² розрахунком ЕРС реакції частинки з Au .

| Частинка | Теоретична ЕРС реакції з Au , В | Чи окиснює золото? |
|-----------------|--|--------------------|
| NO_3^- | | |
| NOCl | | |
| Cl_2 | | |

Таблиця 3

| Напівреакція | Електродний потенціал у порівнянні зі стандартним водневим електродом (E^0), В |
|--|--|
| $\text{Au}^+ + e^- \rightarrow \text{Au}$ | 1,69 |
| $\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Au}$ | 1,50 |
| $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ | 0,40 |
| $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | 0,81 |
| $\text{NO}^+ + e^- \rightarrow \text{NO}$ | 1,51 |
| $\text{Cl}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$ | 1,36 |

² Більш точний розрахунок з урахуванням концентрацій частинок у розчині неможливий, бо їхня концентрація в розчині царської води не є постійною.

Завдання 6. Запишіть сумарне рівняння взаємодії Au з HNO_3 та HCl , враховуючи завдання 4 і 5.

Рівняння (4):

Завдання 7. Запишіть рівняння реакції FeSO_4 з HAuCl_4 у водному розчині.

Рівняння (5):

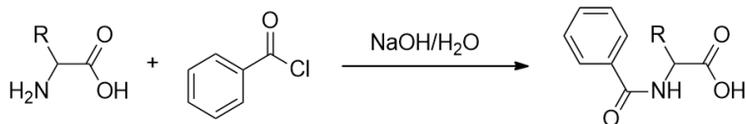
Для підтвердження можливості проведення цієї реакції необов'язково використовувати дорогі золотовмісні реагенти, а можна виміряти ЕРС реакції електрохімічним шляхом. Так, у перший хімічний стакан додають розчин, який містить HAuCl_4 (молярна концентрація — 0,01 моль/л), Cl^- (молярна концентрація — 1 моль/л) і золоту пластинку, підключену до вольтметра. У другий стакан додають розчин, який містить 0,1 моль/л Fe^{3+} та 0,05 моль/л Fe^{2+} , а також анод — золоту пластинку, підключену до вольтметра. Обидва стакани поєднані сольовим містком, насиченим розчином KCl . У цьому експерименті одержано значення ЕРС — 0,154 В.

Завдання 8. Розрахуйте значення стандартного окисно-відновного потенціалу пари $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ за даними з наведеного експерименту.

Практичний тур

11.1. Синтез бензоїлзахищеної амінокислоти

Введення бензоїльної групи по атому Нітрогену амінокислот (АК) призводить до «захищених» похідних, в яких аміногрупа є майже не активною, отже, не зачіпається під час взаємодії з іншими реагентами. Бензоїльна група легко вводиться, достатньо стійка та завдяки зниженню розчинності полегшує виділення продукту.



Під час охолодження у водному розчині за наявності невеликого надлишку луку реакція відбувається швидко, з високим виходом і не залежить від вихідної АК. Наважка вихідної АК вже розміщена на робочому місці. Після виділення цільового продукту доведеться зробити його ідентифікацію методом ТШХ. Для цього необхідно порівняти R_f вашого продукту і трьох захищених АК, формули яких відомі. Вважайте, що маса вихідної АК становить 2,0 г. Розрахуйте вихід продукту.

Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Концентрація | Кількість | Маркування |
|------------------------------|---------------|----------------|-----------|------------|
| Хлоридна кислота | водний розчин | 8 % | 50 мл | HCl |
| Натрій гідроксид | водний розчин | 2,5 моль/л | 30 мл | NaOH |
| Невідома амінокислота | твердий | чиста речовина | – | АК |
| Етилацетат: метанова кислота | рідина | 200:1 | | елюент |
| Бензоїлхлорид | рідина | чиста речовина | 10 мл | PhCOCl |
| Бензоїлгліцин | твердий | чиста речовина | 2 мг | PhCOGly |
| Бензоїлаланін | твердий | чиста речовина | 2 мг | PhCOAla |
| Бензоїласпарагін | твердий | чиста речовина | 2 мг | PhCOAsn |

Перелік обладнання та посуду на робочому місці

| Обладнання / посуд / допоміжні матеріали | Кількість, шт. |
|---|-----------------------|
| Лійка для рідин | 1 |
| Скляна паличка | 1 |
| Мірний циліндр, 50 мл | 1 |
| Стакан, 100 мл | 1 |
| Хроматографічна камера | 1 |
| Капіляр для ТШХ | 1 |
| Пластинка для ТШХ | 2 |
| Віала з кришкою, 40 мл | 1 |
| Віала з кришкою, 8 мл | 1 |
| Магнітний якір | 1 |
| Фільтр Шотта | 1 |
| Магнітна мішалка | 1 |
| Шприц, 5 мл | 1 |
| Чашка Петрі | 1 |
| Піпетка Пастера пластикова, 3 мл | 1 |
| Піпетка градуйована, 2 мл | 1 |
| Піпетка градуйована, 1 мл | 1 |
| Віала для етанолу, 10 мл | 1 |
| Груша гумова | 1 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |
| Шпатель | 1 |

Перелік обладнання загального користування

| Обладнання / додаткові матеріали | Кількість, шт. | |
|---|-----------------------|--------------------|
| Ваги | 3 | 1 (на лабораторію) |
| Сушильна шафа | 3 | 1 (на лабораторію) |
| Баня з охолоджувальною сумішшю | 3 | 1 (на лабораторію) |
| УФ-лампа для проявлення | 3 | 1 (на лабораторію) |
| Фен | 3 | 1 (на лабораторію) |
| Олівець | 4 | – |
| Лінійка | 4 | – |

Хід роботи

Стадія 1. Синтез

1. Помістіть магнітний якір у порожню віалу об'ємом 40 мл, вставте скляну лійку та розмістіть по центру магнітної мішалки.
2. Відміряйте за допомогою мірного циліндра 20 мл розчину NaOH.
3. Віала на робочому місці з написом «АК» вже містить точну наважку вихідної речовини. Перенесіть її вміст у віалу об'ємом 40 мл.
4. Використовуючи мірний циліндр з розчином NaOH, змийте залишки АК (~10 мл NaOH) зі стінок віали, де вона була, у віалу об'ємом 40 мл.
5. Увімкніть перемішування та задайте швидкість $1000 \text{ об} \cdot \text{хв}^{-1}$ (зверніться до викладача).
6. Додайте залишки розчину NaOH з мірного циліндра і перемішуйте до повного розчинення твердої фази.
7. Вимкніть перемішування, зніміть віалу з мішалки, щільно загвинтіть кришку і підпишіть її кодом свого робочого місця.
8. Помістіть віалу з розчином на баню з охолоджувальною сумішшю і витримайте 5 хвилин.
9. За цей час наберіть у шприц 2,5 мл бензоїлхлориду, закрийте голку ковпачком і встановіть вертикально.
10. Витягніть віалу з бані, встановіть по центру магнітної мішалки, відгвинтіть кришку та увімкніть перемішування.
11. Додавайте зі шприца бензоїлхлорид *по краплях* до реакційної суміші впродовж 5 хвилин.
12. Загвинтіть кришку і продовжуйте перемішування ще 60 хвилин (чекаючи, можете виконувати інші завдання).
13. Поки триває перемішування, зважте чашку Петрі, підпишіть її кодом свого робочого місця, запишіть масу у таблицю 1, промийте мірний циліндр.
14. За 60 хв вимкніть перемішування та перелийте реакційну масу у стакан. Відміряйте за допомогою мірного циліндра 20 мл *холодної* води й змийте залишки реакційної маси зі стінок віали у стакан.

15. Постійно перемішуючи скляною паличкою, додайте до реакційної маси розчин хлоридної кислоти порціями по 1 мл пластиковою піпеткою Пастера. Після початку утворення осаду відберіть краплю реакційної суміші скляною паличкою та з'ясуйте її рН з допомогою індикаторного паперу. Додавайте кислоту до досягнення рН ≤ 3 .

16. Залиште стакан на 5 хвилин.

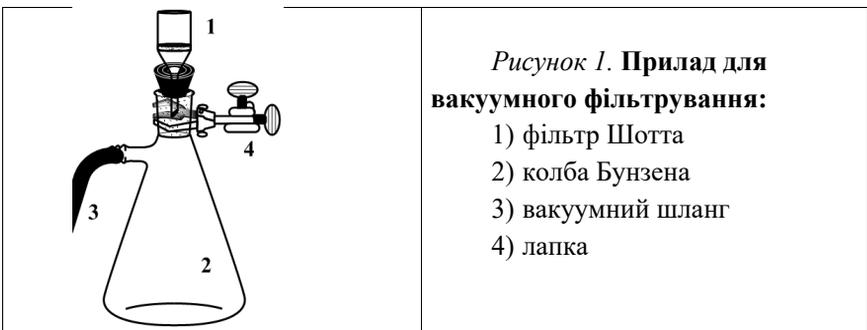
17. Через 5 хв відфільтруйте продукт, використовуючи прилад, зображений на рисунку 1. Для цього:

- встановіть фільтр Шотта на колбу Бунзена;
- перелийте реакційну суміш у фільтр Шотта, змийте залишки водою з промивалки (~10 мл), під'єднайте вакуум; за необхідності повторіть змивання;
- від'єднайте вакуум, налейте у фільтр дистильовану воду (приблизно на половину висоти), перемішайте шпателем до утворення однорідної суспензії; під'єднайте вакуум, відфільтруйте;
- повторіть промивання;
- залиште осад на фільтрі під вакуумом на 10 хвилин.

18. Відберіть ~2 мг продукту в порожню віалу об'ємом 8 мл (зважування не обов'язкове, орієнтуйтеся на об'єм речовин у віалах зі зразками).

19. Перенесіть продукт у чашку Петрі та здайте на висушування (зверніться до викладача).

Примітка. Процес висушування триває ~60 хв (чекаючи, можете виконувати інші завдання).



Стадія 2. Ідентифікація за допомогою ТШХ

Оскільки невідомо, яку АК було використано для синтезу, обчислити вихід бензоїлпохідної неможливо. Визначити вихідну АК можна за допомогою ТШХ, використовуючи стандартні зразки трьох «захищених» АК, один з яких ідентичний вашому продукту.

1. Знайдіть на робочому місці 3 віали з позначеннями PhCOAsn , PhCOGly та PhCOAla .

2. У віали зі зразками та віалу з вашим продуктом додайте по 1 мл етанолу градуйованою піпеткою об'ємом 1 мл, загвинтіть кришками й обережно перемішуйте до повного розчинення.

3. У віалу з капіляром налийте $\sim 2\text{--}3$ мл етанолу і *промийте капіляр*: торкніться поверхні рідини й перенесіть вміст капіляра на фільтрувальний папір. Повторіть процедуру.

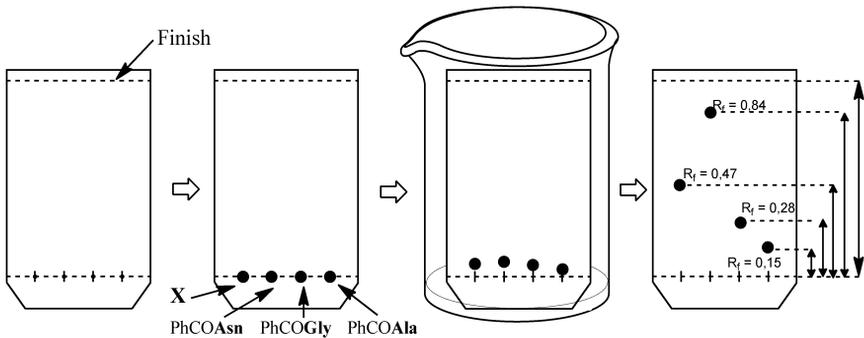
4. За допомогою градуйованої піпетки об'ємом 2 мл налийте у камеру для ТШХ 2 мл елюента, закрийте камеру та почекайте кілька хвилин для насичення камери парами розчинників.

5. На пластинці для ТШХ вже вказано лінії старту і фінішу. За допомогою олівця позначте 4 точки, рівновіддалені одна від одної та країв пластинки.

6. Наберіть у капіляр розчин вашого продукту і короткочасно торкніться *крайньої лівої точки* на лінії старту ТШХ пластинки, при цьому завдяки капілярним силам рідина самостійно потрапляє на пластинку. Діаметр утвореної плями не повинен перевищувати 3–4 мм. Промийте капіляр.

7. Повторіть процедуру для трьох інших розчинів у такому порядку: PhCOAsn , PhCOGly , PhCOAla .

8. Просушіть пластинку (фен, перша швидкість, 30 с), увімкніть УФ-випромінювач на режим 254 нм (положення 1) і піднесіть пластинку якомога ближче до віконця приладу. У місцях нанесення речовин мають бути 4 чітко помітні темні плями приблизно однакової інтенсивності (*в іншому випадку виконайте нанесення повторно для тих речовин, кількість яких помітно менша*).



9. Відкрийте кришку хроматографічної камери й за допомогою пінцета помістіть пластинку в камеру таким чином, щоб вона *не торкалась стінок* з боків та спереду. Закрийте кришку і стежте, поки фронт елюента не досягне лінії фінішу.

10. Витягніть пластинку з камери та, тримаючи сорбентом вниз, висушіть за допомогою фена (перша швидкість, 60 с).

11. Увімкніть УФ-випромінювач на режим 254 нм (положення 1) і піднесіть пластинку якомога ближче до віконця приладу. За допомогою олівця обведіть плями, що проявляються на пластинці під час УФ-опромінення.

12. Визначте олівцем центр кожної плями, виміряйте лінійкою відстань від центрів плям до лінії старту та від лінії старту до лінії фінішу. Співвідношення цих величин є R_f . Розрахуйте їх, перенесіть у зошит таблицю 1, внесіть результати.

13. Визначте формулу вашого продукту, порівнявши значення його R_f та R_f відомих речовин. Речовини вважаються ідентичними, якщо їх R_f збігаються.

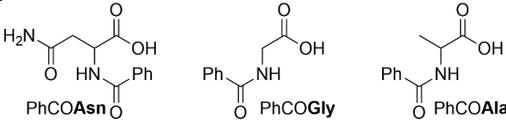
14. Зважте чашку Петрі з висушеним продуктом, розрахуйте його масу, результати запишіть у таблицю.

15. Розрахуйте вихід продукту. Для цього прийміть, що маса вихідної АК — 2,0 г, а бензоїлхлорид взято у надлишку. Визначте вихід, результати запишіть у таблицю.

16. Вклейте опрацьовану хроматограму у відповідну комірку таблиці (зверніться до викладача).

17. Дійдіть висновку щодо чистоти отриманого продукту.

Таблиця 1

| Параметр | | Значення |
|--|---|----------|
| Маса чашки Петрі, г | | |
| Маса чашки Петрі з продуктом, г | | |
| Маса продукту, г | | |
| ТШХ |  | |
| Речовина | R_f | |
| Продукт | | |
| PhCOAsn | | |
| PhCOGly | | |
| PhCOAla | | |
| Продукт є речовиною _____, його молярна маса | | |
| Вихід (%) | | |
| Висновок щодо чистоти отриманого продукту | | |
| Розрахунок: | | |

11.2. Кількісне визначення первинних ароматичних амінів.

Нітритометрія

Спробуйте себе у ролі працівника відділу вхідного контролю. Ваша задача — визначити вміст речовини у комерційному препараті сульфанілової кислоти. Метод базується на взаємодії нітритної кислоти у кислотному середовищі з первинними ароматичними амінами. Кінцева точка титрування визначається за наявністю надлишку HNO_2 у розчині, що руйнує індикатор, забарвлення якого зникає. Взаємодія відбувається відносно повільно, тож титрувати рекомендується зі швидкістю 1,2 мл/хв на початку титрування та 0,8 мл/хв — біля точки еквівалентності.

Оскільки натрій нітрит не є первинним стандартом, розчин точної концентрації неможливо приготувати з наважки. Тому перед використанням його необхідно стандартизувати, використовуючи розчин точної концентрації іншої речовини, що стехіометрично реагує із нітрит-іоном. Таким реагентом є церій(IV)-амоній нітрат $((\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6, \text{CAN})$ у кислому середовищі в присутності індикатора фероїну.

Реактиви на робочому місці

| Назва | Стан | Концентрація | Кількість | Маркування |
|----------------------------------|---------------|--|-----------------|-------------------------|
| Натрій нітрит | водний розчин | _____ моль/л | 150 мл | NaNO_2 |
| Церій(IV)-амоній нітрат | водний розчин | 0,1 моль/л / 1 моль/л $\cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ | 100 мл | CAN |
| Сульфанілова кислота | — | — | — | задача |
| Натрій гідрогенкарбонат | | чиста речовина | ~0,3 г | |
| Фероїн | водний розчин | | 8 мл | фероїн |
| Тропеолін 00 + метиленовий синій | водний розчин | 1,8 % + 1,25 % | 8 мл | змішаний індикатор |
| Калій бромід | твердий | чиста речовина | 4 \cdot 0,5 г | KBr |
| Сульфатна кислота | водний розчин | 1 моль/л | 20 мл | H_2SO_4 |
| Хлоридна кислота | водний розчин | 10 % | 100 мл | |

Перелік обладнання та посуду на робочому місці

| Обладнання / посуд | Кількість, шт. |
|------------------------------|----------------|
| Задача у мірній колбі, 50 мл | 1 |
| Колба плоскодонна, 250 мл | 2 |
| Піпетка Мора, 10 мл | 1 |

| Обладнання / посуд | Кількість, шт. |
|----------------------------------|----------------|
| Піпетка градуйована, 1 мл | 1 |
| Піпетка градуйована, 10 мл | 1 |
| Лійка для бюретки | 1 |
| Піпетка Пастера пластикова | 2 |
| Бюретка, 25 мл | 1 |
| Штатив з лапкою | 1 |
| Груша гумова | 1 |
| Мірний циліндр, 25 мл | 1 |
| Секундомір | 1 |
| Стакан, 50 мл | 3 |
| Промивалка з дистильованою водою | 1 |

Хід роботи

Стадія 1. Стандартизація робочого розчину NaNO_2

1. Наповніть бюретку робочим розчином **CAN** за допомогою лійки (носик бюретки не має містити повітря). Доведіть рівень робочого розчину до позначки «0» за нижнім меніском.

2. Відберіть аліквоту 5 мл розчину NaNO_2 за допомогою піпетки Мора у плоскодонну колбу для титрування. Додайте 1 мл розчину сульфатної кислоти з молярною концентрацією 1 моль/л градуйованою піпеткою об'ємом 1 мл, а також 15 мл води мірним циліндром та 3–4 краплі розчину індикатора фероїну піпеткою Пастера.

3. Повільно титруйте розчин до переходу червоного забарвлення у блакитне або зелено-блакитне, що не змінюється протягом двох хвилин.

4. Повторіть пункти 1–3 ще два-три рази.

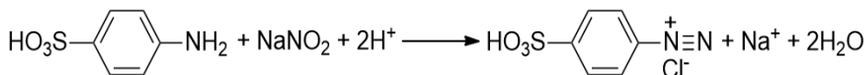
5. Результати запишіть у таблицю 2.

6. Розрахуйте концентрацію NaNO_2 і запишіть у форматі $X,XX \cdot 10^{XX}$ моль/л.

Таблиця 2

| Номер титрування | $V_a(\text{NaNO}_2)$, мл | $V(\text{CAN})$, мл | $V(\text{CAN})$, обраний для розр., мл | $C(\text{NaNO}_2)$, моль/л |
|--------------------|---------------------------|----------------------|---|-----------------------------|
| | 5,0 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Розрахунок: | | | | |

Стадія 2. Визначення вмісту сульфанілової кислоти у препараті



1. Мірна колба об'ємом 50 мл вже містить наважку сульфанілової кислоти та натрій гідрогенкарбонат. Додайте малими порціями (*обережно, спінювання!*) у колбу ~20 мл теплої води (50–60 °C) та перемішуйте вміст до припинення виділення газу і повного розчинення твердої фази. Використовуючи градуйовану піпетку об'ємом 10 мл, доведіть рівень рідини у колбі розчином хлоридної кислоти (масова частка — 10 %) до мітки. Заткніть колбу корком і ретельно перемішайте. *Запишіть номер варіанта в комірку на початку завдання.*

2. Вилийте з бюретки попередній розчин. Двічі промийте її дистильованою водою й один раз робочим розчином NaNO_2 .

3. Наповніть бюретку робочим розчином NaNO_2 за допомогою лійки (носик бюретки не має містити повітря). Доведіть рівень робочого розчину до позначки «0» за нижнім меніском.

4. Частину розчину з мірної колби перенесіть у сухий стакан і відберіть аліквоту 10 мл розчину сульфанілової кислоти за допомогою піпетки Мора у плоскодонну колбу для титрування. Якщо з часом сульфанілова кислота починає кристалізуватись, розчин необхідно підігріти до гомогенізації розчину (*зверніться до викладача*). Додайте у колбу ~0,5 г калій броміду (наважка в пластиковій пробірці), 10–15 мл

дистильованої води за допомогою мірного циліндра і 10–12 крапель розчину змішаного індикатора (тропеолін 00 + метиленовий синій) піпеткою Пастера.

5. Повільно (~1,2 мл/хв) титруйте робочим розчином NaNO_2 до переходу забарвлення з червоно-фіалкового до блакитного. Поблизу кінцевої точки титрування реакція відбувається повільно, тож рекомендована швидкість додавання 0,8 мл/хв.

6. Повторіть пункти 3–5 ще 2–3 рази. Перенесіть у зошит таблицю 3 і зафіксуйте в ній результати.

7. Використовуючи отримані експериментальні дані, розрахуйте масу сульфанілової кислоти, що містилась у мірній колбі, результати запишіть у форматі $X,XX \cdot 10^{XX}$ г. Прийміть молярну масу кислоти як 173,19 г/моль.

Таблиця 3

| Номер титрування | $V_3(\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H})$, мл | $V(\text{NaNO}_2)$, мл | $V(\text{NaNO}_2)$, обраний для розр., мл | $m(\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H})$, г |
|--------------------|--|-------------------------|--|---|
| | 10,0 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Розрахунок: | | | | |

ВІДПОВІДІ

8 клас

I теоретичний тур

8.1. Завдання:

1. В.

2. Чорно-сіра тверда речовина перетворилася на фіолетову пару — сублімацію йоду. Жовтувата речовина з металічним блиском, яка не зазнала перетворень під час нагрівання, — золото.

3. Залізо — Fe (зібралось на магніті), йод — I₂, золото — Au.

4. SO₄²⁻ + Ba²⁺ = BaSO₄↓ — білий, не розчинний у кислотах осад.
Ag⁺ + Cl⁻ = AgCl↓ — білий сирнистий осад.

5. Натрій сульфат — Na₂SO₄, літій хлорид — LiCl.

6. Ag⁺ + Cl⁻ = AgCl↓.

$n(\text{AgCl}) = 3,38 \text{ г} / 143,32 \text{ г/моль} = 0,0236 \text{ моль}$.

Сумарна кількість речовини: $n(\text{LiCl}) = 2 \cdot n(\text{AgCl}) = 0,0472 \text{ моль}$,
оскільки реакцію проводили з половиною суміші.

$m(\text{LiCl}) = 0,0472 \text{ моль} \cdot 42,39 \text{ г/моль} = 2,00 \text{ г}$.

Сумарна маса суміші: $m = 2 + 0,5 + 3 + 2,5 + 2 = 10 \text{ (г)}$.

Отже, $w(\text{LiCl}) = 2 \text{ г} / 10 \text{ г} \cdot 100 \% = 20 \%$.

8.2. Завдання:

1. Кожну масову частку можна розрахувати за такою формулою:

$$w(X) = w_A(X) \cdot w(A) + w_B(X) \cdot w(B) + \dots,$$

де $w_A(X)$ — масова частка оксиду X у компоненті A;

$w(A)$ — масова частка компонента A в сухому цементі.

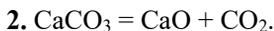
Наприклад, для Al₂O₃ розрахунок буде таким:

$$\begin{aligned} w(\text{Al}_2\text{O}_3) &= w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) = \\ &= \frac{2 \cdot 26,98 + 3 \cdot 16}{2 \cdot 26,98 + 3 \cdot 16 + 3 \cdot (40,08 + 16)} \cdot 0,05 + \\ &+ \frac{2 \cdot 26,98 + 3 \cdot 16}{2 \cdot 26,98 + 3 \cdot 16 + 4 \cdot (40,08 + 16) + 55,85 \cdot 2 + 3 \cdot 16} \cdot 0,1 = 3,98 \%. \\ w(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 3,29 \%. \end{aligned}$$

$$w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 3,98 \%$$

$$w(\text{SiO}_2) = 17,93 \%$$

$$w(\text{CaO}) = 49,8 \%$$



3. Використовуючи відповіді до завдання 1, масу магнетиту і шлаку можна порахувати з масових часток:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = w(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot m = 3,29 \text{ т.}$$

$$m(\text{шлак}) = w(\text{шлак}) \cdot m = 25 \text{ т.}$$

Масу кальциту і каолініту можна порахувати за допомогою рівнянь реакцій розкладання, оскільки ці мінерали — єдине джерело CaO і Al₂O₃.

Приклад для Al₂O₃:

$$m_{\text{необх}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot m = 3,98 \text{ т.}$$

$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = m/M = 39$ кмоль = $n(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$ за рівнянням реакції,

$$m(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4) = 10,08 \text{ т.}$$

Так само:

$$m(\text{CaCO}_3) = 88,88 \text{ т.}$$

Частина SiO₂ утворилася після розкладання каолініту, тому:

$$n(\text{SiO}_2) = mw/M - 2n(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4) = 220 \text{ кмоль,}$$

$$m(\text{SiO}_2) = 13,24 \text{ т.}$$



8.3. Завдання:

1. Оскільки **X** — проста металічна речовина, то у разі сполучення з I₂ утворюється йодид **A**. Тоді:

$$\frac{M_e(\text{X})}{126,9 + M_e(\text{X})} = 0,4025 \Rightarrow M_e(\text{X}) = 85,48 \frac{\text{г} - \text{екв}}{\text{моль}} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \mathbf{X} — \text{Rb}, \mathbf{A} — \text{RbI}, \mathbf{B} — \text{RbBr}, \mathbf{C} — \text{RbCl}, \mathbf{D} — \text{Rb}_2\text{S}, \mathbf{E} — \text{Rb}_2\text{SO}_4$
(BaSO₄ — білий осад).

Очевидно, що **J** — нерозчинний гідроксид з загальною формулою M(OH)_x,

$$w(\text{OH}) = 100 - 34,6 = 65,4 \%,$$

$$M(\text{M}(\text{OH})_x) = \frac{17,01 \cdot x}{0,654} \text{ г/моль, за } x = 3 \text{ } M(\text{M}) = 27 \text{ г/моль, що відповідає Al.}$$

J – $\text{Al}(\text{OH})_3$, **G** – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

F – кристалогідрат $\text{RbAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$,

$$M(\text{F}) = \frac{85,47 + 26,98 + 2 \cdot (32,07 + 64)}{1 - 0,4152} = 520,84 \text{ г/моль},$$

$$n = \frac{520,84 - 304,59}{18,02} = 12, \text{ отже, } \mathbf{F} \text{ — } \text{RbAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}.$$

| | | | | |
|--|---|----------|-------------------|---------------------------------|
| A | B | C | D | E |
| RbI | RbBr | RbCl | Rb ₂ S | Rb ₂ SO ₄ |
| F | G | H | I | J |
| RbAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O | Al ₂ (SO ₄) ₃ | RbH | RbNH ₂ | Al(OH) ₃ |
| K | | | X | M |
| Na[Al(OH) ₄ (H ₂ O) ₂], (приймаються також відповіді Na[Al(OH) ₄], Na ₃ [Al(OH) ₆]) | | | Rb | Al |

2.

| | |
|---|---|
| $\text{X} + \text{I}_2 \rightarrow \text{A}$ | $2\text{Rb} + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{RbI}$ |
| $\text{A} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{B}$ | $2\text{RbI} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{RbBr} + \text{I}_2$ |
| $\text{B} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}$ | $2\text{RbBr} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{RbCl} + \text{Br}_2$ |
| $\text{X} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}$ | $2\text{Rb} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{RbCl}$ |
| $\text{X} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}$ | $2\text{Rb} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{RbH}$ |
| $\text{H} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{I}$ | $\text{RbH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{RbNH}_2 + \text{H}_2$ |
| $\text{X} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{I}$ | $2\text{Rb} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{RbNH}_2 + \text{H}_2$ |
| $\text{X} + \text{S} \rightarrow \text{D}$ | $2\text{Rb} + \text{S} \rightarrow \text{Rb}_2\text{S}$ |
| $\text{D} + \text{O}_2 \rightarrow \text{E}$ | $\text{Rb}_2\text{S} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Rb}_2\text{SO}_4$ |
| $\text{E} + \text{G} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{F}$ | $\text{Rb}_2\text{SO}_4 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 24\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{RbAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{F} \rightarrow$ | $\text{RbAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{RbAl}(\text{SO}_4)_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{E} + \text{BaCl}_2 \rightarrow$ | $\text{Rb}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{RbCl}$ |
| $\text{G} + \text{NaOH} \rightarrow \text{J}$ | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4$ |
| $\text{J} + \text{NaOH} \rightarrow \text{K}$ | $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$ |

3. Атом, що містить 19 протонів у ядрі, — це Калій.

Рубідій перебуває з ним в одній групі періодичної системи хімічних елементів, проте має більше енергетичних рівнів. Відірвати один електрон

з 5 рівня легше, ніж з 4. Енергія йонізації для Рубідію є меншою, відповідно металічні властивості є більш вираженими.

4. У процесі нагрівання електрони поглинають енергію і переходять у збуджений стан. Повертаючись до основного стану, вивільнюється енергія, що випромінюється у вигляді кванта світла певної довжини хвилі, якій відповідає конкретний колір.

8.4. Завдання:

1.

| | H | D | T |
|----------------------|----------|----------|----------|
| Кількість протонів | 1 | 1 | 1 |
| Кількість нейтронів | 0 | 1 | 2 |
| Кількість електронів | 1 | 1 | 1 |

$$2. M_{\text{сер}} = 3/6 \cdot M(\text{H}_2) + 2/6 \cdot M(\text{D}_2) + 1/6 \cdot M(\text{T}_2) = 3,33 \text{ г/моль.}$$

3. Нехай x — це молярна частка ^1H у природному Гідрогені, тоді $(1-x)$ — молярна частка D .

$$x \cdot 1 + (1-x) \cdot 2 = 1,00794.$$

$$x = 0,9921.$$

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| $x(^1\text{H}) = 99,21 \%$ | $x(\text{D}) = 0,79 \%$ |
|----------------------------|-------------------------|

4.

| A | B | C | D |
|---------------|--------------|---------------|---------------|
| ^2He | ^2H | ^3He | ^4He |

5. Термоядерні реакції потребують високих температур і тиску, які можливі лише в зірках чи термоядерній бомбі.

6.

| E | F |
|---------------|---------------|
| ^7Be | ^7Li |

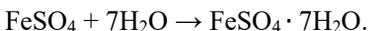
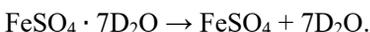
7. 159 днів — це приблизно 3 періоди напіврозпаду ${}^7\text{Be}$. Таким чином, кількість зразка зменшиться в 8 разів, отже, розпадеться 14 мг, а залишиться 2 мг.

Порахуємо кількість ядер через число Авогадро:

$$N = \nu \cdot N_A = m \cdot N_A / M = 1,2 \cdot 10^{21} \text{ ядер.}$$

8.5. Завдання:

1. **A** — $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{D}_2\text{O}$; **B** — FeSO_4 .



Зменшення маси наважки після прожарювання пов'язане з втратою води. Тоді сполука **B** має бути безводним FeSO_4 , бо з неї отримують залізний купорос. Перевіримо:

$$M(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{n(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{B}) \cdot M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})}{m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{2,6005 \cdot 278,02}{4,759} = 151,92 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

Отже, **B** — FeSO_4 .

Знайдемо молекулярну масу **A**:

$$\begin{aligned} M(\text{A}) &= \frac{m(\text{A})}{n(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot 2} = \frac{m(\text{A}) \cdot M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})}{m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{10 \cdot 278,02}{4,759 \cdot 2} = 292,1 \frac{\text{г}}{\text{моль}}. \end{aligned}$$

Такий молекулярній масі не відповідає жодний кристалогідрат, що має формулу: $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

Проте, якщо врахувати колір сполуки й різницю в молекулярних масах з $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (14,08 г/моль), можна дійти висновку, що **A** — це $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{D}_2\text{O}$.

2. Розглянемо насичений розчин за 15 °С.

У 10 г води розчиняється 2,88 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, тому в кінцевому розчині масою 12,88 г міститься:

$$m(\text{FeSO}_4) = 2,88 \cdot w(\text{FeSO}_4) = 1,574 \text{ г.}$$

Нехай в осад випаде x моль залізного купоросу. Тоді в кінцевому розчині:

$$m(\text{FeSO}_4) = m_{\text{поч}}(\text{FeSO}_4) - m_{\text{осад}}(\text{FeSO}_4) = 2,6 - 151,92x;$$

$$m_{\text{розч}} = m_{\text{поч}} - m_{\text{осад}}(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 2,6 + 7 - 278,03x.$$

Отримуємо рівняння:

$$\frac{1,574}{12,88} = \frac{2,6 - 151,92x}{9,6 - 278,03x}$$

$$x = 0,0121 \text{ моль, } m_{\text{осад}}(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 3,36 \text{ г.}$$

3.

| | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|-------------------------|
| FeSO ₄ · 4H ₂ O | CoSO ₄ · 6D ₂ O | | CaSO ₄ · 0,5H ₂ O | LiOH · H ₂ O |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|-------------------------|

8.6. Завдання:

1. За описом елемент **A** — Сульфур. Під час взаємодії сірки з металами утворюються сульфіди, отже **B** — ZnS.

Під час його спалювання утворюється SO₂, що згодом окиснюється до SO₃. Отже, **C** — SO₂, а **D** — SO₃. Каталізатором для цього окиснення є V₂O₅, що також можливо підтвердити розрахунком масових часток.

Позначимо невідомий елемент як Σ, тоді для оксидів Σ_nO_m масова частка Оксигену обраховується за формулою:

$$w(O) = \frac{Ar(\Sigma) \cdot n}{Ar(\Sigma) \cdot n + Ar(O) \cdot m} \cdot 100 \% = 56,02 \%$$

У таблиці наведено всі можливі комбінації з різними значеннями *n* та *m*, для яких розраховані A_r, в результаті чого стає зрозумілим, що правильним є лише один варіант.

| Формула | A _r (Σ) | Елемент Σ |
|-----------------------------------|--------------------|-----------|
| Σ ₂ O | 10,19 | — |
| ΣO | 20,38 | — |
| Σ ₂ O ₃ | 30,57 | — |
| ΣO ₂ | 40,76 | — |
| Σ₂O₅ | 50,95 | V |
| ΣO ₃ | 61,14 | — |
| Σ ₂ O ₇ | 71,33 | — |
| ΣO ₄ | 81,52 | — |

Таким чином, **X** — V₂O₅.

Під час гідролізу SO₃ утворюється сульфатна кислота, тому **E** — H₂SO₄. У реакції з міддю вона є концентрованою, отже, розчиняє метал з утворенням сульфату, тобто **G** — CuSO₄, у разі оброблення купрум

сульфату розчином барій гідроксиду в результаті реакції обміну утворюється осад нерозчинного барій сульфату, отже, **F** — BaSO_4 . Перетворення H_2SO_4 на BaSO_4 в одну стадію можливе з використанням барію, тобто метал **Y** — Ba . У результаті реакції сульфатної кислоти з натрій хлоридом утворюється натрій сульфат, отже, **H** — Na_2SO_4 . Таким чином, солі **F**, **G**, **H** справді мають однакові аніони та є сульфатами. У разі окиснення натрій сульфід утворюється $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Це можливо перевірити розрахунком.

| Na | S | O |
|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 29,09 % | 100 % – (29,09 + 30,35) % | 30,35 % |
| 29,09 / 23 | 40,56 / 32,07 | 30,35 / 16 |
| 1,2648 | 1,2648 | 1,8969 |
| 1,2648 / 1,2648 | 1,2648 / 1,2648 | 1,8969 / 1,2648 |
| 1 | 1 | 1,5 |
| 2 | 2 | 3 |

Розрахунок підтвердив припущення, отже, **K** — $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. У процесі реакції натрій тіосульфату з йодом утворюється $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$. Доходимо такого висновку на підставі того, що для повного перетворення **K** на **L** використовується певна кількість йоду, причому реакція є кількісною. Для того, щоб розуміти, у якому співвідношенні реагували речовини, розрахуємо кількість кожної речовини:

$$n(\text{I}_2) = c(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) = 0,05 \text{ моль/л} \cdot 0,020 \text{ л} = 0,001 \text{ моль},$$

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,020 \text{ л} = 0,002 \text{ моль}.$$

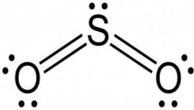
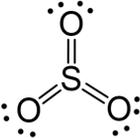
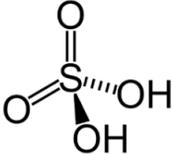
Отже, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ і йод реагували у співвідношенні 2:1, що відповідає утворенню аніона $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$. Виконавши розрахунок, можна переконатися, що $w(\text{S})$ у $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ відповідає 47,46 %. Таким чином, **L** — $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | K | L | X | Y |
|---|-----|-----------------|-----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---|---|-------------------------------|----|
| S | ZnS | SO ₂ | SO ₃ | H ₂ SO ₄ | BaSO ₄ | CuSO ₄ | Na ₂ SO ₄ | Na ₂ S | Na ₂ S ₂ O ₃ | Na ₂ S ₄ O ₆ | V ₂ O ₅ | Ba |

2.

| | |
|----|---|
| 1 | $\text{Zn} + \text{S} \Rightarrow \text{ZnS}$ |
| 2 | $2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 \Rightarrow 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2$ |
| 3 | $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{SO}_3$ |
| 4 | $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ |
| 5 | $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ba} \Rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{H}_2$ |
| 6 | $2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Cu} \Rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| 7 | $\text{CuSO}_4 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{Cu}(\text{OH})_2$ |
| 8 | $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaCl} \Rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$ |
| 9 | $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{C} \Rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 4\text{CO}$ |
| 10 | $2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$ |
| 11 | $2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2\text{NaI}$ |
| 12 | $2\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 6\text{NaOH} \Rightarrow 3\text{S} + 5\text{Na}_2\text{SO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ |

3.

| C (SO_2) | D (SO_3) | E (H_2SO_4) |
|---|---|---|
|  |  |  |

II теоретичний тур

8.1. Завдання:

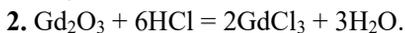
1. $c = \rho w / M$, звідси отримуємо: $M = 36,5$ (г/моль), що відповідає HCl — речовина **C**.

Знаючи, що сполука **A** — хлорид, а також з огляду на розрахунки доходимо висновку, що сполука **A** — GdCl_3 , а метал **G** — Gd .

$$w(\text{Cl}) = 100 - 59,65 = 40,35 \%$$

$$w = n \cdot Ar / Mr \rightarrow Mr = n \cdot Ar / W = 87,83n, \text{ за } n = 3 \cdot Mr = 263,5.$$

Сполука **B** — Gd_2O_3 .



3. $w = n \cdot M(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{D}) \rightarrow M(\text{D}) = n \cdot M(\text{H}_2\text{O}) / w = 61,92n$,
за $n = 6 \cdot M(\text{D}) = 371,5 - \text{GdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

4. $w = m(\text{A}) / m(\text{p-ну}) \rightarrow m(\text{p-ну}) = m(\text{A}) / W$.

3 формули кристалогідрата визначасмо масу кристалічної води та солі:

$x / 263,5 = 3,525 - x / 108$, звідси: $x = 2,5 \text{ г} - m(\text{A})$, $m(\text{H}_2\text{O}_{\text{крис.}}) =$
 $= 3,525 - 2,5 = 1,025 \text{ г}$.

$m(\text{p-ну}) = 2,5 / 0,02024 = 123,518 \text{ г}$, $m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) = 123,518 - 3,525 =$
 $= 120 \text{ мл}$.

8.2. Завдання:

1. Сіль **C** — KClO_3 , отже, молярна маса солі **B** — $138,5 \text{ г/моль}$,
що відповідає KClO_4 . Таким чином, кислота **A** — HClO_4 (підтверджується
масовою часткою Оксигену).

| | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| A — HClO_4 | B — KClO_4 | C — KClO_3 | D — Cl_2 | P — NH_4ClO_4 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|

2. $\text{HClO}_4 + \text{NH}_4\text{HCO}_3 = \text{NH}_4\text{ClO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

$2\text{KClO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{HClO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$.

$4\text{KClO}_3 = 3\text{KClO}_4 + \text{KCl}$.

$6\text{KOH} + 3\text{Cl}_2 = 5\text{KCl} + \text{KClO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$.

3. **E** — NO , **F** — N_2O .

$2\text{NH}_4\text{ClO}_4 = \text{Cl}_2 + \text{O}_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$.

$4\text{NH}_4\text{ClO}_4 = 2\text{Cl}_2 + 3\text{O}_2 + 2\text{N}_2\text{O} + 8\text{H}_2\text{O}$.

4. $E = 4,53 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$.

$E = 4,095 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$ (для молярної маси 130 г/моль).

8.3. Завдання:

1. Рівняння реакції, що відбувається в колбі:

$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$.

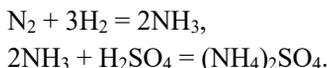
Розглянемо зміну тисків у системі. Нехай $p(\text{O}_2) = x$, тоді додано
 $p(\text{CO}) = 2x$, а $p(\text{CO}_2) = 2x$.

$\Delta P = p(\text{CO}_2) + p(\text{CO}) - p(\text{O}_2) = x = p(\text{O}_2) = 71,79 \text{ кПа}$.

Тоді: $m(\text{O}_2) = \frac{M_r(\text{O}_2) \cdot p(\text{O}_2) \cdot V}{R \cdot T} = 3,52 \text{ г}$.

2. Рівняння реакцій:

$\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$,



Сульфатну кислоту додали, щоб прореагувала з амоніаком і він не впливав на кінцевий загальний тиск системи.

Розглянемо зміну тисків у системі. Нехай $p(\text{N}_2) = x$, тоді $p(\text{H}_2) = 6x$, $p(\text{CO}_2) = 143,58$ кПа (з п. 1).

$$\Delta p = p(\text{H}_2) / 2 - p(\text{N}_2) - p(\text{CO}_2) = 2x - 143,58 = p_{\text{кінц}2} - p_{\text{кінц}1} =$$

$$= 104,43 \text{ кПа} \Rightarrow x = 52,22 \text{ кПа}.$$

Отже, $p(\text{N}_2) = 52,22$ кПа, тоді:

$$m(\text{N}_2) = \frac{M_r(\text{N}_2) \cdot p(\text{N}_2) \cdot V}{R \cdot T} = 2,24 \text{ г}.$$

Після цього знайдемо $m(\text{Ar})$:

$$p(\text{Ar}) = p_{\text{поч}} - (p(\text{O}_2) + p(\text{N}_2)) = 78,31 \text{ кПа},$$

$$m(\text{Ar}) = \frac{M_r(\text{Ar}) \cdot p(\text{Ar}) \cdot V}{R \cdot T} = 4,79 \text{ г}.$$

3. Не змінилась.

4. Ar.

8.4. Завдання:

1. $E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 14 \cdot 280$ кДж/моль.

2. Що більший початковий заряд атома, то більше енергії треба докласти, щоб відірвати ще один електрон, адже позитивний і негативний заряди притягуються одне до одного. Математично це підтверджує закон Кулона, тому: $E = k_e \cdot q_1 \cdot q_2 / r_2$. Оскільки це універсальний закон, то тенденція не буде залежати від елемента.

3. Для того, щоб відірвати п'ятий електрон Карбону, треба повністю зруйнувати заповнений перший електронний рівень, що енергетично не вигідно, бо енергія електронів першого електронного рівня набагато менша, ніж другого.

4. Енергії йонізації Силіцію будуть менші, ніж відповідні енергії йонізації Карбону, тому що у Силіцію електрони розташовані далі від ядра й утримуються менш міцно.

5. Елемент **X** перебуває в 3 групі, бо є дуже великий стрибок у четвертій енергії йонізації, який відповідає видаленню електрона з нижчого електронного рівня.

$$6. E = E_{\text{йон}} - E_{\text{сп}} = 167 \text{ кДж/моль. Отже, поглинається } 167 \text{ кДж/моль.}$$

8.5. Завдання:

1. З того, що **A₁** — проста речовина, яка реагує з хлором з утворенням **A₃**, можемо дійти висновку, що **A₃** — хлорид, тобто бінарна сполука, один з елементів якої — Хлор. Позначимо через **E** невідомий елемент. Тоді **ECl_n** — це **A₃**.

$$w(E) = \frac{M_r(E)}{M_r(E) + 35,45n} = 0,0923,$$

$$M_r(E)(1 - 0,0923) = 35,45 \cdot 0,0923 \cdot n, 0,9077M_r(E) = 3,2720n,$$

$$M_r(E) = 3,60n.$$

| Валентність (n) | M _r (E) | Елемент (E) |
|-----------------|--------------------|-------------|
| 1 | 3,6 | — |
| 2 | 7,2 | — |
| 3 | 10,8 | B |
| 4 | 14,4 | N? |
| 5 | 18 | — |
| 6 | 21,6 | — |
| 7 | 25,2 | — |
| 8 | 28,8 | — |

Доходимо висновку, що невідомий елемент — Бор. **A₂** — бор оксид. Знайдемо формулу **A₄**. Маємо Na_aH_bВ_cO_d, тоді:

$$\begin{aligned} a \div b \div c \div d &= \frac{w(\text{Na})}{M_r(\text{Na})} \div \frac{w(\text{H})}{M_r(\text{H})} \div \frac{w(\text{B})}{M_r(\text{B})} \div \frac{w(\text{O})}{M_r(\text{O})} = \\ &= \frac{0,2258}{23} \div \frac{0,0396}{1} \div \frac{1 - 0,2258 - 0,0396 - 0,6286}{10,8} \div \\ &\div \frac{0,6285}{16} = 0,0098 \div 0,0396 \div 0,0098 \div 0,0393 = 1 \div 4 \div 1 \div 4. \end{aligned}$$

Отже, NaH₄BO₄, тобто Na[B(OH)₄].

Оскільки \mathbf{B}_2 і \mathbf{B}_3 — бінарні сполуки та є газами, а \mathbf{B}_1 — проста речовина, що утворює \mathbf{B}_2 після реакції з киснем, і більше ніяких речовин на схемі немає, то \mathbf{B}_2 і \mathbf{B}_3 є оксидами. Тоді (\mathbf{E}' — невідомий елемент, що утворює \mathbf{B}_1).

$$\frac{M(\mathbf{B}_2)}{M(\mathbf{B}_3)} = \frac{M(\mathbf{E}') + 16(m + l)}{M(\mathbf{E}') + 16m} = 1,57,$$

$$0,57M(\mathbf{E}') = 16l - 9,12m,$$

$$M(\mathbf{E}') = 28l - 16m.$$

Записуємо масу \mathbf{B}_2 так, бо вона більша за масу \mathbf{B}_3 на деякий множник, помножений на 16, тобто на $16l$, оскільки оксид \mathbf{B}_2 має більше Оксигену в його складі. Якщо $l = m$, а також з огляду на хімічні властивості цих сполук, доходимо висновку, що \mathbf{B}_1 — C, \mathbf{B}_2 — CO_2 , \mathbf{B}_3 — CO.

З тверджень, що \mathbf{D}_1 — проста речовина і рідина бурого кольору, \mathbf{X}_1 під час вибуху реагує з киснем, а також з \mathbf{D}_1 , утворюючи кислоту \mathbf{D}_2 , яка реагує з хлором з виділенням знову-таки простої речовини \mathbf{D}_1 , доходимо висновку, що ці речовини — бром, водень і бромоводень.

| | | | | | |
|----------------|------------------------|----------------|------------------------------------|----------------------|----------------|
| \mathbf{A}_1 | \mathbf{A}_2 | \mathbf{A}_3 | \mathbf{A}_4 | \mathbf{B}_1 | \mathbf{B}_2 |
| B | B_2O_3 | BCl_3 | $\text{Na}[\text{B}(\text{OH})_4]$ | C | CO_2 |
| \mathbf{B}_3 | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{X}_1 | \mathbf{X}_2 | |
| CO | Br_2 | HBr | H_2 | H_2O | |

2.

| | |
|----|---|
| 1 | $4\text{B} + 3\text{O}_2 = 2\text{B}_2\text{O}_3$ |
| 2 | $2\text{B} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{BCl}_3$ |
| 3 | $\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{BCl}_3 + 3\text{CO}$ |
| 4 | $\text{B}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{B}(\text{OH})_4]$ |
| 5 | $\text{BCl}_3 + 4\text{NaOH} = \text{Na}[\text{B}(\text{OH})_4] + 3\text{NaCl}$ |
| 6 | $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ |
| 7 | $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ |
| 8 | $\text{Br}_2 + \text{H}_2 = 2\text{HBr}$ |
| 9 | $2\text{HBr} + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl} + \text{Br}_2$ |
| 10 | $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ |

3. Каталізатор — це речовина, яка збільшує швидкість хімічної реакції, але при цьому не витрачається під час реакції.

8.6. Завдання:

1. За описом йдеться про Фосфор і його алотропну модифікацію — білий фосфор **X** — P_4 . Згорання Фосфору в Хлорі відбувається з утворенням спочатку **A** — PCl_3 , а далі **B** — PCl_5 . За умови повного згорання фосфору в кисні утворюється оксид **J** — P_4O_{10} . Речовина **C** містить у складі 3 елементи, отже, третім є Cl.

$$w(Cl) = 100 - 10,44 - 20,20 = 69,36 \%$$

Виведемо формулу.

| P | O | Cl |
|---------------|------------|-----------------|
| 20,20 / 30,97 | 10,44 / 16 | 69,36 / 36,45 |
| 0,6522 | 0,6525 | 1,9565 / 0,6522 |
| 1 | 1 | 3 |

Отже, **C** — $POCl_3$. Для нього гідроліз відбувається так само, як і для пентахлориду — без зміни ступенів окиснення. **D** — H_3PO_4 .

Диспропорціонування відбувається з утворенням двох речовин із меншим і більшим ступенем окиснення, ніж вихідний. Тож **I** — PH_3 .

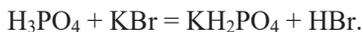
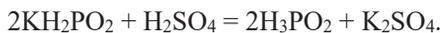
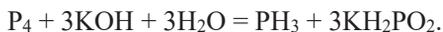
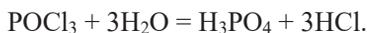
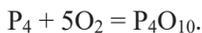
Знаючи $w(O)$, можемо розрахувати $Mr = \frac{n \cdot M(O) \cdot 100 \%}{w}$ для **E** і, віднімаючи від неї nO і P , визначити речовину.

| $n(O)$ | Mr | $Mr - M(P) - nM(O)$ |
|--------|--------|---------------------|
| 1 | 52,03 | 5,06 |
| 2 | 104,07 | 41,09 = $1K + 2H$ |
| 3 | 156,10 | 77,12 |

Єдиним слушним варіантом є KH_2PO_2 , тоді **E** — KH_2PO_2 , **F** — H_3PO_2 .

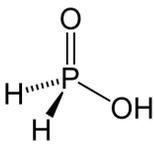
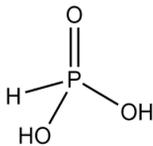
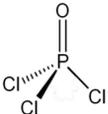
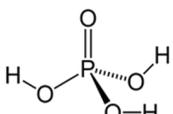
Наступна реакція теж є реакцією диспропорціонування. За наведеним алгоритмом для **E** отримаємо **G** — H_3PO_3 . Для **H** за цим самим алгоритмом, враховуючи, що це ортофосфат, отримаємо **H** — KH_2PO_4 .

| X | A | B | C | D | E |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| P ₄ | PCl ₃ | PCl ₅ | POCl ₃ | H ₃ PO ₄ | KH ₂ PO ₂ |
| F | G | H | I | | J |
| H ₃ PO ₂ | H ₃ PO ₃ | KH ₂ PO ₄ | PH ₃ | | P ₄ O ₁₀ |



3. Алотропні модифікації — різні прості речовини, утворені одним елементом. Білий фосфор, червоний фосфор, чорний фосфор.

4.

| | | |
|---|---|--|
|  0, sp^3 |  +1, sp^3 |  +3, sp^3 |
|  +5, sp^3 |  +5, sp^3 | |

Практичний тур

8.1. Розділення суміші твердих речовин

Суміш містить розчинну у воді неорганічну сіль (K_2CrO_4 або $CuSO_4 \cdot 5H_2O$), нерозчинну сіль ($CaCO_3$) та механічні домішки (скляні кульки). Необхідно визначити масу вихідної суміші.

До суміші додають воду — сіль розчиняється у воді, а утворену суміш кальцій карбонату та скляних кульок відфільтровують, висушують і зважують. За різницею визначають масу першого компонента. До осаду далі додають хлоридну кислоту і чекають повного розчинення кальцій карбонату. Осад фільтрують, промивають і сушать. Зважують та отримують масу скляних кульок. За різницею мас знаходять масу кальцій карбонату.

Оцінюється маса скляних кульок (було переважено після виконання учасника), маси вихідної та проміжної сумішей, а також розрахунки з визначення масових часток компонентів.

8.2. Розділення суміші рідких речовин

Віала містить 25 мл суміші ТГФ + вода. Необхідно зважити 4,5 г калій карбонату, додати до суміші, розчинити тверду фазу й дочекатись повного розділення фаз. Органічний шар збирають в окрему віалу, вимірюють об'єми органічної та водної фаз, розраховують вміст кожного з компонентів.

Оцінюється об'єм ТГФ (виміряно після виконання учасника) і розрахунки об'ємних часток компонентів суміші.

8.3. Якісний аналіз для визначення неорганічних речовин

Було завдання: визначити вміст кожної пробірки, де є розчин 1 з 7 неорганічних речовин. Можна використовувати: допоміжні реактиви; попарне злиття невідомих розчинів; розчини, вміст яких достовірно визначено, та комбінацію цих підходів. Кожна речовина вважається визначеною, якщо: правильно вказано номер пробірки; наведено рівняння реакції (реакцій), необхідних для визначення, та візуальні ознаки визначення.

9 клас

I теоретичний тур

9.1. В Cl, F, Ne.

9.2. А $-171,2$ кДж.

$$\Delta H^\circ = -2\Delta H_1 + 2\Delta H_2 + \Delta H_3.$$

9.3. Б $X < Z < Y$.9.4. Б ClO_3^- і Cl^- .

9.5. Б 92.

9.6. Б 1,628 г.

$K_{\text{сп}}(\text{Li}_2\text{CO}_3) = (2B^2 \cdot c = 4 \cdot 10^{-3})$, де c — концентрація насиченого розчину, розчинність: $c = 0,1$ моль/л; $m = 0,22 \cdot 0,1 \cdot 74 = 1,628$ г.

9.7. В $K = [\text{SO}_3]^2 / ([\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2])$.

9.8. А 4,58.

$$n(\text{NaOH})_{\text{поч}} = 0,05 \cdot 0,2 = 0,01 \text{ моль}, n(\text{AcOH})_{\text{поч}} = 0,1 \cdot 0,25 = 0,025 \text{ моль}.$$

$$n(\text{AcOH})_{\text{зал}} = 0,015 \text{ моль}, n(\text{AcONA})_{\text{утв}} = 0,01 \text{ моль}.$$

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log(C_{\text{соли}} / C_{\text{кисл}}) = -\log 1,75 \cdot 10^{-5} + \log(0,01 / 0,015) = 4,58.$$

9.9. Г 1,24 В.

$$E = E(\text{Ag}^+/\text{Ag}) - E(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = 0,8 - (-0,44) = 1,24 \text{ В}.$$

9.10. Г 0,394 моль/л.

$$c(\text{K}^+) = \frac{12/174}{0,35} \cdot 2 = 0,394 \text{ моль/л}.$$

9.11. Б 4,06 г/см³.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{Mr \cdot N}{a^3 \cdot N_A} = \frac{168,4 \cdot 1}{(410 \cdot 10^{-10})^3 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}} = 4,06 \text{ г/см}^3.$$

9.12. Г SF₄.

9.13. Б 1 і 3.

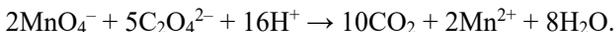
9.14. Б Al(NO₃)₃.9.15. Б BaSO₄.9.16. А Al₂(SO₄)₃.9.17. В $-0,410$ В.

$$E = E(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E(\text{M}^{2+}/\text{M}).$$

$$E(\text{M}^{2+}/\text{M}) = 0,34 - 0,75 = -0,410 \text{ В}.$$

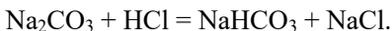
9.18. А $r = k[A]$.9.19. А NF₃.

9.20. В 43.



9.21. Б Li_2O .

9.22. А 0,179 л.



$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{поч}} = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ моль}, n(\text{HCl})_{\text{поч}} = 0,07 \cdot 0,4 = 0,028 \text{ моль}.$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,008 \text{ моль}, V(\text{CO}_2) = 0,008 \cdot 22,4 = 0,179 \text{ л}.$$

9.23. Б $\text{N}^{3-} < \text{O}^{2-} < \text{F}^-$.

9.24. В ClO_3^- .

9.25. Г $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$.

9.26. Б β^- (бета-мінус-розпад).

9.27. Б $3,21 \cdot 10^{24}$.

$$N = \frac{10}{15} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot (15 - 7) = 3,21 \cdot 10^{24}.$$

9.28. В 3,67.

9.29. Г H_4 .

9.30. Г SO_2 .

9.31. В C_3H_6 .

$$V = 1 \text{ л}; m = 1,37 \text{ г}; 720 \text{ мм рт. ст.} = 96 \text{ кПа}; 80 \text{ }^\circ\text{C} = 353,15 \text{ К}.$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{96 \cdot 1}{8,314 \cdot 353,15} = 0,0327 \text{ моль}.$$

$$M = 1,37 / 0,0327 = 41,9 \text{ г/моль } (\text{C}_3\text{H}_6).$$

9.32. В $\text{л}^2 \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

9.33. В 5.

9.34. В 0,78 моль/л.

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F}, m(\text{Ni})_{\text{осад}} = \frac{58,7 \cdot 2 \cdot (3 \cdot 60 \cdot 60)}{2 \cdot 96485} = 6,57 \text{ г}, n(\text{Ni})_{\text{осад}} = 0,112 \text{ моля}.$$

$$n(\text{Ni})_{\text{залиш}} = 0,5 \cdot 1 - 0,112 = 0,388, c(\text{Ni})_{\text{залиш}} = 0,388 / 0,5 = 0,78 \text{ моль/л}.$$

9.35. Г 11,66.

$$V = 1 \text{ л}, c(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) / 1 = \frac{1000 \cdot 0,99 \cdot 0,02}{17} = 1,165 \text{ моль/л}.$$

$$\text{pH} = 14 - \frac{\text{p}K_a - \log(c\text{NH}_3)}{2} = 11,66.$$

9.36. Б Мо.

$$n(\text{M}) = \frac{1}{6} \cdot \nu(F) = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{0,547 - 0,25}{19} \right) = 2,605 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}.$$

$$M(\text{M}) = 0,25 / 2,605 \cdot 10^{-3} = 95,96 \text{ г/моль (Мо)}.$$

9.37. Б CO_2 , Cl_2 , CCl_4 .

9.38. Б тетрагонально-пірамідальна.

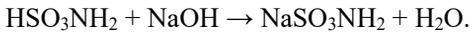
9.39. Б $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$.

9.40. А *sp*.

II теоретичний тур

9.1. Завдання:

1. Рівняння реакції:



Стехіометрія між сульфаміновою кислотою та натрій гідроксидом становить 1:1. Звідси:

$$n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ аліквота}) = n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,2 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot (5,76 \cdot 10^{-3}) \text{ л} = 1,152 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

У мірній колбі ця кількість у 10 разів більша ($200,0 / 20,00 = 10$):

$$n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ зразок}) = 10 \cdot n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ аліквота}) = 1,152 \cdot 10^{-2} \text{ моль}.$$

Відповідна маса дорівнює:

$$m(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ зразок}) = n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ зразок}) \cdot M(\text{H}_3\text{NSO}_3) = 1,152 \cdot 10^{-2} \text{ моль} \cdot 97,10 \text{ г моль}^{-1} = 1,119 \text{ г}.$$

Масова частка:

$$w(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ зразок}) = m(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ зразок}) / m(\text{зразок}) \cdot 100 \% = 1,119 \text{ г} / 8,000 \text{ г} \cdot 100 \% = 13,99 \%.$$

2. $c(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ аліквота}) = n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ аліквота}) / V(\text{аліквота}) = 0,0576 \text{ М}.$

$$K_a = [\text{H}^+][\text{A}^-] / [\text{HA}].$$

Для сильної кислоти:

$$[\text{H}^+] = [\text{A}^-].$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}.$$

Таким чином:

$$[\text{HA}] = C_0(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{ аліквота}).$$

$$K_a = (10^{-1,39})^2 / (0,0576 - 10^{-1,39}) = 0,1.$$

$$\text{p}K_a = -\lg(K_a) = 1,00.$$

3. $c(\text{Fe}^{2+}) = c(\text{сіль Мора}) = (m(\text{сіль Мора}) / M(\text{сіль Мора})) / V(\text{мірна колба}) = (1,750 \text{ г} / 392 \text{ г моль}^{-1}) / 0,20000 \text{ л} = 0,0223 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$

4.

| | |
|-------------|--|
| Реакція № 1 | $\text{H}_3\text{NSO}_3 + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{HSO}_4^- + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ |
| Реакція № 2 | $2\text{Ce}^{4+} + \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Ce}^{3+} + \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$ |
| Реакція № 3 | $\text{Ce}^{4+} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Ce}^{3+} + \text{Fe}^{3+}$ |

5. Загальна кількість йонів нітриту (NO_2^-) під час аналізу:

$$n(\text{NO}_2^-, \text{total}) = n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{аліквота}) + 0,5 \cdot n(\text{Ce}^{4+} / \text{NO}_2^-).$$

Загальна кількість йонів церію (Ce^{4+}) під час аналізу:

$$n(\text{Ce}^{4+}, \text{total}) = n(\text{Ce}^{4+} / \text{NO}_2^-) + n(\text{Ce}^{4+} / \text{Fe}^{2+}).$$

З'єднавши ці рівняння:

$$n(\text{NO}_2^-, \text{total}) = n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{аліквота}) + 0,5 \cdot [n(\text{Ce}^{4+}, \text{total}) - n(\text{Ce}^{4+} / \text{Fe}^{2+})].$$

Стехіометрія між церієм і залізом становить 1:1.

$$\text{Звідси: } n(\text{Ce}^{4+} / \text{Fe}^{2+}) = n(\text{Fe}^{2+}).$$

Таким чином, для розрахунку маси сульфамінової кислоти:

$$n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{аліквота}) = n(\text{NO}_2^-, \text{total}) - 0,5 \cdot [n(\text{Ce}^{4+}, \text{total}) - n(\text{Fe}^{2+})].$$

$$n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{аліквота}) = c(\text{NO}_2^-) \cdot V(\text{NO}_2^-) - 0,5 \cdot [c(\text{Ce}^{4+}) \cdot V(\text{Ce}^{4+}) - c(\text{Fe}^{2+}) \cdot V(\text{Fe}^{2+})] = 0,01 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 0,05 \text{ л} - 0,5 \cdot [0,02 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 0,05 \text{ л} - 0,0223 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 0,01783 \text{ л}] = 1,988 \cdot 10^{-4} \text{ моль}.$$

У мірній колбі (а отже, у зразку) через розведення кількість сульфамінової кислоти в 20 разів більша:

$$n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{зразок}) = n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{аліквота}) \cdot 20 = 3,976 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

$$m(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{зразок}) = n(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{зразок}) \cdot M(\text{H}_3\text{NSO}_3) = 3,976 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot 97,10 \text{ г моль}^{-1} = 0,386 \text{ г}.$$

Масова частка:

$$w(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{зразок}) = m(\text{H}_3\text{NSO}_3, \text{зразок}) / m(\text{зразок}) \cdot 100 \% = 0,386 \text{ г} / 8,000 \text{ г} \cdot 100 \% = 4,825 \%.$$

6. $\text{HCl} \rightarrow$ хлороводнева кислота.

$\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ортофосфатна кислота, ортофосфорна кислота, фосфатна кислота.

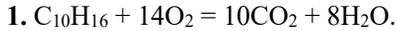
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow$ оксалатна кислота.

$\text{HOCH}(\text{CH}_2\text{COOH})_2 \rightarrow$ лимонна кислота.

7. Обидві солі мають схильність за найменшого підвищення значення рН гідролізуватися й утворювати нерозчинні комплекси.

8. Манганометрія, йодометрія тощо.

9.2. Завдання:



$n(C_{10}H_{16}) = 10 / 136 = 0,0735$ моль.

$n(O_2) = 1,029$ моль.

$V(O_2) = 1,029 \cdot 22,4 = 23$ л.

2.

Сабінен — 1, 3, 7, 8, 9

Борнеол — 4, 5

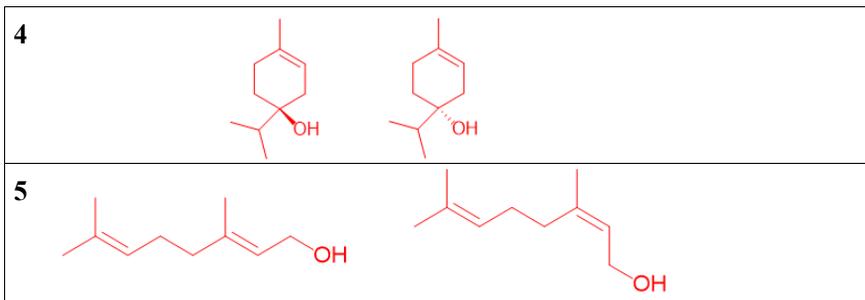
3.



4.

| Клас органічних сполук | Номер речовини |
|------------------------|----------------|
| Спирти | 4, 5, 6 |
| Циклічні алкени | 1, 4 |
| Циклічні алкадієни | 9 |
| Ациклічні алкени | 2, 3 |
| Ациклічні алкадієни | 5, 7 |
| Арен | 10 |

5.



6.

| | |
|---|-------------------------------|
| 1 | спирт |
| 2 | етер |
| 3 | естер |
| 4 | діол |
| 5 | хлоралкан (галогеналкан) |
| 6 | оксим |
| 7 | амін |
| 8 | ароматичне (бензенове) кільце |

9.3. Завдання:

1. Оскільки проста речовина А вступає в реакцію із фтором, очевидно, що F — фторид, тоді:

$$M(F) = \frac{19}{19 + M_{\text{екв}}(X)} = 0,1302 \Rightarrow M_{\text{екв}}(F) = \frac{19}{0,1302} - 19 = 126,9 \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

отже, елемент X — Йод, А — I₂, F — IF.

$$\text{G} — \text{IF}_3 \left(w(F) = \frac{19 \cdot 3}{19 \cdot 3 + 126,9} = 0,31 \right).$$

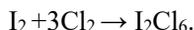
$$\text{H} — \text{IF}_5 \left(w(F) = \frac{19 \cdot 5}{19 \cdot 5 + 126,9} = 0,4281 \right).$$

$$\text{I} — \text{IF}_7 \left(w(F) = \frac{19 \cdot 7}{19 \cdot 7 + 126,9} = 0,5117 \right).$$

$$\text{Для реакції } A \rightarrow E, n(I_2) = \frac{10}{126,9 \cdot 2} = 0,03940 \text{ моль},$$

$$n(Cl_2) = \frac{2,648}{22,4} = 0,1182 \text{ моль},$$

$$\frac{n(I_2)}{n(Cl_2)} = \frac{0,03940}{0,1182} = \frac{1}{3}, \text{ маємо:}$$



| | | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| X — I | A — I ₂ | B — KI | C — CuI | D — KIO ₃ |
| E — I ₂ Cl ₆ | F — IF | G — IF ₃ | H — IF ₅ | I — IF ₇ |
| J — H ₅ IO ₆ | K — NI ₃ · 2NH ₃ | L — I ₂ O ₅ | M — NH ₄ I | |

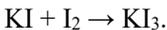
2.

| | |
|--|---|
| $A + F_2 \rightarrow F$ | $I_2 + F_2 \rightarrow 2IF$ |
| $F + F_2 \rightarrow G$ | $IF + F_2 \rightarrow IF_3$ |
| $G + F_2 \rightarrow H$ | $IF_3 + F_2 \rightarrow IF_5$ |
| $H + F_2 \rightarrow I$ | $IF_5 + F_2 \rightarrow IF_7$ |
| $I + H_2O \rightarrow J$ | $IF_7 + 6H_2O \rightarrow H_3IO_6 + 7HF$ |
| $A + NH_3 \cdot H_2O \rightarrow K + M + H_2O$ | $3I_2 + 6(NH_3 \cdot H_2O) \rightarrow NI_3 \cdot 2NH_3 + 3NH_4I + 6H_2O$ |
| $A + Cl_2 \rightarrow E$ | $I_2 + 3Cl_2 \rightarrow I_2Cl_6$ |
| $A + KOH \rightarrow B + D + H_2O$ | $3I_2 + 6KOH \rightarrow KIO_3 + 5KI + 3H_2O$ |
| $B + CuSO_4 \rightarrow A + C$ | $4KI + 2CuSO_4 \rightarrow 2CuI + I_2 + 2K_2SO_4$ |
| $B + Cl_2 \rightarrow A$ | $2KI + Cl_2 \rightarrow 2KCl + I_2$ |
| $A + O_2 \rightarrow L$ | $2I_2 + 5O_2 \rightarrow 2I_2O_5$ |
| $L + CO \rightarrow A$ | $I_2O_5 + 5CO \rightarrow I_2 + 5CO_2$ |

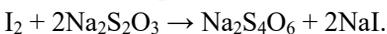
3.

| Сполука | F | G | H | I | J |
|--------------------|---------|-----------|--------------------|--------------------------|-----------|
| Будова | лінійна | T-подібна | квадратна піраміда | пентагональна біпіраміда | октаедр |
| Тип гібридизації X | sp^3 | sp^3d | sp^3d^2 | sp^3d^3 | sp^3d^2 |

4. Таким чином підвищується розчинність йоду у воді.



5. Методом йодометрії з використанням натрій тіосульфату як відновника та крохмалю як індикатора.



9.4. Завдання:

1. За зміною маси сухого залишку після прожарювання гідроксиду

D можна визначити метал **X**:

$$\frac{x + 8n}{x + 17n} = 0,6535; \text{ за } n = 3 \cdot X = 27 \text{ г/моль, що вказує на Al.}$$

Для визначення другого елемента скористаємось масовими частками елементів в **A**. Легко знайти, що на 1 атом Al припадає 2 атоми O, і за такої умови сполука має бути електронейтральною. Її умовно можна записати як $Y(AlO_2)_y$. Тоді: $M(Y) = \frac{26,98y}{0,305} - 26,98y - 16(2y)$. За $y = 2$, $M(Y) = Co$ або Ni . Але оскільки колір солей нікелю зазвичай зелений, а колір розчину хлориду в задачі — рожевий, то правильною відповіддю є Co.

Відповідно, формула **A** — $CoAl_2O_4$ (оцінювання пунктів, які мають містити кобальт, якщо обрати нікель — у два рази менше).

| | | |
|---------------|---------------|------------------------|
| X — Al | Y — Co | A — $CoAl_2O_4$ |
|---------------|---------------|------------------------|

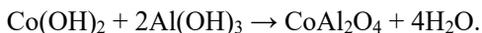
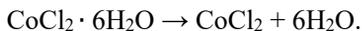
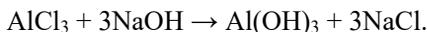
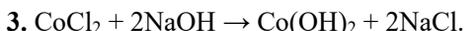
2. Для визначення складу кобальт хлориду, який використовується, знаючи кількість очікуваного пігмента **A**, можемо розрахувати молярну масу хлориду **B**:

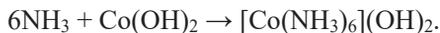
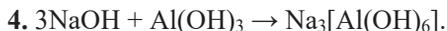
$$M(B) = [13,45 / (10 / 176,89)] \cdot (1 - 0,4543) = 129,83 \text{ г/моль,}$$

що відповідає молярній масі $CoCl_2$. На основі маси води, яка відділяється під час нагрівання кристалогідрата, визначаємо склад **C***.

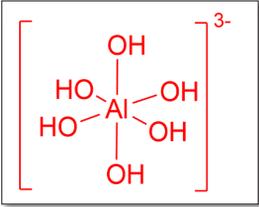
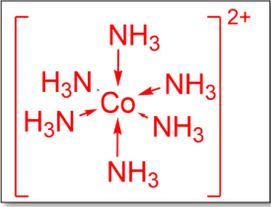
Так само визначаємо склад солі **B*** за припущенням, що ступінь окиснення Al = +3. У процесі взаємодії із хлоридами металів утворюються відповідні основи, а нагрівання слабкої основи призводить до втрати води й утворення оксиду.

| | | | | |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|
| B — $AlCl_3$ | C — $CoCl_2$ | D — $Al(OH)_3$ | E — $Co(OH)_2$ | F — Al_2O_3 |
| C* — $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ | | | B* — $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ | |





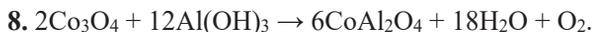
5.

| Продукт D + NaOH | Продукт E + NH ₃ |
|---|---|
|  |  |
| КЧ = 6 | КЧ = 6 |

6. Внаслідок окиснення $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ до сполук Co^{3+} .

7.

| | |
|--------------------|--|
| Формула G: | Co_3O_4 |
| Рівняння 1: | $2\text{Co}_3\text{O}_4 + 12\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow 6\text{CoAl}_2\text{O}_4 + 18\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ |
| Рівняння 2: | $\text{Co}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} \rightarrow 3\text{CoCl}_2 + \text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ |



$$n(\text{CoAl}_2\text{O}_4) = 10 / 177 = 0,0565 \text{ моль}.$$

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,0565 \cdot 12 / 6 = 0,113 \text{ моль}.$$

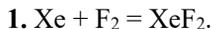
$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,113 \cdot 78 = 8,81 \text{ г}.$$

$$n(\text{Co}_3\text{O}_4) = 0,0565 \cdot 2 / 6 = 0,0188 \text{ моль}.$$

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,0188 \cdot 241 = 4,53 \text{ г}.$$

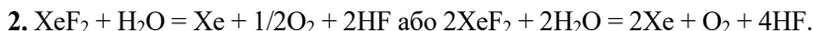
| | |
|---------------------|---------------------|
| Кількість D: 8,81 г | Кількість G: 4,53 г |
|---------------------|---------------------|

9.5. Завдання:



$$\Delta H_f^0(\text{XeF}_2) = 2E(\text{Xe-F}) - E(\text{F}_2).$$

$$E(\text{Xe-F}) = \frac{1}{2} (\Delta H_f^0(\text{XeF}_2) + E(\text{F}_2)) = 131 \text{ кДж/моль}.$$



3. $\Delta H_r^0 = 2\Delta H_f^0(\text{HF}_{\text{газ}}) - \Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}_{\text{р.}}) - \Delta H_f^0(\text{XeF}_2) = -152 \text{ кДж}$.

$$Q = 152 \text{ кДж}.$$

4. $n(\text{C}) = 1000 / 12,01 = 83,3 \text{ моля}$.

$$\Delta H_r^0 = -Q / n = -394 \text{ кДж/моль}.$$

5. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 0$.

$$T = \Delta H / \Delta S = 839 \text{ К} = 566 \text{ }^\circ\text{C}.$$

6. $\Delta G_{293} = \Delta H - 293\Delta S = -5690 \text{ Дж/моль}$.

$$\Delta G_{293} = -RT \ln K.$$

$$\ln K = 2,34.$$

$$K = 10,22.$$

7. NO_2 має неспарений електрон, а N_2O_4 — ні.

9.6. Завдання

1. $m(\text{SO}_2\text{Cl}_2) = \rho \cdot V_{\text{реч}} = 13,5 \text{ г}$.

$$n(\text{SO}_2\text{Cl}_2) = m / M = 0,1 \text{ моля}.$$

Рівняння Менделєєва — Клапейрона:

$$P_0 = n \cdot R \cdot T / V = 0,1 \cdot 8,314 \cdot 363 / 3 = 100,6 \text{ кПа} \approx 1 \text{ бар}.$$

Початковий тиск — 1 бар.

2.

| | SO_2Cl_2 | SO_2 | Cl_2 |
|-----------------|--------------------------|---------------|---------------|
| Початковий тиск | 1 | — | — |
| Прореагувало | x | x | x |
| Кінцевий тиск | $1 - x$ | x | x |

Сумарний тиск становить:

$$p_{\text{сум}} = 1 - x + x + x = 1 + x = 1,52 \text{ бара}.$$

Звідки: $x = 0,52 \text{ бара}$ — тиск SO_2 і Cl_2 .

$$K_p = \frac{p(\text{SO}_2) \cdot p(\text{Cl}_2)}{p(\text{SO}_2\text{Cl}_2)} = 0,56 \text{ бара}.$$

| | | |
|---|------------------------------|------------------------------|
| $p(\text{SO}_2\text{Cl}_2) = 0,48$ бара | $p(\text{SO}_2) = 0,52$ бара | $p(\text{Cl}_2) = 0,52$ бара |
| Константа рівноваги: $K_p = 0,56$ бара | | |

3.

$$K_p = \frac{x^2}{1-x} = 1,23 \text{ бара.}$$

Звідки $x = 0,65$ бара.

$$p_{\text{сум}} = 1 + x = 1,65 \text{ бара.}$$

$$\eta = 0,65 \cdot 100 \% / 1 = 65 \%.$$

| | |
|------------------------------|----------------|
| $p_{\text{сум}} = 1,65$ бара | $\eta = 65 \%$ |
|------------------------------|----------------|

4. Для 1-го порядку константа рівноваги для всіх значень часу буде однаковою, її середнє значення становить $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, отже, порядок реакції буде перший.

| | |
|--------------------|---|
| Порядок — 1 | Константа швидкості — $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ |
|--------------------|---|

5.

$$t = \frac{\ln \frac{C_0}{C}}{k} = \frac{\ln \frac{1}{0,65}}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 19\,581 \text{ с} = 5,44 \text{ год.}$$

Час розкладання — 5,44 год.

6. Тиск SO_2 і Cl_2 за рівнянням $p_{\text{сум}} = 1 + x$ дорівнює: $x = 0,02$ бара, отже, тиск SO_2Cl_2 буде також 0,98 бара. Тому константа швидкості становитиме:

$$k = \frac{\ln \frac{C_0}{C}}{t} = \frac{\ln \frac{1}{0,98}}{10000} = 2,0 \cdot 10^{-6}.$$

Енергія активації розраховується за рівнянням Ареніуса:

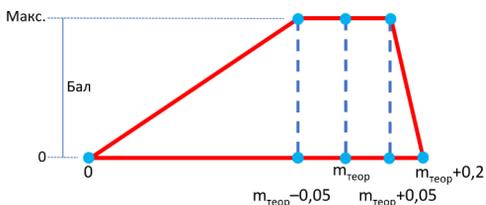
$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \rightarrow \ln \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{2,0 \cdot 10^{-6}} = \frac{E_a}{8,314} \left(\frac{1}{363} - \frac{1}{373} \right).$$

Звідки: $E_a = 270 \text{ кДж/моль}$. $E_a = 270 \text{ кДж/моль}$.7. **A** — швидкість реакції збільшується за підвищення температури;**B** — константа рівноваги збільшується за підвищення температури.

Практичний тур

9.1. Гравіметричне визначення сульфатів

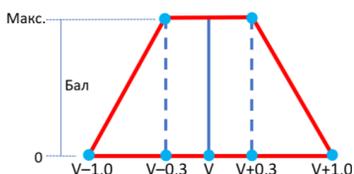
Наважку суміші солей розчиняють у воді, додають надлишок розчину барій хлориду. Утворений осад фільтрують, промивають і висушують. За масою барій сульфату розраховують вміст сульфатів у вихідній суміші. Оцінюється маса осаду (було переважено після виконання учасника) і розрахунки масової частки сульфатів.



Бали нараховуються за методом трапеції. Якщо різниця мас осаду та теоретичного значення менше ніж 0,05 г, учасник отримує повний бал. Якщо різниця мас перевищує 0,05 г, бал лінійно зменшується від максимуму до 0. Перевищення маси свідчить про неякісно промитий осад і також призводить до зменшення балів.

9.2. Титриметричне визначення сульфатів

Для визначення малих концентрацій сульфатів використовують замісникове титрування. До аліквоти досліджуваного розчину (10 мл) додають точно відому кількість барій хлориду (10 мл), надлишок якого відтитровують трилоном Б у присутності індикатора — еріохрому чорного Т. Оцінюється значення об'єму титранту, надане учасником, за методом трапеції. За відхилення $\pm 0,3$ мл від теоретичного значення учасник отримує повний бал, від $\pm 0,3$ мл до $\pm 1,0$ мл бал зменшується пропорційно від максимуму до 0, більше ніж $\pm 1,0$ мл — 0 балів відповідно. Також оцінюється розрахунок маси сульфату у пробі.



10 клас

I теоретичний тур

10.1

| | |
|---|---|
| Координаційне число йону Феруму в цьому комплексі дорівнює 6 | T |
| У комплексі є тетраедричний ліганд | T |
| Зображений комплекс є позитивно зарядженим | F |
| Зв'язування молекули чадного газу цим комплексом може здійснюватися лише заміщенням одного з лігандів | T |
| Згідно з теорією кристалічного поля в цього комплексу є три вироджені за енергією d -орбіталі | F |

10.2

| | |
|---|---|
| У циклі Карбон у метані відновлюється | F |
| Джерелом азоту є повітря | T |
| Зайвий карбон видаляється адсорбцією | T |
| Суміш азоту, водню й амоніаку розділяється під час хімічної реакції | F |
| Реакція азоту з воднем є самовільною за кімнатної температури (не потребує додаткового джерела енергії) | F |

10.3

| | |
|--|---|
| Цифрою 1 позначені ковалентні зв'язки | T |
| Цифрою 2 позначені йонні нековалентні взаємодії | F |
| Брутто-формула цієї молекули — BN_3 | F |
| Азот у цій молекулі є sp^2 -гібридизованим | T |
| Молекулу неможливо синтезувати сполученням елементів за температури до $100\text{ }^\circ\text{C}$ | T |

10.4

| | |
|--|---|
| Буквою X позначений катод | T |
| Потік електронів рухається зліва направо | F |

| | |
|--|---|
| Стандартний потенціал реакції визначається константою адсорбції йонів літію на вуглиці | T |
| Залізо під час роботи батареї окиснюється | T |
| Зарядити батарею можливо додаванням хлориду літію в праву частину батареї | F |

10.5

| | |
|---|---|
| Тепловий ефект хімічної реакції за постійного об'єму тиску не залежить від шляху реакції, а лише від початкового і кінцевого станів системи | F |
| Температурний коефіцієнт теплового ефекту хімічної реакції дорівнює зміні теплоємності внаслідок перебігу реакції | F |
| Можливий періодичний процес, єдиним результатом якого є перетворення теплоти в роботу | F |
| Енергію Гельмгольца можна вважати як повну хімічну енергію системи | F |
| Рівновага — стан системи, який лишається незмінним у часі й не підтримується яким-небудь зовнішнім процесом відносно системи | T |

10.6

| | |
|---|---|
| Серед продуктів цієї реакції є формальдегід | T |
| Серед продуктів цієї реакції є ароматична сполука | T |
| Один із продуктів цієї реакції містить дві альдегідні карбонільні групи | F |
| Серед продуктів цієї реакції є фенол | F |
| Один із продуктів цієї реакції не має інших ізомерів | T |

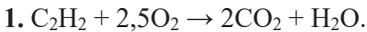
10.7

| | |
|--|---|
| У діапазоні рН 1,5–3,5 набуває буферних властивостей | T |
| У діапазоні рН 3,5–8,5 набуває буферних властивостей | F |
| pI — перша точка еквівалентності | T |
| pK_{a1} — перша точка еквівалентності | F |
| pK_{a2} — друга точка еквівалентності | F |
| $pI = (pK_{a1} + pK_{a2}) / 2$ | T |

10.8

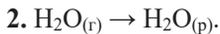
| | |
|---|---|
| Кожна з пар сполук: 1 і 5, 3 і 4 є діастереомери | F |
| Сполуки 6 і 8 є енантіомери | T |
| Сполука 1 має лише 4 стереоізомери | T |
| Конфігурація всіх стереоцентрів у сполуці 2 є R | T |
| Сполука 7 є оптично активною та здатною обертати площину поляризації світла | F |
| У сполуці 9 є 4 хіральні центри | F |

10.9. Завдання:



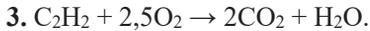
$$\Delta H_r = \Delta H(H_2O) + 2\Delta H(CO_2) - 2,5\Delta H(O_2) - \Delta H(C_2H_2),$$

$$\Delta H_r = -241,8 + 2 \cdot (-393,5) - 226,8 = -1255,6 \text{ кДж/моль.}$$



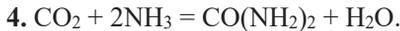
$$\Delta H_r = \Delta H(H_2O_p) - \Delta H(H_2O_r),$$

$$\Delta H_r = -285,5 + 241,8 = -43,7 \text{ кДж/моль.}$$

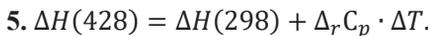


$$\Delta H_r = \Delta H(H_2O) + 2\Delta H(CO_2) - 2,5\Delta H(O_2) - \Delta H(C_2H_2),$$

$$\Delta H_r = -285,5 + 2 \cdot (-393,5) - 226,8 = -1299,3 \text{ кДж/моль.}$$



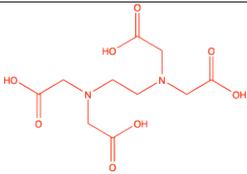
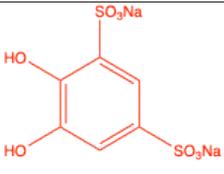
$$\Delta H_r = 2(C = O) + 6(N - H) - (C = O) - 2(C - N) - 4(N - H) - 2(H - O) = 91 \text{ кДж.}$$

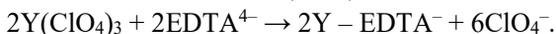
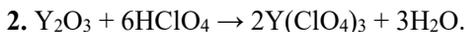


$$\Delta H(428) = 91000 + 130 \cdot 2,88 = 91,37 \text{ кДж.}$$

10.10. Завдання:

1.

| Сполука | ЕДТА | Na_2H_2T |
|-------------|---|---|
| Структура |  |  |
| Дентатність | 6 | 2 |



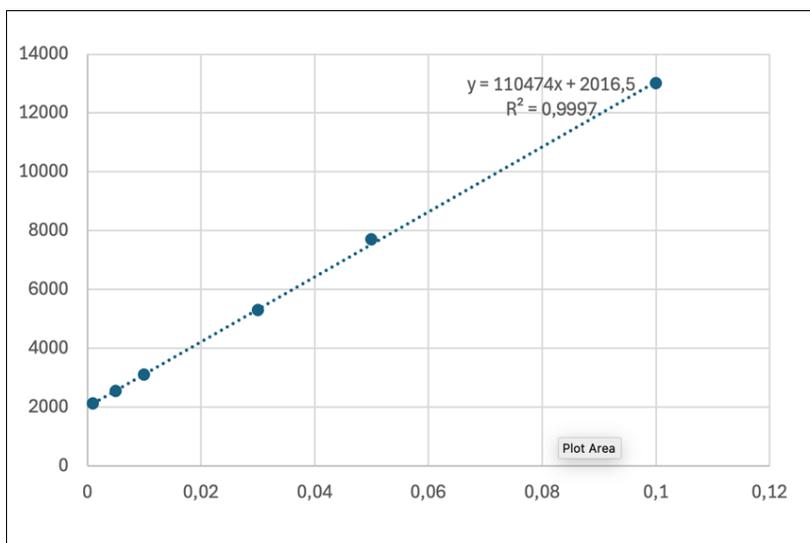
3. Ні, оскільки стали б можливими побічні процеси утворення комплексів Y^{3+} із хлорид-аніонами, а ClO_4^- не є координувальним аніоном.

4.

$$\frac{dC(\text{Y}-\text{EDTA}-\text{HT}^{4-})}{dt} = kC(\text{Y} - \text{EDTA}^-)C(\text{HT}^{3-}).$$

5. Оскільки концентрації обох реагентів у будь-який момент часу рівні, то зміна концентрації з часом відображає загальний порядок реакції.

Маємо лінеаризацію в координатах $1/C$ — t .



Отже, порядок реакції — другий, $k = 1,105 \cdot 10^5 \frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$.

6.

$$kt = \frac{1}{C_0(\text{HT}^{3-}) - C_0(\text{Y}-\text{EDTA}^-)} \ln \left(\frac{C_0(\text{Y}-\text{EDTA}^-)(C_0(\text{HT}^{3-}) - C(\text{Y}-\text{EDTA}-\text{HT}^{4-}))}{C_0(\text{HT}^{3-})(C_0(\text{Y}-\text{EDTA}^-) - C(\text{Y}-\text{EDTA}-\text{HT}^{4-}))} \right).$$

$$C(\text{Y} - \text{EDTA} - \text{HT}^{4-}) = 0,0002559 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

10.11. Завдання:

1. Зважаючи на те, що це найтвердіший метал, і те, що після окиснення (перша реакція з пероксидом) утворюється речовина, яка має жовто-оранжевий перехід за зміни рН, то **X** — Cr.

| X | A | B | C | D | E | F | K | L |
|----------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|--|------------------|--|---------------------|---|
| Cr | Cr ₂ O ₃ | CrCl ₃ | Na ₂ CrO ₄ | Na ₂ Cr ₂ O ₇ | CrO ₃ | K ₃ [Cr(O ₂) ₄] | Cr(OH) ₃ | Na[Cr(OH) ₄] або Na ₃ [Cr(OH) ₆] |

2.

| |
|---|
| $4\text{Cr} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cr}_2\text{O}_3$ |
| $2\text{Cr} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{CrCl}_3$ |
| $4\text{CrO}_3 \rightarrow 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2$ |
| $\text{CrCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Cr(OH)}_3 + 3\text{NaCl}$ |
| $\text{Cr(OH)}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}[\text{Cr(OH)}_4]$ (Na ₃ [Cr(OH) ₆] теж підходить) |
| $2\text{Na}[\text{Cr(OH)}_4] + 3\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$, або |
| $2\text{Na}_3[\text{Cr(OH)}_6] + 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 2\text{NaOH} + 8\text{H}_2\text{O}$, або |
| $2\text{CrCl}_3 + 10\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 6\text{NaCl} + 8\text{H}_2\text{O}$ |
| $2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CrO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ |
| $3\text{CrO}_3 + 9\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_3[\text{Cr(O}_2)_4] + \text{O}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ |

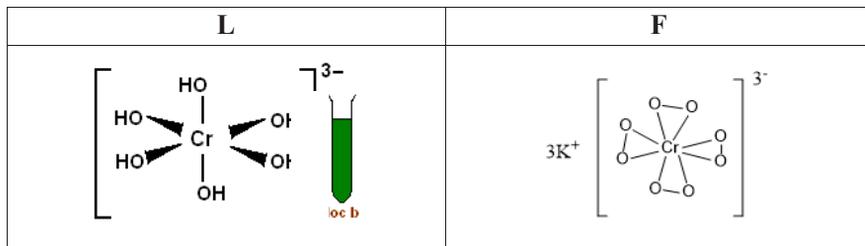
3.

| G | H | J | M |
|--|-------------------|---------------------|---|
| Cr(CH ₃ COO) ₃ · 6H ₂ O | CrCl ₂ | Cr(OH) ₂ | Cr(CH ₃ COO) ₂ · H ₂ O |

4.

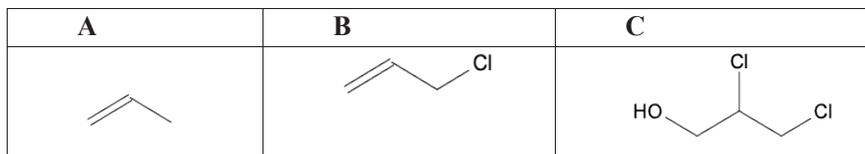
| |
|---|
| $2\text{Cr(OH)}_3 + 6\text{CH}_3\text{COOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\{\text{Cr(CH}_3\text{COO)}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}\}$ |
| $\text{Cr} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_2 + \text{H}_2$ |
| $\text{CrCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cr(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$ |
| $\text{CrCl}_2 + 2\text{Na(CH}_3\text{COO)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cr(CH}_3\text{COO)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$ |

5.



10.12. Завдання:

1.

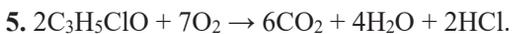
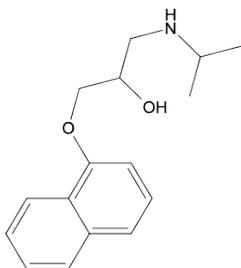


2. 1.

3.



4.

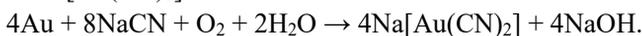


$$n(C_3H_5ClO) = \frac{10}{92,5} = 0,108 \text{ моль.}$$

$$p_{\text{сум}} = \frac{v(\text{сум})RT}{V} = \frac{298 \cdot 8,314 \cdot n(C_3H_5ClO) \cdot 10}{2 \cdot 25} = 53,5.$$

$$p_{\text{CO}_2} = 53,5 \cdot \frac{6}{10} = 32,1.$$

$$P_{\text{HCl}} = 53,5 \cdot \frac{4}{10} = 21,4.$$

10.13. Завдання:

2. З огляду на зображення:

$$N(\text{X}) = 8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 1 + 3 = 4.$$

$N(\text{Y}) = 8$, маємо: $\text{X}_4\text{Y}_8 \Rightarrow (\text{XY}_2)_4$, відповідно число формульних одиниць: $N = 4$.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{N \cdot M}{N_A \cdot a^3} \Rightarrow M = \frac{7,716 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 6,000^3 \cdot 10^{-24}}{4} = 250,9 \text{ г/моль}.$$

З умови маємо комплексну сполуку з формулою $\text{Na}[\text{X}(\text{CN})_2]$, використовуючи масову частку, отримуємо:

$$\frac{M(\text{X})}{M(\text{X}) + 22,99 + (12,01 + 14,01) \cdot 2} = 0,7242 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M(\text{X}) = 197 \frac{\text{г}}{\text{моль}}, M(\text{Y}) = \frac{250,9 - 197}{2} = 26,95 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

Отже, **X** — Au, **Y** — Al, **A** — AuAl_2 .

| Формула A | Елемент X | Елемент Y |
|-----------------|-----------|-----------|
| AuAl_2 | Au | Al |

3. $\frac{r(\text{X})}{r(\text{Y})} = \frac{0,144}{0,143} = 1,01$, порівнюючи з табличними даними, отримуємо:

$$KЧ(\text{X}) = 8;$$

$$1 \cdot KЧ(\text{X}) = 2 \cdot KЧ(\text{Y}), 8 = 2 \cdot KЧ(\text{Y}) \Rightarrow KЧ(\text{Y}) = 4.$$

4. Зі спектра бачимо, що AuAl_2 відбиває червоні та фіолетові хвилі. Таким чином, колір AuAl_2 — червоно-фіолетовий.



II теоретичний тур

10.1. Завдання:

1.

$$E = E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 - \frac{RT}{nF} \log \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]} =$$
$$= 0,767 \text{ В} - 0,05916 \log \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]}.$$

$$C(\text{Fe}_{2+}) = \frac{(0,03 - 0,01) \cdot 0,1}{0,03 + 0,01} = 0,05 \text{ моль/л.}$$

$$C(\text{Fe}_{3+}) = \frac{(0,01) \cdot 0,1}{0,03 + 0,01} = 0,025 \text{ моль/л.}$$

$$E = 0,749 \text{ В.}$$

2. У точці еквівалентності $[\text{Fe}^{2+}] = [\text{Ce}^{4+}]$ і $[\text{Ce}^{3+}] = [\text{Fe}^{3+}]$.

$$E_{\text{eq}} = \frac{E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 + E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}}^0}{2} = \frac{0,767 \text{ В} + 1,70 \text{ В}}{2} = +1,23 \text{ В.}$$

3. Враховуючи те, що весь Fe^{2+} вичерпався, потенціал буде формуватися тільки через Церій:

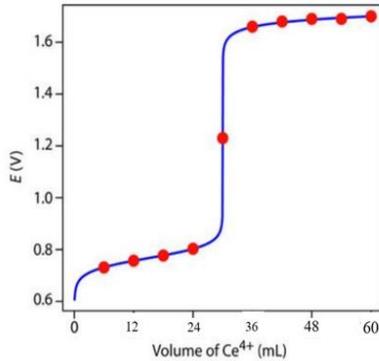
$$E = E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}}^0 - \frac{RT}{nF} \log \frac{[\text{Ce}^{3+}]}{[\text{Ce}^{4+}]} = 1,70 \text{ В} - 0,05916 \log \frac{[\text{Ce}^{3+}]}{[\text{Ce}^{4+}]}.$$

$$C(\text{Ce}^{3+}) = \frac{V(\text{Fe}_{2+}) \cdot C(\text{Fe}_{2+})}{V(\text{сум})} = \frac{0,03 \cdot 0,1}{0,03 + 0,07} = 0,03 \text{ моль/л.}$$

$$C(\text{Ce}^{4+}) = \frac{C(\text{Ce}_{4+}) \cdot V(\text{Ce}_{4+}) + V(\text{Fe}_{2+}) \cdot C(\text{Fe}_{2+})}{V(\text{сум})} = 0,04 \text{ моль/л.}$$

$$E = 1,707 \text{ В.}$$

4. Графік схематичний



5. Перманганатометричне, біхроматометричне, броматометричне, йодометричне тощо.

10.2. Завдання:

1. Газ — Cl₂.

$$V = 1,1^2 \cdot 3,14 \cdot 0,7 - 1^2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 = 1,1 \text{ cm}^3.$$

$$m = V\rho = 1,1 \cdot 7,133 = 7,81 \text{ g.}$$

$$m = \frac{Mit}{Fn'}, \frac{M}{n} = m \cdot \frac{F}{It'} \cdot \frac{M}{n} = 32,68.$$

| n | M | E |
|---|--------|----|
| 1 | 32,68 | – |
| 2 | 65,38 | Zn |
| 3 | 98,07 | Tc |
| 4 | 130,76 | – |

TcCl₃ — не є стабільний.

X — ZnCl₂.

2. Катод: Zn²⁺ + 2e → Zn.

2H₂O + 2e → 2OH⁻ + H₂.

Анод: 2Cl⁻ - 2e → Cl₂.

3. Y — Cu.

Zn + CuCl₂ → ZnCl₂ + Cu.

4. Шар цинку дифундує в шар міді з утворенням латуні, яка за кольором дуже схожа на золото.

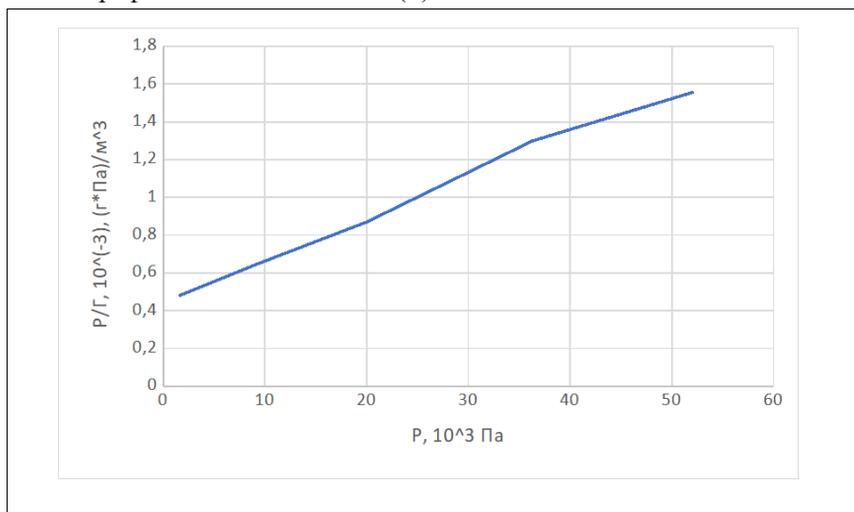
5. $P = UI$, $A = P \cdot t \Rightarrow A = UI t = 32 \cdot 2 \cdot 3,2 \cdot 3600 \cdot 100 / 0,08 = 9,216 \cdot 10^8$ Дж.

6.

| | |
|--|---|
| NaCl (холодний водний розчин) | <i>Катод:</i> $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ <i>Анод:</i> $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2$ $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2$ $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HClO}$ |
| CaCl ₂ (розплав) | <i>Катод:</i> $\text{Ca}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ca}$ <i>Анод:</i> $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2$ $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca} + \text{Cl}_2$ |
| KNO ₂ (розчин) | <i>Катод:</i> $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ <i>Анод:</i> $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} - 2e \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$ $\text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{H}_2$ |
| (NH ₄) ₂ S (розчин) | <i>Катод:</i> $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ <i>Анод:</i> $\text{S}^{2-} - 2e \rightarrow \text{S}$ $(\text{NH}_4)_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4\text{OH} + \text{S} + \text{H}_2$ |

10.3. Завдання:

1. Графік залежності $P / \Gamma = f(P)$.



2.

$$\frac{P}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\infty}k} + \frac{1}{\Gamma_{\infty}}P.$$

3.

$$tg\alpha = 1/\Gamma_{\infty}.$$

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{tg\alpha} = \frac{P_1 - P_2}{\left(\frac{P_1}{\Gamma_1}\right) - \left(\frac{P_2}{\Gamma_2}\right)} = 4,68 \cdot 10^7 \frac{\text{М}^3}{\Gamma}.$$

4.

$$\frac{1}{\Gamma_{\infty}k} = 4,6 \cdot 10^{-4}.$$

$$k = \frac{1}{4,6 \cdot 10^{-4} \cdot \Gamma_{\infty}}.$$

$$k = 4,65 \cdot 10^{-5}.$$

5.

$$\theta = \frac{\Gamma}{\Gamma_{\infty}}.$$

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\infty}kP}{1 + kP}.$$

$$\Gamma = 2,73 \cdot 10^7.$$

$$\theta = 0,583.$$

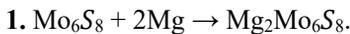
6.

$$\Gamma = 2,34 \cdot 10^7.$$

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\infty}kP}{1 + kP}.$$

$$P = 21,51 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

10.4. Завдання:



2. $\Delta G = -nFE = -2 \cdot 96\,485 \cdot (-1,3 + 2,4) = -424 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$

3. У реакції введено в дію $4e^-$. Тоді 1 моль Mo_6S_8 та 2 моля Mg виробляють:

$$q = 4 \cdot F = 4 \cdot 96\,485 = 385\,940 \text{ Кл.}$$

Маса батареї:

$$m = \frac{m(\text{Mg}) + m(\text{Mo}_6\text{S}_8)}{0,7} = \frac{24 \cdot 2 + 832}{0,7} = 1257,14 \text{ г.}$$

$$C = \frac{385\,940 \cdot E}{1,25714 \cdot t} = \frac{385\,940 \cdot 1,1}{1,25714 \cdot 3600} = 93,8 \text{ Вт} \cdot \text{год} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

$$\frac{m(\text{Li})}{m(\text{Mg})} = \frac{149}{93,8} = 1,59.$$

4. $1 \text{ мА} \cdot \text{год} = 3,6 \text{ Кл.}$

$$n(e) = \frac{400 \cdot 3,6}{96\,485} = 0,015 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Mg}) = n(e) \cdot M(\text{Mg}) = \frac{n(e)}{2} \cdot 24 = 0,18 \text{ г.}$$

$$m(\text{Mg})_{\text{кінц}} = 0,18 \cdot 1,3 = 0,234 \text{ г.}$$

$$m(\text{Mo}_6\text{S}_8) = \frac{n(e)}{4} \cdot 832 = 3,12 \text{ г.}$$

$$m(\text{батарейки}) = \frac{0,234 + 3,12}{0,7} = 4,8 \text{ г.}$$

5. 1) В; 2) Г; 3) А; 4) Б.

10.5. Завдання:

1. Враховуючи, що ця сіль утворена важким металом і токсична, то перший можливий кандидат на роль металу — Pb . Тоді:
 $M(X) = M(\text{Pb}) / W(\text{Me}) = 291,2 \text{ г/моль.}$

Якщо аніон двозарядний, тоді: $M(A) = 84 \text{ г/моль.}$ Така молярна маса є нетиповою для класичних A^{2-} . Припустимо, що A^- . Тоді:
 $M(A^-) = 42 \text{ г/моль,}$ що відповідає N_3^- .

X — $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$.



2.

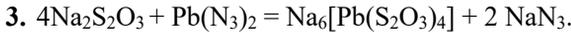
$$K_s^{25} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{N}_3^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4S^3.$$

$$S_x^{25} = \sqrt[3]{\frac{K_s^{25}}{4}} = 6,7 \cdot 10^{-4}.$$

$$K_S^{45} = [Pb^{2+}] \cdot [N_3^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4S^3.$$

$$S_x^{45} = \sqrt[3]{\frac{K_S^{45}}{4}} = 1,4 \cdot 10^{-3}.$$

$$n = \frac{S_x^{45}}{S_x^{25}} = 2,02 \text{ раза.}$$



$$K_p^{25} = \frac{[NaN_3]^2 \cdot [Na_6[Pb(S_2O_3)_4]]}{[Na_2S_2O_3]^4} \cdot \frac{[Pb^{2+}]}{[Pb^{2+}]} = K_{ст} \cdot K_S^{25} = 0,019.$$

$$K_p^{45} = \frac{[NaN_3]^2 \cdot [Na_6[Pb(S_2O_3)_4]]}{[Na_2S_2O_3]^4} \cdot \frac{[Pb^{2+}]}{[Pb^{2+}]} = K_{ст} \cdot K_S^{45} = 0,16.$$

Якщо константа хімічної рівноваги менша за одиницю, то в рівноважній суміші переважають вихідні речовини.

4.

$$K_p^{25} = \frac{[NaN_3]^2 \cdot [Na_6[Pb(S_2O_3)_4]]}{[Na_2S_2O_3]^4} \cdot \frac{[Pb^{2+}]}{[Pb^{2+}]} = K_{ст} \cdot K_S^{25} = 0,019.$$

$$K_p^{25} = \frac{[NaN_3]^2 \cdot [Na_6[Pb(S_2O_3)_4]]}{[Na_2S_2O_3]^4} = \frac{x \cdot 4x^2}{(2 - 4x)^4} = K_{ст} \cdot K_S^{25} = 0,019.$$

$$x = 0,208 \text{ моль/л.}$$

Отже, $n(X) = V \cdot C = 0,416$ моля X розчинилось.

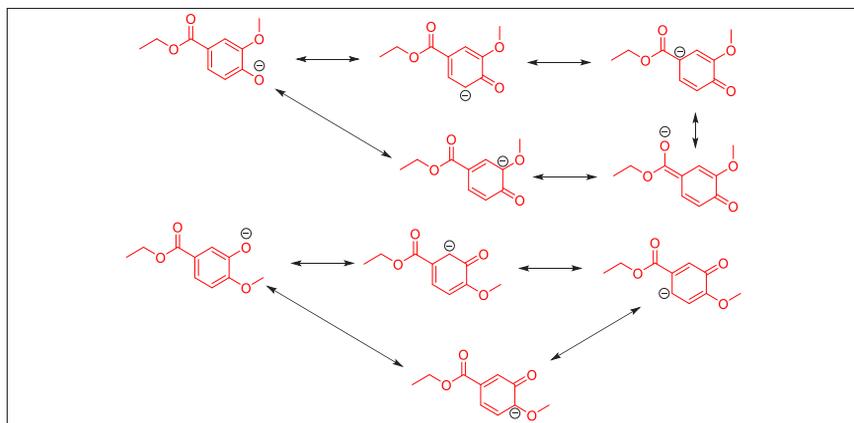
$$m(X_{\text{зал}}) = 678,9 \text{ г.}$$

10.6. Завдання:

1.

| | | |
|--------------------|----------|----------|
| A | B | C |
| | | |
| D | E | F |
| | | |
| G | H | J |
| CH ₃ OH | | |

2.



3. Синглет в області 3–4 ppm (метильна група, інтенсивність 3x).

Два дублети в області 6–8 ppm (ароматичні протони, інтенсивність кожного 2x).

Маленький синглет в області 12–14 ppm (протон карбоксильної групи, інтенсивність менше ніж 1x, тому що обмінюється з дейтерієм).

10.7. Завдання:

1. $n(\mathbf{X}) = 2,464 / 22,4 = 0,11$ (моль), $M(\mathbf{X}) = 143,5$ г/моль.

Для останньої реакції $M(\mathbf{D}) = 1,964$ г/л \cdot 22,4 л/моль = 44 г/моль.

D — вуглекислий газ (CO_2). Отже, в осаді містився нерозчинний аргентум(I) карбонат, **C** — Ag_2CO_3 .



$$n(\text{CO}_2) = PV / RT = 0,11 \text{ моля.}$$

Звідси знаходимо, що в осаді до оброблення хлоридною кислотою:

$$n(\text{Ag}_2\text{CO}_3) = n(\mathbf{A}) = n(\mathbf{B}) = 0,11 \text{ моля.}$$

Оскільки в процесі оброблення хлоридною кислотою збільшилася маса солі **A**, то **A** — це AgCl .

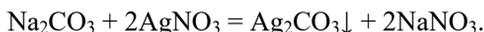
Тоді маса солі **B**: $m(\mathbf{B}) = 66,730 - 0,11 \cdot 143,25 - 0,11 \cdot 275,6 = 20,655$ г;
молярна маса: $M(\mathbf{B}) = 20,655 / 0,11 = 187,8$ (г/моль); сіль **B** — AgBr .

Оскільки ані NaOH , ані AgNO_3 , ані HCl не містять Карбону, то Карбон міститься лише в газі **X**. Отже, до складу **X** входять C, Cl, Br і ще, можливо, інші елементи.

$$n(\text{Cl}) = n(\text{Br}) = n(\mathbf{X}) = 0,11 \text{ моля,}$$

$M(\mathbf{X}) = 143,5 = M(\text{C}) + M(\text{Cl}) + M(\text{Br}) + M(\text{суми елементів})$, звідки
 $M(\text{суми елементів}) = 16$ г/моль, що відповідає Оксигену.

Тому газ **X** — це COClBr .



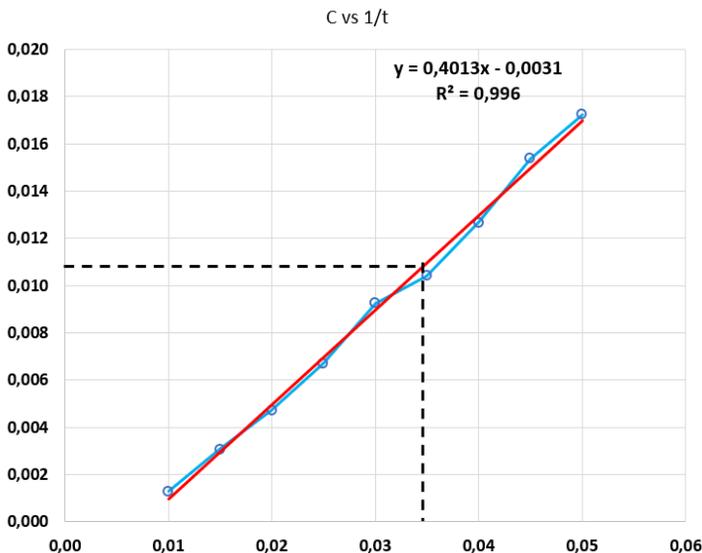
3. $M(\text{Ag}_2\text{CO}_3) = 275,7$ г/моль; $M(\text{AgCl}) = 143,3$ г/моль; $M(\text{AgBr}) = 187,8$ г/моль.

$$W(\text{Ag}) = 71,1 \text{ \%}.$$

4. **X** — трикутник (sp^2), **D** — лінійна молекула (sp).

Практичний тур

10.1. Кінетичне визначення концентрації $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



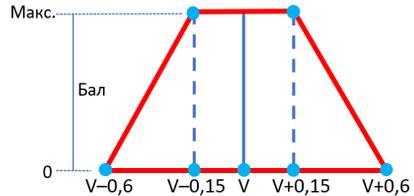
Використовуючи стоковий розчин $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ відомої концентрації, необхідно приготувати 9 розчинів шляхом його розведення. Далі, здійснивши попарне зливання цих розчинів і розчину сульфатної кислоти, фіксують час помутніння розчину (подія). На основі отриманих даних будують графік залежності часу від *початкової* концентрації $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Оцінюється якість виконання експерименту — значення R^2 , отримані з даних учасника ($> 0,99$ — повний бал; від 0,9 до 0,99 — пропорційне зменшення від максимуму до 0; менше ніж 0,9 — 0 балів). Також оцінюється розраховане за тангенсом нахилу прямої значення константи.

Наступний етап: взаємодія розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ невідомої концентрації з надлишком сульфатної кислоти. Фіксується час події, перераховується у зворотний час і графічно визначається початкова концентрація. Подвоєне значення дорівнює концентрації невідомого розчину з урахуванням розведення реакційного розчину. Оцінюється різниця часу, визначеного учасником, і теоретичного значення часу з урахуванням реальної

концентрації розчину та рівняння, отриманого з даних учасника у попередньому експерименті. Додатково оцінюється коректність розрахунку концентрації $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ з урахуванням отриманого учасником значення часу.

10.2. Титриметричне визначення концентрації $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

До аліквоти калій йодату відомої концентрації додають надлишок калій йодиду та кислоти. Йод, що виділився, титрують $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до світло-жовтого кольору і далі повільно — до повного знебарвлення розчину.



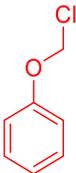
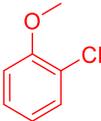
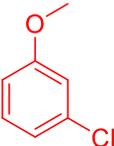
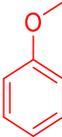
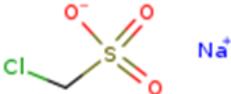
Оцінюється значення об'єму титранту, надане учасником, за методом трапеції. За відхилення $\pm 0,15$ мл від теоретичного значення учасник отримує повний бал; від $\pm 0,15$ мл до $\pm 0,6$ мл бал зменшується пропорційно від максимуму до 0; більше ніж $\pm 0,6$ мл — 0 балів відповідно. Також оцінюється розрахунок концентрації тіосульфату.

11 клас

I теоретичний тур

11.1. Завдання:

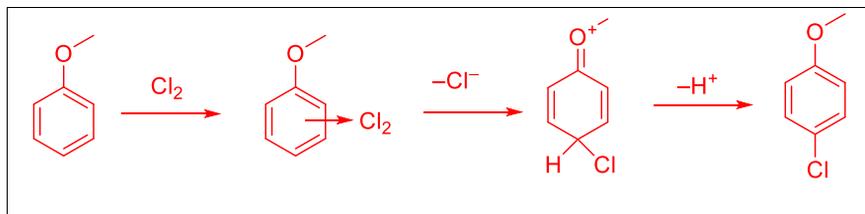
1.

| | | |
|---|---|---|
| A  | B  | C  |
| D  | X  | Y  |

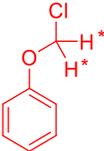
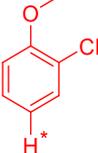
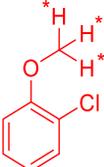
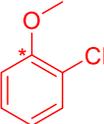
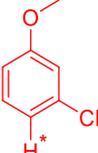
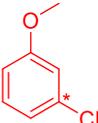
2. Прямим хлоруванням — А, С.

З використанням солі Y — В.

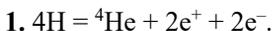
3.



4.

| Речовина | Хімічний зсув, м. ч. | Мультиплетність | Структура та співвіднесення |
|----------|-------------------------|-----------------|---|
| A | 117,4 | |  |
| B | 6,03 | синглет |  |
| C | 6,95 | триплет |  |
| C | 3,88 | синглет |  |
| C | 154,6 | |  |
| D | 7,06 | дублет |  |
| D | 136,5 | |  |

11.2. Завдання:



2. Відбувається взаємна анігіляція електронів та позитронів: $\text{e}^- + \text{e}^+ = 2 h\nu$.

3. $\Delta m = 4m(\text{H}) - m({}^4\text{He})$.

$\Delta m = -0,0286$ а. о. м. (+0,0286 а. о. м. також зараховується повними балом).

4. $m_0 = \Delta m \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

$4,75 \cdot 10^{-29}$ кг ($6,64 \cdot 10^{-29}$ кг).

5. $4,28 \cdot 10^{-12}$ Дж ($5,98 \cdot 10^{-12}$ Дж).

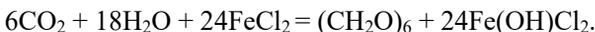
6. $N(\text{H}) = 4E / E_0$.

$m(\text{H}) = N(\text{H}) \cdot M(\text{H}) / N_a$.

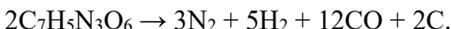
$5,98 \cdot 10^{14}$ г, $5,98 \cdot 10^{11}$ кг, $5,98 \cdot 10^8$ т.

$(4,28 \cdot 10^{14}$ г, $4,28 \cdot 10^{11}$ кг, $4,28 \cdot 10^8$ т).

7. CO_2 — окисник, H_2O — відновник.



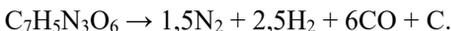
11.3. Завдання:



2. Напишемо рівняння детонації TG у розрахунку на 1 моль TG:
 $\text{H}_f\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9(\text{r}) \rightarrow 3\text{CO}_2(\text{r}) + 2,5\text{H}_2\text{O}(\text{p}) + 1,5\text{N}_2(\text{r}) + 0,25\text{O}_2(\text{r})$.

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{реакції}) &= 3 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) + 2,5 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}) - \Delta_f H^\circ(\text{TG}) = \\ &= 3 \cdot (-393,5) + 2,5 \cdot (-285,8) - (-371) = 1524 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}. \end{aligned}$$

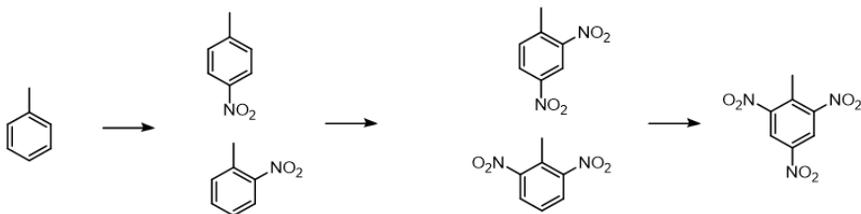
Аналогічно для рівняння:



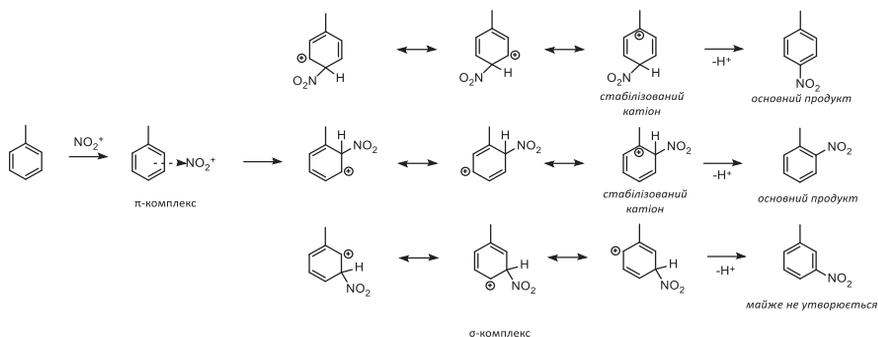
$$\begin{aligned} \Delta H(\text{реакції}) &= 6 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{CO}) - \Delta_f H^\circ(\text{TG}) = -6 \cdot 110,5 + 63,2 = \\ &= -599,8 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

3. Основними продуктами нітрування толуену є:

- для мононітропохідної — 2- та 4-нітротолуєни;
- для динітропохідної — 2,4- та 2,6-динітротолуєни;
- для тринітропохідної — 2,4,6-тринітротолуєн.



4. Активним нітрувальним агентом в реакції нітрування є катіон NO_2^+ . Реакція відбувається за механізмом електрофільного ароматичного заміщення. Спочатку толуен утворює π -комплекс, а потім — σ -комплекс унаслідок приєднання нітрогрупи. Лімітувальною для швидкості реакції стадією є саме утворення останнього, і у випадку 2- і 4-заміщення цей процес відбувається швидше завдяки утворенню стабілізованих метильною групою катіонів:



Більша швидкість приєднання за 2 та 4 положеннями призводить до того, що після швидкого відщеплення протона утворюється більше саме таких ізомерів.

5. Фізико-хімічні властивості ТНР визначаються мезомерним ефектом нітрогрупи.

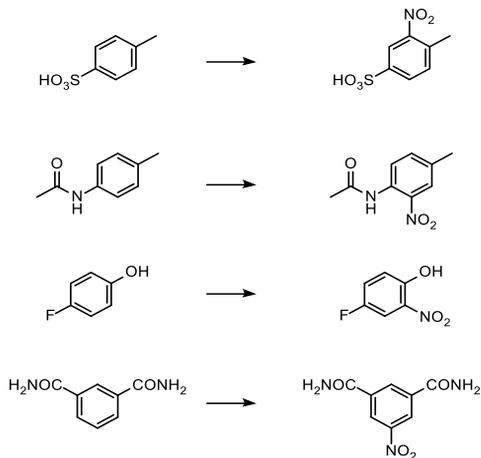
ТНР можна отримати прямим нітруванням фенолу.

Молекула ТНР є симетричною.

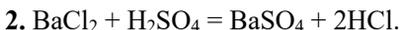
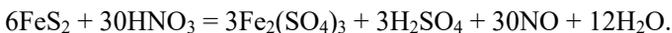
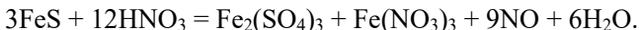
ТНР — сильна кислота.

Реакція нітрування фенолу відбувається за м'якших умов порівняно з нітруванням толуену.

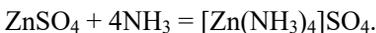
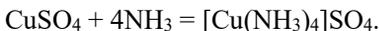
6.



11.4. Завдання:



$$\omega(S) = \frac{0,6267 \cdot 32,06 \cdot 100}{0,5000 \cdot 233,39 \cdot 50} \cdot 100 \% = 34,44 \%$$



Калібрування можна обробити за МНК, побудувати графік і виявити, що відхилення від закону Бугера — Ламберта — Бера мінімальні.

Вміст Купруму у фільтраті:

$$c(\text{Cu}) = \frac{0,542 \cdot 10 \text{ мл} \cdot 1 \text{ мг/мл}}{0,952 \cdot 15 \text{ мл}} = 0,380 \frac{\text{мг}}{\text{мл}}$$

Вміст міді у сплаві:

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{0,380 \frac{\text{мг}}{\text{мл}} \cdot 25 \text{ мл} \cdot 100 \text{ мл}}{0,5000 \text{ г} \cdot 10 \text{ мл} \cdot 1000 \text{ мг/г}} \cdot 100 \% = 19,0 \%$$

Метод СФ дає 3 значущі цифри, тому — так.

4. Сульфосаліцилова кислота — фенольна сполука, титрування EDTA в кислому середовищі. Визначаємо Ферум (+3):

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{15,3 \text{ мл} \cdot 0,025 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}} \cdot 100 \text{ мл} \cdot 55,845 \text{ г/моль}}{0,5000 \text{ г} \cdot 20 \text{ мл} \cdot 1000 \text{ мл/л}} \cdot 100 \% = 21,4 \%$$

Титрування дає теж 3 значущі цифри, тому — так.

5. На цій стадії титруємо залишковий Купрум і Цинк.

Концентрація Купруму в розчині 1 (0,380 мг/мл · 25 мл/10 мл = 0,950 мг/мл) уже відома з СФ.

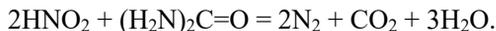
Розрахуємо концентрацію Цинку:

$$C(\text{Zn}) = \frac{24,3 \text{ мл} \cdot 0,025 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}}{20 \text{ мл}} - \frac{0,950 \frac{\text{Г}}{\text{Л}}}{63,546 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}} = 0,0154252 \text{ моль/л.}$$

$$\omega(\text{Zn}) = \frac{0,0154252 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}} \cdot 65,38 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ л}}{0,5000 \text{ г}} \cdot 100 \% = 20,2 \%$$

| | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| S — 34,44 % | Cu — 19,0 % | Fe — 21,4 % | Zn — 20,2 % |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|

6. Додали невелику кількість карбаміду, щоб нейтралізувати нітрит, який інакше буде псувати індикатори:



Розбавили водою до 200 мл, нагріли та по краплях додали надлишок BaCl_2 . Осад BaSO_4 — кристалічний. За таких умов (повільне осадження з гарячого розведеного розчину) він утворюється у формі порівняно великих кристалів, які зручно фільтрувати.

Нагріли, щоб сприяти коагуляції аморфного осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Інакше він буде адсорбувати домішки й дуже погано фільтруватися.

Додали 2 мл 1 моль/л розчину натрій ацетату ($\text{NaAc} + \text{HCl} = \text{HAc} + \text{NaCl}$), щоб створити буферну систему з рН близько 5. За цих умов Купрум і Цинк утворюють міцні комплекси з EDTA і рожеві комплекси з індикатором PAN, отже, їх можна відтитрувати.

11.5. Завдання:

1.

| A | B | C | D |
|---|---|--|--|
| $\text{CH}\equiv\text{CH}$ | $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ | $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$ | $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{OH}$ |
| E | F | G | H |
| $\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{=O} \\ \text{H} \end{matrix}$ | $(-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-)n$ | $(-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-)n$ | $\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{matrix}$ |
| I | J | K | |
| $\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{=O} \\ \text{O}-\text{CH}=\text{CH}_2 \end{matrix}$ | $(-\text{CH}_2-\underset{\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3}{\text{CH}}-)n$ | $(-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-)n$ | |

Розрахунок

За умовою густина **I** за воднем становить 43, отже:

$$M(\text{I}) = 43 \cdot 2 \text{ г/моль} = 86 \text{ г/моль.}$$

$$n(\text{I}) = 8,6 \text{ г} / 86 \text{ г/моль} = 0,1 \text{ моля.}$$

$$n(\text{CO}_2) = 17,6 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моля} = n(\text{C}).$$

$$n(\text{C}) / n(\text{I}) = 0,4 / 0,1 = 4 \Rightarrow \text{C}_4.$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 5,4 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ моля.}$$

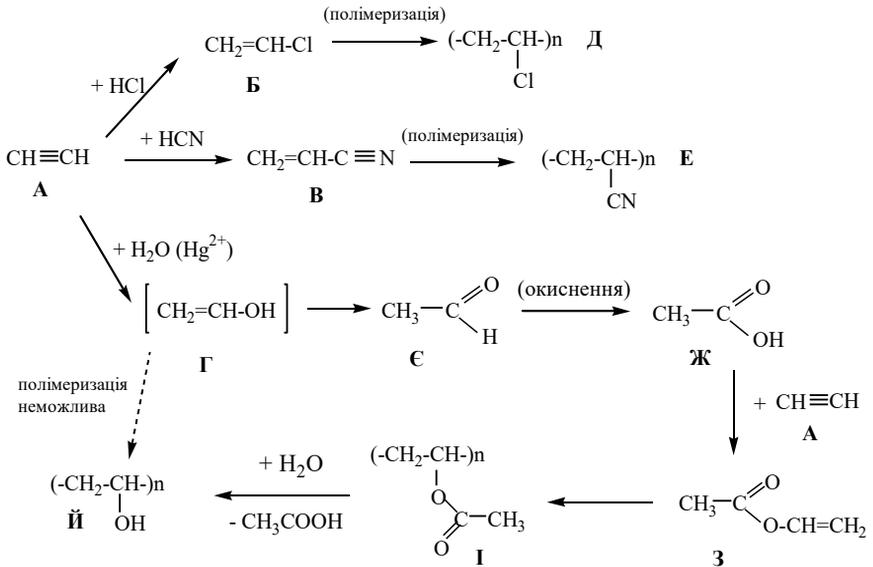
$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,6 \text{ моля.}$$

$$n(\text{H}) / n(\text{I}) = 0,6 / 0,1 = 6 \Rightarrow \text{C}_4\text{H}_6.$$

$$M(\text{C}_4\text{H}_6) = 54 \text{ г/моль.}$$

Отже, різниця молярних мас: $86 - 54 = 32 \text{ г/моль}$, тоді це Оксиген.

$$32 / 16 = 2 \Rightarrow \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2.$$



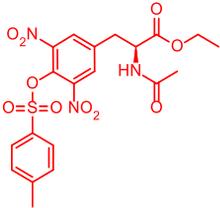
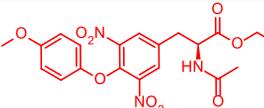
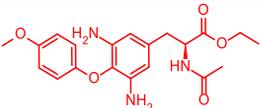
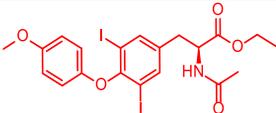
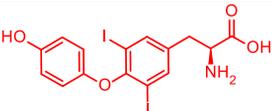
11.6. Завдання:

1. Левотироксин — S-ізомер.

2.

| Хімічний зсув | Номер атома |
|---------------------------------|-------------|
| 7,31 (d, J = 8 Hz, 2H) | 7 + 7' |
| 7,07 (d, J = 8,5 Hz, 2H) | 8 + 8' |
| 4,68 (dd, J = 8, 4,6 Hz, 1H) | 3 |
| 3,63 (dd, J = 15,4, 4,6 Hz, 1H) | 5 |
| 3,39 (dd, J = 15,1, 8,8 Hz, 1H) | 5 |

3.

| A | B | C |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  | | |

4. Вміст речовини у досліджуваному зразку:

$$C_{\text{зразок}} = C_{\text{стандарт}} \cdot \frac{S_{\text{зразок}}}{S_{\text{стандарт}}}$$

Підставляємо:

$$C_{\text{зразок}} = 10 \cdot \frac{1187}{1250} \approx 9,5 \text{ мкг/мл.}$$

Маса активної речовини в таблетці: $9,5 \text{ мкг/мл} \cdot 10 \text{ мл} = 95 \text{ мкг.}$

5. Використовуємо закон Бугера — Ламберта — Бера:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l,$$

де A — оптична густина; c — концентрація; ε та l (молярний коефіцієнт поглинання і довжина кювети) — однакові для стандартного розчину й екстракту.

Відношення:

$$\frac{A_{\text{екстракт}}}{A_{\text{стандарт}}} = \frac{c_{\text{екстракт}}}{c_{\text{стандарт}}}.$$

Підставляємо значення:

$$\frac{0,270}{0,300} = \frac{c_{\text{екстракт}}}{10},$$

$$c_{\text{екстракт}} = 10 \cdot \frac{0,270}{0,300} = 9 \text{ мкг/мл.}$$

Маса активної речовини в таблетці: $9 \text{ мкг/мл} \cdot 10 \text{ мл} = 90 \text{ мкг}$.

11.7. Завдання:

1.

| K | K ⁺ | S | S ²⁻ |
|---|---|---|---|
| 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴ | 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ |
| K | | S ²⁻ | |

2. В елементарній комірці 8 йонів K⁺ (які менші) й 4 йони S²⁻ ($8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2$). Отже, загальна формула — K₈S₄ або ж 4 формульні одиниці K₂S.

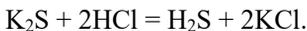
Густина вираховується за формулою:

$$\rho = \frac{N \cdot M}{N_a \cdot V} = \frac{N \cdot M}{N_a \cdot a^3} = \frac{4 \cdot 110}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (7,39 \cdot 10^{-8})^3} = 1,81 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

| | |
|--|--|
| Кількість формульних одиниць: 4 | Густина: $\rho = 1,81 \text{ г/см}^3$ |
|--|--|

2. Ентальпія реакції на 1 моль K₂S:

$$\Delta_f H^\circ = -6,07 / 0,02 = -303,5 \text{ кДж/моль} \quad (-304,24 \text{ кДж/моль}).$$



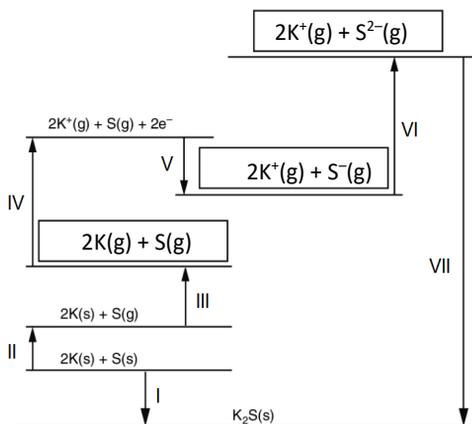
За законом Гесса:

$$\Delta_f H^\circ = 2\Delta_f H^\circ(\text{KCl}) + \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{S}) - 2\Delta_f H^\circ(\text{HCl}) - \Delta_f H^\circ(\text{K}_2\text{S}) = -303,5 \text{ кДж/моль}.$$

$$\text{Звідки: } \Delta_f H^\circ(\text{K}_2\text{S}) = -406,7 \text{ кДж/моль} \quad (-405,33 \text{ кДж/моль}).$$

| | |
|---|--|
| Термохімічне рівняння: K ₂ S + 2HCl = H ₂ S + 2KCl, $\Delta_f H^\circ = -303,5 \text{ кДж/моль}$ | Теплота утворення K₂S: $\Delta_f H^\circ(\text{K}_2\text{S}) = -406,7 \text{ кДж/моль}$ |
|---|--|

4.



5.

| | |
|-----|--|
| II | сублімація сірки |
| III | сублімація калію |
| IV | потенціал йонізації |
| V | спорідненість до електрона (I) |
| VI | спорідненість до електрона (II) |
| VII | енергія кристалічної ґратки зі знаком «←→» |

6. З огляду на діаграму можна скласти рівняння для енергії VII:

$$\begin{aligned}
 -\Delta H_{VII} &= -\Delta_f H(K_2S) + \Delta H_{II} + \Delta H_{III} + \Delta H_{IV} - \Delta H_V + \Delta H_{VI} = \\
 &= 405,33 + 278,95 + 88,79 \cdot 2 + 419,41 \cdot 2 - 200,12 + 640,23 = \\
 &= 2140,79 \text{ кДж/моль.}
 \end{aligned}$$

Енергія кристалічної ґратки: $U_0 = 2140,79 \text{ кДж/моль}$.

7. Суму радіусів визначимо з інформації про структуру кристалічної ґратки зі стороною $7,39 \text{ \AA}$ — розіб'ємо всю ґратку на 8 менших кубиків, діагональ буде дорівнювати двом $(r^+ + r^-)$:

$$d = \frac{a\sqrt{3}}{2} = 2(r^+ + r^-).$$

Звідки: $r^+ + r^- = 3,2 \text{ \AA}$.

Підставляємо це значення в рівняння Капустинського:

$$U_o = -\frac{1,2 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3}{3,2} \left(1 - \frac{0,345}{3,2}\right) = -2007,4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

І цикл Борна — Габера і формула Капустинського для K_2S приводять до схожих значень енергії ґраток

✓

11.8. Завдання:

1. Розрахунок

Масова частка Оксигену в бінарній сполуці $D(X_2O_n)$ дорівнює 14,83 %, звідки можна отримати такий результат:

$$16 \cdot n / (M(X) \cdot 2 + 16 \cdot n) = 0,1483.$$

Отже, $M(X) = 45,95n$.

Перебираючи можливі значення n , можна виявити, що $n = 4$, $M(X) = 183,8$, що відповідає Вольфраму, а формула сполуки **D** — WO_2 .

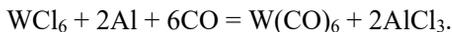
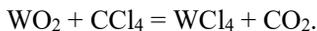
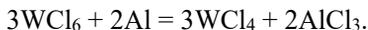
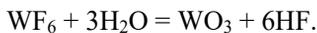
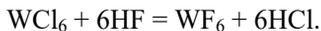
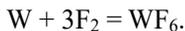
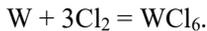
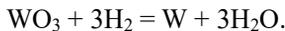
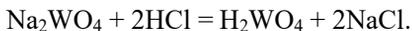
Тоді **X** — W, **A** — Na_2WO_4 .

| | | |
|----------|------------|---|
| X | A | $\underline{Mn}[XO_4] + \underline{Na}_2CO_3 + O_2 \Rightarrow \underline{A} + 4CO_2 + \underline{Mn}_2O_3$ |
| W | Na_2WO_4 | $4MnWO_4 + 4Na_2CO_3 + O_2 \Rightarrow 4Na_2WO_4 + 4CO_2 + 2Mn_2O_3$ |

2.

| B | C | D | E | F | G | H | I |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| H_2WO_4 | WO_3 | WO_2 | WCl_6 | WF_6 | WCl_4 | $W(CO)_6$ | WC |

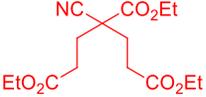
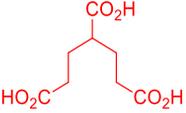
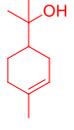
Рівняння реакцій



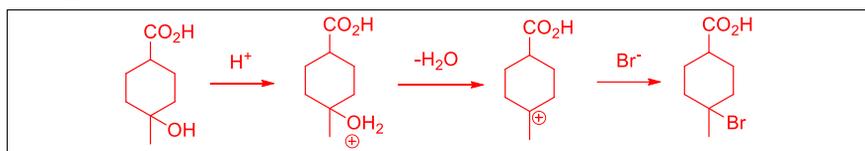
II теоретичний тур

11.1. Завдання:

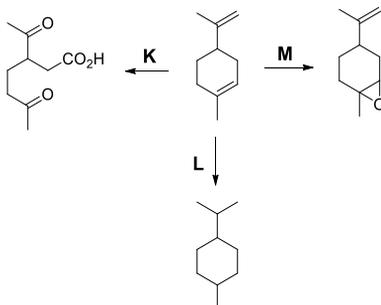
1.

| | | |
|---|---|---|
| A | B | C |
|  |  |  |
| D | E | F |
|  |  |  |
| G | H | I |
|  |  |  |

2.



3.



К O_3/H_2O_2 .

L H_2/Pd .

M H_2O_2 .

11.2. Завдання:

1. $^{32}S_8$ $m/z_1 = 256$.

$^{32}S_7^{34}S$ $m/z_2 = 258$.

$I_2 / I_1 = (8/23) / (22/23) = 0,364$.

| | |
|----------------|---------------|
| $m/z_1 = 256$ | $m/z_2 = 258$ |
| $I_1 = 100 \%$ | $I_2 = 36 \%$ |

2.

| | | |
|--------------|------------|--------------|
| X | A | B |
| S | Na_2SO_3 | Na_2S |
| C | D | E |
| $Na_2S_2O_3$ | Na_2S_2 | $Na_2S_4O_6$ |

3.

| | | |
|----------|----------|----------|
| F | G | H |
| SO_2 | SO_3 | S_8O |

4.

| | | | |
|----------|----------|-------------|--------------|
| C | D | E | H |
| +2 | -1 | +2,5 (+5/2) | +0,25 (+1/4) |

5.

| | | |
|----------|----------|----------|
| C | E | H |
| | | |

6. $2SO_3 + H_2O = H_2S_2O_7$.

$H_2S_2O_7 + 4NaOH = 2Na_2SO_4 + 3H_2O$.

7. Термічне розкладання NaHSO_4 .



11.3. Завдання:

1. З густини та розмірів елементарної комірки сполуки **A** маємо молярну масу комірки — 444,23 г/моль.

З огляду на те, що елементарна комірка містить дві одиниці сполуки **A**:

$$M(\text{A}) = 222,15.$$

$$M(\text{X}) = w \cdot M(\text{A}) = 192,1, \text{ звідки: } \mathbf{X} \text{ — Os, } \mathbf{A} \text{ — OsO}_2.$$

| | | | |
|----------|----------------|----------|----|
| A | OsO_2 | X | Os |
|----------|----------------|----------|----|

2. З умови сполука **B** — оксид металу **X**.

$$\text{Для OsO}_n: \frac{190,2}{190,2 + 16n} = 0,7483, \text{ тому } n = 4, \mathbf{B} \text{ — OsO}_4.$$

Молярна маса сполуки **C**: $254,2 \cdot 1,016 = 258,3$, що відповідає формулі — $\text{Os}(\text{OH})_4$.

Молекула **E**, яка утворюється з етилового спирту, містить два атоми Карбону, отже: $M(\text{E}) = 12 \cdot 2 / 0,5453 = 44$ г/моль, що відповідає етанолу — CH_3CHO .

| | | | | | |
|----------|----------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|
| B | OsO_4 | C | $\text{Os}(\text{OH})_4$ | E | CH_3CHO |
|----------|----------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|

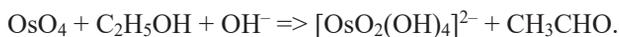
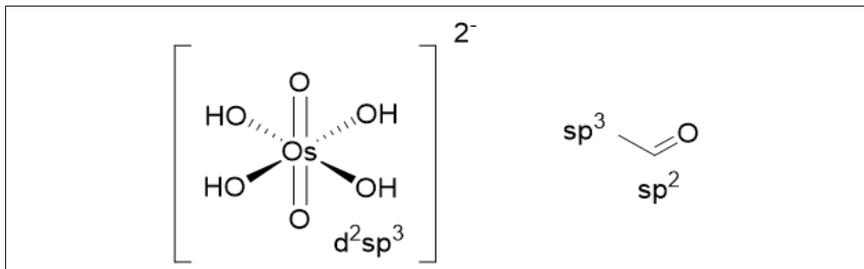
3. Якісний склад аніона ідентичний **C**, він не містить нейтральних молекул у внутрішній координаційній сфері, отже, він містить лише Осмій, Гідроген і Оксиген.

Ступінь окиснення **X** у ньому на два більше, ніж ступінь окиснення в сполуці **C**, отже, Осмій виявляє ступінь окиснення +6.

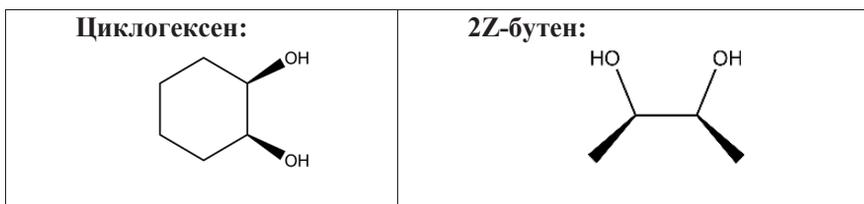
Враховуючи масову частку Осмію в сполуці, отримуємо молярну масу аніона — 290,2 г/моль.

З масової частки Гідрогену виявляємо, що один аніон **D** містить 4 атоми Гідрогену. Аніон не містить нейтральних молекул, відповідно Гідроген може бути лише в складі гідроксид-іонів, тобто аніон містить 4 OH^- . Враховуючи молярну масу аніона, отримуємо формулу **D** — $[\text{OsO}_2(\text{OH})_4]^{2-}$.

$$\text{Аніон } \mathbf{D} \text{ — } [\text{OsO}_2(\text{OH})_4]^{2-}.$$



5.



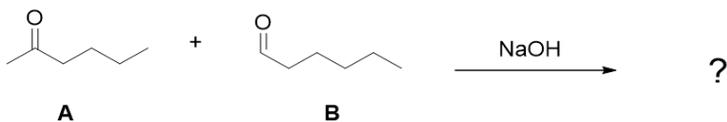
6. $w(\text{Os})$ у сполуці **Н** дорівнює 72,85 %, що відповідає бінарній сполуці з формулою OsCl_2 , тому **І** – Cl_2 .

F — це хлорид, у якому Осмій виявляє у два рази більший ступінь окиснення, ніж в OsCl_2 , отже, **F** – OsCl_4 . Це єдиний хлорид осмію, здатний диспропорціонувати на хлориди зі ступенями окиснення +2 та +4. Таким чином, у сполуці **G** Осмій виявляє ступінь окиснення +3.

| F | OsCl ₄ | G | OsCl ₃ | H | OsCl ₂ | I | Cl ₂ |
|-------------------------|--|---|-------------------|---|-------------------|---|-----------------|
| Рівняння реакцій | $\text{Os} + 2\text{Cl}_2 = \text{OsCl}_4$ | | | | | | |
| | $2\text{Os} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{OsCl}_3$ | | | | | | |
| | $2\text{OsCl}_3 = \text{OsCl}_2 + \text{OsCl}_4$ | | | | | | |

11.4. Завдання:

1.



| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |

2.

| | |
|----------|--|
| X | |
|----------|--|

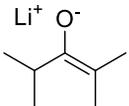
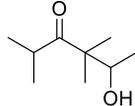
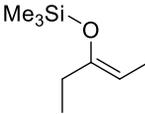
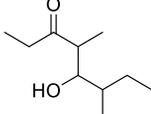
3.

| | |
|----------|--|
| Y | |
|----------|--|

Причини утворення лише **Y**:

- тільки фенілацетон здатний енолізуватися під дією лугів;
- пара-нітробензальдегід є суттєво більш електрофільним.

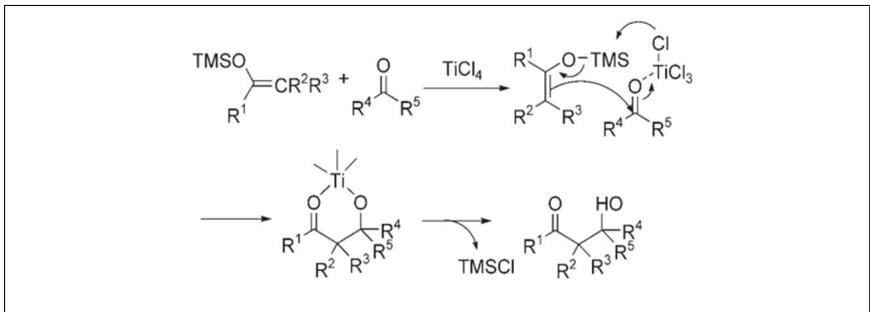
4.

| C | D |
|---|---|
|  |  |
| E | F |
|  |  |

5.

| | |
|--|---|
| Перетворення C → D має циклічний перехідний стан | + |
| TiCl ₄ використовується як кислота Льюїса | + |

6.



11.5. Завдання:

1.

| A | B | Рівняння реакції |
|-----------------|----------------|---|
| CH ₄ | H ₂ | CH ₄ + NH ₃ ⇌ HCN + 3H ₂ |

$$2. X = 0 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

$$\Delta_r H^\circ = \Delta_r H^\circ(\text{HCN}) - (\Delta_r H^\circ(\text{CH}_4) + \Delta_r H^\circ(\text{NH}_3)) = 255,6 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

$$\Delta_r S^\circ = (\Delta_r S^\circ(\text{HCN}) + 3\Delta_r S^\circ(\text{H}_2)) - (\Delta_r S^\circ(\text{CH}_4) + \Delta_r S^\circ(\text{NH}_3)) = \\ = 214,74 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

$$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \cdot \Delta_r S^\circ = 255,6 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} - \\ - 298,15 \text{ K} \cdot 0,21474 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ K}^{-1} = 191,58 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

$$\Delta_r G^\circ = 191,58 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

3.

| | CH ₄ | NH ₃ | HCN | H ₂ |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----|----------------|
| Було / моль | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Прореагувало / моль | -y | -y | y | 3y |
| Стало / моль | 1-y | 1-y | y | 3y |

$$n_{\text{TOT}} = (1 - y) + (1 - y) + y + 3y = (2 + 2y) \text{ моль}.$$

У газовій суміші: $x_i = \mu_i$.

Тоді:

$$x_{\text{H}_2} = \frac{3y}{2 + 2y} = 0,5053.$$

$$3y = 0,5053(2 + 2y).$$

$$3y = 1,0106 + 1,0106y.$$

$$1,9894y = 1,0106.$$

$$y = 1,0106 / 1,9894 = 0,5080.$$

$$K_p = \frac{p_{\text{HCN}} \cdot p_{\text{H}_2}^3}{p_{\text{CH}_4} \cdot p_{\text{NH}_3}} = \frac{x_{\text{HCN}} \cdot x_{\text{H}_2}^3}{x_{\text{CH}_4} \cdot x_{\text{NH}_3}} \cdot p_{\text{TOT}}^2 = \frac{n_{\text{HCN}} \cdot n_{\text{H}_2}^3}{n_{\text{CH}_4} \cdot n_{\text{NH}_3}} \cdot \frac{p_{\text{TOT}}^2}{n_{\text{TOT}}^2}.$$

$$K_p = \frac{(y) \cdot (3y)^3}{(1 - y)^2 \cdot (2 + 2y)^2} = \frac{(0,5080) \cdot (3 \cdot 0,5080)^3}{(1 - 0,5080)^2 \cdot (2 + 2 \cdot 0,5080)^2} = 0,8166.$$

$$K_p = 0,8166.$$

4. Реакція є ендотермічною, тому за підвищення температури константа рівноваги збільшиться.

Зміна тиску не впливає на значення константи, а лише на рівноважний склад суміші, тому константа не зміниться.

5. Згідно з даними з п. 2:

$$\Delta_r G^\circ = 191,575 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Тоді:

$$K_{298,15\text{ K}} = \exp\{-\Delta_r G^\circ / RT\} = \\ = \exp\{-191580 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} / 8,314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K}\} = \\ = 2,721 \cdot 10^{-34}.$$

$$\ln\left(\frac{K_{1200\text{ K}}}{K_{298,15\text{ K}}}\right) = -\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \cdot \left(\frac{1}{1200\text{ K}} - \frac{1}{298,15\text{ K}}\right).$$

$$K_{1200\text{ K}} = \exp\{(-255600 \text{ Дж} / 8,314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (1/1200\text{ K} - \\ - 1/298,15\text{ K}) + \ln(2,721 \cdot 10^{-34})\} = 1,2303.$$

| | CH₄ | NH₃ | HCN | H₂ |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------|----------------------|
| Було / моль | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Прореагувало / моль | -y | -y | y | 3y |
| Стало / моль | 1-y | 1-y | y | 3y |

$$n_{\text{тот}} = (1 - y) + (1 - y) + y + 3y = (2 + 2y) \text{ моль}.$$

Аналогічно з п. 3 складаємо рівняння:

$$K_p = \frac{(y) \cdot (3y)^3}{(1 - y)^2 \cdot (2 + 2y)^2} = 1,2303.$$

Після його спрощення отримуємо:

$$27y^4 / 4(y - 1)^2(y + 1)^2 = 1,2303 \rightarrow 27y^4 = 4,9212(y - 1)^2(y + 1)^2 \rightarrow \\ \rightarrow 5,4865y^4 = (y - 1)^2(y + 1)^2 \rightarrow 5,4865y^4 = y^4 - 2y^2 + 1 \rightarrow 4,4865y^4 + \\ + 2y^2 - 1 = 0.$$

$$\text{Отже, маємо рівняння: } 4,4865y^4 + 2y^2 - 1 = 0.$$

Розв'язавши це рівняння методом заміни, отримуємо:

$$y = 0,5470 \text{ моля}.$$

Тоді:

$$x(\text{CH}_4) = x(\text{NH}_3) = (1 - y) / (2 + 2y) \cdot 100 \% =$$

$$= (1 - 0,5470 \text{ моля}) / (2 + 2 \cdot 0,5470 \text{ моля}) \cdot 100 \% = 14,64 \%.$$

$$x(\text{HCN}) = y / (2 + 2y) \cdot 100 \% = 0,5470 \text{ моля} / (2 + 2 \cdot 0,5470 \text{ моля}) \cdot 100 \% = \\ = 17,68 \%.$$

$$x(\text{H}_2) = (3y) / (2 + 2y) \cdot 100 \% = 3 \cdot 0,5470 \text{ моля} / (2 + 2 \cdot 0,5470 \text{ моля}) \cdot 100 \% = \\ = 53,04 \%.$$

$$x(\text{CH}_4) = 14,64 \%.$$

$$x(\text{NH}_3) = 14,64 \%.$$

$$x(\text{HCN}) = 17,68 \%.$$

$$x(\text{H}_2) = 53,04 \%.$$

6. K_p залишається такою самою, як у п. 5.

$$K_p = [y \cdot (3y)^3 / (1 - y)^2 \cdot (2 + 2y)^2] \cdot p_{\text{ТОТ}}^2 = 1,2303.$$

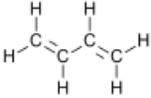
Конверсія $A = 95\%$ за $y = 0,95$ моля.

$$\text{Тоді: } K_p = [0,95 \cdot (3 \cdot 0,95)^3 / (1 - 0,95)^2 \cdot (2 + 2 \cdot 0,95)^2] \cdot p_{\text{ТОТ}}^2 = 1,2303.$$

Отримуємо рівняння: $578,35 \cdot p_{\text{ТОТ}}^2 = 1,2303$.

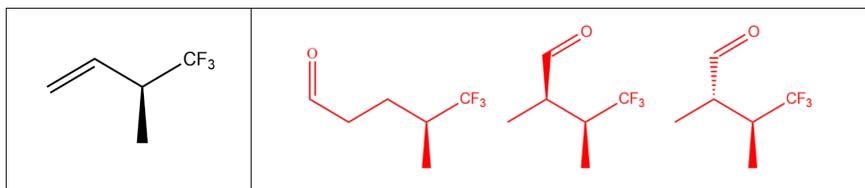
Таким чином, $p_{\text{ТОТ}} = (1,2303 / 578,35)^{0,5} = 0,046$ бара.

7.

| С | Назва С | Рівняння реакції |
|---|--------------------------|--|
|  | Бутадієн бут-1,3-дієн | $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + 2\text{HCN} \Rightarrow$ $\Rightarrow \text{NC}-(\text{CH})_4-\text{CN}$ |

11.6. Завдання:

1.



2. У 2-му експерименті зменшили кількість $\text{HCo}(\text{CO})_4$ майже у 2 рази, при цьому швидкість реакції зменшилася майже в 4 рази. Отже, порядок за $\text{HCo}(\text{CO})_4$ — 2-й (квадратична залежність).

У 3-му експерименті збільшили тиск водню у 2 рази, але швидкість реакції майже не змінилася. Доходимо висновку, що швидкість реакції не залежить від кількості H_2 — 0-й порядок.

У 4-му досліді порівняно з 1-м зменшили тиск CO у 2 рази, а швидкість реакції збільшилася у 2 рази. Таким чином, маємо зворотну залежність (–1-й порядок за CO).

| | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Порядок за $\text{HCo}(\text{CO})_4$: 2 | Порядок за H_2 : 0 | Порядок за CO : –1 |
|--|-----------------------------|-----------------------------|

3.

$$k_{obs} = \frac{r \cdot p_{CO}}{[HCo(CO)_4]_0^2} = \frac{1,87 \cdot 10^{-6} \cdot 0,467}{0,296^2} = 9,97 \cdot 10^{-6} \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{с}}.$$

| Вираз швидкості | Константа швидкості | Розмірність константи |
|--|--------------------------------|--|
| $r = k_{obs} \frac{[HCo(CO)_4]_0^2}{p_{CO}}$ | $k_{obs} = 9,97 \cdot 10^{-6}$ | $\frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ |

4.

$$k_H = \frac{k_{obs}}{p_{CO}} = \frac{9,97 \cdot 10^{-6}}{0,467} = 2,13 \cdot 10^{-5} \frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}.$$

| Константа швидкості | Розмірність константи швидкості |
|----------------------------|---|
| $k_H = 2,13 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ |

5. Беремо результати за 25 °С, 45 °С і однакової кількості реагентів.

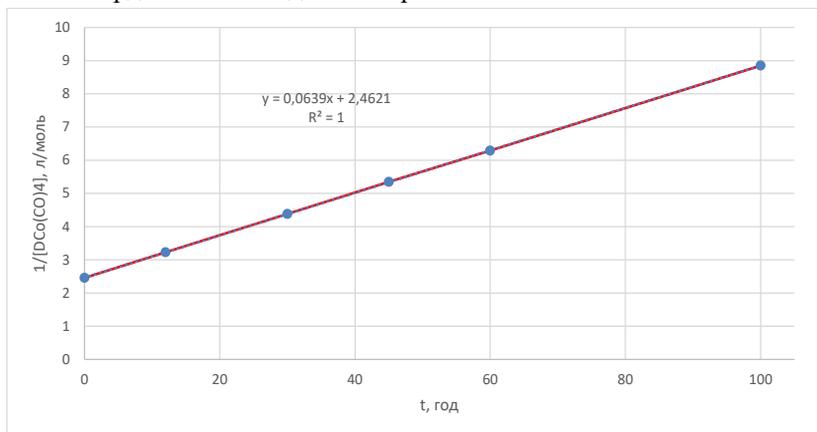
$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

Звідси енергія активації розраховується за формулою:

$$E_a = \frac{R \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = \frac{8,314 \cdot \ln \left(\frac{1,33 \cdot 10^{-5}}{1,86 \cdot 10^{-6}} \right)}{\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{318} \right)}.$$

Енергія активації: $E_a = 77,5$ кДж/моль.

6. У координатах $1/c$ від t спостерігається лінійна залежність.



Отже, $k_D = 0,0639$ л / (моль · год) = $1,78 \cdot 10^{-5}$ л / (моль · с).

| Порядок реакції | Константа швидкості | Розмірність константи |
|-----------------|----------------------------|---|
| Другий | $k_D = 1,78 \cdot 10^{-5}$ | $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ |

7.

$$\frac{k_H}{k_D} = \frac{2,13 \cdot 10^{-5}}{1,78 \cdot 10^{-5}} = 1,2.$$

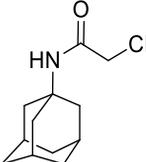
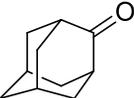
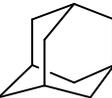
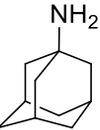
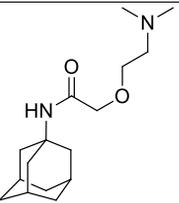
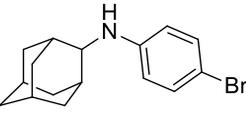
Отримане значення близьке до 1, що вказує на те, що лімітувальною стадією не є реакція відривання Гідрогену від Кобальту

✓

11.7. Завдання:

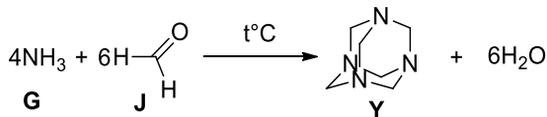
1.

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| | | | |

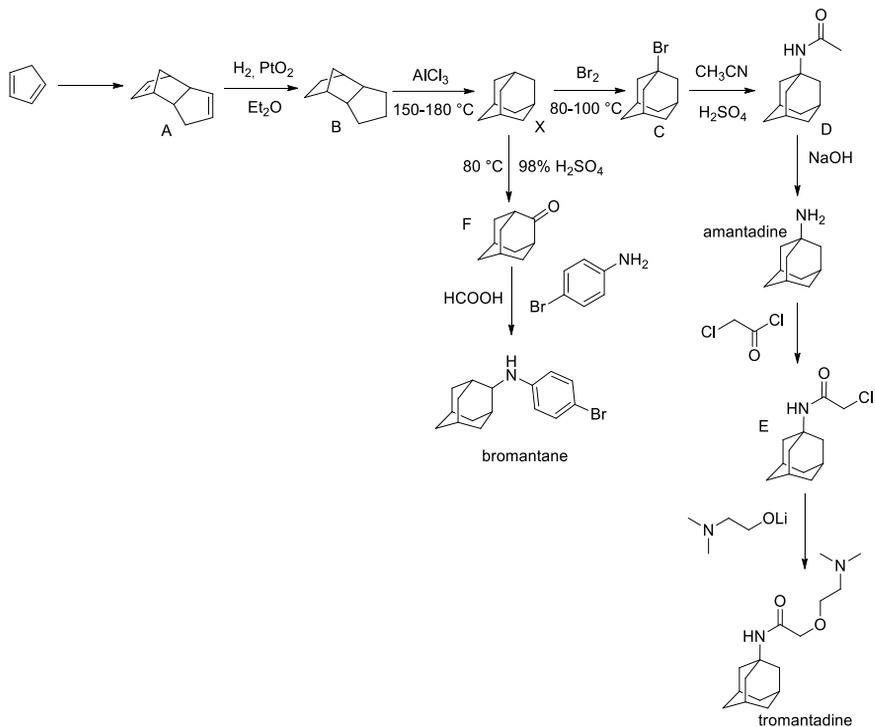
| | | | |
|---|---|---|---|
| Е | Ф | Х | Амантадин |
|  |  |  |  |
| Тромантадин | Бромантан | | |
|  |  | | |

2. Електрофільність атома Карбону карбонільної групи в хлорангідриді хлороцтової кислоти є значно вищою, ніж електрофільність іншого атома Карбону.

3.



Уротропін використовується як сухе пальне для отримання пластмас, а також у медицині (лікування інфекцій сечовивідних шляхів).



11.8. Завдання:

- $E^0(\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}) = -0,491 \text{ В}$.
- Стандартна ЕРС реакції 1: $0,4 \text{ В} - (-0,491 \text{ В}) = 0,891 \text{ В}$.
- $E(\text{AuCl}_4^-/\text{Au}) = E^0(\text{Au}^{3+}/\text{Au}) + 0,059/3[\log(1/([\text{Cl}^-]^4 K_{\text{stab}2}))] = 0,913 \text{ В}$.
- Рівняння 2: $\text{HNO}_3 + 3\text{HCl} \rightarrow \text{NOCl} + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.
- Рівняння 3: $2 \text{NOCl} \rightarrow 2 \text{NO} + \text{Cl}_2$.

5.

| Частинка | Теоретична ЕРС реакції з Au, В | Чи окиснює золото |
|-----------------|---|-------------------|
| NO_3^- | $0,81 \text{ В} - 0,913 \text{ В} = -0,103 \text{ В}$ | — |
| NOCl | $1,51 \text{ В} - 0,913 \text{ В} = 0,597 \text{ В}$ | + |
| Cl_2 | $1,36 \text{ В} - 0,913 \text{ В} = 0,447 \text{ В}$ | + |

- Рівняння 4: $\text{Au} + \text{HNO}_3 + 4\text{HCl} \rightarrow \text{HAuCl}_4 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$.
- Рівняння 5: $\text{H}[\text{AuCl}_4] + 3\text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Au} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeCl}_3 + \text{HCl}$.
- $E^0(\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}) = 0,78 \text{ В}$.

$$E_{\text{анод}} = E_{\text{кат}} - E_{\text{PC}}(\text{реакції}) = 1,5 + (0,059 / 3) [\log([\text{HAuCl}_4] / (\text{K}_{\text{stab}2}[\text{Cl}^-]^4))] - 0,154 = 0,791 \text{ В.}$$

$$E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = E_{\text{анод}} - 0,0591 \log([\text{Fe}^{3+}] / [\text{Fe}^{2+}]) = 0,774 \text{ В.}$$

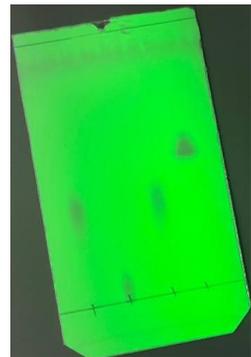
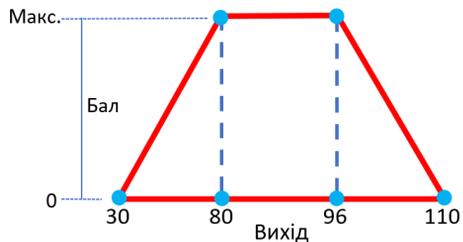
Практичний тур

11.1. Синтез бензоїлзахищеної амінокислоти

Наважку невідомої амінокислоти розчиняють у розчині натрій гідроксиду, охолоджують і повільно додають бензоїлхлорид. Після проходження реакції додають холодну воду та хлоридну кислоту до $\text{pH} < 3$. Утворений

продукт фільтрують, промивають, сушать, зважують. Оцінюється вихід продукту (після переважування) за методом трапеції. Вихід 80–96 % — повний бал; від 30 до 80 % та від 96 до 110 % — пропорційне зменшення від максимуму до 0; інші значення — 0 балів

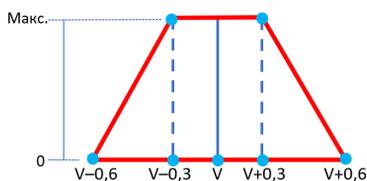
Зразок продукту відбирають у віалу, разом з трьома зразками розчиняють в етанолі та піддають ТШХ-аналізу. Це дає змогу дійти висновку, що невідома амінокислота — гліцин, і розрахувати вихід продукту. У разі неправильного висновку розрахунки виходу також оцінюються. Додатково оцінюються значення R_f для кожної речовини, відсутність бензойної кислоти у продукті та якість проведення аналізу: наявність всіх плям; відсутність артефактів і рівний фронт елюента.



11.2. Нітритометрія

Перша частина — стандартизація розчину натрій нітриту. Оцінюється значення об'єму титранту, надане учасником, за методом трапеції. Теоретичне значення об'єму CAN — 9,9 мл. За відхилення $\pm 0,3$ мл від теоретичного значення учасник отримує повний бал; від $\pm 0,3$ мл до $\pm 0,6$ мл — бал зменшується пропорційно від максимуму до 0; більше ніж $\pm 0,6$ мл — 0 балів відповідно. Також оцінюється розрахунок концентрації натрій нітриту.

Друга частина — кількісне визначення сульфанілової кислоти. Після прободготовки отриманий розчин натрієвої солі титрується у присутності змішаного індикатора до зміни кольору. Критичним є дотримання швидкості додавання нітриту. Оцінювання відбувається аналогічно попередній частині. Також оцінюється розрахунок маси сульфанілової кислоти у мірній колбі.



Список літератури

1. Гога С. Т., Ісаєнко Ю. В. Хімія. Харків : ФОП Співак В. Л., 2013. 320 с.
2. Даскалу Ю. К. Хімія. Алгоритми та методичні рекомендації по розв'язуванню розрахункових задач з хімії : навч. посіб. URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/dascalu/43240080> (дата звернення: 06.07.2024).
3. Дячук Л. Збірник задач з хімії. 9 клас. Тернопіль : Підручники і посібники, 2010. 48 с.
4. Загоруй М. Й. Хімія. Як розв'язувати задачі. Київ : Логос, 2000. 128 с.
5. Кириченко В. І. Загальна хімія: навч. посіб. Київ : Вища школа, 2005. 639 с.
6. Кукса С. П. 600 задач з хімії. 2-ге вид., виправ. Тернопіль : Мандрівець, 2005. 144 с.
7. Методика розв'язування розрахункових задач з хімії : навч. посіб. / уклад.: І. М. Курмакова, П. В. Самойленко, О. С. Бондар, С. В. Грузнова. Чернігів : НУЧК, 2018. 165 с.
8. Рибачук Л. М. Розв'язування задач з хімії : навч. посіб. Тернопіль : Мандрівець, 2013. 144 с.
9. Основні поняття й закони хімії : методичні рекомендації та завдання до самостійного вивчення дисципліни студентами всіх напрямів підготовки / П. О. Єгоров, О. Б. Нетяга, Г. В. Тарасова. Дніпро : Національний гірничий університет, 2012. 18 с.
10. Романова Н. В. Загальна та неорганічна хімія : підруч. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Ірпінь : ВТФ «Перун», 2007. 480 с.
11. Савчин М. М. Органічна хімія. Різномірні задачі і вправи. Тестові завдання. Львів : ВНТЛ-Класика, 2014. 336 с.
12. Телегус В. С. Основи загальної хімії : підручник / В. С. Телегус, О. І. Бодак, О. С. Заречнюк, В. В. Кінжибало. Львів : Світ, 2000. 424 с.
13. Хімія : навч. посібник / П. О. Єгоров, В. Д. Мешко та ін. Дніпро : Національний гірничий університет, 2014. 263 с.
14. Хімія: тестові завдання : навч. посіб. / О. Ю. Светкіна, О. Б. Нетяга, Г. В. Тарасова, С. М. Лисицька; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2019. 178 с.
15. Цветкова Л. К. Загальна хімія: теорія і задачі : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 400 с.
16. Цікаво про хімічні елементи та їх сполуки / упор.: О. Каретникова, Г. Мальченко. Київ : Редакція загальнопедагогічних газет, 2004. 128 с. (Б-ка «Шкільного світу»).

Відомості про авторів

| | |
|---------------------------------------|---|
| Бур'янов Володимир Вікторович | молодший науковий співробітник навчально-наукового Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат хімічних наук |
| Гавриленко Костянтин Сергійович | старший науковий співробітник Науково-навчального хіміко-біологічного центру Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат хімічних наук |
| Ганопольський Антон Ігорович | директор Товариства з обмеженою відповідальністю «Прессі» |
| Готинчан Андрій Георгійович | аспірант Інституту органічної хімії Національної академії наук України |
| Гриньова Анастасія Борисівна | аспірант Університету Каліфорнії у Сан-Франциско, США (University of California, San Francisco, USA) |
| Друженко Тетяна Валеріївна | інженер Товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство “Укроргсинтез”» |
| Зайченко Михайло Олександрович | студент Навчально-наукового інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка |
| Іваниця Микита Олександрович | аспірант Інституту фізичної хімії імені Л. В. Писаржевського Національної академії наук України |
| Камалова Еліна Максимівна | студент Навчально-наукового інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Комарницький Олег Степанович | хімік Товариства з обмеженою відповідальністю «Прессі» |
| Копа Іван Дмитрович | аспірант Інституту фізичної хімії імені Л. В. Писаржевського Національної академії наук України |
| Краплина Володимир Ігорович | хімік лабораторії синтезу органічних речовин Товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство “Укроргсинтез”» |
| Кудрик Олександр Володимирович | студент Навчально-наукового інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка |
| Листван Віталій Володимирович | доцент кафедри хімії природничого факультету Житомирського державного університету імені Івана Франка, кандидат хімічних наук, доцент |
| Ляпунов Олександр Юрійович | доцент кафедри супрамолекулярної хімії Навчально- наукового інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник |
| Минак Євгеній Борисович | хімік лабораторії синтезу органічних речовин Товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство “Укроргсинтез”» |
| Пашко Микола Олександрович | аспірант Навчально-наукового інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка |
| Радченко Дмитро Сергійович | директор департаменту синтезу скринінгових сполук Товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство “Єнамін”», кандидат хімічних наук |
| Шеметов Богдан Олександрович | студент хімічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна |

Навчальне видання

**Завдання IV етапу
Всеукраїнських учнівських олімпіад
з навчальних предметів**

2024/2025 навчальний рік

ХІМІЯ

Практикум

Редагування *О. Б. Степанюк*
Дизайн обкладинки *О. А. Чекановська*
Верстання *О. А. Жупанська*

У виданні з навчальною метою
використані матеріали, в тому числі ілюстративні,
що містяться у вільному доступі в мережі Інтернет

Формат 60×84 1/16. Папір офс. 80 г/м².
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 12,56.
Наклад 300 прим.

Видавництво: Національний центр «Мала академія наук України»,
Кловський узвіз, буд. 8, м. Київ, 01021
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 6999 від 04.12.2019

