

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“ХІМІЯ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМАМИ 6.070101 – «ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»,
6.070106 – «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ»

КРЕМЕНЧУК 2013

Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни “Хімія” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками 6.070101 – «Транспортні технології», 6.070106 – «Автомобільний транспорт»

Укладачі: к.х.н., доц. О. В. Новохатько,
старш. викл. О. А. Никифорова
Рецензент к.х.н., доц. Т. Ф. Козловська

Кафедра природничих дисциплін

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
Протокол № _____ від _____
Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Рекомендації щодо виконання та оформлення розрахунково-графічної роботи	5
2. Таблиця варіантів	6
3. Завдання на розрахунково-графічну роботу	8
3.1 Завдання № 1	8
Еквівалент	8
Будова атома	12
Енергетика хімічних процесів	15
Хімічна спорідненість	22
Хімічна кінетика та рівновага	30
Способи вираження концентрацій	35
Властивості розчинів	39
Комплексні сполуки	43
Іонно-молекулярні реакції обміну	45
3.2 Завдання № 2	50
Окисно-відновні реакції	50
Електродний потенціал	56
Електроліз	62
Корозія	66
4. Питання до іспиту (заліку)	71
5. Критерії оцінювання знань при виконанні розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Хімія»	73
Список літератури	74
Додаток А Зразок оформлення титульної сторінки розрахунково-графічної роботи	

ВСТУП

Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної (РГР) роботи розроблені відповідно до робочої навчальної програми з дисципліни «Хімія».

Основна мета розрахунково-графічної роботи полягає у виробленні у студентів уміння активно використовувати отримані знання і самостійно розв'язувати завдання з даної дисципліни.

РГР виконується індивідуально. Перед її виконанням необхідно уважно ознайомитись із методичними вказівками і порядком виконання даної роботи, опрацювати рекомендовану літературу.

РГР повинна містити: повну умову та скорочений запис кожного завдання, результати, які отримані, та пояснення до завдань. При оформленні необхідно дотримуватись правил оформлення наукової, методичної та технічної документації (ДСТУ 2008 – 95). Захист роботи проводиться після її перевірки, у визначений викладачем термін.

Під час захисту РГР студент повинен відповісти на питання, що стосуються теоретичних положень та конкретних дій при виконанні роботи.

У результаті вивчення хімії студент повинен

знати: сучасний стан і шляхи розвитку хімії, роль хімії в науково-технічному прогресі, у створенні нових матеріалів, у раціональному використанні природних ресурсів, основні закони хімії та закономірності будови речовин, періодичний закон і періодичну систему Д. І. Менделєєва, типи і характеристику хімічних сполук, будову атома і ядерну хімію, хімічну термодинаміку і кінетику; розчини електролітів і неелектролітів; електролітичну дисоціацію, окислювально-відновні реакції, електрохімічні процеси, комплексні сполуки;

уміти: використовувати прийоми логічного мислення (аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення). Спостерігати і пояснювати хімічні явища, які відбуваються в природі, у лабораторії, на виробництві; визначати термодинамічні

та кінетичні параметри хімічних процесів; систематизувати і використовувати знання, користуючись навчальною і довідковою літературою; розв'язувати хімічні задачі, поводитись з найважливішими хімічними сполуками й обладнанням, виконувати хімічні дослідження, дотримуючись правил техніки безпеки.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота може бути написана в окремому зошиті або на аркушах стандартного формату (А4 – 210 x 300 мм) з одного боку. Обсяг роботи повинен бути в межах 15 сторінок.

На першій сторінці вказується варіант розрахункової роботи і список використаної літератури.

Кожне завдання потрібно розпочинати з нового аркуша та із запису повної та скороченої умови. Далі – пояснення, розв'язок та схеми. Сама робота повинна бути результатом опрацювання та засвоєння матеріалу з декількох джерел (підручників, посібників, монографій, статей тощо).

Оформлена робота повинна бути здана на кафедру природничих дисциплін (ауд.1305) не пізніше ніж за три тижні до початку залікового тижня.

Студент, який своєчасно не здав і не захистив розрахунково-графічну роботу, до заліку (та/або іспиту) не допускається.

Зразок оформлення титульної сторінки розрахунково-графічної роботи дивіться у додатку А.

2 ТАБЛИЦЯ ВАРІАНТІВ

Номер варіанта	Номери контрольного завдання	Номери задач, які відповідають даному завданню
1	2	3
1	1	1, 21, 41, 61, 81, 101, 121, 141, 161
	2	181, 201, 221, 241
2	1	2, 22, 42, 62, 82, 102, 122, 142, 162
	2	182, 202, 222, 242
3	1	3, 23, 43, 63, 83, 103, 123, 143, 163
	2	183, 203, 223, 243
4	1	4, 24, 44, 64, 84, 104, 124, 144, 164
	2	184, 204, 224, 244
5	1	5, 25, 45, 65, 85, 105, 125, 145, 165
	2	185, 205, 225, 245
6	1	6, 26, 46, 66, 86, 106, 126, 146, 166
	2	186, 206, 226, 246
7	1	7, 27, 47, 67, 87, 107, 127, 147, 167
	2	187, 207, 227, 247
8	1	8, 28, 48, 68, 88, 108, 128, 148, 168
	2	188, 208, 228, 248
9	1	9, 29, 49, 69, 89, 109, 129, 149, 169
	2	189, 209, 229, 249
10	1	10, 30, 50, 70, 90, 101, 130, 150, 170
	2	190, 210, 230, 250
11	1	11, 31, 51, 71, 91, 102, 131, 151, 171
	2	191, 211, 231, 251
12	1	12, 32, 52, 72, 92, 103, 132, 152, 172
	2	192, 212, 232, 252
13	1	13, 33, 53, 73, 93, 104, 133, 153, 173
	2	193, 213, 233, 253
14	1	14, 34, 54, 74, 94, 105, 134, 154, 174
	2	194, 214, 234, 254
15	1	15, 35, 55, 75, 95, 106, 135, 155, 175
	2	195, 215, 235, 255
16	1	16, 36, 56, 76, 96, 107, 136, 156, 176
	2	196, 216, 236, 256

Продовження таблиці варіантів

1	2	3
17	1	17, 37, 57, 77, 97, 108, 137, 157, 177
	2	197, 217, 237, 257
18	1	18, 38, 58, 78, 98, 109, 138, 158, 178
	2	198, 218, 238, 258
19	1	19, 39, 59, 79, 99, 110, 139, 159, 179
	2	199, 219, 239, 259
20	1	20, 40, 60, 80, 100, 111, 140, 160, 180
	2	200, 220, 240, 260
21	1	2, 21, 43, 64, 85, 106, 127, 148, 169
	2	189, 203, 224, 245
22	1	4, 22, 44, 65, 86, 107, 128, 149, 170
	2	190, 204, 225, 246
23	1	5, 23, 45, 66, 87, 108, 129, 150, 171
	2	191, 205, 226, 247
24	1	6, 24, 46, 67, 88, 109, 130, 151, 172
	2	192, 206, 227, 248
25	1	7, 25, 47, 68, 89, 110, 131, 152, 173
	2	193, 207, 228, 249
26	1	8, 26, 48, 69, 90, 111, 132, 153, 174
	2	194, 208, 229, 250
27	1	9, 27, 49, 70, 91, 112, 133, 154, 175
	2	195, 209, 230, 251
28	1	10, 28, 50, 71, 92, 113, 134, 155, 176
	2	196, 210, 231, 252
29	1	11, 29, 51, 72, 93, 114, 135, 156, 177
	2	197, 211, 232, 253
30	1	12, 30, 52, 73, 94, 115, 136, 157, 178
	2	198, 212, 233, 254

3 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

3.1 Завдання № 1

Еквівалент

Моль. Еквіваленти й еквівалентні маси простих і складних речовин. Закон еквівалентів.

З 1 січня 1963 р. у СРСР уведена Міжнародна система одиниць виміру (СІ), що складається із шести основних одиниць: метр (м) – довжина, кілограм (кг) – маса, секунда (с) – час, ампер (А) – сила струму, кельвін (К) – термодинамічна температура, кандела (кд) – сила світла. XIV Генеральна конференція з мір та ваги (1971) затвердила як сьому основну одиницю Міжнародної системи – моль (моль), що містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів у карбону-12 масою 0,012 кг. При застосуванні моля структурні елементи повинні бути специфіковані та можуть бути атомами, молекулами, іонами, електронами й іншими частинками чи специфікованими групами частинок.

Моль речовини відповідає сталій Авогадро $N_A = (6,022045 \pm 0,000031) \times 10^{23}$ моль⁻¹ структурних елементів. При застосуванні поняття "моль" варто зазначити, які структурні елементи мають на увазі, наприклад, моль атомів Н, моль Н₂, моль протонів, моль електронів і т. д. Так, заряд моля електронів дорівнює $6,022 \times 10^{23} e^-$ і відповідає кількості електрики, рівній 1 фараді (F). Маса моля атомів або маса моля молекул (мольна чи молярна маса), виражена в грамах (г/моль), є грам-атомом даного елемента або відповідно грам-молекулою даної речовини.

Приклад 1. Виразіть у молях: а) $6,02 \times 10^{21}$ молекул CO₂; б) $1,20 \times 10^{24}$ атомів Оксигену, в) $2,00 \times 10^{23}$ молекул води. Чому дорівнює мольна (молярна) маса зазначених речовин?

Розв'язок. Моль – це кількість речовини, у якій міститься число частинок будь-якого зазначеного сорту, що дорівнює сталій Авогадро ($6,02 \times 10^{23}$).

Звідси: а) $6,02 \times 10^{21}$, тобто 0,01 моль; б) $1,20 \times 10^{24}$, тобто 2 моль, в) $2,00 \times 10^{23}$, тобто 1/3 моль. Маса моля речовини виражається в кг/моль або г/моль. Мольна (молярна) маса речовини в грамах чисельно дорівнює його відносній молекулярній (атомній) масі, вираженій в атомних одиницях маси (а.о.м.). Оскільки молекулярні маси CO_2 і H_2O та атомна маса Оксигену відповідно дорівнює 44, 18 і 16 АОМ, то їх мольні (молярні) маси дорівнюють:

а) 44 г/моль; б) 18 г/моль; в) 16 г/моль.

Приклад 2. Визначте еквівалент (Е) і еквівалентну масу m_e Нітрогену, Сульфуру і Хлору в сполуках NH_3 , H_2S , HCl .

Розв'язок. Маса речовини і кількість речовини – поняття неідентичні. Маса виражається в кілограмах (грамах), а кількість речовини – у молях. Еквівалент елемента (Е) – це така кількість речовини, що з'єднується з 1 молем атомів Гідрогену чи заміщає ту саму кількість атомів Гідрогену в хімічних реакціях. Маса 1 еквівалента елемента має назву його еквівалентної маси (m_e).

Таким чином, еквіваленти виражаються в молях, а еквівалентні маси у г/моль.

У даних сполуках з 1 молем атомів Гідрогену з'єднується 1/3 моль Нітрогену, 1/2 моль Сульфуру і 1 моль Хлору. Звідси $E(\text{N})=1/3$ моль, $E(\text{S})=1/2$ моль, $E(\text{Cl})=1$ моль. Виходячи з мольних мас цих елементів, визначаємо їхні еквівалентні маси: $m_e(\text{N})=1/3 \cdot 14 = 4,67$ г/моль; $m_e(\text{S})=1/2 \cdot 32 = 16$ г/моль; $m_e(\text{Cl})=1 \cdot 35,45=35,45$ г/моль.

Приклад 3. У якій масі $\text{Ca}(\text{OH})_2$ міститься стільки ж еквівалентів, скільки в 312 г $\text{Al}(\text{OH})_3$?

Розв'язок. Еквівалентна маса $\text{Al}(\text{OH})_3$ дорівнює 1/3 його мольної маси, тобто $78/3=26$ г/моль. Отже, у 312 г $\text{Al}(\text{OH})_3$ міститься $312/26=12$ еквівалентів. Еквівалентна маса $\text{Ca}(\text{OH})_2$ дорівнює 1/2 його мольної маси, тобто 37 г/моль. Звідси 12 еквівалентів складають 37 г/моль \times 12 моль = 444 г.

Приклад 4. Обчисліть абсолютну масу молекули сірчаної кислоти в грамах.

Розв'язок. Моль будь-якої речовини (див. приклад 1) містить сталу Авогадро N_A структурних одиниць (у нашому прикладі молекул). Мольна маса H_2SO_4 дорівнює 98,0 г/моль. Отже, маса однієї молекули $98 / (6,02 \times 10^{23}) = 1,63 \times 10^{-22}$ г.

Контрольні завдання

1. Визначте еквівалент і еквівалентну масу Фосфору, Оксигену і Броду в сполуках PH_3 , H_2O , HBr .

2. У якій масі $NaOH$ міститься стільки ж еквівалентів, скільки в 140 г KOH ?

3. З 1,35 г оксиду металу виходить 3,15 г його нітрату. Обчисліть еквівалентну масу цього металу та вкажіть, який це метал.

4. З 1,3 г гідроксиду металу виходить 2,85 г його сульфату. Обчисліть еквівалентну масу цього металу та вкажіть, який це метал.

5. Оксид тривалентного елемента містить 31,58 % Оксигену. Обчисліть еквівалентну, мольну й атомну маси цього елемента. Який це елемент?

6. Чому дорівнює за н.у. еквівалентна маса водню? Обчисліть еквівалентну масу металу, якщо на відновлення 1,017 г його оксиду витратилося 0,28 л водню (н.у.).

7. Виразіть у молях: а) $6,02 \times 10^{22}$ молекул C_2H_2 ; б) $1,80 \times 10^{24}$ атомів Нітрогену; в) $3,01 \times 10^{23}$ молекул NH_3 . Яка мольна маса зазначених речовин?

8. Обчисліть еквівалент і еквівалентну масу H_3PO_4 у реакціях утворення: а) гідрофосфату; б) дигідрофосфату; в) ортофосфату.

9. У 2,48 г оксиду одновалентного металу міститься 1,84 г металу. Обчисліть еквівалентні маси металу і його оксиду. Чому дорівнює мольна й атомна маси цього металу?

10. Чому дорівнює за н.у. еквівалентний об'єм кисню? На спалювання 1,5 г двовалентного металу потрібно 0,69 л кисню (н.у.). Обчисліть еквівалентну, мольну й атомну маси цього металу.

11. З 3,31 г нітрату металу виходить 2,78 г його хлориду. Обчисліть еквівалентну масу цього металу.

12. Напишіть рівняння реакцій $\text{Fe}(\text{OH})_3$ із хлороводною (соляною) кислотою, при яких утворюються наступні сполуки Феруму: а) хлорид дигідроксоферуму; б) дихлорид гідроксоферуму; в) ферум трихлорид. Обчисліть еквівалент і еквівалентну масу $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у кожній з цих реакцій.

13. Надлишком калій гідроксиду подіяли на розчині:

а) калій дигідрофосфату; б) дигідроксобісмут(III) нітрату. Напишіть рівняння реакцій цих речовин з KOH і визначте їхні еквіваленти й еквівалентні маси.

14. У якій кількості $\text{Cr}(\text{OH})_3$ міститься стільки ж еквівалентів, скільки в 174,96 г $\text{Mg}(\text{OH})_2$?

15. Надлишком хлороводною (соляною) кислоти подіяли на розчині:

а) кальцій гідрокарбонату; б) гідроксоалюміній дихлориду. Напишіть рівняння реакцій цих речовин із HCl і визначте їхні еквіваленти й еквівалентні маси.

16. При окислюванні 16,74 г двовалентного металу утворилося 21,54 г оксиду. Обчисліть еквівалентні маси металу і його оксиду. Чому дорівнюють мольна й атомна маси металу?

17. При взаємодії 3,24 г тривалентного металу з кислотою виділяється 4,03 л водню (н.у.). Обчисліть еквівалентну, мольну й атомну маси металу.

18. Виходячи з мольної маси Карбону і води, визначте абсолютну масу атома Карбону і молекули води в грамах.

19. На нейтралізацію 9,797 г ортофосфатної кислоти витрачено 7,998 г NaOH . Обчисліть еквівалент, еквівалентну масу й основність H_3PO_4 у цій реакції. На основі розрахунку напишіть рівняння реакції.

20. На нейтралізацію 0,943 г фосфористої кислоти H_3PO_3 витрачено 1,291 г KOH . Обчисліть еквівалент, еквівалентну масу й основність кислоти. На підставі розрахунку напишіть рівняння реакції.

Будова атома

Приклад 1. Що таке квантові числа? Яких значень вони можуть набувати?

Розв'язок. Рух електрона в атомі має ймовірносний характер. Навколоядерний простір, у якому з найбільшою ймовірністю (0,9 – 0,95) може знаходитись електрон, називається *атомною орбіталлю* (АО).

Атомна орбіталь, як будь-яка геометрична фігура, характеризується трьома параметрами (координатами), що отримали назву *квантових чисел* (n, l, m_l). Квантові числа набувають не будь-яких, а визначених, дискретних (перервних) значень. Сусідні значення квантових чисел відрізняються на одиницю.

Квантові числа визначають розмір (n), форму (l) і орієнтацію (m_l) атомної орбіталі в просторі. Займаючи ту чи іншу атомну орбіталь, електрон утворює електронну хмару, яка в електронів того самого атома може мати різну форму. Форми електронних хмар аналогічні АО. Їх також називають *електронними* чи *атомними орбіталями*.

Електронна хмара характеризується чотирма квантовими числами (n, l, m_l, m_s). Ці квантові числа пов'язані з фізичними властивостями електрона, і число n (головне квантове число) характеризує енергетичний рівень електрона;

число l – момент кількості руху;

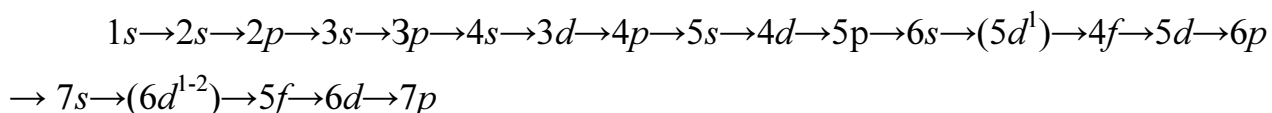
число m_l – магнітний момент;

число m_s – спін.

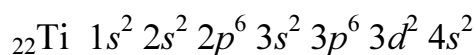
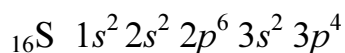
Спін електрона виникає за рахунок обертання його навколо власної осі. Електрони в атомі повинні відрізнятися хоча б одним квантовим числом (принцип Паулі), тому в АО можуть знаходитися не більше двох електронів, що відрізняються своїми спінами ($m_s = +1/2, m_s = -1/2$).

Приклад 2. Складіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 16 і 22. Зобразіть розподіл електронів цих атомів за квантовими осередками.

Розв'язок. Електронні формули відображають розподіл електронів в атомі за енергетичними рівнями, підрівнями. Електронна конфігурація позначається групами символів nl^x , де n – головне квантове число, l – орбітальне квантове число, x – число електронів у даному підрівні. При цьому варто враховувати, що електрон займає той енергетичний підрівень, на якому він має найменшу енергію – менша сума $n + l$. Послідовність заповнення енергетичних рівнів і підрівнів наступна:



Оскільки число електронів в атомі того чи іншого елемента дорівнює його порядковому номеру в таблиці Д. І. Менделєєва, то для елементів № 16 (Сульфур) і № 22 (Титан) електронні формули мають вигляд:



Електронна структура атома може бути зображена також у вигляді схем розміщення електронів у квантових осередках, що є схематичним зображенням атомних орбіталей (АО). Квантовий осередок зображають у вигляді прямокутника □, кола О чи лінійки —, а електрони в цих осередках позначаються стрілками.

Контрольні завдання

21. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 9 і 28. Покажіть розподіл електронів цих атомів за квантовими осередками. До якого електронного сімейства належить кожний з цих елементів?

22. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 16 і 26. Розподіліть електрони цих атомів за квантовими осередками. До якого електронного сімейства належить кожний з цих елементів?

23. Яке максимальне число електронів можуть займати s -, p -, d -, f -орбіталі даного енергетичного рівня? Чому? Напишіть електронну формулу атома елемента з порядковим номером 31.

24. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 25 і 34. До якого електронного сімейства належить кожний з цих елементів?

25. Які орбіталі атома заповнюються електронами раніше: $4s$ чи $3d$; $5s$ чи $4p$? Чому? Напишіть електронну формулу атома елемента з порядковим номером 21.

26. Ізотоп Ніколу -57 утвориться при бомбардуванні α -частинками ядер атомів Феруму -54 . Складіть рівняння цієї ядерної реакції та напишіть його в скороченій формі.

27. Які орбіталі атому заповнюються електронами раніше: $4d$ чи $5s$; $6s$ чи $5p$? Чому? Напишіть електронну формулу атому елемента з порядковим номером 43.

28. Що таке ізотопи? Чим можна пояснити, що у більшості елементів періодичної системи атомні маси виражаються дробовим числом? Чи можуть атоми різних елементів мати однакову масу? Як називаються подібні атоми?

29. Ізотоп Силіцію -30 утворюється при бомбардуванні α -частинками ядер атомів Алюмінію -27 . Складіть рівняння цієї ядерної реакції та напишіть його в скороченій формі.

30. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 14 і 40. Скільки вільних d -орбіталей в атомів останнього елемента?

31. Ізотоп Карбону -11 утворюється при бомбардуванні протонами ядер атома Нітрогену -14 . Складіть рівняння реакції та напишіть його у скороченому вигляді.

32. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 15 і 28. Чому дорівнює максимальний спін p -електронів в атомів першого і d -електронів в атомів другого елемента?

33. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 21 і 23. Скільки вільних d -орбіталей в атомів цих елементів?

34. Скільки та яких значень може набувати магнітне квантове число m_l при орбітальному числі $l = 0, 1, 2, 3$? Які елементи в періодичній системі називають s -, p -, d -, f -елементами? Наведіть приклади.

35. Складіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 32 і 42, ураховуючи, що в останнього відбувається “провал” одного $5s$ -електрона на $4d$ -підрівень. До якого електронного сімейства належить кожний з цих елементів.

36. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 25 і 34. До якого електронного сімейства належить кожний з цих елементів?

37. Ізотоп Ніколу -57 утвориться при бомбардуванні α -частинками ядер атомів Феруму -54 . Складіть рівняння цієї ядерної реакції та напишіть його в скороченій формі.

38. Що таке ізотопи? Чим можна пояснити, що у більшості елементів періодичної системи атомні маси виражаються дробовим числом? Чи можуть атоми різних елементів мати однакову масу? Як називаються подібні атоми?

39. Яке максимальне число електронів можуть займати s -, p -, d -, f -орбіталі даного енергетичного рівня? Чому? Напишіть електронну формулу атома елемента з порядковим номером 31.

40. Напишіть електронні формули атомів елементів з порядковими номерами 9 і 28. Покажіть розподіл електронів цих атомів за квантовими осередками. До якого електронного сімейства належить кожний з цих елементів?

Енергетика хімічних процесів

Науку про взаємні перетворення різних видів енергії називають *термодинамікою*. Термодинаміка встановлює закони цих перетворень, а також напрямок мимовільного перебігу різних процесів за даних умов. При хімічних реакціях відбуваються глибокі якісні зміни в системі, рвуться зв'язки у вихідних речовинах і виникають нові зв'язки в кінцевих продуктах. Ці зміни супроводжуються поглинанням або виділенням енергії. У більшості випадків

цією енергією є теплота.

Розділ термодинаміки, що вивчає теплові ефекти хімічних реакцій, називають *термохімією*. Реакції, що супроводжуються виділенням теплоти, називають *екзотермічними*, а поглинанням теплоти – *ендотермічними*. Теплота реакцій є, таким чином, мірою зміни властивостей системи. При будь-якому процесі дотримується закон збереження енергії як вияв більш загального закону природи – закону збереження матерії. Теплота Q , що поглинається системою, йде на зміну її внутрішньої енергії ΔU і на здійснення роботи A :

$$Q = \Delta U + A.$$

Внутрішня енергія системи U – це загальний її запас, що включає енергію поступального й обертального рухів молекул, енергію внутрішньомолекулярних коливань атомів і атомних груп, енергію руху електронів, внутрішньоядерну енергію. Внутрішня енергія – повна енергія системи без потенційної енергії, зумовленої положенням системи в просторі, та без кінетичної енергії системи як цілого. Абсолютне значення внутрішньої енергії U речовин є невідомим, тому що не можна привести систему до стану, позбавленого енергії.

Внутрішня енергія, як і будь-який вид енергії, є *функцією стану*, тобто її зміна однозначно визначається початковим і кінцевим станами системи і не залежить від шляху переходу, за якими відбувається процес $\Delta U = U_2 - U_1$. Де ΔU – зміна внутрішньої енергії системи під час переходу від початкового стану U_1 до кінцевого U_2 , якщо $U_2 > U_1$, то $\Delta U > 0$. Якщо $U_2 < U_1$, то $\Delta U < 0$. Теплота і робота не є функціями стану, тому що вони слугують формами передачі енергії та пов'язані з процесом, а не зі станом системи. Під час хімічних реакцій A – це робота проти зовнішнього тиску, тобто в першому наближенні $A = p\Delta V$, де ΔV – зміна об'єму системи ($V_2 - V_1$). Оскільки більшість хімічних реакцій проходить при постійному тиску, то для ізобарно-ізотермічного процесу теплота дорівнює:

$$Q_p = \Delta U + p\Delta V;$$

$$Q_p = (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1);$$

$$Q_p = (U_2 + p_2 V_2) - (U_1 + p_1 V_1).$$

Суму $U + pV$ позначимо через H , тоді

$$Q_p = H_2 - H_1 = \Delta H.$$

Величину H називають ентальпією, або теплоутворення, тобто, теплота при $p = \text{const}$ і $T = \text{const}$ набуває властивостей функції стану і не залежить від шляху, яким перебігає процес.

Звідси теплота реакції в ізобарно-ізотермічному процесі Q_p дорівнює зміні ентальпії системи ΔH : $Q_p = \Delta H$.

Теплота хімічних процесів називається *тепловим ефектом*. Термохімічні розрахунки базуються на законі Гесса (1840): *тепловий ефект реакції залежить тільки від природи і фізичного стану вихідних речовин і кінцевих продуктів, але не залежить від шляху переходу*. Часто в термохімічних розрахунках застосовують наслідок із закону Гесса: *тепловий ефект реакції ($\Delta H_{x.p.}$) дорівнює сумі теплоти утворення $\Delta H_{\text{утв}}^{\text{прод}}$ продуктів реакції за винятком суми теплоти утворення вихідних речовин з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів рівняння реакції (коефіцієнти перед формулами цих речовин у рівнянні реакції):*

$$\Delta H_{x.p.} = \sum \Delta H_{\text{утв}}^{\text{прод}} - \sum \Delta H_{\text{утв}}^{\text{вих}}$$

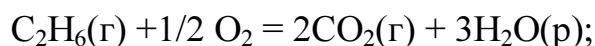
Приклад 1. При взаємодії кристалів хлориду фосфору (V) з парами води утворюється рідкий POCl_3 і гідроген хлорид. Реакція супроводжується виділенням 111,4 кДж теплоти. Напишіть термохімічне рівняння реакції.

Розв'язок. Рівняння реакцій, у яких біля символів хімічних сполук зазначаються їхні агрегатні стани чи кристалічна модифікація, а також числове значення теплових ефектів, називають *термохімічними*. У термохімічних рівняннях, якщо це спеціально не зазначено, указуються значення теплових ефектів при постійному тиску Q_p , які дорівнюють зміні ентальпії системи ΔH .

Таблиця 1 – Стандартні теплоти (ентальпії) утворення деяких речовин

Речовина	Стан	$\Delta H^0_{298, \text{кДж/моль}}$	Речовина	Стан	$\Delta H^0_{298, \text{кДж/моль}}$
C ₂ H ₂	Г	+226,75	CO	Г	-110,52
CS ₂	Г	+115,28	CH ₃ OH	Г	-201,17
NO	Г	+90,37	C ₂ H ₅ OH	Г	-235,31
C ₆ H ₆	Г	+82,93	H ₂ O	Г	-241,83
C ₂ H ₄	Г	+52,28	H ₂ O	Р	-285,84
H ₂ S	Г	-20,15	NH ₄ Cl	К	-315,39
NH ₃	Г	-46,19	CO ₂	Г	-393,51
CH ₄	Г	-74,85	Fe ₂ O ₃	К	-822,10
C ₂ H ₆	Г	-84,67	Ca(OH) ₂	К	-986,50
HCl	Г	-92,31	Al ₂ O ₃	К	-1669,80

Приклад 2. Реакція горіння етану виражається термохімічним рівнянням



$$\Delta H_{\text{х.р.}} = -1559,87 \text{ кДж/моль.}$$

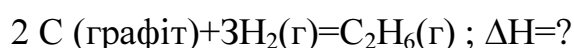
Обчисліть теплоту утворення етану, якщо відомі теплоти утворення CO₂(г) і H₂O (р).

Розв'язок. Теплотою утворення даної сполуки називається тепловий ефект реакції утворення 1 моль цієї сполуки з простих речовин, узятих у стійкому стані за даних умов.

Зазвичай теплота утворення належить до стандартного стану, тобто 25 °С (298 К) і 1,013 × 10⁵ Па, її позначають через ΔH^0_{298} .

Оскільки тепловий ефект із температурою змінюється незначно, тут і надалі індекси опускаються, і тепловий ефект позначається через ΔH .

Отже, потрібно обчислити тепловий ефект реакції, термохімічне рівняння якої має вигляд



виходячи з наступних даних:

- а) $C_2H_6(g) + 3,5O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(p)$, $\Delta H = -1559,87$ кДж/моль;
 б) $C(\text{графіт}) + O_2(g) = CO_2(g)$; $\Delta H = -393,51$ кДж/моль;
 в) $H_2(g) + 0,5O_2 = H_2O(p)$; $\Delta H = -285,84$ кДж/моль.

На основі закону Гесса з термохімічними рівняннями можна оперувати так само, як і з алгебраїчними. Для одержання результату рівняння (б) помножити на 2, рівняння (в) – на 3, а потім суму цих рівнянь відняти від рівняння (а):

$$\Delta H = -1559,87 - 2(393,51) - 3(-285,84) = +84,67 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H = -1559,87 + 787,02 + 857,52; C_2H_6 = 2C + 3H_2;$$

$$\Delta H = +84,67 \text{ кДж/моль.}$$

Оскільки теплота утворення дорівнює теплоті розкладання з оберненим знаком, то $\Delta H_{\text{утв}}(C_2H_{6(g)}) = -84,67$ кДж/моль.

Приклад 3. Реакція горіння етилового спирту виражається термохімічним рівнянням



Обчисліть тепловий ефект реакції, якщо відомо, що мольна теплота пароутворення $C_2H_5OH_{(p)}$ дорівнює +42,36 кДж, а також відомі теплоти утворення $C_2H_5OH_{(g)}$; $CO_{2(g)}$; $H_2O_{(p)}$ (див. табл. 1).

Розв'язок. Для визначення ΔH реакції необхідно знати теплоту утворення $C_2H_5OH_{(p)}$. Останню знаходимо за даними:

$$C_2H_5OH_{(p)} = C_2H_5OH_{(g)}; \Delta H = +42,36 \text{ кДж/моль};$$

$$+42,36 = -235,31 - \Delta H(C_2H_5OH_{(p)});$$

$$\Delta H(C_2H_5OH_{(p)}) = -235,31 - 42,36 = -277,76 \text{ кДж/моль.}$$

Обчислюємо ΔH реакції, застосовуючи наслідок закону Гесса:

$$\Delta H_{\text{х.р.}} = 2(-393,51) + 3(-285,84) + 277,67 = -1366,87 \text{ кДж/моль.}$$

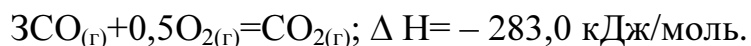
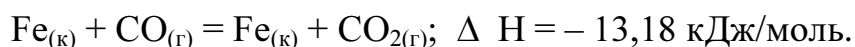
Контрольні питання

41. Обчисліть, яка кількість теплоти виділиться при відновленні Fe_2O_3 металевим алюмінієм, якщо було отримано 335,1 г заліза.

42. Газоподібний етиловий спирт C_2H_5OH можна одержати при взаємодії етилену $C_2H_4(g)$ і водяної пари. Напишіть термохімічне рівняння цієї реакції,

обчисливши її тепловий ефект.

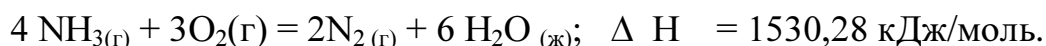
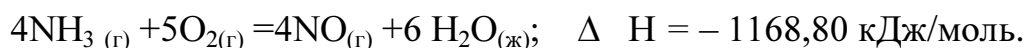
43. Обчисліть тепловий ефект реакції відновлення ферум (II) оксиду воднем, виходячи з наступних термохімічних рівнянь:



44. При взаємодії газоподібних сірководню і карбон діоксиду утворюються пари води і $\text{CS}_2(г)$. Напишіть термохімічне рівняння цієї реакції, обчисливши її тепловий ефект.

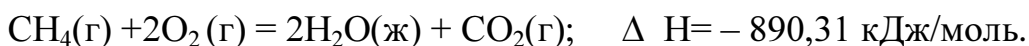
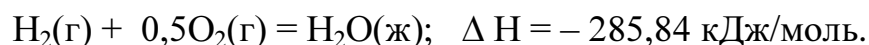
45. Напишіть термохімічне рівняння реакції між $\text{CO}(г)$ і воднем, у результаті якої утворюються $\text{CH}_4(г)$ і $\text{H}_2\text{O}(г)$. Скільки теплоти виділиться під час цієї реакції, якщо було отримано 67,2 л метану в перерахуванні на нормальні умови?

46. Тепловий ефект якої реакції дорівнює теплоті утворення NO ? Обчисліть теплоту утворення NO , виходячи з наступних термохімічних рівнянь:



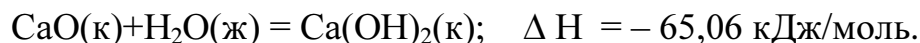
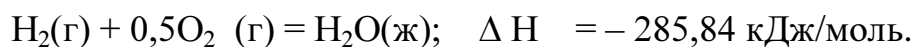
47. Кристалічний амоній хлорид утворюється при взаємодії газоподібних амоніаку і гідроген хлориду. Напишіть термохімічне рівняння цієї реакції, обчисливши її тепловий ефект. Скільки теплоти виділиться, якщо в реакції було витрачено 10 л амоніаку в перерахуванні на нормальні умови?

48. Тепловий ефект якої реакції дорівнює теплоті утворення метану? Обчисліть теплоту утворення метану, виходячи з наступних термохімічних рівнянь:



49. Тепловий ефект якої реакції дорівнює теплоті утворення кальцій

гідроксиду? Обчисліть теплоту утворення кальцій гідроксиду, виходячи з наступних термохімічних рівнянь:



50. Тепловий ефект реакції згоряння рідкого бензолу з утворенням парів води і карбон двооксиду дорівнює $-3135,58$ кДж. Складіть термохімічне рівняння цієї реакції й обчисліть теплоту утворення $\text{C}_6\text{H}_6(р)$.

51. Обчисліть, скільки теплоти виділиться при згорянні 165 л (н.у.) ацетилену C_2H_2 , якщо продуктами згоряння є карбон двооксид і пари води?

52. При згорянні газоподібного амоніаку утворюються пари води й нітроген оксид. Скільки теплоти виділиться під час цієї реакції, якщо було отримано $44,8$ л NO у перерахуванні на нормальні умови?

53. Реакція горіння метилового спирту виражається термохімічним рівнянням:



Обчисліть тепловий ефект цієї реакції, якщо відомо, що мольна теплота пароутворення $\text{CH}_3\text{OH}(р)$ дорівнює $+37,4$ кДж/моль.

54. При згорянні $11,5$ г рідкого етилового спирту виділилося $308,71$ кДж теплоти. Напишіть термохімічне рівняння реакції, у результаті якої утворюються пари води і карбон діоксид. Обчисліть теплоту утворення $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(ж)$.

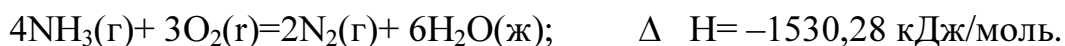
55. Реакція горіння бензолу виражається термохімічним рівнянням



Обчисліть тепловий ефект цієї реакції, якщо відомо, що мольна теплота пароутворення бензолу дорівнює $+33,9$ кДж/моль.

56. Обчисліть тепловий ефект і напишіть термохімічне рівняння реакції горіння 1 моль етану $\text{C}_2\text{H}_6(г)$, у результаті якої утворюються пари води і карбон двооксид. Скільки теплоти виділиться під час згоряння 1 м^3 етану в перерахуванні на нормальні умови?

57. Реакція горіння аміаку виражається термохімічним рівнянням:



Обчисліть теплоту утворення $\text{NH}_3(\text{r})$.

58. При взаємодії 6,3 г заліза із сіркою виділилося 11,31 кДж теплоти. Обчисліть теплоту утворення ферум сульфїду FeS .

59. При згорянні 1 л ацетилену (н.у.) виділяється 56,053 кДж теплоти. Напишіть термохімічне рівняння реакції, у результаті якої утворюються пари води і карбон двооксид. Обчисліть теплоту утворення $\text{C}_2\text{H}_2(\text{r})$.

60. При одержанні еквівалентної маси гідроксиду кальцію із CaO (к) і $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ виділяється 32,53 кДж теплоти. Напишіть термохімічне рівняння цієї реакції й обчисліть теплоту утворення кальцій оксиду.

Хімічна спорідненість

Мимовільно можуть протікати реакції, що супроводжуються не тільки виділенням, але й поглинанням теплоти.

Реакція, що йде за даної температури з виділенням теплоти, за іншої температури відбувається з поглинанням теплоти. Тут виявляється діалектичний закон єдності та боротьби протилежностей. З одного боку, система прагне до упорядкування (агрегації), до зменшення H ; з іншого боку – система прагне до безладдя (деагрегації). Перша тенденція росте зі зниженням, а друга — з підвищенням температури. Тенденцію до безладдя характеризує величина, що називають *ентропією*.

Ентропія S так само, як внутрішня енергія U , ентальпія H , об'єм V та ін., є властивістю речовини, пропорційною до її кількості. S , U , H , V мають адитивні властивості, тобто при зіткненні системи підсумовуються. Ентропія відбиває рух частинок речовини і є *мірою невпорядкованості системи*. Вона зростає зі збільшенням руху частинок: при нагріванні, випаровуванні, плавленні, розширенні газу, при ослабленні, розриві з'єднань між атомами і т.д. Процеси, пов'язані з упорядкованістю системи: конденсація, кристалізація, стискання, зміцнення з'єднань, полімеризація і т.д., — ведуть до зменшення ентропії. Ентропія є функцією стану, тобто її зміна (ΔS) залежить тільки від початкового (S_1) та кінцевого (S_2) і не залежить від шляху процесу:

$$\Delta S_{\text{х.р.}} = \sum S_{\text{прод}}^0 - \sum S_{\text{вих}}^0,$$

$$\Delta S = S_2 - S_1.$$

Якщо $S_2 > S_1$, то $\Delta S > 0$. Якщо $S_2 < S_1$, то $\Delta S < 0$.

Оскільки ентропія зростає з підвищенням температури, то можна вважати, що міра безладдя $\approx T\Delta S$. Ентропія виражається в Дж/ (моль · К). Таким чином, рушійна сила процесу складається з двох сил: схильність до упорядкування (H) і схильність до безладдя (TS). При $p = \text{const}$ і $T = \text{const}$ загальну рушійну силу процесу, що позначають ΔG , можна знайти зі співвідношення:

$$\Delta G = (H_2 - H_1) - (TS_2 - T_1); \Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

Величина G називається ізобарно-ізотермічним потенціалом, чи енергією Гібса. Отже, мірою хімічної спорідненості є надлишок енергії Гібса (ΔG), що залежить від природи речовини, його кількості та від температури. Енергія Гібса є функцією стану, тому

$$\Delta G_{\text{х.р.}} = \sum \Delta G_{\text{утв}}^{\text{прод}} - \sum \Delta G_{\text{утв}}^{\text{вих}}.$$

Мимовільно протікаючі процеси йдуть у бік зменшення потенціалу і, зокрема, у бік зменшення ΔG . Якщо $\Delta G < 0$, процес принципово здійснимий; якщо $\Delta G > 0$, процес мимовільно проходити не може. Чим менше ΔG , тим сильніша схильність до перебігу даного процесу і тим далі він від стану рівноваги, за якого

$$\Delta G = 0 \text{ і } \Delta H = T\Delta S.$$

Зі співвідношення $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ видно, що мимовільно можуть перебігати і процеси, для яких $\Delta H > 0$ (ендотермічні). Це можливо, коли $\Delta S > 0$ але $T\Delta S > |\Delta H|$, і тоді $\Delta G < 0$. З іншого боку, екзотермічні реакції ($\Delta H < 0$) мимовільно не відбуваються, якщо при $\Delta S < 0$ виявиться, що $\Delta G > 0$.

Таблиця 2 – Стандартна енергія Гібса утворення ΔG^0_{298} деяких речовин

Речовина	Стан	$\Delta G^0_{298, \text{кДж/моль}}$	Речовина	Стан	$\Delta G^0_{298, \text{кДж/моль}}$
BaCO ₃	К	- 1138,8	Fe	К	- 244,3
CaCO ₃	К	- 1128,75	H ₂ O	Р	- 237,19
Fe ₃ O ₄	К	- 1014,2	H ₂ O	Г	- 228,59
BeCO ₃	К	- 944,75	PbO ₂	К	- 219,0
CaO	К	- 604,2	CO	Г	- 137,27
BeO	К	- 581,61	CH ₄	Г	- 50,79
BaO	К	- 528,4	NO ₂	Г	+51,84
CO ₂	К	- 394,38	NO	Г	+86,69
NaCl	К	- 384.03	C ₂ H ₂	Г	+209,20

Приклад 1. У якому стані ентропія 1 моль речовини більша: у кристалічному чи в пароподібному за тієї самої температури?

Розв'язок. Ентропія є мірою неупорядкованості стану речовини. У кристалі частинки (атоми, іони) розташовані упорядковано і можуть знаходитися лише у визначених точках простору, а для газу таких обмежень немає. Об'єм 1 моль газу набагато більший, ніж об'єм 1 моль кристалічної речовини; можливість хаотичного руху молекул газу більша, а тому ентропію можна розглядати як кількісну міру хаотичності атомно-молекулярної структури речовини, тоді ентропія 1 моль парів речовини є більшою за ентропію 1 моль його кристалів за однакової температури.

Приклад 2. Пряма чи обернена реакція буде відбуватися за стандартних умов у системі



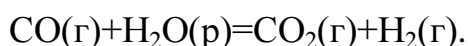
Розв'язок. Для відповіді на питання варто обчислити ΔG^0_{298} прямої реакції.

Значення ΔG^0_{298} відповідних речовин наведені в табл. 3. Знаючи, що ΔG є функцією стану і що ΔG для простих речовин, які знаходяться в стійких за

стандартних умов агрегатних станах, дорівнюють нулю, знаходимо ΔG^0_{298} процесу: $\Delta G^0_{298} = 2(-137,27)+2(0) - (-50,79 - 394,38) = + 170,63$ кДж/моль.

Те, що $\Delta G^0_{298} > 0$, свідчить про неможливість мимовільного перебігу прямої реакції при $T = 298$ К і рівності тисків узятих газів $1,013 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт. ст. = 1 атм).

Приклад 3. На основі стандартної теплоти утворення (табл. 1) і абсолютної стандартної ентропії речовин (табл. 3) обчисліть ΔG^0_{298} реакції, що відбувається за рівнянням



Розв'язок. $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$; ΔH і ΔS – функція стану, тому

$$\Delta H^0_{\text{х.р.}} = \sum \Delta H^0_{\text{прод}} - \sum \Delta H^0_{\text{вих}}; \quad \Delta S^0_{\text{х.р.}} = \sum S^0_{\text{прод}} - \sum S^0_{\text{вих}}.$$

$$\Delta H^0_{\text{х.р.}} = (-393,51 + 0) - (-110,52 - 285,84) = +2,85 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta S^0_{\text{х.р.}} = (213,65 + 130,59) - (197,91 + 69,94) = +76,39 = 0,07639 \text{ кДж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$\Delta G^0 = +2,85 - 298 \cdot 0,07639 = -19,91 \text{ кДж/моль}.$$

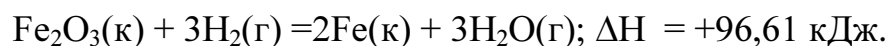
Таблиця 3 – Стандартна абсолютна ентропія S^0_{298} деяких речовин

Речовина	Стан	$S^0_{298}, \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$	Речовина	Стан	$S^0_{298}, \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
C	Алмаз	2,44	H ₂ O	Г	188,72
C	Графіт	5,69	N ₂	Г	191,49
Fe	К	27,2	NH ₃	Г	192,50
Ti	К	30,7	CO	Г	197,91
S	Ромб	31,9	C ₂ H ₂	Г	200,82
TiO ₂	К	50,3	O ₂	Г	205,03
FeO	К	54,0	H ₂ S	Г	205,64
H ₂ O	Р	69,94	NO	Г	210,20
Fe ₂ O ₃	К	89,96	CO ₂	Г	213,65
NH ₄ Cl	К	94,5	C ₂ H ₄	Г	219,45

Продовження табл. 3

CH ₃ OH	P	126,8	Cl ₂	Г	222,95
H ₂	Г	130,59	NO ₂	Г	240,46
Fe ₃ O ₄	К	146,4	PCl ₃	Г	311,66
CH ₄	Г	186,19	PCl ₅	Г	352,71
HCl	Г	186,68			

Приклад 4. Реакція відновлення Fe₂O₃ воднем відбувається за рівнянням



Чи можлива ця реакція за стандартних умов, якщо зміна ентропії $\Delta S = 0,1387 \text{ кДж/ (моль} \cdot \text{К)}$? За якої температури почнеться відновлення Fe₂O₃?

Розв'язок Обчислюємо ΔG^0 реакції:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 96,61 - 298 \cdot 0,1387 = +55,28 \text{ кДж/моль.}$$

Оскільки $\Delta G > 0$, то реакція за стандартних умов неможлива; навпаки, за цих умов відбувається обернена реакція окислювання заліза (корозія). Знайдемо температуру, при якій $\Delta G = 0$: $\Delta H = T\Delta S$; $T = \Delta H / \Delta S = 96,61 / 0,1387 = 696,5 \text{ К}$.

Отже, при температурі $\approx 696,5 \text{ К}$ почнеться реакція відновлення Fe₂O₃. Іноді цю температуру називають температурою початку реакції.

Приклад 5. Обчислити ΔH^0 , ΔS^0 і ΔG^0_T реакції, що відбувається за рівнянням $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{C} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}$.

Чи можлива реакція відновлення Fe₂O₃ вуглецем при температурах 500 і 1000 К?

Розв'язок. $\Delta H^0_{\text{х.р.}}$ і $\Delta S^0_{\text{х.р.}}$ знаходимо зі співвідношень (1) і (2) так само, як у прикладі 3:

$$\Delta H^0_{\text{х.р.}} = [3(-110,52) + 2 \cdot 0] - [-822,10 + 3 \cdot 0] = -331,56 + 822,10 = +490,54 \text{ кДж/моль;}$$

$$\Delta S^0_{\text{х.р.}} = (2 \cdot 27,2 + 3 \cdot 197,91) - (89,96 + 3 \cdot 5,69) = 541,1 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Енергію Гібса при відповідних температурах знаходимо зі співвідношення $\Delta G^0_T = \Delta H^0 - T\Delta S$:

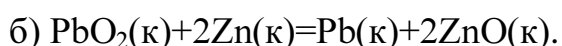
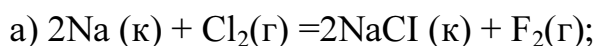
$$\Delta G_{500}^0 = 490,54 - 500 \cdot 0,5411 = 219,99 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{1000}^0 = 490,54 - 1000 \cdot 0,5411 = -50,56 \text{ кДж/моль}.$$

Оскільки $\Delta G_{500} > 0$, а $\Delta G_{1000} < 0$, то відновлення Fe_2O_3 вуглецем можливо при 1000 К і неможливе при 500 К.

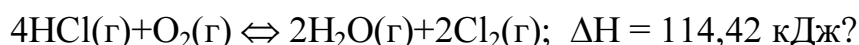
Контрольні питання

61. Обчисліть ΔG_{298} наступних реакцій:



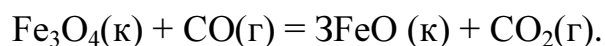
Чи можна одержати фтор за реакцією (а) і відновити PbO_2 цинком за реакцією (б) ?

62. При якій температурі наступить рівновага системи



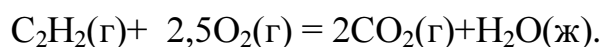
Хлор чи кисень у цій системі є більш сильним окислювачем і при яких температурах?

63. Відновлення Fe_3O_4 карбон оксидом відбувається за рівнянням



Обчисліть ΔG_{298}^0 , зробіть висновок про можливість мимовільного перебігу цієї реакції за стандартних умов. Чому дорівнює ΔS_{298}^0 у цьому процесі?

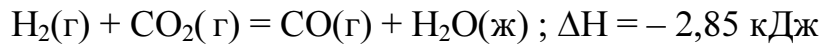
64. Реакція горіння ацетилену відбувається за рівнянням:



Обчисліть ΔG_{298}^0 і ΔS_{298}^0 . Поясніть зменшення ентропії в результаті цієї реакції.

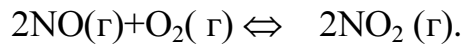
65. Зменшується чи збільшується ентропія при переході: а) води в пару; б) графіту в алмаз. Чому? Обчисліть ΔS_{298}^0 для кожного перетворення. Зробіть висновок про кількісну зміну ентропії при фазових і алотропічних перетвореннях.

66. Чим можна пояснити, що за стандартних умов неможлива екзотермічна реакція?



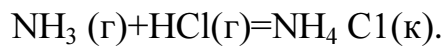
Знаючи тепловий ефект реакції й абсолютні стандартні ентропії відповідних речовин, визначте ΔG^0_{298} цієї реакції.

67. Пряма чи зворотна реакція відбувається за стандартних умов у системі



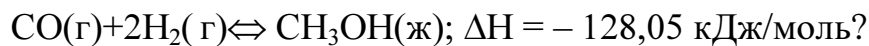
Відповідь обґрунтуйте, обчисливши ΔG^0_{298} прямої реакції.

68. Виходячи зі значень стандартної теплоти утворення й абсолютної стандартної ентропії відповідних речовин, обчисліть ΔG^0_{298} реакції, що відбувається за рівнянням

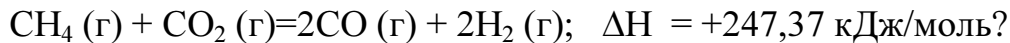


Чи може ця реакція за стандартних умов відбуватися мимовільно?

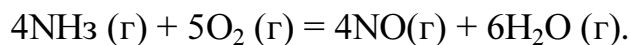
69. При якій температурі наступить рівновага системи



70. При якій температурі наступить рівновага системи

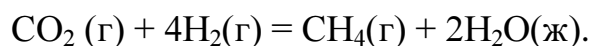


71. На основі стандартної теплоти утворення й абсолютної стандартної ентропії відповідних речовин обчисліть ΔG^0_{298} реакції, що перебігає за рівнянням



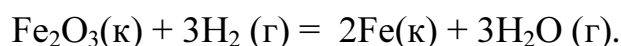
Чи можлива ця реакція за стандартних умов?

72. На основі стандартної теплоти утворення й абсолютної стандартної ентропії відповідних речовин обчисліть ΔG^0_{298} реакції, що перебігає за рівнянням



Чи можлива ця реакція за стандартних умов?

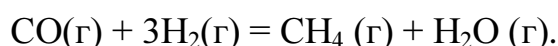
73. Обчисліть ΔH^0 , ΔS^0 і ΔG^0_T реакції, що перебігає за рівнянням:



Чи можлива реакція відновлення Fe_2O_3 воднем при температурах 500 і 2000 К?

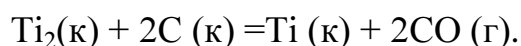
74. Які з карбонатів BeCO_3 чи BaCO_3 – можна одержати за реакції взаємодії відповідних оксидів із CO_2 ? Яка реакція відбувається найбільш енергійно? Висновок зробіть, обчисливши ΔG^0_{298} реакцій.

75. На основі стандартної теплоти утворення й абсолютної стандартної ентропії відповідних речовин обчисліть ΔG^0_{298} реакції, що відбувається за рівнянням



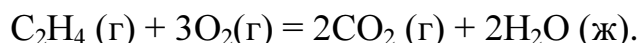
Чи можлива ця реакція за стандартних умов?

76. Обчисліть ΔH^0 , ΔS^0 і ΔG^0_{T} реакції, що відбувається за рівнянням



Чи можлива реакція відновлення TiO_2 вуглецем при температурах 1000 і 3000 К?

77. На основі стандартної теплоти утворення й абсолютної стандартної ентропії відповідних речовин обчисліть ΔG^0_{298} реакції, що відбувається за рівнянням

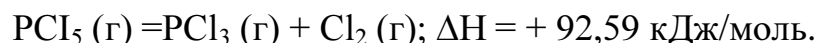


Чи можлива ця реакція за стандартних умов?

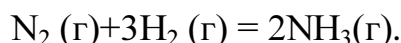
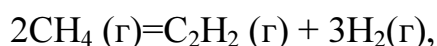
78. Визначте, при якій температурі почнеться реакція відновлення Fe_3O_4 , що відбувається за рівнянням



79. Обчисліть, при якій температурі почнеться дисоціація пентахлориду фосфору, що відбувається за рівнянням



80. Обчисліть зміну ентропії для реакцій, що відбуваються за рівняннями:



Чому в реакціях $\Delta S^0_{298} > 0$; < 0 ; $\cong 0$?

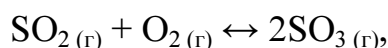
Хімічна кінетика і рівновага

Кінетика – вчення про швидкість різних процесів, у тому числі хімічних реакцій. Принциповим критерієм здійснення реакції є нерівність $\Delta G_{p,T} < 0$. Але ця нерівність не є ще повною гарантією фактичного перебігу процесу в даних умовах і не достатня для оцінки кінетичних можливостей реакції. Так, $\Delta G^0_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = -228,59$ кДж/моль, а $\Delta G^0_{298}(\text{AlI}_{3(к)}) = -313,8$ кДж/моль і, отже, при $T = 298$ °К та $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па можливі реакції, що відбуваються за рівняннями:



Однак ці реакції за стандартних умов відбуваються тільки за наявності каталізатора (платини для першої та води для другої). Каталізатор ніби знімає кінетичне "гальмо", і тоді виявляється термодинамічна природа речовини. Швидкість хімічної реакції залежить від багатьох факторів, основними з яких є концентрація (тиск) реагентів, температура і дія каталізатора. Ці самі фактори визначають і досягнення рівноваги в реагуючій системі.

Приклад 1. У скільки разів зміниться швидкість прямої та зворотної реакції в системі



якщо об'єм газової суміші зменшити в три рази? У який бік зсунеться рівновага системи?

Розв'язок. Позначимо концентрації реагуючих речовин $[\text{SO}_2] = a$, $[\text{O}_2] = b$, $[\text{SO}_3] = c$. Відповідно до закону дії мас швидкості V прямої та зворотної реакції до зміни об'єму $V_{\text{пр}} = K a^2 b$; $V_{\text{зв}} = K_1 c^2$.

Після зменшення об'єму гомогенної системи в три рази концентрація кожної з реагуючих речовин збільшується в три рази: $[\text{SO}_2] = 3a$, $[\text{O}_2] = 3b$, $[\text{SO}_3] = 3c$.

При нових концентраціях швидкості V прямої та зворотної реакції

$$V_{\text{пр1}} = K(3a)^2 \cdot (3b) = 27 K a^2 b;$$

$$V_{\text{зв1}} = K_1(3c)^2 = 9 K_1 c^2.$$

Звідси

$$V_{\text{пр1}} / V_{\text{пр}} = 27Ka^2b / Ka^2b = 27;$$

$$V_{\text{зв1}} / V_{\text{зв}} = 9K_1c^2 / K_1c^2 = 9.$$

Отже, швидкість прямої реакції збільшилася у 27 разів, а зворотної – тільки в дев'ять разів. Рівновага системи змістилася у бік утворення SO_3 .

Приклад 2. Обчисліть, у скільки разів збільшиться швидкість реакції, що відбувається в газовій фазі, при підвищенні температури від 30 до 70 °С, якщо температурний коефіцієнт реакції дорівнює 2.

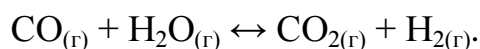
Розв'язок. Залежність швидкості хімічної реакції від температури визначається емпіричним правилом Вант-Гоффа за:

$$V_{T_2} = V_{T_1} \cdot \gamma^{(T_2-T_1)/10};$$

$$V_{T_2} = V_{T_1} \cdot 2^{(70-30)/10} = 16V_{T_1}$$

Отже, швидкість реакції V_{T_2} при температурі 70 °С більша від швидкості реакції V_{T_1} при температурі 30°C у 16 разів.

Приклад 3. Константа рівноваги гомогенної системи



при 850 °С дорівнює 1. Обчисліть концентрації всіх речовин за рівноваги, якщо вихідні концентрації:

$$[\text{CO}]_{\text{вих.}} = 3 \text{ моль/л},$$

$$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{вих.}} = 2 \text{ моль/л}.$$

Розв'язок. За рівноваги швидкості прямої та зворотної реакції рівні, а співвідношення констант цих швидкостей постійне і має назву константи рівноваги даної системи:

$$V_{\text{пр}} = K_1[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}],$$

$$K_p = K_1 / K_2 = [\text{CO}_2][\text{H}_2] / [\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]$$

В умові задачі дані вихідні концентрації, тоді як до виразу K_p входять тільки рівноважні концентрації всіх речовин системи. Припустимо, що до моменту рівноваги концентрації $[\text{CO}_2]_p = x$ моль/л. Відповідно до рівняння системи число молей водню, що утворився, при цьому буде також x моль/л. Стільки само молей (x моль/л) CO і H_2O витрачається для утворення x молей

CO_2 і H_2 . Отже, рівноважні концентрації всіх чотирьох речовин становлять:

$$[CO_2]_p = [H_2]_p = x \text{ моль/л,}$$

$$[CO]_p = (3 - x) \text{ моль/л,}$$

$$[H_2O]_p = (2 - x) \text{ моль/л,}$$

Знаючи константу рівноваги, знаходимо значення x , а потім вихідні концентрації всіх речовин:

$$1 = \frac{x^2}{(3 - x) \cdot (2 - x)},$$

$$x^2 = 6 - 2x - 3x + x^2,$$

$$5x = 6,$$

$$x = 1,2 \text{ моль/л.}$$

Таким чином, знайдені рівноважні концентрації:

$$[CO_2]_p = 1,2 \text{ моль/л,}$$

$$[H_2]_p = 1,2 \text{ моль/л,}$$

$$[CO]_p = 3 - 1,2 = 1,8 \text{ моль/л,}$$

$$[H_2O]_p = 2 - 1,2 = 0,8 \text{ моль/л.}$$

Приклад 4. Ендотермічна реакція розкладання пентахлориду фосфору протікає за рівнянням:



$$\Delta H = +92,59 \text{ кДж/моль.}$$

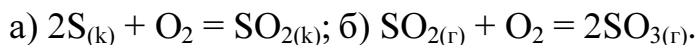
Як треба змінити а) температуру; б) тиск; в) концентрацію; щоб зсунути рівновагу в бік прямої реакції – розкладання PCl_5 ?

Розв'язок. Зсувом або зрушенням хімічної рівноваги називають зміну рівноважних концентрацій реагуючих речовин у результаті зміни однієї з умов реакції. Напрямок, у якому зміщується рівновага, визначається за принципом Ле Шательє: а) оскільки реакція розкладання PCl_5 ендотермічна ($\Delta H > 0$); то для зсуву рівноваги в бік прямої реакції потрібно підвищити температуру; б) оскільки в даній системі розкладання PCl_5 веде до збільшення об'єму (з одної молекули газу утворяться дві газоподібні молекули), то для зсуву рівноваги у бік прямої реакції треба зменшити тиск; в) зсуву рівноваги у зазначеному

напрямку можна досягти як збільшенням концентрації PCl_5 , так і зменшенням концентрації PCl_3 або Cl_2 .

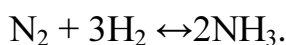
Контрольні питання

81. Окислювання сірки та її двооксиду відбувається за рівняннями:



Як зміняться швидкості цих реакцій, якщо об'єми кожної із систем зменшити в чотири рази?

82. Напишіть вираз для константи рівноваги гомогенної системи:



Як зміниться швидкість прямої реакції – утворення амоніаку, якщо збільшити концентрацію водню в три рази?

83. Реакція відбувається за рівнянням $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$.

Концентрації вихідних речовин до початку реакції були: $[\text{N}_2] = 0,049$ моль/л. Обчисліть концентрацію цих речовин у момент, коли $[\text{NO}] = 0,049$ моль/л.

84. Реакція відбувається за рівнянням $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$.

Концентрації речовин, що беруть участь у ній, були: $[\text{N}_2] = 0,80$, моль/л, $[\text{H}_2] = 1,5$ моль/л; моль $[\text{NH}_3] = 0,10$ моль/л. Обчисліть концентрацію водню й аміаку, коли $[\text{N}_2] = 0,5$ моль/л.

85. Реакція відбувається за рівнянням $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$. Константа

швидкості цієї реакції при деякій температурі дорівнює 0,16. Вихідні концентрації реагуючих речовин $[\text{H}_2] = 0,04$ моль/л; $[\text{I}_2] = 0,05$ моль/л. Обчисліть початкову швидкість реакції та її швидкість, коли $[\text{H}_2] = 0,03$ моль/л.

86. Обчисліть, у скільки разів зменшиться швидкість реакції, що

протікає в газовій фазі, якщо знизити температуру від 120 до 80 °С. Температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює трьом.

87. Як зміниться швидкість реакції, що перебігає в газовій фазі

при підвищенні температури на 60 °С, якщо температурний коефіцієнт

швидкості даної реакції дорівнює двом?

88. У гомогенній системі $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$ рівноважні концентрації реагуючих речовин $[\text{CO}] = 0,2$ моль/л; $[\text{Cl}_2] = 0,3$ моль/л; $[\text{COCl}_2] = 1,2$ моль/л. Обчисліть константу рівноваги системи і вихідних концентрацій хлору і СО.

89. У гомогенній системі $\text{A} + 2\text{B} \leftrightarrow \text{C}$ рівноважні концентрації реагуючих газів $[\text{A}] = 0,06$ моль/л; $[\text{B}] = 0,12$ моль/л; $[\text{C}] = 0,216$ моль/л. Обчисліть константу рівноваги системи і вихідних концентрацій речовин А і В.

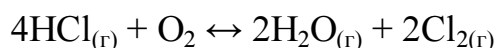
90. У гомогенній газовій системі $\text{A} + \text{B} \leftrightarrow \text{C} + \text{D}$ рівновага установилася при концентраціях $[\text{B}] = 0,05$ моль/л і $[\text{C}] = 0,02$ моль/л. Константа рівноваги системи дорівнює 0,04. Обчисліть вихідні концентрації речовин А і В.

91. Константа швидкості реакції розкладання N_2O , що проходить за рівнянням $2\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$, дорівнює $5 \cdot 10^{-4}$. Початкова концентрація $\text{N}_2\text{O} = 6,0$ моль/л. Обчисліть початкову швидкість реакції та її швидкість, коли розкладеться 50 % N_2O .

92. Напишіть вираз для константи рівноваги гетерогенної системи $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$. Як зміниться швидкість прямої реакції – утворення СО, якщо концентрацію CO_2 зменшити в чотири рази? Як варто змінити тиск, щоб підвищити вихід СО?

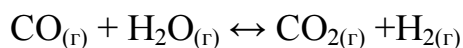
93. Напишіть вираз для константи рівноваги гетерогенної системи $\text{C} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} \leftrightarrow \text{CO} + \text{H}_2$. Як варто змінити концентрацію і тиск, щоб змістити рівновагу вбік зворотної реакції – утворення водяної пари?

94. Рівновага гомогенної системи



установилася при наступних концентраціях реагуючих речовин $[\text{H}_2\text{O}]_p = 0,14$ моль/л; $[\text{Cl}_2]_p = 0,14$ моль/л; $[\text{HCl}]_p = 0,20$ моль/л; $[\text{O}_2]_p = 0,32$ моль/л. Обчисліть вихідні концентрації хлороводню і кисню.

95. Обчисліть константу рівноваги для гомогенної системи



якщо рівноважні концентрації реагуючих речовин $[\text{CO}]_p = 0,004$ моль/л; $[\text{H}_2\text{O}]_p = 0,064$ моль/л; $[\text{CO}_2]_p = 0,016$ моль/л; $[\text{H}_2]_p = 0,016$ моль/л. Чому дорівнюють вихідні концентрації води і CO?

Константа рівноваги гомогенної системи $\text{CO}_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} \leftrightarrow \text{CO}_{2(г)} + \text{H}_2(г)$ при деякій температурі дорівнює 1. Обчисліть рівноважні концентрації всіх реагуючих речовин, якщо вихідні концентрації: $[\text{CO}_{(г)}]_{\text{вих.}} = 0,10$ моль/л; $[\text{H}_2\text{O}_{(г)}]_{\text{вих.}} = 0,40$ моль/л.

96. Константа рівноваги гомогенної системи $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$ при деякій температурі дорівнює 0,1. Рівноважні концентрації водню й аміаку відповідно дорівнюють 0,2 і 0,08 моль/л. Обчисліть рівноважну і вихідну концентрацію азоту.

97. При деякій температурі рівновага гомогенної системи $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$ установилася при наступних концентраціях реагуючих речовин: $[\text{NO}]_p = 0,2$ моль/л; $[\text{O}_2]_p = 0,1$ моль/л; $[\text{NO}_2]_p = 0,1$ моль/л. Обчисліть константу рівноваги і вихідну концентрацію NO і O₂.

98. Чому при зміні тиску зміщується рівновага системи $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$ і не зміщується рівновага системи $\text{N}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}$? Відповідь обґрунтуйте на основі розрахунку швидкості прямої та зворотної реакції в цих системах до і після зміни тиску. Напишіть вираз для констант рівноваги кожної з даних систем.

99. Вихідні концентрації $[\text{NO}]_{\text{вих}}$ й $[\text{Cl}_2]_{\text{вих}}$ у гомогенній системі $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow 2\text{NOCl}$ становлять відповідно 0,5 і 0,2 моль/л. Обчисліть константу рівноваги, якщо до моменту настання рівноваги прореагувало 20 % NO.

Способи вираження концентрації

Концентрацією розчину називається кількість розчиненої речовини в певній масі або відомому об'ємі розчину чи розчинника.

Приклад 1. Знайти: а) процентну (С %); б) молярну (С_м); в) еквівалентну (С_н); г) моляльну (С_м) концентрації розчину H₃PO₄, який одержали при

розчиненні 18 г кислоти в 282 см³ води, якщо густина його 1,031 г/см³. Чому дорівнює титр T цього розчину?

Розв'язок.

а) масова процентна концентрація показує число грамів (одиниць маси) речовини, яке міститься в 100 г (одиниць маси) розчину. Оскільки масу 282 см³ води можна взяти рівною 282 г, то маса отриманого розчину 18+282=300 г і, значить

$$300 - 18$$

$$100 - C\% \quad C\% = 100 \cdot 18 / 300 = 6 \%;$$

б) мольно-об'ємна концентрація, або молярність, показує число молів розчиненої речовини, яке міститься в 1 л розчину. Маса 1 л розчину 1031 г. Масу кислоти в літрі розчину знаходимо із співвідношення

$$300 - 18$$

$$1031 - X \quad X = 1031 \cdot 18 / 300 = 61,86 \text{ г/л.}$$

Молярність розчину знайдемо діленням числа грамів H_3PO_4 у 1 л розчину на мольну масу H_3PO_4 (97,99 г/моль):

$$C_m = 61,86/97,99=0,63\text{M.}$$

в) еквівалентна концентрація, або нормальність, показує кількість грам-еквівалентів розчиненої речовини, яка міститься в 1 л розчину. Оскільки еквівалентна маса $\text{H}_3\text{PO}_4=M/3=97,99/3=32,66$ г/моль, то

$$C_n = 61,86/32,66=1,89 \text{ н;}$$

г) мольно-масова концентрація, або молярність, показує кількість молів розчиненої речовини, яка міститься в 1000 г розчинника. Масу H_3PO_4 у 1000 г розчинника знаходимо із співвідношення

$$282 - 18$$

$$1000 - X \quad X=1000 \cdot 18/282=68,83, \text{ г/кг.}$$

$$\text{Звідси } C_m=68,83/97,99=0,70 \text{ м.}$$

д) титром розчину називається кількість грамів розчиненої речовини в 1 мл розчину. Оскільки в 1 л розчину міститься 61,86 г кислоти, то $T=61,86/1000=0,06186$ г/см³.

Знаючи нормальність розчину й еквівалентну масу (m_e) розчиненої речовини, титр легко знайти за формулою:

$$T = C_n m_e / 1000.$$

Приклад 2. На нейтралізацію 50 см³ розчину кислоти пішло 25 см³ 0,5 н розчину луку. Чому дорівнює нормальність кислоти?

Розв'язок. Оскільки речовини взаємодіють між собою в еквівалентних кількостях, то розчини рівної нормальності реагують у рівних об'ємах. За різних нормальностей об'єми розчинів реагуючих речовин обернено пропорційні їх нормальностям, тобто

$$V_1/V_2 = C_{n2}/C_{n1} \text{ або } V_1 C_{n1} = V_2 C_{n2},$$

$$50 C_{n1} = 25 \cdot 0,5, \text{ звідки } C_{n1} = 25 \cdot 0,5 / 50 = 0,25 \text{ н.}$$

Приклад 3. До 1 л 10 %-го розчину КОН (густина 1,092 г/см³) додали 0,5 л 5 %-го розчину КОН (густина 1,045 г/см³). Об'єм суміші довели до 2 л. Обчислити молярну концентрацію отриманого розчину.

Розв'язок. Маса 1 л 10%-го розчину КОН 1092 г. У цьому розчині міститься $1092 \cdot 10 / 100 = 109,2$ г КОН. Маса 0,5 л 5 %-го розчину $1045 \cdot 0,5 = 522,5$ г. У цьому розчині міститься $522,5 \cdot 5 / 100 = 26,125$ г КОН. У загальному об'ємі отриманого розчину (2 л) кількість КОН $109,2 + 26,125 = 135,325$ г. Звідси молярність цього розчину $C_M = 135,325 / 2 \cdot 56,1 = 1,2$ М, де 56,1 г/моль – мольна маса КОН.

Приклад 4. Який об'єм 96 %-ної сірчаної кислоти густиною 1,84 г/см³ необхідний для приготування 3 л 0,4 н розчину?

Розв'язок. Еквівалентна маса $H_2SO_4 = M/2 = 98,08/2 = 49,04$ г/моль. Для приготування 3 л 0,4н розчину потрібно $49,04 \cdot 0,4 \cdot 3 = 58,848$ г H_2SO_4 . Маса 1 см³ 96 %-ної кислоти 1,84 г. У цьому розчині міститься $1,84 \cdot 96 / 100 = 1,766$ г H_2SO_4 . Отже, для приготування 3 л 0,4н розчину необхідно взяти $58,848 / 1,766 = 33,32$ см³ цієї кислоти.

Контрольні питання

101. Обчисліть молярну й еквівалентну концентрації 20 %-ного розчину кальцій хлориду густиною 1,178 г/см³.

102. Чому дорівнює нормальність 30 %-ного розчину NaOH густиною 1,328 г/см³? До 1 л цього розчину додали 5 л води. Обчисліть процентну концентрацію отриманого розчину.

103. До 3 л 10 %-ного розчину HNO₃ густиною 1,054 г/см³ додали 5 л 2%-ного розчину тієї самої кислоти густиною 1,009 г/см³. Обчисліть процентну і молярну концентрацію отриманого розчину, об'єм якої дорівнює 8 л.

104. Обчисліть еквівалентну і молярну концентрації 20,8 %-ного розчину HNO₃ густиною 1,12 г/см³. Скільки грамів кислоти міститься в 4 л цього розчину?

105. Обчисліть молярну, еквівалентну і молярну концентрації 16 %-ного розчину алюміній хлориду густиною 1,149 г/см³.

106. Скільки і якої речовини залишиться в надлишку, якщо до 75 см³ 0,3 н розчину H₂SO₄ додати 125 см³ 0,2 н. розчину KOH?

107. Для осадження у вигляді AgCl усього срібла, що міститься в 100 см³ розчину AgNO₃, треба було 50 см³ 0,2 н. розчину HCl. Яка нормальність розчину AgNO₃? Яка маса AgCl випала в осад?

108. Який об'єм 20,01 %-ного розчину HCl (гус. 1,100 г/см³) потрібно для приготування 1 л 10,17 %-ного розчину (гус. 1,050 г/см³) ?

109. Змішали 10 см³ 10 %-ного розчину HNO₃ (гус. 1,056 г/см³) і 100 см³ 30 %- ного розчину HNO₃ (гус. 1,184 г/см³). Обчисліть процентну концентрацію отриманого розчину.

110. Який об'єм 50 %-ного розчину KOH (гус. 1,538) потрібно для приготування 3 л 6%-ного розчину (гус. 1,048 г/см³)?

111. Який об'єм 10 %-ного розчину натрій карбонату (гус. 1,105 г/см³) потрібно для приготування 5 л 2%-ного розчину (гус. 1,02 г/см³)?

112. На нейтралізацію 31 см³ 0,16 н розчину луку потрібно 217 см³ розчину H₂SO₄. Чому дорівнює нормальність і титр розчину H₂SO₄?

113. Який об'єм 0,3 н розчину кислоти потрібно для нейтралізації розчину, що містить 0,32 г NaOH у 40 см³?

114. На нейтралізацію 1 л розчину, що містить 1,4 г KOH, потрібно 50 см³

розчину кислоти. Обчисліть нормальність розчину кислоти.

115. Яка маса HNO_3 містилася в розчині, якщо на нейтралізацію його треба було 35 см^3 0,4 н розчину NaOH ? Який титр розчину NaOH ?

116 Яку масу NaNO_3 потрібно розчинити в 400 г води, щоб приготувати 20 %-ний розчин?

117. Змішали 300 г 20 %-ного розчину і 500 г 40 %-ного розчину NaCl . Чому дорівнює процентна концентрація отриманого розчину?

118. Змішали 247 г 62 %-ного і 145 г 18 %-ного розчину сульфатної кислоти. Яка процентна концентрація отриманого розчину?

119. З 700 г 60 %-ний сірчаної кислоти випарюванням видалили 200 г води. Чому дорівнює процентна концентрація розчину, що залишився?

120. З 10 кг 20 %-ного розчину при охолодженні виділилося 400 г солі. Чому дорівнює процентна концентрація охолодженого розчину?

Властивості розчинів

Приклад 1. Обчисліть температури кристалізації та кипіння 2 %-ного водного розчину глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

Розв'язок. За законом Рауля, зниження температури кристалізації та підвищення температури кипіння розчину (Δt) порівняно з температурами кристалізації та кипіння розчинника виражаються рівнянням:

$$\Delta t = K \cdot \frac{m \cdot 1000}{Mm_1}, \quad (1)$$

де K – криоскопічна або ебуліоскопічна константа. Для води вони відповідно рівні $1,86$ і $0,52^\circ$, m і M – відповідно маса розчиненої речовини і його мольна маса, m_1 – маса розчинника.

Зниження температури кристалізації 2 %-ного розчину $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ знаходимо з формули (1):

$$\Delta t = 1,86 \cdot \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,21^\circ.$$

Вода кристалізується при 0°C , отже, температура кристалізації розчину $0 - 0,21 = -0,21^\circ\text{C}$. З формули (1) знаходимо і підвищення температури кипіння

2%-ного розчину:

$$\Delta t = 0,52 \cdot \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,06^\circ.$$

Вода кипить при 100°C , отже, температура кипіння цього розчину

$$100 + 0,06 = 100,06^\circ\text{C}$$

Приклад 2. Розчин, який містить 1,22 г бензойної кислоти $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ у 100 г вуглецю, кипить при $46,529^\circ\text{C}$. Температура кипіння сірковуглецю $46,3^\circ\text{C}$. Обчисліть ебуліоскопічну константу сірковуглецю.

Розв'язок. Підвищення температури кипіння $\Delta t = 46,529 - 46,3 = 0,229^\circ$.

Моль кислоти 122 г/моль. З формули (1) знаходимо ебуліоскопічну константу:

$$K_{\text{еб}} \cdot \frac{\Delta t M m_1}{m \cdot 1000} = \frac{0,229 \cdot 122 \cdot 100}{1,22 \cdot 1000} = 2,29^\circ.$$

Приклад 3. Розчин, що містить 11,04 г гліцерину, 800 г води кристалізується при $0,279^\circ\text{C}$. Обчислити мольну масу гліцерину.

Розв'язок. Температура кристалізації чистої води 0°C , отже, зниження температури кристалізації $\Delta t = 0 - (-0,279) = 0,279^\circ$. Маса гліцерину m (г) на 1000 г води:

$$m = \frac{11,04 \cdot 1000}{800} = 13,8.$$

Підставляючи до рівняння:

$$M = K \cdot \frac{m}{\Delta t}, \quad (2)$$

далі обчислюємо мольну масу гліцерину:

$$M = \frac{1,86 \cdot 13,8}{0,279} = 92 \text{ г/моль.}$$

Приклад 4. Обчисліть процентну концентрацію водного розчину сечовини $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, знаючи, що температура кристалізації цього розчину дорівнює $-0,465^\circ\text{C}$.

Розв'язок. Температура кристалізації чистої води 0°C , отже, $\Delta t = 0 - (-0,465) = -0,465^\circ$. Мольна маса сечовини 60 г/моль. Знаходимо масу

m(г) розчиненої речовини на 100 г води з формули (2):

$$m = \frac{\Delta t M}{K} = \frac{0,465 \cdot 60}{1,86} = 15 \text{ г.}$$

Загальна маса розчину, що містить 15 г сечовини, дорівнює $1000 + 15 = 1015$ г. Процентний уміст сечовини в даному розчині знаходимо зі співвідношення

в 1015 г розчину – 15 г речовини

в 100 г розчину – x г речовини $x = 1,48 \%$.

Контрольні питання

121. Розчин, який містить 0,512 г неелектроліту в 100 г бензолу, кристалізується при $5,290$ °С. Температура кристалізації бензолу $5,5$ °. Кріоскопічна константа $5,1$ °С. Обчисліть мольну масу розчиненої речовини.

122. Обчисліть процентну концентрацію водного розчину цукру $C_{12}H_{22}O_{10}$, знаючи, що температура кристалізації розчину $-0,93$ °С. Кріоскопічна константа води $1,86$ °.

123. Обчисліть температуру кристалізації розчину сечовини $(NH_2)_2CO$, що містить 5 г сечовини в 150 г води. Кріоскопічна константа води $1,86$.

124. Розчин 3,04 г камфори $C_{10}H_{16}O$ у 100 г бензолу кипить при $80,714$ °С. Температура кипіння бензолу $80,2$ °С. Обчисліть ебуліоскопічну константу бензолу.

125. Обчисліть процентну концентрацію водного розчину гліцерину $C_3H_5(OH)_3$, якщо відомо, що цей розчин кипить при $100,39$ °С. Ебуліоскопічна константа води $0,52$ °.

126. Обчисліть мольну масу неелектроліту, якщо розчин містить 2,25 г цієї речовини в 250 г води та кристалізується при $-0,279$ °С. Кріоскопічна константа води $1,86$ °.

127. Обчисліть температуру кипіння 5 %-ного розчину нафталіну $C_{10}H_8$ у бензолі. Температура кипіння бензолу $80,2$ °С. Ебуліоскопічна

константа бензолу $2,57^\circ$.

128. Розчин, який містить 25,65 г деякого неелектроліту в 300 г води, кристалізується при $-0,465^\circ\text{C}$. Обчисліть мольну масу розчиненої речовини. Кріоскопічна константа води $1,86^\circ$.

129. Обчисліть кріоскопічну константу оцтової кислоти, якщо розчин містить 4,25 г антрацену $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ у 100 г оцтової кислоти та кристалізується при $15,718^\circ\text{C}$. Температура кристалізації оцтової кислоти $16,65^\circ\text{C}$.

130. При розчиненні 4,86 г сірки в 60 г бензолу температура його кипіння підвищилася на $0,81^\circ$. Скільки атомів містить молекула сірки в цьому розчині. Ебуліоскопічна константа бензолу $2,57^\circ$.

131. Температура кристалізації розчину, який містить 66,3 г деякого неелектроліту в 500 г води, дорівнює $-0,558^\circ\text{C}$. Обчисліть мольну масу розчиненої речовини. Кріоскопічна константа води $1,86^\circ$.

132. Яку масу аніліну $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ варто розчинити в 50 г етилового етеру, щоб температура кипіння розчину була вища за температуру кипіння етилового етеру на $0,53^\circ$. Ебуліоскопічна константа етилового етеру $2,12^\circ$.

133. Обчисліть температуру кристалізації 2 %-ного розчину етилового спирту $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Кріоскопічна константа води $1,86$.

134. Скільки грамів сечовини $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ варто розчинити в 75 г води, щоб температура кристалізації знизилася на $0,465^\circ$? Кріоскопічна константа води $1,86^\circ$.

135. Обчисліть процентну концентрацію водяного розчину глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, якщо цей розчин кипить при $100,26^\circ\text{C}$. Ебуліоскопічна константа води $0,52^\circ$.

136. Скільки грамів фенолу $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ варто розчинити в 125 г бензолу, щоб температура кристалізації розчину була нижчою за температуру кристалізації бензолу на $1,7^\circ$? Кріоскопічна константа бензолу $5,1^\circ$.

137. Скільки грамів сечовини $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ варто розчинити в 250 мл води, щоб температура кипіння підвищилася на $0,26^\circ$? Ебуліоскопічна константа води $0,52^\circ$.

138. При розчиненні 2,3 г деякого неелектроліту в 125 г води температура кристалізації знижується на $0,372^\circ$. Обчисліть мольну масу розчиненої речовини. Кріоскопічна константа води $1,86^\circ$.

139. Обчисліть температуру кипіння 15 %-ного водного розчину пропилового спирту $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$. Ебуліоскопічна константа води $0,52^\circ$.

140. Обчисліть процентну концентрацію водного розчину метанолу CH_3OH , температура кристалізації якого $-2,79^\circ\text{C}$. Кріоскопічна константа води $1,86^\circ$.

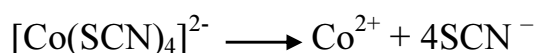
Комплексні сполуки

З дисоціацією комплексів пов'язана їхня міцність. Тому й методи руйнування та утворення комплексних сполук ґрунтуються на висновках, одержаних з розгляду рівнянь дисоціації комплексів.

Щоб зруйнувати комплексний іон, потрібно або послабити, або звести до мінімуму здатність центрального іона до комплексоутворення, або посилити дисоціацію комплексів.

Ослаблення або зведення до мінімуму комплексоутворюючої здатності центрального іона, як правило, досягають шляхом зменшення його ступеня окислювання, його відновленням придатним відновником.

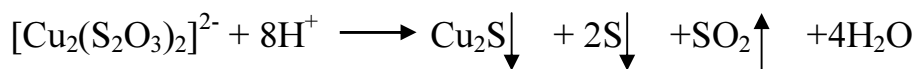
Посилити дисоціацію комплексної сполуки можна зменшенням концентрації лігандів. Цього досягають різними прийомами залежно від характеру і властивостей іона. Наприклад, для зменшення концентрації іонів можна розчин розбавити у випадку неміцних комплексів $[\text{PbCl}_3]^-$ або $\text{Co}[(\text{SCN})_4]^{2-}$:



– нагріти для руйнування аміаків:



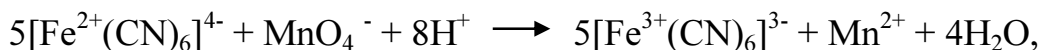
– підкислити для руйнування тіосульфатів:



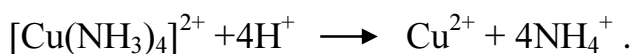
– підлужити для руйнування кислих комплексів;

– відновити для розкладання відновлюваних комплексів;

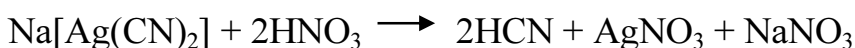
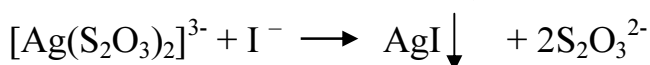
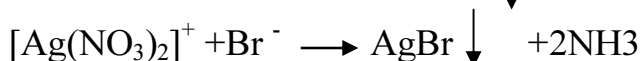
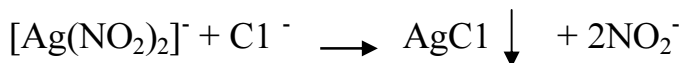
– окислити для розкладу окислюючих комплексів;



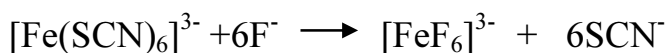
Вибір шляху повинен передбачати зручність його здійснення. Наприклад, комплексний іон $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ легше зруйнувати шляхом зменшення концентрації аміаку, додаючи кислоту. При цьому утвориться новий, більш стійкий іон $[\text{NH}_4]^+$.



Розкладання комплексу можна досягти й у тому випадку, коли при дії якого-небудь реагенту як продукти реакції утворюються слабкорозчинні або погано дисоціюючі сполуки:



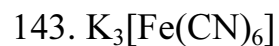
Комплекс можна зруйнувати дією реагенту, у результаті якого утвориться більш стійкий комплекс:



червоний безбарвний

Контрольні питання

141-160. Напишіть рівняння електrolітичної дисоціації наведених нижче сполук. Запишіть вираз констант нестійкості для комплексних іонів. Наведіть приклади утворення і методів руйнування цих сполук (рівняння реакцій).



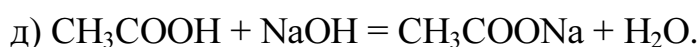
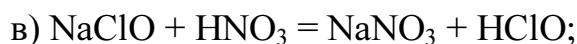
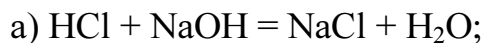
$\text{H}_2[\text{HgCl}_4]$	$(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$
144. $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	145. $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$	146. $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$ $\text{Na}[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]$
147. $\text{Na}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ $[\text{Co}(\text{NH}_3)]\text{Cl}_2$	148. $\text{Na}_3[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$	149. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$ $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$
150. $\text{Na}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$	151. $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	152. $(\text{NH}_4)_3[\text{FeF}_6]$ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$
153. $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$	154. $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	155. $\text{K}_4[\text{HgI}_4]$ $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$
156. $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_3)_2$ $\text{K}[\text{BiI}_4]$	157. $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	158. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$
159. $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$	160. $\text{NaAg}(\text{S}_2\text{O}_3)$ $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	

Іонно-молекулярні (іонні) реакції обміну

Іонно-молекулярні, або просто іонні, рівняння реакцій обміну відображають стан електроліту в розчині. У цих рівняннях сильні розчинні електроліти, оскільки вони повністю дисоційовані, записують у вигляді іонів, а слабкі електроліти — малорозчинні та газоподібні речовини — записують у молекулярній формі. В іонно-молекулярному рівнянні однакові іони з обох його частин виключені. При складанні іонно-молекулярних рівнянь варто пам'ятати, що сума в лівій частині рівняння повинна дорівнювати сумі електричних рядів у правій частині рівняння.

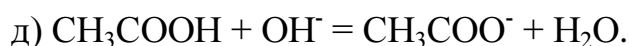
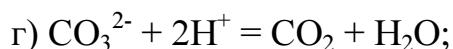
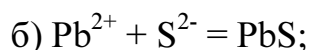
Приклад 1. Написати іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії між водними розчинами наступних речовин а) HCl і NaOH; б) Pb(NO₃)₂ і Na₂S; в) NaCl і HNO₃; г) K₂CO₃ і H₂SO₄; д) CH₃COOH і NaOH.

Розв'язок. Запишемо рівняння взаємодії зазначених речовин у молекулярному вигляді:

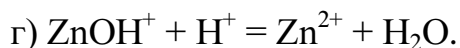
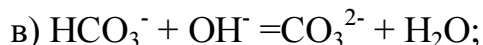
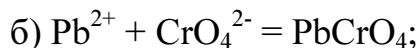
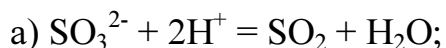


Зазначимо, що взаємодія цих речовин можлива, тому що в результаті реакції відбувається з'єднання іонів з утворенням слабких електролітів (H₂O, HCl), осаду (Pb), газу (CO₂).

У реакції (д) два слабких електроліти, але оскільки реакції йдуть у бік більшого з'єднання іонів і вода – слабший електроліт, ніж оцтова кислота, то рівновага реакції зміщена у бік утворення води. Виключивши однакові іони з обох частин рівності а) Na⁺ і Cl⁻; б) Na⁺ і NO₃⁻; в) Na⁺ і NO₃⁻; г) K⁺ і SO₄²⁻ д) Na⁺, одержимо іонно-молекулярні рівняння відповідних реакцій:

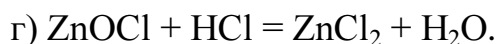
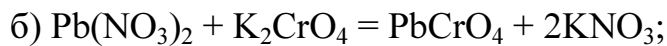
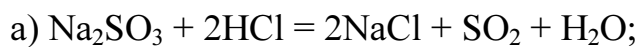


Приклад 2. Складіть молекулярні рівняння реакцій, яким відповідають наступні іонно-молекулярні рівняння:



У лівій частині даних іонно-молекулярних рівнянь зазначені вільні іони,

що утворюються при дисоціації розчинних сильних електролітів, отже, при складанні молекулярних рівнянь варто виходити з відповідних розчинних сильних електролітів. Наприклад:



Контрольні питання

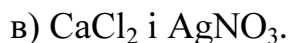
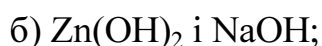
161. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії в розчинах між: а) NaHCO_3 і NaOH ; б) K_2SiO_3 і HCl ; в) BaCl_2 і Na_2SO_4 .

162. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії в розчинах між: а) K_2S і HCl ; б) FeSO_4 і $(\text{NH}_4)_2\text{S}$; в) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ і KOH .

163. Складіть по три молекулярні рівняння реакцій, що виражаються іонно-молекулярними рівняннями: а) $\text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{MgCO}_3$; б) $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$.

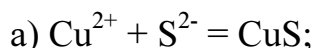
164. Яка з речовин – $\text{Al}(\text{OH})_3$; H_2SO_4 , $\text{Ba}(\text{OH})_2$ – буде взаємодіяти з калій гідроксидом? Виразіть ці реакції молекулярними й іонно-молекулярними рівняннями.

165. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакції взаємодії в розчинах між: а) KHCO_3 і H_2SO_4 ;



166. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії в розчинах між: а) CuSO_4 і H_2S ; б) BaCO_3 і HNO_3 ; в) FeCl_3 і KOH .

167. Складіть по три молекулярні рівняння реакцій, що виражаються іонно-молекулярними рівняннями:



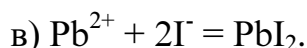
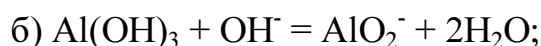
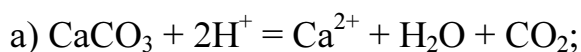


168. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії в розчинах між: а) $\text{Sn}(\text{OH})_2$ і HCl ; б) BeSO_4 і KOH ; в) NH_4Cl і $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

169. Яка з речовин: KHCO_3 , CH_3COOH , NiSO_4 , Na_2S – взаємодіє з розчином сірчаної кислоти? Запишіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння цих реакцій.

170. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії в розчинах між: а) AgNO_3 і K_2CrO_4 ; б) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ і KI ; в) CdSO_4 і Na_2S .

171. Складіть молекулярні рівняння реакцій, що виражаються іонно-молекулярними рівняннями:



172. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакції взаємодії в розчинах між: а) $\text{Ba}(\text{OH})_2$ і NaOH ; б) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ і HNO_3 ; в) ZnOHNO_3 і HNO_3 .

173. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакції взаємодії в розчинах між: а) Na_3PO_4 і CaCl_2 ; б) K_2CO_3 і BaCl_2 ; в) $\text{Zn}(\text{OH})_2$ і KOH .

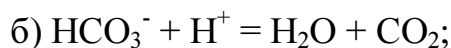
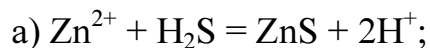
174. Складіть молекулярні рівняння реакцій, що виражаються іонно-молекулярними рівняннями:



175. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакції взаємодії в розчинах між: а) Cd і HCl ; б) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ і NaOH ; в) $\text{Ba}(\text{OH})_2$ і CoCl_2 .

176. Складіть молекулярні рівняння реакції, що виражаються

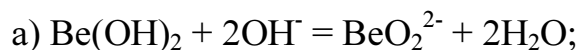
іонно-молекулярними рівняннями:



177. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакції взаємодії в розчинах між: а) H_2SO_4 і $\text{Ba}(\text{OH})_2$; б) FeCl_3 і NH_4OH ; в) CH_3COONa і HCl .

178. Складіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння реакції взаємодії в розчинах між: а) FeCl_3 і KOH ; б) NiSO_4 і $(\text{NH}_4)_2\text{S}$; в) MgCO_3 і HNO_3 .

179. Складіть молекулярні рівняння реакції, що виражаються іонно-молекулярними рівняннями:



180. Яка з речовин – NaCl , NiSO_4 , $\text{Be}(\text{OH})_2$, KHCO_3 – взаємодіє з розчином натрій гідроксиду. Запишіть молекулярні й іонно-молекулярні рівняння цих реакцій.

Завдання № 2

Електрохімічні процеси

Окисно-відновні реакції

Окисно-відновними називаються реакції, що супроводжуються зміною ступеня окислювання атомів, які входять до складу реагуючих речовин. Під ступенем окислювання (n) розуміють той умовний заряд атома, який обчислюють, виходячи з припущення, що молекула складається тільки з іонів. Іншими словами: ступінь окислювання – це той умовний заряд, якого набув би атом елемента, якщо припустити, що він прийняв чи віддав те або інше число електронів.

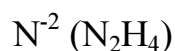
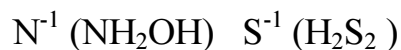
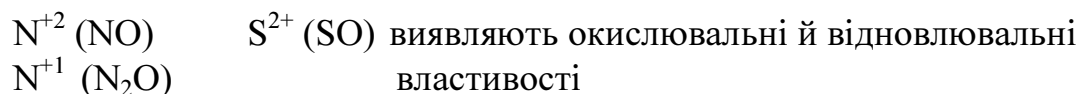
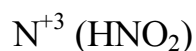
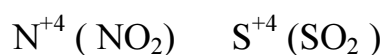
Окислювання – відновлення – це єдиний, взаємозалежний процес. Окислювання призводить до підвищення ступеня окислювання відновника, а відновлення – до його зниження в окислювачі.

Підвищення чи зниження ступеня окислювання атомів відбувається в електронних рівняннях; окислювач приймає електрони, а відновник їх віддає. Про здатність тієї чи іншої речовини виявляти окисні, відновні чи двоїсті (як окисні, так і відновні) властивості можна судити за ступенем окислювання атомів окисника і відновника.

Атом того чи іншого елемента у своєму вищому ступені окислювання не може його підвищити (віддати електрони) і виявляє тільки окисні властивості, а у своєму нижчому ступені окислювання не може його понизити (прийняти електрони) і виявляє тільки відновні властивості. Атом елемента, що має проміжний ступінь окислювання, може виявляти як окисні, так і відновні властивості.

Наприклад:

N^{+5} (HNO_3) S^{+6} (H_2SO_4) виявляють тільки окислювальні властивості;



При окислювально-відновлювальних реакціях валентність атомів може і не змінюватися. Наприклад, в окислювально-відновлювальній реакції $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ валентність атомів водню і хлору до і після реакції дорівнює одиниці. Змінився їхній ступінь окислювання. Валентність означає число хімічних зв'язків, утворених даним атомом, і тому знака не має. Ступінь окислювання має знак плюс чи мінус.

Приклад 1. Виходячи зі ступеня окислювання (n) Нітрогену, Сульфуру і Мангану у сполуках NH_3 , HNO_2 , HNO_3 , H_2S , H_2SO_3 , H_2SO_4 , MnO_2 , KMnO_4 , визначити, які з них можуть бути тільки відновниками, тільки окислювачами, і які виявляють як окисні, так і відновні властивості.

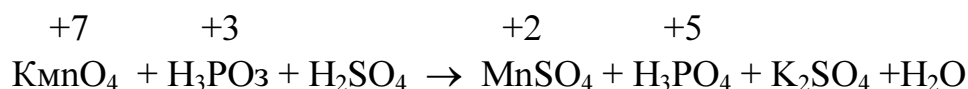
Розв'язок. Ступінь окислювання n (N) у зазначених сполуках відповідно дорівнює: -3 (нижчий), +3 (проміжний), +5 (вищий); n (S) відповідно дорівнює: -2 (нижчий), +4 (проміжний), +6 (вищий); n (Mn) відповідно дорівнює: +4 (проміжний), +7 (вищий). Звідси: NH_3 , H_2S – тільки відновники; HNO_3 , H_2SO_4 , KMnO_4 – тільки окислювачі; HNO_2 , H_2SO_3 , MnO_2 – окислювачі й відновники.

Приклад 2. Чи можуть відбуватися окислювально-відновлювальні реакції між наступними речовинами: а) H_2S і HI ; б) H_2S і H_2SO_3 ; в) H_2SO_3 і HClO_4 ?

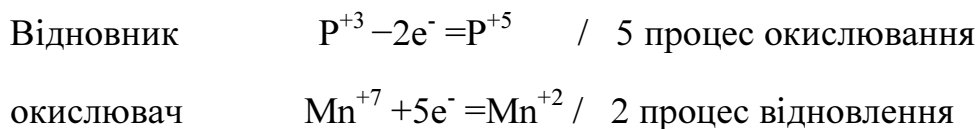
Розв'язок. а) Ступінь окислювання в H_2S n (S) = -2; у HI n (I) = -1. Оскільки і Сульфур, і Йод знаходяться у своєму нижчому ступені окислювання, то обидві взяті речовини виявляють тільки відновні властивості й взаємодіяти

не можуть; б) у H_2S $n(\text{S}) = -2$ (нижчий); у H_2SO_3 $n(\text{S}) = +4$ (проміжний). Отже, взаємодія цих речовин можлива, причому H_2SO_3 є окислювачем; в) у H_2SO_3 $n(\text{S}) = +4$ (проміжний); у HClO_4 $n(\text{Cl}) = +7$ (вищий). Узяті речовини можуть взаємодіяти. H_2SO_3 у цьому випадку буде виявляти відновні властивості.

Приклад 3. Складіть рівняння окислювально-відновної реакції, що йде за схемою



Розв'язок. Якщо в умові задачі дані як вихідні речовини, так і продукти їхньої взаємодії, то написання рівняння реакції зводиться, як правило, до перебудування і розташування коефіцієнтів. Коефіцієнти визначають за методом електронного балансу за допомогою електронних рівнянь. Обчислюємо, як змінюють свій ступінь окислювання відновник і окислювач, і відображаємо це в електронних рівняннях :



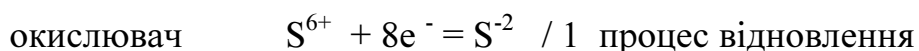
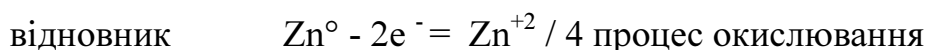
Загальне число електронів, які віддають відновники, повинно дорівнювати числу електронів, що приєднує окислювач. Найменше спільне кратне для відданих і прийнятих електронів – десять. Поділивши це число на 5, одержуємо коефіцієнт 2 для окислювача і продукту його відновлення, а при діленні 10 на 2 одержуємо коефіцієнт 5 для відновника і продукту його окислювання. Інші елементи урівнюють в лівій і правій частині рівняння. Коефіцієнти важаються розставленими правильно, якщо число атомів Оксигену зліва і справа однакове. Рівняння реакції буде мати вигляд



Приклад 4. Складіть рівняння реакції взаємодії цинку з концентрованою сульфатною кислотою за максимального відновлення останньої.

Розв'язок. Цинк, як і будь-який метал, виявляє тільки відновні властивості. У концентрованій сульфатній кислоті окисну функцію несе

Сульфур (+6). Максимальне відновлення Сульфуру означає, що вона набуває мінімального ступеня окислювання. Мінімальний ступінь окислювання Сульфуру, як р-елемента VIA групи, дорівнює «-2». Цинк, як метал ІІВ групи, має постійний ступінь окислювання «+2». Відображаємо сказане в електронних рівняннях :



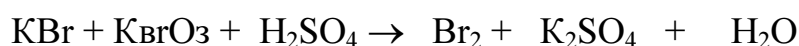
Складаємо рівняння реакції:



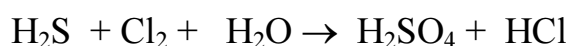
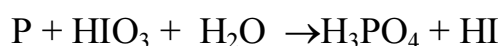
Оскільки в правій частині рівняння 5 атомів Сульфуру, перед H_2SO_4 коефіцієнт 5, а не 1, тому що тільки один S^{+6} переходить в S^{-2} , а інші не змінюють ступінь окислення.

Контрольні питання

181. Виходячи зі ступеня окислювання Хлору в сполуках HCl , $HClO_3$, $HClO_4$, визначити, яка з них є тільки окислювачем, тільки відновником, а яка може виявляти як окисні, так і відновні властивості. Чому? На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою:

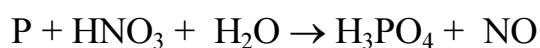


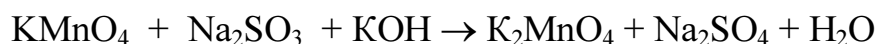
182. Реакції виражаються схемами:



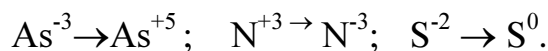
Складіть електронні рівняння. Розставте коефіцієнти в рівняннях реакцій. Для кожної реакції вкажіть, яка речовина є окислювачем, яка – відновником, яка речовина окисляється, яка – відновлюється.

183. Див. умову задачі 182.

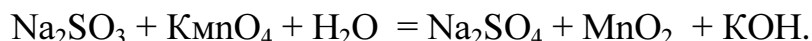




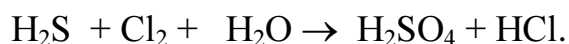
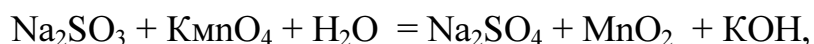
184. Складіть електронні рівняння і вкажіть, який процес – окислювання, чи відновлення відбувається при наступних перетвореннях:



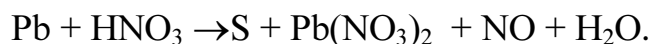
На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою:



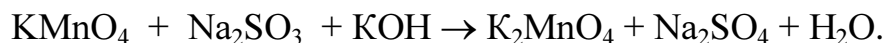
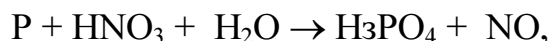
185. На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою:



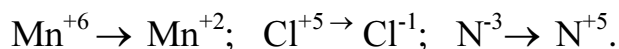
186. Виходячи зі ступеня окислювання Фосфору в сполуках PH_3 , H_3PO_4 , H_3PO_3 , визначте, яка з них є тільки окислювачем, тільки відновником, а яка може виявляти як окисні, так і відновні властивості. Чому? На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою:



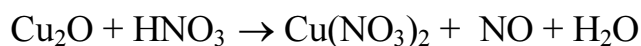
187. Див. умову задачі 185.



188. Складіть електронні рівняння і вкажіть, який процес – окислювання чи відновлення – відбувається при наступних перетвореннях:



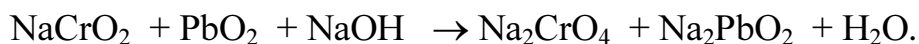
На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою



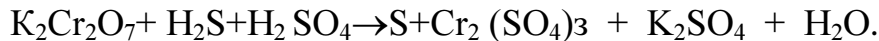
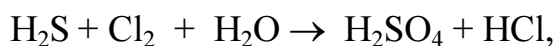
189. Див. умову задачі 185.



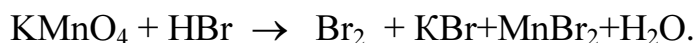
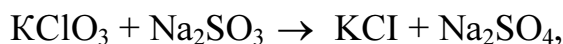
190. Виходячи зі ступеня окислювання Хрому, Йоду і Сульфуру в сполуках $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KI і H_2SO_3 , визначити, яка з них є тільки окислювачем, тільки відновником, а яка може виявляти як окисні, так і відновні властивості. Чому? На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою



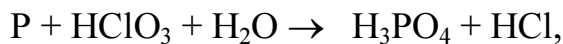
191. Див. умову задачі 185.



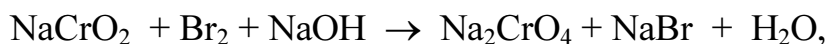
192. Див. умову задачі 185.



193. Див. умову задачі 185.

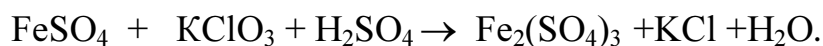


194. Див. умову задачі 185.

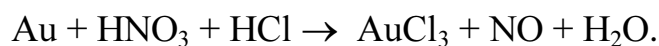
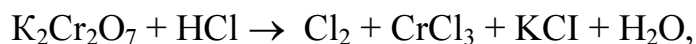


195. Див. умову задачі 185.





196. Див. умову задачі 185.



197. Чи можуть відбуватися окислювально-відновні реакції між речовинами:

а) NH_3 і KMnO_4 ;

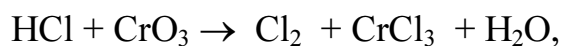
б) HNO_2 і HI ;

в) HCl і H_2Se ?

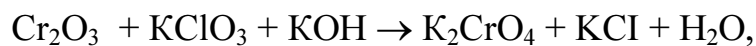
Чому? На основі електронних рівнянь розставте коефіцієнти в рівнянні реакції, що відбувається за схемою:



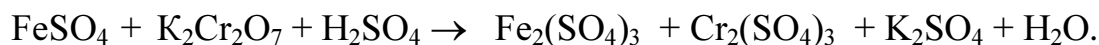
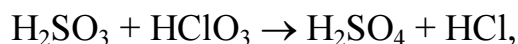
198. Див. умову задачі 185.



199. Див. умову задачі 185.

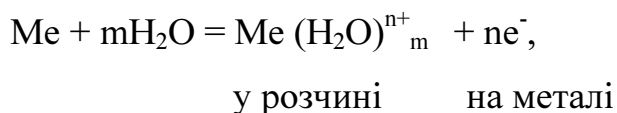


200. Див. умову задачі 185.



Електродні потенціали

Якщо металеву пластинку занурити у воду, то катіони металу на її поверхні гідратуються полярними молекулами води і переходять до рідини. При цьому електрони у надлишку, що залишаються в металі, заряджають його поверхневий шар негативно. Виникає електростатичне притягання між гідратованими катіонами, що перейшли до рідини, й поверхнею металу. У результаті цього в системі встановлюється рухлива рівновага:



де n – число електронів, що беруть участь у процесі. На межі метал – рідина виникає *подвійний електричний шар*, який характеризується певним стрибком потенціалу – *електродним потенціалом*. Абсолютні значення електродних потенціалів виміряти не вдається. Електродні потенціали залежать від низки факторів (природи металу, концентрації, температури й ін.). Тому звичайно визначають відносні електродні потенціали за визначених умов – так звані стандартні електродні потенціали (E^0).

Стандартним електродним потенціалом металу називають його електродний потенціал, що виникає при зануренні металу до розчину власного іона з концентрацією, яка дорівнює 1 моль/л, виміряний порівняно зі стандартним водневим електродом, потенціал якого при 25 °С умовно приймається рівним нулю ($E^0=0$; $\Delta G^0=0$).

Розташовуючи метали в ряд за зростанням їх стандартних електродних потенціалів (E^0), одержуємо так званий ряд напруг.

Положення того чи іншого металу в ряді напруг характеризує його відновну здатність, а також окисні властивості його іонів у водних розчинах за стандартних умов. Чим менше значення E^0 , тим сильніші відновні властивості має даний метал у вигляді простої речовини, і тим менші окисні властивості виявляють його іони, і навпаки. Електродні потенціали вимірюють приладами, які називають гальванічними елементами. Окисно-відновна реакція, що характеризує роботу гальванічного елемента, перебігає в напрямку, у якому ЕРС елемента має додатне значення. У цьому випадку $\Delta G^0 < 0$, тому що $\Delta G^0 = -nFE^0$.

Приклад 1. Стандартний електродний потенціал Ніколу більший, ніж Кобальту. Чи зміниться це співвідношення, якщо вимірити потенціал Ніколу в розчині його іонів з концентрацією 0,001 моль/л, а потенціали Кобальту – в розчині з концентрацією 0,1 моль/л?

Розв'язок. Електродний потенціал металу (E) залежить від концентрації його іонів у розчині. Ця залежність виражається рівнянням Нернста (н.у.):

$$E = E^\circ + (0,059/n) \lg C,$$

де E° – стандартний електродний потенціал; n – число електронів, що беруть участь у процесі; C – концентрація гідратованих іонів металу в розчині, моль/л; E° для Ніколу і Кобальту відповідно рівні $-0,25$ і $-0,277$ В. Визначимо електродні потенціали цих металів за даними в умові концентраціями:

$$E(\text{Ni}) = -0,25 + (0,059/2) \lg 0,001 = -0,339 \text{ В},$$

$$E(\text{Co}) = -0,277 + (0,059/2) \lg 0,1 = -0,307 \text{ В}.$$

Таким чином, при концентрації, що змінилася, потенціал Кобальту став більшим від потенціалу Ніколу.

Приклад 2. Магнієву пластинку занурили в розчин солі Магнію. При цьому електродний потенціал системи дорівнює $-2,41$ В. Обчислити концентрацію іонів Магнію (у моль/л).

Розв'язок. Подібні задачі також розраховуються на основі рівняння Нернста (див. приклад 1):

$$-2,41 = -2,37 + 0,059/2 \cdot \lg C$$

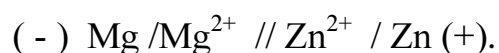
$$-0,04 = 0,0295 \cdot \lg C,$$

$$\lg C = -0,04/0,0295 = -1,3559$$

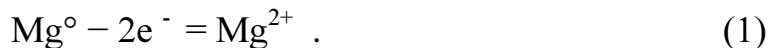
$$C(\text{Mg}^{2+}) = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}.$$

Приклад 3. Складіть схему гальванічного елемента, у якому електродами є магнієва і цинкова пластинки, занурені в розчини їхніх іонів з активною концентрацією 1 моль/л. Який метал є анодом, який катодом? Напишіть рівняння окисно-відновної реакції, що відбувається в цьому гальванічному елементі, й обчисліть його ЕРС.

Розв'язок. Схема даного гальванічного елемента



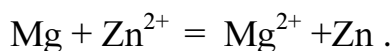
Вертикальна лінія позначає поверхню розділу між металом і розчином, а дві лінії – межу поділу двох рідких фаз – пористу перетинку (чи сполучну трубку, заповнену розчином електроліту). Магній має менший потенціал ($-2,37\text{В}$) і є анодом, на якому відбувається окислювальний процес:



Цинк, потенціал якого $-0,763\text{ В}$, – катод, тобто електрод, на якому протікає відновлювальний процес:



Рівняння окислювально-відновної реакції, що характеризує роботу даного гальванічного елемента, можна одержати, склавши електронні рівняння анодного (1) і катодного (2) процесів:



Для визначення ЕРС гальванічного елемента від потенціалу катода варто відняти потенціал анода. Оскільки концентрація іонів у розчині дорівнює 1 моль/л, то ЕРС елемента дорівнює різниці стандартних потенціалів двох його електродів:

$$\text{ЕРС} = E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} - E_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}}^{\circ} = -0,763 - (-2,37) = 1,607\text{ В}.$$

Контрольні питання

201. У дві посудини з блакитним розчином мідного купоросу помістили: до першої – цинкову пластинку, а до другої – срібну. У якій посудині колір розчину поступово зникає? Чому? Складіть електронні й молекулярні рівняння відповідної реакції.

202. Збільшиться, зменшиться чи залишиться без зміни маса цинкової пластинки при взаємодії її з розчинами: а) CuSO_4 ; б) MgSO_4 ; в) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Чому? Складіть електронні та молекулярні рівняння відповідних реакцій.

203. При якій концентрації іонів Zn^{2+} (у моль/л) потенціал цинкового електрода буде на $0,015\text{ В}$ меншим від його стандартного електродного потенціалу?

204. Збільшиться, зменшиться чи залишиться без зміни маса кадмієвої пластинки при взаємодії її з розчинами: а) AgNO_3 ; б) ZnSO_4 ; в) NiSO_4 ? Чому? Складіть електронні та молекулярні рівняння відповідних реакцій.

205. Марганцевий електрод у розчині його солі має потенціал $-1,23$ В. Обчислити концентрацію іонів Mn^{2+} (у моль/л).

206. Потенціал срібного електрода в розчині AgNO_3 склав 95 % від значення його стандартного електродного потенціалу. Чому дорівнює концентрація іонів Ag^+ (у моль/л) ?

207. Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС мідно-кадмієвого гальванічного елемента, у якому $[\text{Cd}^{2+}] = 0,1$ моль/л, а $[\text{Cu}^{2+}] = 0,01$ моль/л.

208. Складіть схеми двох гальванічних елементів, в одному з яких мідь була б катодом, а в іншому – анодом. Напишіть для кожного з цих елементів електронні рівняння реакцій, що відбуваються на катоді та на аноді. Обчислити стандартну ЕРС.

209. При якій концентрації іонів Cu^{2+} (моль/л) значення потенціалу мідного електрода стає рівним стандартному потенціалу водневого електрода?

210. Який гальванічний елемент називається концентраційним? Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС гальванічного елемента, який складається зі срібних електродів, занурених: перший – у 0,01 н., а другий – у 0,1 н. розчини AgNO_3 .

211. За яких умов буде працювати гальванічний елемент, електроди якого зроблені з того самого металу? Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС гальванічного елемента, у якому один нікелевий електрод знаходиться в 0,001 М розчині, а інший, такий самий, електрод – у 0,01 М розчині нікол сульфату.

212. Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС гальванічного елемента, що складається зі свинцевої та магнієвої пластин, занурених у розчини своїх солей з концентрацією $[\text{Pb}^{2+}] =$

$[Mg^{2+}] = 0,01$ моль/л. Чи зміниться ЕРС цього елемента, якщо концентрацію кожного з іонів збільшити в однакове число разів?

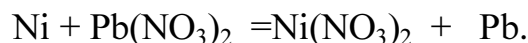
213. Складіть схеми двох гальванічних елементів, в одному з яких цинк є катодом, а в іншому – анодом. Напишіть для кожного з цих елементів електронні рівняння реакцій, що відбуваються на катоді й на аноді.

214. Залізна і срібна пластини з'єднані зовнішнім провідником і занурені в розчин сульфатної кислоти. Складіть схему даного гальванічного елемента і напишіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на аноді й на катоді.

215. Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС гальванічного елемента, що складається з пластин кадмію і магнію, занурених у розчини своїх солей з концентрацією $[Mg^{2+}] = [Cd^{2+}] = 1$ моль/л. Чи зміниться значення ЕРС, якщо концентрацію кожного з іонів знизити до 0,01 моль/л?

216. Складіть схему гальванічного елемента, що складається з пластин цинку і заліза, занурених у розчини їхніх солей. Напишіть електронні рівняння процесів, що протікають на аноді й на катоді. Якої концентрації треба було б взяти іонів Феруму (моль/л), щоб ЕРС елемента стала рівною нулю, якщо $[Zn^{2+}] = 0,001$ моль/л?

217. Складіть схему гальванічного елемента, в основу якого покладена реакція, що відбувається за рівнянням:



Напишіть рівняння анодного та катодного процесів. Обчисліть ЕРС цього елемента, якщо $[Ni^{2+}] = 0,01$ моль/л, $[Pb^{2+}] = 0,0001$ моль/л.

218. При якій концентрації іонів Cu^{2+} (моль/л) значення потенціалу мідного електрода стає рівним стандартному потенціалу водневого електрода?

219. При якій концентрації іонів Mn^{2+} (у моль/л) потенціал марганцевого електрода буде на 0,015 В меншим від його стандартного електродного потенціалу?

220. Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС гальванічного елемента, що складається зі свинцевої та

магнієвої пластин, занурених у розчини своїх солей з концентрацією $[Pb^{2+}] = [Mg^{2+}] = 0,1$ моль/л. Чи зміниться ЕРС цього елемента, якщо концентрацію кожного з іонів збільшити в однакове число разів ?

Електроліз

Електроліз – це окисно-відновний процес, що відбувається на електродах при пропусканні постійного електричного струму через розчин або розплав електроліту. Хімічні реакції відбуваються на електродах за рахунок електричної енергії.

Кількісно процес електролізу характеризується законами Фарадея:

I закон – Кількість речовини, відновленої на катоді чи окисленої на аноді, пропорційна кількості електрики, що пройшла через розчин чи розплав електроліту: $m = k m_e Q$,

де m – маса окисленої чи відновленої речовини;

m_e – молярна маса еквівалента;

Q – кількість електрики, що пройшла через електроліт;

k – коефіцієнт пропорційності.

II закон – Кількість речовин, що окислюються чи відновлюються на електродах при пропусканні однієї й тієї ж кількості електрики пропорційні їх молярним масам еквівалентів: $m_1/m_{e1} = m_2/m_{e2} = \text{const}$.

Обидва закони виражають загальною формулою: $m = m_e Q/F$, де F – число Фарадея, що дорівнює 96500. Ураховуючи, що кількість електрики дорівнює добутку сили струму I , в амперах, на час, в секундах, формулу можна записати так: $m = m_e I t/F$

Приклад 1. Яка маса міді виділиться на катоді при електролізі розчину $CuSO_4$ протягом 1 год при силі струму 4 А?

Розв'язок. Відповідно до II закону Фарадея

$$m = m_e I t / 96500, \quad (1)$$

де m – маса речовини, окисленої чи відновленої на електроді; m_e – еквівалентна маса речовини; I – сила струму, А; t – тривалість електролізу, с.

Еквівалентна маса Купруму в CuSO_4 дорівнює $63,54:2 = 31,77$ г/моль. Підставивши до формули (1) значення $E = 31,77$, $I = 4$ А, $t = 60 \cdot 60 = 3600$ с. одержимо

$$m = 31,77 \cdot 4 \cdot 3600 / 96500 = 4,74 \text{ г.}$$

Приклад 2. Обчисліть еквівалентну масу металу, знаючи, що при електролізі розчину хлориду цього металу витрачено 3880 Кл електрики і на катоді виділяється 11,742 г металу.

Розв'язок. З формули (1)

$$m_e = 11,742 \cdot 96500 / 3880 = 29,35 \text{ г/моль,}$$

$$\text{де } m = 11,742 \text{ г; } It = Q = 3880 \text{ Кл.}$$

Приклад 3. Чому дорівнює сила струму при електролізі розчину протягом 1 год 40 хв 25 с, якщо на катоді виділилося 1,4 л водню (н.у.) ?

Розв'язок. З формули (1)

$$I = m \cdot 96500 / met.$$

Якщо дано об'єм водню, то співвідношення m/m_e замінимо відношенням

$$V_{\text{H}_2} / V_e(\text{H}_2),$$

де V_{H_2} – об'єм водню, л; $V_e(\text{H}_2)$ – еквівалентний об'єм водню, л. Тоді

$$I = V(\text{H}_2) \cdot 96500 / V_e(\text{H}_2).$$

Еквівалентний об'єм водню за н.у. дорівнює половині молярного об'єму $22,4/2 = 11,2$ л. Підставивши до наведеної формули значення $V_{\text{H}_2} = 1,4$ л, $V_e(\text{H}_2) = 11,2$ л, $t = 6025$ (1 год 40 хв 25 с = 6025 с), знаходимо

$$I = 1,4 \cdot 96\,500 / 11,2 \cdot 6025 = 2 \text{ А.}$$

Приклад 4. Яка маса калій гідроксиду утворилася на катоді при електролізі розчину K_2SO_4 , якщо на аноді виділилося 11,2 л кисню (н.у.) ?

Розв'язок. Еквівалентний об'єм кисню (н.у.) $22,4/4 = 5,6$ л. Отже, 11,2 л містять дві еквівалентні маси кисню. Стільки ж еквівалентних мас КОН утворилося біля катода, а саме $56,11 \cdot 2 = 112,22$ г (56,11 г/моль – мольна й еквівалентна маса КОН).

Контрольні питання

221. Електроліз розчину K_2SO_4 проводили при силі струму 5 А за три години. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на електродах. Яка маса води при цьому розклалася, і чому дорівнюють об'єми газів (н.у.), що виділилися на катоді й аноді?

222. При електролізі солі деякого металу протягом 1,5 год при силі струму 1,3 А на катоді виділилося 1,75 г цього металу. Обчисліть еквівалентну масу металу.

223. При електролізі розчину $CuSO_4$ на аноді виділилося 168 см^3 газу (н.у.). Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на електродах, і обчисліть, яка маса міді виділилася на катоді.

224. Електроліз розчину Na_2SO_4 проводили протягом п'яти годин при силі струму 7 А. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на електродах. Яка маса води при цьому розклалася, і чому дорівнює об'єм газів (н.у.), що виділилися на катоді й аноді?

225. Електроліз розчину аргентум нітрату проводили при силі струму 2 А протягом чотирьох годин. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на електродах. Яка маса срібла виділилася на катоді, та який об'єм газу (н.у.), що виділився на аноді?

226. Електроліз розчину сульфату деякого металу проводили при силі струму 6 А протягом 45 хв, у результаті чого на катоді виділилося 5,49 г металу. Обчисліть еквівалентну масу металу.

227. Наскільки зменшиться маса срібного анода, якщо електроліз розчину $AgNO_3$ проводити при силі струму 2 А протягом 38 хв 20 с? Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на графітових електродах.

228. Електроліз розчину цинк сульфату проводили протягом п'яти годин, у результаті чого виділилося 6 л кисню (н.у.). Складіть рівняння електродних процесів і обчисліть силу струму.

229. Електроліз розчину CuSO_4 проводили з мідним анодом протягом чотирьох годин при силі струму 50 А. При цьому виділилося 224 г міді. Обчисліть вихід за струмом (відношення маси речовини, що виділилася, до теоретично можливої маси). Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на електродах у випадку мідного і вугільного анодів.

230. Електроліз розчину нікол сульфату проводили протягом шести годин, у результаті чого виділилося 7 л кисню (н.у.). Складіть рівняння електродних процесів і обчисліть силу струму.

231. Електроліз розчину NaI проводили при силі струму 6 А протягом 2,5 год. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на вугільних електродах, і обчисліть масу речовини, що виділились на катоді й аноді.

232. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на вугільних електродах при електролізі розчину AgNO_3 . Якщо електроліз проводити зі срібним анодом, то його маса зменшується на 5,4 г. Визначити витрату електрики при цьому.

233. Електроліз розчину CuSO_4 проводили протягом 15 хв при силі струму 2,5 А. Виділилося 0,72 г міді. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на електродах у випадку мідного і вугільного анода. Обчисліть вихід за струмом (відношення маси речовини, що виділилася, до теоретично можливої маси).

234. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на графітових електродах при електролізі розплавів і водяних розчинів NaCl і KOH . Скільки літрів (н.у.) газу виділиться на аноді при електролізі калій гідроксиду, якщо електроліз проводити протягом 30 хв при силі струму 0,5 А?

235. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на графітових електродах при електролізі розчину KBr . Яка маса речовини

виділяється на катоді й аноді, якщо електроліз проводити протягом 1 год 35 хв при силі струму 15 А?

236. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на вугільних електродах при електролізі розчині CuCl_2 . Обчисліть масу міді, що виділилася на катоді, якщо на аноді виділилося 560 мл газу (н.у.).

237. При електролізі солі тривалентного металу при силі струму 1,5 А протягом 30 хв на катоді виділилося 1,071 г металу. Обчисліть атомну масу металу.

238. Електроліз розчину KI проводили при силі струму 4 А протягом 1,5 год. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на вугільних електродах, і обчисліть об'єм речовини, що виділились на катоді й аноді?

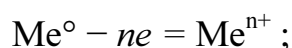
239. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на вугільних електродах при електролізі розчину $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$. Якщо електроліз проводити із нікелевим анодом, то його маса зменшується на 8,4 г. Визначити витрату електрики при цьому.

240. Складіть електронні рівняння процесів, що відбуваються на вугільних електродах при електролізі розплаву CuCl_2 . Обчисліть масу речовини, що виділилася на катоді, якщо на аноді виділилося 280 мл газу (н.у.).

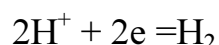
Корозія металів

Корозія – це процес руйнування металів у результаті їх хімічної чи електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. При електрохімічній корозії на поверхні металу одночасно відбуваються два процеси:

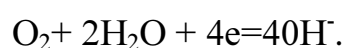
– анодний — окислювання металу



– катодний — відновлення іонів водню



або молекул кисню, розчиненого у воді,



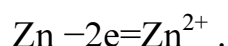
Іони або молекули, що відновлюються на катоді, називаються

деполяризаторами. При атмосферній корозії — корозії у вологому повітрі при кімнатній температурі – деполяризатором є кисень.

Приклад 1. Як відбувається корозія цинку, що знаходиться в контакті з кадмієм у нейтральному і кислому розчинах. Складіть електронні рівняння анодного й катодного процесів. Який склад продуктів корозії?

Розв'язок. Цинк має більш негативний потенціал ($-0,763$ В), ніж кадмій ($-0,403$ В), тому він є анодом, а кадмій – катодом.

Анодний процес:



Катодний процес:



Іони Zn^{2+} з гідроксильною групою утворюють нерозчинний гідроксид $\text{Zn}(\text{OH})_2$, який буде продуктом корозії.

Контрольні питання

241. Як відбувається атмосферна корозія лудженого й оцинкованого заліза при порушенні покриття? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів.

242. Купрум не витісняє водень з розведених кислот. Чому? Однак, якщо до мідної пластинки, зануреної в кислоту, доторкнутися цинковою, то на міді починається бурхливе виділення водню. Дайте цьому явищу пояснення, склавши електронні рівняння анодного і катодного процесів. Напишіть рівняння хімічної реакції, що відбувається.

243. Як відбувається атмосферна корозія лудженого заліза і лудженої міді при порушенні покриття? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів.

244. Якщо пластинку з чистого цинку занурити в розведену кислоту, то виділення водню, що починається, незабаром майже припиняється. Однак при дотику до цинку мідною паличкою на останній починається бурхливе

виділення водню. Дайте цьому пояснення, склавши електронні рівняння анодного і катодного процесів. Напишіть рівняння хімічної реакції, що відбувається.

245. У чому сутність протекторного захисту металів від корозії? Наведіть приклад протекторного захисту заліза в електроліті, що містить розчинений кисень. Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів.

246. Залізний виріб покрили нікелем. Яке це покриття — анодне чи катодне? Чому? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів корозії цього виробу при порушенні покриття у вологому повітрі й у хлороводневій (соляній) кислоті. Які продукти корозії утворюються в першому та в другому випадках?

247. Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів з кисневою і водневою деполяризацією при корозії пари магній — нікель. Які продукти корозії утворюються в першому та в другому випадках?

248. У розчин хлороводневої (соляної) кислоти помістили цинкову пластинку і цинкову пластинку, частково покриту міддю. У якому випадку процес корозії цинку відбувається інтенсивніше? Відповідь обґрунтуйте, склавши електронні рівняння відповідних процесів.

249. Чому хімічно чисте залізо є більш стійким проти корозії, ніж технічне? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів, які відбуваються при корозії технічного заліза у вологому повітрі та в кислому середовищі.

250. Яке покриття металу називається анодним, а яке — катодним? Назвіть кілька металів, що можуть слугувати для анодного і катодного покриття заліза. Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів, що відбуваються при корозії заліза, покритого міддю, у вологому повітрі й у кислому середовищі.

251. Залізний виріб покрили кадмієм. Яке це покриття — анодне чи катодне? Чому? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів корозії цього виробу при порушенні покриття у вологому повітрі й у

хлороводневій (соляній) кислоті. Які продукти корозії утворюються в першому та в другому випадках?

252. Залізний виріб покрили свинцем. Яке це покриття — анодне чи катодне? Чому? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів корозії цього виробу при порушенні покриття у вологому повітрі й у хлороводневій (соляній) кислоті. Які продукти корозії утворюються в першому та в другому випадках?

253. Дві залізні пластинки, частково покриті одна оловом, друга міддю, знаходяться у вологому повітрі. На якій з цих пластинок швидше утвориться іржа? Чому? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів корозії цих пластинок. Який склад продуктів корозії заліза?

254. Який метал краще брати для протекторного захисту від корозії свинцевої оболонки кабелю: цинк, магній чи хром? Чому? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів атмосферної корозії. Який склад продуктів корозії?

255. Якщо занурити в розведену сульфатну кислоту пластинку з чистого заліза, то виділення на ній водню йде повільно і згодом майже припиняється. Однак, якщо цинковою паличкою доторкнутися до залізної пластинки, то на останній починається бурхливе виділення водню. Чому? Який метал при цьому розчиняється? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів.

256. Цинкову і залізну пластинки занурили в розчин купрум сульфату. Складіть електронні та іонно-молекулярні рівняння реакцій, що відбуваються на кожній з цих пластинок. Які процеси будуть проходити на пластинках, якщо зовнішні кінці їх з'єднати провідником?

257. Як впливає рН середовища на швидкість корозії заліза і цинку? Чому? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів атмосферної корозії цих металів.

258. У розчин електроліту, що містить розчинений кисень, опустили цинкову пластинку і цинкову пластинку, частково покриту міддю. У якому випадку процес корозії цинку проходить інтенсивніше? Складіть електронні

рівняння анодного і катодного процесів.

259. Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів з кисневою і водневою деполяризацією при корозії пари алюміній — залізо. Які продукти корозії утворюються в першому та в другому випадках?

260. Як перебігає атмосферна корозія заліза, покритого шаром нікелю, якщо покриття порушене? Складіть електронні рівняння анодного і катодного процесів. Який склад продуктів корозії?

