

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ДОМАШНЬОГО ЗАВДАННЯ
З ДИСЦИПЛІНИ
„ФІЗИЧНА ХІМІЯ“
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
6.050801 „Мікро- та наноелектроніка“
ДЕННОЇ Й ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ

2015

Методичні вказівки до виконання індивідуального домашнього завдання з дисципліни „Фізична хімія“ для студентів спеціальності 6.050801 „Мікро- та наноелектроніка“ денної й заочної форм навчання / Укл.: А. В. Коротун, Н. А. Смирнова, Я. В. Карандась, А. О. Коваль. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 50 с.

Укладачі: А. В. Коротун, доц., канд. фіз.-мат. наук,
Н. А. Смирнова, ст. викладач,
Я. В. Карандась, магістр,
А. О. Коваль, магістр

Рецензент: В. В. Погосов, проф., д-р фіз.-мат. наук

Відповідальний за випуск: Є. Л. Жавжаров, доц., канд. фіз.-мат. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
мікро- та наноелектроніки

Протокол №10
від „06“ травня 2015 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Перший закон термодинаміки	5
2 Другий закон термодинаміки	7
3 Хімічна рівновага	12
4 Фазова рівновага у однокомпонентних системах	14
5 Колігативні властивості розбавлених розчинів	22
6 Розчини електролітів. Електрична провідність розчинів електролітів	23
7 Електрорушійні сили і електродні потенціали	26
8 Кінетика хімічних реакцій	28
Перелік рекомендованої літератури	41
Додаток А Приклад оформлення титульної сторінки	42
Додаток Б Способи вираження концентрації розчинів	43
Додаток В Стандартна ентальпія (теплота) утворення $\Delta_f H_{289,15}^\circ$, стандартна енергія Гіббса $\Delta_f G_{289,15}^\circ$, стандартна ентропія $S_{289,15}^\circ$, стандартна ентальпія (теплота) згоряння $\Delta_c H_{289,15}^\circ$ деяких речовин	48

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять завдання для самостійної роботи, які студенти виконують паралельно з лекційним курсом з фізичної хімії, який їм читають. Рівняння, необхідні для розрахунків, потрібно брати з лекцій, практичних занять або підручників. Деякі завдання логічно зв'язані одне з одним, тобто величини, отримані при виконанні одного завдання, є вихідними даними для розв'язку іншого завдання. Тому, перш ніж приступити до виконання наступного завдання, необхідно перевірити у викладача правильність виконання попереднього завдання.

Кожне завдання містить від 16 до 27 варіантів. Варіант закріплюється за студентом на весь період вивчення курсу фізичної хімії. Кожне завдання розбите на окремі питання, відповідати на питання потрібно в тій послідовності, в якій вони представлені в завданні. Необхідні табличні дані для вирішення завдання потрібно брати в довіднику [1]. Всі рівняння, що використовуються при виконанні завдань, спочатку записуються в загальному вигляді, потім в рівняння підставляються запропоновані значення величини і визначається результат, який потрібно проаналізувати.

1 ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

- 1.1 Визначте кількість теплоти, поглинену при ізобарному нагріванні 1 кг речовини (речовина – будь-який із учасників реакції **A** в табл. 1.1) від 300 до 1000 К з урахуванням залежності ізобарної теплоємності від температури.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

№ ва р.	Хімічна реакція A	№ ва р.	Хімічна реакція A
1	$\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$	15	$\text{CO} + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
2	$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$	16	$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
3	$\text{CCl}_4 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 4\text{HCl}$	17	$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
4	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	18	$2\text{CH}_4 = \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$
5	$\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	19	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
6	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$	20	$\text{CH}_4 + \text{Br}_2 = \text{CH}_3\text{Br} + \text{HBr}$
7	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	21	$\text{CH}_3\text{I} + \text{HI} = \text{CH}_4 + \text{I}_2$
8	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2 = \text{C}_6\text{H}_{12}$	22	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{CHO}$
9	$3\text{C}_2\text{H}_2 = \text{C}_6\text{H}_6$	23	$\text{CH}_3\text{OH} = \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2$
10	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$	24	$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
11	$\text{CH}_4 + 2\text{Cl}_2 = \text{CH}_2\text{Cl}_2 + 2\text{HCl}$	25	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
12	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	26	$\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$
13	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2 = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$	27	$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CH}_4 + 2\text{O}_2$
14	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{Cl}_2 = \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$		

Примітка. Всі речовини, що беруть участь в хімічній реакції **A** є ідеальними газами.

- 1.2 Визначте роботу для 2 моль обраної речовини (з п. 1.1) в наступних процесах:
- ізотермічне розширення при 300 К від 10 до 100 м³;
 - ізобарне розширення від 300 до 500 К.

1.3 Розрахуйте роботу, здійснювану реакцією **A** (табл. 1.1) проти зовнішнього тиску при постійному тиску і 298 К в ізобарно-ізотермічному процесі.

1.4 Напишіть рівняння, що дозволяють розрахувати стандартні теплові ефекти реакцій при 298 К за теплотами утворення і за теплотами згоряння речовин, що беруть участь в реакції.

Для реакції **A** (див. табл. 1.1) розрахуйте стандартний тепловий ефект реакції при 298 К і постійному тиску $1,013 \cdot 10^5$ Па за теплотами утворення речовин з [1] з урахуванням агрегатного стану речовин. Отриманий результат в кілоджоулях (кДж) переведіть в джоулі (Дж), оскільки теплоємність приводиться в довіднику в джоулях на моль на кельвін (Дж/(моль · К)).

1.5 Напишіть математичний вираз закону Кірхгофа в диференціальній та інтегральній формі для випадку $\Delta C_p = \text{const}$ і $\Delta C_p = f(T)$.

Обчисліть тепловий ефект реакції **A** (Дж/моль) при 500 і 700 К, вважаючи приблизно $\Delta C_p = \Delta C_{p, 298}^\circ$ (ΔC_p не залежить від температури).

1.6 Розрахуйте тепловий ефект реакції **A** (Дж/моль) при 500 і 700 К, враховуючи залежність $\Delta C_p = f(T)$.

1.7 Отримайте рівняння залежності теплового ефекту реакції від температури $\Delta H_T = f(T)$. Для цього використовуйте рівняння Кірхгофа з п. 1.5 в інтегральній формі для випадку $\Delta C_p = f(T)$. Підставте значення стандартного теплового ефекту при 298 К і коефіцієнти $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta c'$. Потім розкрийте дужки в рівнянні і приведіть подібні (тобто додайте числа, не пов'язані з температурою).

1.8 За рівнянням, отриманим в п. 1.7, розрахуйте тепловий ефект реакції **A** при 500 і 700 К в джоулях (Дж) і кілоджоулях (кДж). Порівняйте отримані результати з результатами п. 1.6.

Побудуйте графік залежності $\Delta H_T^\circ = f(T)$, використовуючи значення теплових ефектів, при температурах 298, 500 і 700 К.

- 1.9 На основі характеру графіка з п. 1.8 зобразіть можливі теоретичні графіки залежності $\sum (v_i C_{p, 298}^\circ)_{\text{вих}} = f(T)$ і $\sum (v_i C_{p, 298}^\circ)_{\text{прод}} = f(T)$.
- 1.10 Обчисліть тепловий ефект реакції А при постійному об'ємі і температурах 298 і 500 К.

2 ДРУГИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

- 2.1 Для однієї з речовин, що беруть участь в реакції А, розрахуйте зміну ентропії при ізобарному нагріванні 1 моля цієї речовини від температури 298 до температури 500 К з урахуванням залежності $\Delta C_p = f(T)$.
- 2.2 Знайдіть зміну ентропії 1 моля даної газоподібної речовини при оборотному ізотермічному стискуванні, при зміні тиску від $1,013 \cdot 10^5$ Па до $10,13 \cdot 10^5$ Па.
- 2.3 Розрахуйте абсолютну ентропію 1 моля цієї речовини при температурі 500 К.
- 2.4 Знайдіть зміну ентропії при протіканні реакції А при стандартному тиску і температурі 298 К. Зробіть висновок про можливість протікання реакції в ізольованій системі.
- 2.5 Розрахуйте зміну ентропії при протіканні реакції А при стандартному тиску і температурі 500 К з урахуванням залежності $\Delta C_p = f(T)$. Зробіть висновок про можливість протікання реакції в ізольованій системі.

- 2.6 Знайдіть для вибраної раніше речовини, яка приймає участь в реакції **A**, зміну енергії Гіббса при ізобарному нагріванні 1 моля речовини від 298 до 500 К, враховуючи, що температурний коефіцієнт енергії Гіббса $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S$ – стала величина.
- 2.7 Знайдіть для 1 моля цієї речовини зміну енергії Гіббса при ізотермічному розширенні при 298 К, якщо об'єм газоподібної речовини при цьому збільшується в 100 разів.
- 2.8 Розрахуйте зміну енергії Гіббса в джоулях (Дж) при протіканні реакції **A** при стандартному тиску і температурі 298 К. Зробіть висновок про напрям самовільного протікання реакції у вказаних умовах.
- 2.9 Розрахуйте зміну енергії Гіббса в джоулях (Дж) при протіканні реакції **A** при стандартному тиску і температурі 500 К. Використовуйте значення теплового ефекту і значення зміни ентропії, отримані з урахуванням залежності $\Delta C_p = f(T)$. Зробіть висновок про можливість протікання реакції **A** у вказаних умовах. Обчисліть ΔG_{500}° методом Темкіна-Шварцмана. Порівняйте результати.
- 2.10 Використовуючи значення по зміні енергії Гіббса, отримані в пп. 1.8 і 1.9, розрахуйте зміну енергії Гельмгольца в джоулях (Дж) при протіканні реакції **A** :
- а) при постійному об'ємі і температурі 298 К ;
 - б) при постійному об'ємі і температурі 500 К .
- Зробіть висновок про можливість протікання реакції **A** у вказаних умовах.
- 2.11 Розрахуйте зміну ΔS і ΔG при нагріванні (охолодженні) при сталому тиску в інтервалі температур від T_1 до T_2 q кг речовини **A** згідно з варіантом з табл. 2.1, заданим викладачем, якщо відомі середні теплоємкості речовини в усіх агрегатних станах та теплоти фазових перетворень (знайти в довіднику). Прийма-

ти, що теплоємкості не залежать від температури.

- 2.12 Визначити стандартну зміну енергії Гіббса хімічної реакції А при 25 °С, користуючись стандартними значеннями ентальпій утворення і абсолютних ентропій (за таблицями стандартних величин) згідно з варіантом, заданим викладачем з табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань

№ вар.	Речовина А	q , кг	T_1 , К	T_2 , К
1	2	3	4	5
1	Br ₂	25	173	373
2	H ₂ O	45	223	421
3	Hg	40	673	193
4	CCl ₄	80	373	323
5	CH ₂ O ₂ (мурашина к-та)	10	273	393
6	C ₂ HCl ₃ O ₂ (трихлороцтова к-та)	15	350	160
7	CH ₄ O	80	473	303
8	C ₂ H ₃ ClO ₂ (хлороцтова к-та)	15	313	423
9	CH ₃ COOH	8	223	423
10	C ₂ H ₅ OH	50	143	373
11	C ₃ H ₆ O (ацетон)	10	373	173
12	C ₄ H ₁₀ O (етиловий ефір)	50	323	143
13	C ₅ H ₁₂ (н-пентан)	35	133	323
14	C ₆ H ₆ (бензол)	1	273	383
15	C ₆ H ₁₂ (циклогексан)	100	273	373
16	C ₆ H ₁₄ (н-гексан)	10	373	173
17	C ₇ H ₈ (толуол)	50	173	423
18	C ₃ H ₃ N (н-пропіл)	40	303	523
19	C ₁₀ H ₈ (нафталін)	25	523	328
20	C ₁₀ H ₈ O (α-нафтол)	75	323	579

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
21	C_8H_{10} (o-ксилол)	60	420	60
22	C_2H_4	25	393	123
23	CS_2	40	473	160
24	I_2	25	373	273
25	$CHBr_3$	20	373	223

Таблиця 2.2 – Варіанти завдань

№ вар.	Реакція А
1	$2HI_{(газ)} \rightleftharpoons H_{2(газ)} + I_{2(газ)}$
2	$CO_{(газ)} + 2H_{2(газ)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(рід)}$
3	$NH_{3(газ)} + HCl_{(газ)} \rightleftharpoons NH_4Cl_{(мб)}$
4	$CO_{2(газ)} + 4H_{2(газ)} \rightleftharpoons CH_{4(газ)} + H_2O_{(рід)}$
5	$4NH_{3(газ)} + 5O_{2(газ)} \rightleftharpoons 6H_2O_{(газ)} + 4NO_{(газ)}$
6	$4HCl_{(газ)} + O_{2(газ)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(рід)} + 2Cl_{2(газ)}$
7	$PCl_{5(газ)} \rightleftharpoons PCl_{3(газ)} + Cl_{2(газ)}$
8	$C_2H_{4(газ)} + 3O_{2(газ)} \rightleftharpoons 2CO_{2(газ)} + 2H_2O_{(рід)}$
9	$CH_{4(газ)} + 2H_2S_{(газ)} \rightleftharpoons CS_{2(газ)} + 4H_{2(газ)}$

3 ХІМІЧНА РІВНОВАГА

- 3.1 Для хімічної реакції **A** (див. табл. 1.1) напишіть в загальному вигляді вираз константи хімічної рівноваги через парціальний тиск, концентрації, молярні долі і числа молей реагуючих речовин.
- 3.2 Визначить хімічної рівноваги реакції, що вивчається, при збільшенні загального тиску в системі.
- 3.3 Розрахуйте значення K_p і K_c при температурі 298 К і 500 К, використовуючи окремий випадок рівняння ізотерми хімічної реакції і рівняння зв'язку цих констант рівноваги.
- 3.4 Використовуючи рівняння ізобари хімічної реакції в диференціальній формі, визначить, чи відповідає знак теплового ефекту хімічної реакції **A**, розрахований в першому завданні (пп. 1.4, 1.8), з характером зміни значень K_p зі збільшенням температури від 298 до 700 К.
- 3.5 Знайдіть вираз залежності логарифма константи рівноваги від температури $\ln K_p = f(T)$, для цього проінтегруйте рівняння ізобари хімічної реакції з урахуванням залежності $\Delta H_T^\circ = f(T)$, отриманої в завданні 1 (п. 1.7). Інтегрування проведіть в межах від 298 К до T . Значення K_p при 298 К візьміть з п. 3.3. Розкрийте дужки і приведіть подібні.
- 3.6 За отриманим в попередньому пункті рівнянням розрахуйте значення K_p при двох температурах 500 і 700 К. Значення K_p при температурі 500 К порівняйте із значенням, отриманим в п. 3.3.
- 3.7 Знайдіть тепловий ефект реакції **A** при температурі 500 К, використовуючи два значення K_p при двох температурах, і інтегральне рівняння ізобари хімічної реакції (отримане за умови, що тепловий ефект реакції не залежить від температури).

- 3.8 Знайдіть тепловий ефект реакції при температурі 500 К, диференціюючи рівняння залежності логарифма константи рівноваги від температури, отримане в п. 3.5. В цьому випадку рівняння ізобари хімічної реакції використовується в диференціальній формі.
Порівняйте значення теплового ефекту реакції А при 500 К, отримані різними способами.
- 3.9 Визначить напрям самовільного протікання реакції А за рівнянням ізотерми хімічної реакції при 500 К, використовуючи отримані значення K_p при 500 К. Початкові нерівноважні парціальні тиски всіх вихідних речовин дорівнюють $1,013 \cdot 10^5$ Па.
- 3.10 Визначить склад рівноважної суміші в молярних відсотках (% мол.) при тиску в системі $1,013 \cdot 10^5$ Па і температурі 500 К, використовуючи значення константи рівноваги хімічної реакції А при температурі 500 К. Знайдіть склад рівноважної суміші в масових відсотках, використовуючи рівняння

$$\omega_i (\%) = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i} 100,$$

де x_i – молярна частка i -го компоненту;

M_i – молярна маса i -го компоненту, г.

- 3.11 Обчисліть склад рівноважної суміші вказаної нижче реакції А (згідно з варіантом з табл. 3.1, заданим викладачем) при T і p , що протікають у газовій фазі, якщо вихідні речовини взяли у стехіометричних кількостях і константа рівноваги відома.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

№ вар.	Реакція А	T, K	$p, \text{атм}$	$\lg K_p$
1	$C_6H_{11}CH_3 \rightleftharpoons C_6H_5CH_3 + 3H_2$	600	1	1,27
2	$C_6H_5CH_3 + 4H_2 \rightleftharpoons C_7H_{16}$	700	10	-4,613
3	$C_3H_6 + \text{ізо-}C_4H_{10} \rightleftharpoons C_7H_{16}$	600	2	0,014
4	$C_6H_6 + C_3H_6 \rightleftharpoons n-C_6H_5C_3H_7$	500	1	1,295
5	$C_9H_{20} \rightleftharpoons n-C_6H_5C_3H_7 + 4H_2$	700	1	4,718
6	$3CH_3 - C \equiv CH_3 \rightleftharpoons C_6H_3(CH_3)_3$	1200	0,5	3,740
7	$C_3H_6 + H_2O \rightleftharpoons \text{ізо-}C_3H_7OH$	500	15	-2,145
8	$CH_3CHONCH_3 \rightleftharpoons CH_3COCH_3 + H_2$	464	1	-0,126
9	$C_4H_8 + HCl \rightleftharpoons C_4H_9Cl$	400	0,5	1,15
10	$C_2H_2 + 2HCl \rightleftharpoons C_2H_4Cl_2$	500	2	2,941
11	$C_2H_4 + NH_3 \rightleftharpoons NCH + H_2$	900	0,4	-2,361
12	$C_3H_6 + CO + H_2 \rightleftharpoons (CH_3)_2CHCHO$	500	5	0,191
13	$2C_5H_{10} \rightleftharpoons C_{10}H_{20}$	400	1	2,617
14	$2C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + 2H_2$	475	1	0,227
15	$2C_2H_5OH \rightleftharpoons C_4H_6 + 2H_2O + H_2$	400	1	-0,578

4 ФАЗОВА РІВНОВАГА У ОДНОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМАХ

У табл. 2.2 дана залежність тиску насиченої пари p_1° (Па) від температури над твердим і рідким чистим розчинником А молярною масою M , густиною в твердому d_{1ms} (кг/м³) і рідкому d_{1pid} (кг/м³) станах в потрійній точці (потр. т.).

4.1 Побудуйте графік залежності тиску насиченої пари розчинника

над твердою фазою від температури і тиску насиченої пари розчинника над рідкою фазою від температури. Визначить координати потрібної точки.

- 4.2 Побудуйте графіки залежності $\ln p_1^\circ$ від $\frac{1}{T}$ для процесів випаровування і сублімації.
- 4.3 Розрахуйте за графіком з п. 4.2 середню теплоту випаровування.
- 4.4 Розрахуйте за графіком з п. 4.2 середню теплоту сублімації.
- 4.5 Визначить теплоту плавлення речовини при температурі потрібної t , використовуючи закон Гесса (значення теплоти випаровування і сублімації узяти з пп. 4.3 і 4.4).
- 4.6 Обчисліть $\frac{dT}{dp}$ для процесу плавлення речовини при температурі потрібної точки, використовуючи значення теплоти плавлення з п. 4.5 і значення густини з табл. 4.1 (за рівнянням Клаузіуса – Клапейрона для процесу плавлення в диференціальній формі).
- 4.7 Обчисліть температуру плавлення ($T_{пл}$) речовини при тиску $p_{вн}$ (Па), інтегруючи $\frac{dT}{dp} = a = const$ в межах від тиску в потрібній точці до тиску $p_{вн}$ і від температури потрібної точки до $T_{пл}$.
- 4.8 Дайте визначення числу ступенів вільності, правилу фаз Гіббса. Вкажіть термодинамічну умову фазової рівноваги.
- 4.9 Визначить число ступенів вільності за правилом фаз Гіббса в наступних точках:
 - а) потрібна ;
 - б) будь-яка точка на кривій випаровування;
 - в) будь-яка точка на кривій сублімації;
 - г) будь-яка точка в області існування пари.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань

№ варіан- ту	Твердий стан		Рідкий стан		Властивості роз- чинника А	С, мас. %	Властивості розчину		
	Т, К	p_1° , Па	Т, К	p_1° , Па			температура Т, К	тиск па- ри p_1 , Па	густина d , кг/м ³
1	268,2	401,2	269,2	505	$M_1 = 18$ г/моль $d_{1_{мс}} = 918$ кг/м ³ $d_{1_{pid}} = 1\,000$ кг/м ³ $p_{вн} = 40,5 \cdot 10^5$ Па	0,5	288,2	1 598	1 000
	269,2	437,2	272,2	533,2					
	270,2	475,9	273,2	573					
	271,2	517,2	275,2	656					
	272,2	533,3	278,2	760					
			283,2	982					
2			288,2	1 600					
	248,0	7 998	260,0	23 327	$M_1 = 27$ г/моль $d_{1_{мс}} = 718$ кг/м ³ $d_{1_{pid}} = 709$ кг/м ³ $p_{вн} = 800 \cdot 10^5$ Па	8	278	38 714	750
	254,4	13 300	265,0	27 190					
	258,0	17 995	270,0	31 860					
	259,0	19 995	278,0	40 290					
	260,0	23 327	282,0	47 990					
3	55	1 333	60,0	12 663	$M_1 = 28$ г/моль $d_{1_{мс}} = 1\,026$ кг/м ³ $d_{1_{pid}} = 808$ кг/м ³ $p_{вн} = 500 \cdot 10^5$ Па	5	69	31 740	850
	58	3 999	64,0	17 329					
	59,2	11 997	66,0	22 394					
	63	14 663	67,8	27 993					
	64	17 329	69,0	31 992					
			71,0	39 990					

Продовження таблиці 4.1

№ варіан- ту	Твердий стан		Рідкий стан		Властивості роз- чинника A	C , мас. %	Властивості розчину		
	T , К	p_1° , Па	T , К	p_1° , Па			температура T , К	тиск па- ри p_1 , Па	густина d , кг/м ³
4	100	4 132	105	17 329	$M_1 = 30$ г/моль	8,5	114	33 841	1 300
	104	8 531	112	29 653	$d_{1_{me}} = 1\,272$ кг/м ³				
	107	14 663	114	34 738	$d_{1_{pid}} = 1\,260$ кг/м ³				
	109	19 995	115	38 657	$p_{en} = 900 \cdot 10^5$ Па				
	100,5	25 376	116	46 435					
	112	29 653	117	53 053					
5	229,2	133,3	273,2	4 786	$M_1 = 32$ г/моль	5	306,7	16 106	1 590
	248,0	694,5	282,5	6 665	$d_{1_{me}} = 837$ кг/м ³				
	257,0	1 333	298,2	12 697	$d_{1_{pid}} = 825$ кг/м ³				
	267,2	2 966	306,7	16 306	$p_{en} = 300 \cdot 10^5$ Па				
	273,2	4 786	312,5	18 929					
			316,5	21 328					
6	173	7 330	190	31 192	$M_1 = 34$ г/моль	9	207	55 000	1 985
	178	11 600	196	38 657	$d_{1_{me}} = 1\,010$ кг/м ³				
	183	16 795	200	46 655	$d_{1_{pid}} = 980$ кг/м ³				
	184	19 995	207	55 986	$p_{en} = 450 \cdot 10^5$ Па				
	190	31 192	215	69 476					
			221	77 314					

Продовження таблиці 4.1

№ варіан- ту	Твердий стан		Рідкий стан		Властивості роз- чинника А	С, мас. %	Властивості розчину		
	T, K	p_1°, Pa	T, K	p_1°, Pa			темпера- тура T, K	тиск па- ри p_1, Pa	густина $d, kg/m^3$
7	196	101 325	212	592 751	$M_1 = 44 \text{ г/моль}$	8	223	650 000	1 500
	203	190 491	220	648 480	$d_{1\text{мс}} = 1\,542 \text{ кг/м}^3$				
	213	402 360	223	674 824	$d_{1\text{pid}} = 1\,510 \text{ кг/м}^3$				
	220	648 480	239	1 005 114	$p_{\text{вн}} = 750 \cdot 10^5 \text{ Па}$				
			241	1 065 237					
			242	1 131 722					
8	276,6	1 413	277,2	1 826	$M_1 = 46 \text{ г/моль}$	7	283,2	2 375	1 210
	278,2	1 706	279,2	2 082	$d_{1\text{мс}} = 1\,242 \text{ кг/м}^3$				
	279,2	1 879	281,4	2 372	$d_{1\text{pid}} = 1\,290 \text{ кг/м}^3$				
	280,2	2 066	283,2	2 626	$p_{\text{вн}} = 950 \cdot 10^5 \text{ Па}$				
	281,4	2 372	285,2	2 932					
			288,7	3 279					
9	230	26 260	236	63 315	$M_1 = 52 \text{ г/моль}$	5	252,5	91 912	2 900
	233	31 458	246	78 647	$d_{1\text{мс}} = 3\,010 \text{ кг/м}^3$				
	237	39 900	248	83 979	$d_{1\text{pid}} = 2\,955 \text{ кг/м}^3$				
	240	49 997	249	86 645	$p_{\text{вн}} = 350 \cdot 10^5 \text{ Па}$				
	243	58 518	252,5	96 942					
	245	66 650	253,5	100 508					
	249	86 645							

Продовження таблиці 4.1

№ варіанту	Твердий стан		Рідкий стан		Властивості розчинника A	C, мас. %	Властивості розчину		
	T, К	p ₁ , Па	T, К	p ₁ , Па			температура T, К	тиск пари p ₁ , Па	густина d, кг/м ³
10	1 758,2	22,65	1 832	187	$M_1 = 52,5$ г/моль $d_{1\text{мс}} = 6\,800$ кг/м ³ $d_{1\text{pid}} = 6\,750$ кг/м ³ $p_{\text{вн}} = 500 \cdot 10^5$ Па	4,5	1 991	776	6 800
	1 788,2	63,98	1 873,2	300					
	1 810,2	99,97	1 905	387					
	1 835,2	115,99	1 938	486					
	1 873,2	300,00	1 956	573					
11			1 991	800	$M_1 = 58$ г/моль $d_{1\text{мс}} = 822$ кг/м ³ $d_{1\text{pid}} = 812$ кг/м ³ $p_{\text{вн}} = 700 \cdot 10^5$ Па	5	303	35 896	3 560
	242,1	1 333	2040	93					
	252,4	2 666	293	26 660					
	263,8	5 332	303	37 724					
	271,2	7 998	308	46 188					
	180,9	13 330	311	51 720					
12	293,0	26 660	313	56 186	$M_1 = 64$ г/моль $d_{1\text{мс}} = 1\,600$ кг/м ³ $d_{1\text{pid}} = 1\,560$ кг/м ³ $p_{\text{вн}} = 1\,000 \cdot 10^5$ Па	6	216	7 328	1 590
			316	63 317					
	183,2	333,3	201	4 665,6					
	188,0	586,5	203,7	5 305					
	196,2	1 850	214	7 198					
	199,2	3 000	216	7 998					
	203,7	5 305	230,2	13 328					
			244,0	21 728					

Продовження таблиці 4.1

№ варіанту	Твердий стан		Рідкий стан		Властивості розчинника A	C, мас. %	Властивості розчину		
	T, К	p_1° , Па	T, К	p_1° , Па			температура T, К	тиск пари p_1 , Па	густина d , кг/м ³
13	131	1 333	137	6 665	$M_1 = 68$ г/моль $d_{1_{me}} = 1 450$ кг/м ³ $d_{1_{pid}} = 1 434$ кг/м ³ $p_{вн} = 300 \cdot 10^5$ Па	3	149	12 420	1 780
	135	1 999,5		7 331,5					
	137	2 666		8 664,5					
	139,5	3 999		9 997,5					
	141,5	5 332		12 663					
	144,0	7 998		15 996					
	146	9 997,5							
14	273,2	3 265,8	274,2	3 730	$M_1 = 78$ г/моль $d_{1_{me}} = 893$ кг/м ³ $d_{1_{pid}} = 890$ кг/м ³ $p_{вн} = 900 \cdot 10^5$ Па	3	283,2	5 807	750
	274,2	3 465,8	275,2	4 000					
	276,2	3 932,8	276,2	4 160					
	277,2	4 305,6	278,2	4 530					
	278,2	4 530	283,2	6 050					
			290,2	8 930					
15	177,3	15 996	180	26 660	$M_1 = 81$ г/моль $d_{1_{me}} = 1 626$ кг/м ³ $d_{1_{pid}} = 1 610$ кг/м ³ $p_{вн} = 300 \cdot 10^5$ Па	6	194	49 431	1 210
	180	19 995	185,5	32 992					
	182	23 994	188	37 057					
	184	28 659	191	43 456					
	185,5	32 992	194	41 987					
			196,8	59 985					

Продовження таблиці 4.1

№ варіан- ту	Твердий стан		Рідкий стан		Властивості роз- чинника A	C , мас. %	Властивості розчину		
	T , К	p_1° , Па	T , К	p_1° , Па			темпера- тура T , К	тиск пари p_1 , Па	густина d , кг/м ³
16	99	10 675	111	63 984	$M_1 = 83,5$ г/моль	5	119,6	84 990	2 160
	101,9	13 995	115,5	68 649	$d_{1_{m\phi}} = 3\,330$ кг/м ³				
	103	17 330	117	72 782	$d_{1_{pi\phi}} = 2\,150$ кг/м ³				
	104,5	19 995	118	77 980	$p_{\phi n} = 800 \cdot 10^5$ Па				
	107,2	26 660	119	82 646					
	115,5	68 649	119,6	87 711					

5 КОЛІГАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗБАВЛЕНИХ РОЗЧИНІВ

Розрахунки провести для розчину невідомої нелеткої речовини (див. табл. 4.1) в рідкому розчиннику **A** з концентрацією c (мас. %) і густиною d (кг/м³) при температурі T і тиску p_1 (Па).

- 5.1 Знайдіть молярну частку розчиненої речовини за величиною p_1 (Па) і $p_{1(\text{над рід.})}^\circ$ (Па) при однаковій температурі T (див. табл. 2.1, властивості розчину).
- 5.2 Розрахуйте молярну масу розчиненої речовини.
- 5.3 Визначить молярну концентрацію розчину.
- 5.4 Визначить молярну концентрацію розчину.
- 5.5 Обчисліть осмотичний тиск розчину.
- 5.6 Визначить молярну частку розчинника в розчині. Розрахуйте значення тиску пари розчинника p_1 , використовуючи значення $p_{1(\text{над рід.})}^\circ$ при всіх температурах (див. табл. 4.1).
- 5.7 Побудуйте криву залежності $p = f(T)$ для даного розчину. Для розчинів нелетких речовин можна прийняти, що тиск пари над розчином дорівнює парціальному тиску пари розчинника $p_1 = p$.
- 5.8 Знайдіть графічно підвищення температури кипіння при тиску p_1 розчину даної концентрації c .
- 5.9 Обчисліть ебуліоскопічну сталу з отриманого в п. 5.8 значення $\Delta T_{\text{кип}}$ і за теоретичним рівнянням, порівняйте ці величини між собою.
- 5.10 Знайдіть графічно пониження температури замерзання розчину.
- 5.11 Обчисліть криоскопічну сталу з отриманого в п. 5.10 значення $\Delta T_{\text{зам}}$ і за теоретичним рівнянням, порівняйте ці величини.

6 РОЗЧИНИ ЕЛЕКТРОЛІТІВ. ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ РОЗЧИНІВ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

- 6.1 Розрахуйте іонну силу розчину електроліту **A** з концентрацією m (табл. 6.1).
- 6.2 За граничним законом Дебая і Хюккеля обчисліть середній коефіцієнт активності.
- 6.3 Обчисліть середній стехіометричний коефіцієнт і середню молярність розчину.
- 6.4 Обчисліть середню активність розчину електроліту.
- 6.5 Обчисліть загальну активність сильного електроліту **A** в розчині з концентрацією m .
- 6.6 Розрахуйте іонну силу електроліту **A** при наступних концентраціях: 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 моль/кг.
- 6.7 За триманими значень в п. 6.6 знайдіть середні коефіцієнти активності.
- 6.8 Випишіть з [1] для вказаних вище концентрацій значення середніх коефіцієнтів активності.
- 6.9 Викресліть на одному рисунку два графіки залежності $\lg \gamma_{\pm} = f(\sqrt{J})$, один графік за результатами, отриманими в п. 6.7, другий – за довідковими даними. Визначить, в якому інтервалі концентрацій електроліту **A** може застосовуватися граничний закон Дебая і Гюккеля.
- 6.10 Для виконання завдання використовуйте довідникові дані залежності електричної провідності розчинів слабого електроліту **A** (варіант з табл. 6.2) від розведення при 298 К. Переведіть розведення з літрів на моль (л/моль) в молярну концентрацію (моль/л), переведіть значення концентрації в моль на кубічний метр (моль/м³).

Таблиця 6.1 – Варіанти завдань

№ вар.	Електроліт А	m , моль/кг	№ вар.	Електроліт А	m , моль/кг
1	AgNO_3	0,05	14	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,2
2	BaCl_2	0,02	15	CdCl_2	0,1
3	CaCl_2	0,1	16	KI	0,05
4	CdSO_4	0,2	17	LiCl	0,02
5	CuCl_2	0,01	18	NH_4Cl	0,1
6	CuSO_4	0,02	19	NH_4NO_3	0,2
7	FeCl_2	0,05	20	NaClO_3	0,01
8	KBr	0,01	21	NaNO_3	0,02
9	KCl	0,1	22	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0,05
10	KNO_3	0,2	23	SnCl_2	0,01
11	NaBr	0,05	24	ZnCl_2	0,2
12	NaCl	0,02	25	ZnSO_4	0,1
13	Na_2SO_4	0,01	26	CdI_2	0,05

- 6.11 Знайдіть питому електричну провідність в сіменсах на метр (См/м) для всіх концентрацій електроліту А.
- 6.12 Побудуйте графіки залежності питомої і молярної електричної провідності від концентрації.
- 6.13 Графічно визначить питому електричну провідність при концентрації c . За цим значенням розрахуйте величину молярної електричної провідності ($\text{См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$), визначить величину молярної електричної провідності графічно при концентрації c . Порівняйте отримані величини молярної електричної провідності.
- 6.14 На підставі даних довідника згідно із законом Кольрауша обчисліть молярну електричну провідність ($\text{См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$) нескінченному розведенні при 298 К.

Таблиця 6.2 – Варіанти завдань

№ вар.	Електроліт А	c , моль/м ³	№ вар.	Електроліт А	c , моль/м ³
1	CHCl ₂ COOH	1,0	14	CCl ₃ COOH	1,2
2	ізо - C ₃ H ₇ COOH	1,2	15	CH ₃ COOH	1,5
3	C ₃ H ₇ COOH	1,3	16	NH ₄ OH	2,2
4	HCOOH	1,7	17	CHCl ₂ COOH	1,6
5	C ₂ H ₅ COOH	1,2	18	ізо - C ₃ H ₇ COOH	1,8
6	CCl ₃ COOH	1,0	19	C ₃ H ₇ COOH	1,7
7	CH ₃ COOH	1,3	20	HCOOH	2,1
8	NH ₄ OH	2,0	21	C ₂ H ₅ COOH	1,6
9	CHCl ₂ COOH	1,4	22	CCl ₃ COOH	1,4
10	ізо - C ₃ H ₇ COOH	1,6	23	NH ₄ OH	2,4
11	C ₃ H ₇ COOH	1,5	24	CHCl ₂ COOH	1,2
12	HCOOH	1,9	25	ізо - C ₃ H ₇ COOH	2,0
13	C ₂ H ₅ COOH	1,4	26	C ₃ H ₇ COOH	1,9

- 6.15 За значеннями граничних молярних електричних провідностей іонів у воді (п. 7.5) і значенням молярної електричної провідності при нескінченному розведенні знайдіть числа перенесення катіона і аніона електроліту А при 298 К .
- 6.16 Розрахуйте абсолютні швидкості руху катіона і аніона (м²/(В·с)) при нескінченному розведенні.
- 6.17 Напишіть реакцію дисоціації електроліту А, напишіть вираз для константи дисоціації.

- 6.18 Розрахуйте ступінь дисоціації електроліту **A** при концентрації c на підставі даних по електричній провідності.
- 6.19 На підставі даних довідника про константу дисоціацію електроліту **A** у водному розчині при 298 К знайдіть ступінь дисоціації електроліту **A** при концентрації c . Величину концентрації в рівнянні константи дисоціації потрібно використовувати в молях на дециметр (моль/дм^3). Порівняйте результати з результатом в п. 7.9.
- 6.20 Знайдіть pH розчину електроліту **A** при концентрації c (моль/дм^3).

7 ЕЛЕКТРОРУШІЙНІ СИЛИ І ЕЛЕКТРОДНІ ПОТЕНЦІАЛИ

- 7.1 Напишіть електродні реакції, що протікають на лівому і правому електродах, і сумарну реакцію, що протікає в електрохімічному елементі **A** (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Варіанти завдань

№ вар.	Гальванічний елемент A
1	2
1	$\text{Cd} \mid \text{CdSO}_4 \parallel \text{KCl} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$
2	$\text{Ni} \mid \text{NiSO}_4 \parallel \text{KCl} \mid \text{AgCl}, \text{Ag}$
3	$\text{Sn} \mid \text{SnCl}_2 \parallel \text{KBr} \mid \text{AgBr}, \text{Ag}$
4	$\text{Pb} \mid \text{PbSO}_4 \parallel \text{KBr} \mid \text{Hg}_2\text{Br}_2, \text{Hg}$
5	$\text{Fe} \mid \text{FeCl}_2 \parallel \text{K}_2\text{SO}_4 \mid \text{Ag}_2\text{SO}_4, \text{Ag}$
6	$\text{Al} \mid \text{Al}(\text{NO}_3)_3 \parallel \text{KI} \mid \text{AgI}, \text{Ag}$
7	$\text{Pb}, \text{PbBr}_2 \mid \text{KBr} \parallel \text{HCl} \mid \text{Cl}_2, \text{Pt}$
8	$\text{Zn}, \text{ZnS} \mid \text{H}_2\text{S} \parallel \text{AgNO}_3 \mid \text{Ag}$

Продовження таблиці 7.1

1	2
9	$\text{Ag, AgI} \mid \text{KI} \parallel \text{CuSO}_4 \mid \text{Cu}$
10	$\text{Cu, CuI} \mid \text{KI} \parallel \text{HCl} \mid \text{H}_2, \text{Pt}$
11	$\text{Tl} \mid \text{TlNO}_3 \parallel \text{KCl} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$
12	$\text{Mg} \mid \text{MgCl}_2 \parallel \text{KCl} \mid \text{CuCl, Cu}$
13	$\text{Al} \mid \text{AlCl}_3 \parallel \text{KBr} \mid \text{AgBr, Ag}$
14	$\text{Mn} \mid \text{Mn}(\text{NO}_3)_3 \parallel \text{KBr} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$
15	$\text{Zn} \mid \text{ZnSO}_4 \parallel \text{KCl} \mid \text{AgCl, Ag}$
16	$\text{Pt, H}_2 \mid \text{H}_2\text{SO}_4 \parallel \text{KCl} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$
17	$\text{Cd} \mid \text{CdSO}_4 \parallel \text{KCl} \mid \text{CuCl, Cu}$
18	$\text{Pb, PbSO}_4 \mid \text{Na}_2\text{SO}_4 \parallel \text{HCl} \mid \text{H}_2, \text{Pt}$
19	$\text{Fe} \mid \text{FeCl}_2 \parallel \text{H}_2\text{SO}_4 \mid \text{Ag}_2\text{SO}_4, \text{Ag}$
20	$\text{Pb, PbI}_2 \mid \text{KI} \parallel \text{SnCl}_2 \mid \text{Sn}$
21	$\text{Pt, Cl}_2 \mid \text{HCl} \parallel \text{CdSO}_4 \mid \text{Cd}$
22	$\text{Ag} \mid \text{AgNO}_3 \parallel \text{CdSO}_4 \mid \text{Hg}_2\text{SO}_4, \text{Hg}$
23	$\text{Mg} \mid \text{MgCl}_2 \parallel \text{H}_2\text{SO}_4 \mid \text{H}_2, \text{Pt}$
24	$\text{Cd} \mid \text{CdSO}_4 \parallel \text{HCl} \mid \text{CuCl, Cu}$
25	$\text{Pb} \mid \text{PbNO}_3 \parallel \text{KBr} \mid \text{Hg}_2\text{Br}_2, \text{Hg}$
26	$\text{Ni} \mid \text{NiSO}_4 \parallel \text{KBr} \mid \text{AgBr, Ag}$

7.2 За рівнянням для умовного рівноважного електродного потенціалу (рівняння Нернста) розрахуйте електродні потенціали при 298 К правого і лівого електродів у вольтах (В), вважаючи, що середня активність розчину електроліту в лівому електроді дорівнює 0,05, в правому – 0,1.

7.3 Розрахуйте при 298 К ЕРС електрохімічного елементу за отриманими значеннями електродних потенціалів.

- 7.4 Розрахуйте ЕРС за рівнянням хімічної реакції, що протікає в електрохімічному елементі, порівняйте отримане значення із значенням в п. 7.3.
- 7.5 Обчисліть константу рівноваги реакції, що протікає самовільно в електрохімічному елементі **A** при температурі 298 К .
- 7.6 Складіть концентраційний електрохімічний елемент, використовуючи один з електродів електрохімічного елемента **A** , розрахуйте ЕРС отриманого концентраційного елемента, вважаючи, що активність одного розчину в 100 разів більша активності іншого.
- 7.7 Розрахуйте при температурі 298 К зміну енергії Гіббса і величину максимальної корисної роботи.
- 7.8 Розрахуйте зміну ентальпії при протіканні хімічної реакції при температурі 298 К в електрохімічному елементі **A** , якщо температурний коефіцієнт ЕРС дорівнює $5 \cdot 10^{-4} \text{ В} \cdot \text{К}$.
- 7.9 Розрахуйте величину зміни ентропії при проходженні хімічної реакції в електрохімічному елементі **A** , використовуючи значення температурного коефіцієнта ЕРС з п. 7.8.
- 7.10 Величина ЕРС при 298 К електрохімічного елемента $\text{Pt, H}_2 \mid \text{розчин} \parallel \text{KCl} \mid \text{H}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$ дорівнює 0,4 В при $p_{\text{H}_2}=1 \text{ атм}$ і $c_{\text{KCl}}=1 \text{ М}$. Знайдіть рН розчину.

8 КІНЕТИКА ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ

Кінетику хімічних реакцій **A** (табл. 8.1) вивчали, вимірюючи загальний тиск $p_{\text{заг}}$ (Па) газоподібної суміші в різні моменти часу протікання реакції t при постійному об'ємі $V = 1 \text{ м}^3$ і температурі T . Всі речовини, що беруть участь в реакції, є ідеальними газами.

Використовуючи дані залежності загального тиску реакційної суміші від часу протікання реакції, а також дані залежності константи швидкості реакції від температури, відповідайте на нижченаведені питання.

- 8.1 Виведіть формулу для розрахунку парціального тиску початкової речовини хімічної реакції **A**, використовуючи величини загального тиску реакційної суміші.
- 8.2 Напишіть рівняння для розрахунку концентрації вихідної речовини в молях на дециметр (моль/дм), використовуючи рівняння Менделєєва – Клапейрона з урахуванням розмірностей величин, які використовуються. За цим рівнянням розрахуйте концентрації вихідної речовини $c_{\text{вих}}$ (моль/дм³) в різні моменти часу протікання реакції t .
- 8.3 Знайдіть порядок реакції графічним способом з трьох можливих значень порядку реакції: 1, 2 і 3. Для цього потрібно побудувати графіки залежності $\ln c_{\text{вих}} = f(t)$, $\frac{1}{c_{\text{вих}}} = f(t)$ і $\frac{1}{c_{\text{вих}}^2} = f(t)$.
- 8.4 Підтвердіть правильність знайденого значення порядку реакції способом підстановки. Знайдіть константу швидкості реакції для всіх значень часу (t), знайдіть середнє значення константи швидкості реакції і вкажіть її розмірність.
- 8.5 На графіку, що відповідає знайденому порядку реакції, знайдіть графічне значення константи швидкості реакції, порівняйте його з середнім значенням.
- 8.6 Знайдіть порядок реакції за графічною модифікацією методу Вант-Гоффа (диференціальний спосіб). Для цього необхідно по-

будувати графік залежності $c_{\text{вих}} = f(t)$. Знайдіть графічно при трьох значеннях часу швидкість реакції (як тангенс кута нахилу дотичної). Графічно визначіть три концентрації, відповідні вибраним значенням часу, і потім за графіком залежності $\ln W = f(\ln c_{\text{вих}})$ знайдіть порядок реакції як тангенс кута нахилу прямої з додатнім напрямом осі абсцис.

- 8.7 Напишіть кінетичне рівняння швидкості реакції **A** в диференціальному вигляді. Знайдіть, чи збігаються у вашому випадку порядок реакції і молекулярність.
- 8.8 Використовуючи значення константи швидкості, знайдіть кількість початкової речовини в 1 дм^3 , яка прореагувала до моменту часу t_1 (кількість речовини, що прореагувала, c_x або x). За рівнянням, отриманим в п. 8.2, знайдіть кількість речовини, що прореагувала. Потім за рівнянням з п. 8.1 знайдіть загальний тиск в системі у момент часу t_1 в паскалях.
- 8.9 Знайдіть час напівперетворення для реакції **A** в секундах.
- 8.10 Використовуючи середнє значення константи швидкості реакції **A** з п. 8.4 при температурі T , а також константи швидкості k_1 і k_2 при температурах T_1 і T_2 (табл. 8.1), побудуйте графік залежності $\ln k = f\left(\frac{1}{T}\right)$. Знайдіть значення енергії активації графічно в джоулях на моль (Дж/моль) і в кілоджоулях на міль (кДж/моль).

Таблиця 8.1 – Варіанти завдань

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реак- ційної сумі- ші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
1	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4$ $T = 773 \text{ K}$ $t_1 = 170 \cdot 10^3 \text{ c}$	0 $60 \cdot 10^3$ $120 \cdot 10^3$ $150 \cdot 10^3$ $240 \cdot 10^3$ $300 \cdot 10^3$	55,444 33,138 30,207 29,518 28,382 27,977	$T_1 = 748$ $T_2 = 825$ $T_3 = 780$	$k_1 = 4,33 \cdot 10^{-3}$ $k_2 = 7,114 \cdot 10^{-2}$
2	$2\text{H}_2\text{C}=\text{HC}-\text{CH} \rightarrow \text{CH}_2 = \text{C} \begin{cases} (\text{CH}_2)_4 \\ (\text{CH}_2)_2 \end{cases}$ $T = 599 \text{ K}$ $t_1 = 2\,000 \text{ c}$	0 360 600 1 200 1 800 3 000	84,2 80,9 78,9 74,2 71,4 66,4	$T_1 = 513$ $T_2 = 540$ $T_3 = 610$	$k_1 = 0,751$ $k_2 = 2,430$
3	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HBr}$ $T = 680 \text{ K}$ $t_1 = 1\,000 \text{ c}$	0 200 400 1 600 2 400 3 600	48,00 55,22 61,35 82,96 89,21 93,41	$T_1 = 625$ $T_2 = 700$ $T_3 = 650$	$k_1 = 2,27 \cdot 10^{-5}$ $k_2 = 2,6 \cdot 10^{-3}$

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
4	$(\text{CH}_3)_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 747 \text{ К}$ $t_1 = 1500 \text{ с}$	0	41,604	$T_1 = 760$ $T_2 = 800$ $T_3 = 770$	$k_1 = 1,73 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 1,39 \cdot 10^{-3}$
		390	54,386		
		777	65,050		
		1 195	74,915		
		2 340	97,170		
		3 155	103,841		
5	$(\text{CH}_3)_2\text{N}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + \text{N}_2$ $T = 576 \text{ К}$ $t_1 = 2500 \text{ с}$	0	14,367	$T_1 = 550$ $T_2 = 600$ $T_3 = 595$	$k_1 = 1,49 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 6,75 \cdot 10^{-2}$
		800	15,657		
		1 600	16,831		
		3 000	18,650		
		4 000	19,736		
		5 000	20,750		
6	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4$ $T = 764 \text{ К}$ $t_1 = 200 \cdot 10^3 \text{ с}$	0	51,834	$T_1 = 748$ $T_2 = 825$ $T_3 = 819$	$k_1 = 4,33 \cdot 10^{-3}$ $k_2 = 7,114 \cdot 10^{-2}$
		$60 \cdot 10^3$	34,195		
		$120 \cdot 10^3$	31,128		
		$150 \cdot 10^3$	30,261		
		$240 \cdot 10^3$	28,614		
		$300 \cdot 10^3$	28,288		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реак- ції t , с	Тиск реак- ційної сумі- ші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температу- ра реакції T , К	Константа швидкості k
7	$2\text{H}_2\text{C}=\text{HC}-\text{CH}=\text{HC}_2 \rightarrow \text{CH}_2=\text{C} \begin{cases} (\text{CH}_2)_4 \\ (\text{CH}_2)_2 \end{cases}$ $T = 599 \text{ К}$ $t_1 = 900 \text{ с}$	0 860 2 200 4 080 5 400	84,2 76,8 69,5 63,3 60,4	$T_1 = 573$ $T_2 = 622$ $T_3 = 605$	$k_1 = 9,85$ $k_2 = 44,5$
8	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HBr}$ $T = 665 \text{ К}$ $t_1 = 1\,000 \text{ с}$	0 200 40 1 600 2 400 3 600	46,942 49,90 52,68 65,98 72,36 79,34	$T_1 = 625$ $T_2 = 700$ $T_3 = 690$	$k_1 = 2,27 \cdot 10^{-5}$ $k_2 = 2,6 \cdot 10^{-3}$
9	$(\text{CH}_3)_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 784 \text{ К}$ $t_1 = 1\,500 \text{ с}$	0 390 777 1 195 2 340 3 150	41,979 59,932 74,031 86,082 108,460 114,128	$T_1 = 760$ $T_2 = 800$ $T_3 = 810$	$k_1 = 1,73 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 1,39 \cdot 10^{-3}$

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
10	$2\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$ $T = 938 \text{ К}$ $t_1 = 200 \text{ с}$	0	1 200,0	$T_1 = 783$ $T_2 = 813$ $T_3 = 853$	$k_1 = 4,635 \cdot 10^{-6}$ $k_2 = 1,702 \cdot 10^{-5}$
		30	1 233,0		
		60	1 265,8		
		120	1 324,7		
		240	1 423,3		
		300	1 464,6		
11	$2\text{Fe}_2\text{O} = 2\text{Fe} + \text{O}_2$ $T = 562 \text{ К}$ $t_1 = 3\,000 \text{ с}$	0	4,673	$T_1 = 523$ $T_2 = 570$ $T_3 = 586$	$k_1 = 1,45 \cdot 10^{-2}$ $k_2 = 0,324$
		1 200	5,121		
		2 400	5,425		
		6 000	5,941		
		12 000	6,317		
		24 000	6,603		
12	$\text{NCOH} = \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 764 \text{ К}$ $t_1 = 5 \cdot 10^6 \text{ с}$	0	32,517	$T_1 = 720$ $T_2 = 820$ $T_3 = 827$	$k_1 = 2,91 \cdot 10^{-7}$ $k_2 = 1,32 \cdot 10^{-5}$
		$2 \cdot 10^6$	33,092		
		$4 \cdot 10^6$	33,647		
		$8 \cdot 10^6$	34,715		
		$10 \cdot 10^6$	35,215		
		$12 \cdot 10^6$	35,964		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
13	$\text{N}_2\text{O}_5 = \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{N}_2\text{O}_4$ $T = 330 \text{ К}$ $t_1 = 500 \text{ с}$	0	88,738	$T_1 = 320$ $T_2 = 350$ $T_3 = 318$	$k_1 = 7,35 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 9,06 \cdot 10^{-3}$
		240	104,200		
		420	112,150		
		960	125,130		
		1 560	130,350		
		2 280	132,360		
14	$2\text{O}_3 = 3\text{O}_2$ $T = 349 \text{ К}$ $t_1 = 100 \text{ с}$	0	13,348	$T_1 = 346$ $T_2 = 369$ $T_3 = 375$	$k_1 = 6,839 \cdot 10^{-3}$ $k_2 = 6,457 \cdot 10^{-2}$
		30	14,976		
		50	15,834		
		70	16,546		
		120	17,841		
		150	18,373		
15	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4$ $T = 756 \text{ К}$ $t_1 = 200 \cdot 10^3 \text{ с}$	0	52,800	$T_1 = 773$ $T_2 = 825$ $T_3 = 830$	$k_1 = 1,14 \cdot 10^{-2}$ $k_2 = 7,114 \cdot 10^{-2}$
		$60 \cdot 10^3$	36,979		
		$120 \cdot 10^3$	33,015		
		$150 \cdot 10^3$	31,971		
		$240 \cdot 10^3$	30,181		
		$300 \cdot 10^3$	29,514		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакцій- ної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швид- кості k
16	$2\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$ $T = 940 \text{ K}$ $t_1 = 200 \text{ c}$	0	1 157,5	$T_1 = 783$ $T_2 = 813$ $T_3 = 820$	$k_1 = 4,635 \cdot 10^{-6}$ $k_2 = 1,702 \cdot 10^{-5}$
		30	1 166,4		
		60	1 175,2		
		120	1 192,4		
		240	1 225,6		
		300	1 240,9		
17	$(\text{CH}_3)_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 815 \text{ K}$ $t_1 = 200 \text{ c}$	0	52,855	$T_1 = 760$ $T_2 = 800$ $T_3 = 790$	$k_1 = 1,73 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 1,39 \cdot 10^{-3}$
		60	68,915		
		120	82,535		
		150	88,548		
		240	103,882		
		300	112,190		
18	$(\text{CH}_3)_2\text{CO} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 780 \text{ K}$ $t_1 = 450 \text{ c}$	0	52,933	$T_1 = 780$ $T_2 = 840$ $T_3 = 820$	$k_1 = 5,05 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 9,2 \cdot 10^{-3}$
		114	58,854		
		219	63,962		
		299	67,778		
		500	76,634		
		564	79,257		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
19	$\text{N}_2\text{O}_5 = \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{N}_2\text{O}_4$ $T = 323 \text{ K}$ $t_1 = 500 \text{ c}$	0	86,856	$T_1 = 320$ $T_2 = 350$ $T_3 = 357$	$k_1 = 7,35 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 9,06 \cdot 10^{-3}$
		240	95,830		
		420	101,330		
		960	113,080		
		1 560	120,660		
		2 280	125,470		
20	$\text{HCHO} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 789 \text{ K}$ $t_1 = 5 \cdot 10^6 \text{ c}$	0	33,581	$T_1 = 720$ $T_2 = 820$ $T_3 = 800$	$k_1 = 2,91 \cdot 10^{-7}$ $k_2 = 1,32 \cdot 10^{-5}$
		$2 \cdot 10^6$	35,056		
		$4 \cdot 10^6$	36,406		
		$8 \cdot 10^6$	38,792		
		$10 \cdot 10^6$	39,849		
		$12 \cdot 10^6$	40,836		
21	$(\text{CH}_3)_2\text{N}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + \text{N}_2$ $T = 565 \text{ K}$ $t_1 = 2 500 \text{ c}$	0	10,293	$T_1 = 550$ $T_2 = 600$ $T_3 = 604$	$k_1 = 1,49 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 6,75 \cdot 10^{-3}$
		500	12,569		
		1 000	14,367		
		1 500	15,742		
		3 000	18,308		
		4 000	19,204		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реак- ції t , с	Тиск реак- ційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидко- сті k
22	$2\text{O}_3 = 3\text{O}_2$ $T = 359 \text{ K}$ $t_1 = 80 \text{ c}$	0	19,909	$T_1 = 343$ $T_2 = 373$ $T_3 = 368$	$k_1 = 5,0 \cdot 10^{-3}$ $k_2 = 9,3 \cdot 10^{-2}$
		30	22,667		
		50	24,331		
		70	25,336		
		100	26,148		
		120	26,431		
23	$2\text{Fe}_2\text{O} = 2\text{Fe} + \text{O}_2$ $T = 543 \text{ K}$ $t_1 = 3 \cdot 10^3 \text{ c}$	0	4,515	$T_1 = 523$ $T_2 = 570$ $T_3 = 590$	$k_1 = 1,45 \cdot 10^{-2}$ $k_2 = 0,324$
		$1,2 \cdot 10^3$	4,661		
		$2,4 \cdot 10^3$	4,787		
		$6,0 \cdot 10^3$	5,092		
		$12,0 \cdot 10^3$	5,432		
		$24,0 \cdot 10^3$	5,820		
24	$2\text{Fe}_2\text{O} = 2\text{Fe} + \text{O}_2$ $T = 515 \text{ K}$ $t_1 = 9 \cdot 10^3 \text{ c}$	0	4,282	$T_1 = 543$ $T_2 = 583$ $T_3 = 560$	$k_1 = 5,72 \cdot 10^{-2}$ $k_2 = 0,6908$
		$1,2 \cdot 10^3$	4,302		
		$2,4 \cdot 10^3$	4,322		
		$6,0 \cdot 10^3$	4,380		
		$12,0 \cdot 10^3$	4,468		
		$24,0 \cdot 10^3$	4,625		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
25	$2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$ $T = 627 \text{ K}$ $t_1 = 200 \text{ с}$	0	5,213	$T_1 = 631$ $T_2 = 673$ $T_3 = 650$	$k_1 = 3,4$ $k_2 = 12,8$
		30	5,426		
		60	5,607		
		120	5,898		
		150	6,016		
		240	6,298		
26	$(\text{CH}_3)_2\text{CO} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 + \text{CO}$ $T = 794 \text{ K}$ $t_1 = 450 \text{ с}$	0	53,883	$T_1 = 780$ $T_2 = 840$ $T_3 = 824$	$k_1 = 5,05 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 9,2 \cdot 10^{-3}$
		114	65,820		
		219	75,885		
		299	82,490		
		500	97,252		
		564	101,359		
27	$2\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$ $T = 890 \text{ K}$ $t_1 = 300 \text{ с}$	0	506,0	$T_1 = 830$ $T_2 = 840$ $T_3 = 900$	$k_1 = 9,2 \cdot 10^{-5}$ $k_2 = 1,98 \cdot 10^{-3}$
		50	515,0		
		100	524,0		
		150	533,0		
		400	572,0		
		600	599,0		

Продовження таблиці 8.1

№ вар.	Реакція А	Час реакції t , с	Тиск реакційної суміші $p_{\text{заг}} \cdot 10^{-3}$, Па	Температура реакції T , К	Константа швидкості k
28	$\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2$ $T = 1125 \text{ K}$ $t_1 = 1\,000 \text{ c}$	0	69,751	$T_1 = 1\,050$ $T_2 = 1\,100$ $T_3 = 1\,150$	$k_1 = 2,07 \cdot 10^{-2}$ $k_2 = 7,64 \cdot 10^{-2}$
		200	85,745		
		600	96,732		
		1 200	109,608		
		1 500	112,318		
		1 800	115,275		
29	$\text{C}_2\text{H}_5 = \text{O} - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5 \rightarrow$ $\rightarrow \text{CH}_3\text{COH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $T = 433 \text{ K}$ $t_1 = 120 \text{ c}$	0	39,998	$T_1 = 413$ $T_2 = 444$ $T_3 = 450$	$k_1 = 1,75 \cdot 10^{-4}$ $k_2 = 2,1 \cdot 10^{-3}$
		38	36,119		
		80	32,266		
		100	30,399		
		140	27,465		
		160	26,132		
30	$4\text{PH}_3 = \text{P}_4 + 6\text{H}_2$ $T = 719 \text{ K}$ $t_1 = 100 \text{ c}$	0	9,53	$T_1 = 739$ $T_2 = 800$ $T_3 = 759$	$k_1 = 1,66 \cdot 10^{-8}$ $k_2 = 7,64 \cdot 10^{-6}$
		14,0	9,90		
		36,0	10,37		
		46,0	10,63		
		63,0	10,97		
		135,0	12,10		
		189,0	12,77		

- 8.11 Розрахуйте аналітично енергію активації у вказаних раніше одиницях і порівняйте з графічно знайденим значенням.
- 8.12 Знайдіть передекспоненціальний множник в рівнянні Ареніуса для реакції А.
- 8.13 Знайдіть константу швидкості реакції при температурі T_3 (див. табл. 8.1).
- 8.14 Знайдіть температурний коефіцієнт швидкості реакції γ в інтервалі температур T_1 і T_2 . У скільки разів зміниться швидкість реакції, якщо температуру T_1 збільшити на 25 К?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Краткий справочник физико-химических величин под редакцией К.П. Мищенко и А.А. Равделя, Л.: Химия, 1974 г. – 200 стр.
2. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. – СПб.: Специальная литература, 1999. – 231 с.
3. **Кудряшов, И. В.** Сборник примеров и задач по физической химии [Текст] / И. В. Кудряшов, Г. С. Каретников. – М.: Высшая школа, 1991. – 527 с.
4. **Еремин, В. В.** Основы физической химии. Теория и задачи [Текст] / В. В. Еремин, С. И. Каргов, И. А. Успенская, Н. Е. Кузьменко, В. В. Лунин. – М.: Экзамен, 2005. – 480 с.
5. **Стромберг, А. Г.** Физическая химия [Текст] / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М.: Высшая школа, 2006. – 528 с.
6. Физическая химия: в 2 кн. / под ред. К. С. Краснова. – М.: Высш. шк., 2001. – Кн. 1. – 512 с.; Кн. 2. – 320 с.

Додаток А**Приклад оформлення титульної сторінки**

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний технічний університет

Кафедра МІНЕ

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

з дисципліни
„Фізична хімія“

(тема роботи)

Виконав:

студент ____ курсу, група РТ—

(Ініціали, Прізвище)

Прийняв:

(посада)

(Ініціали, Прізвище)

20__ р.

Додаток Б

Способи вираження концентрації розчинів

Б.1 Одиниці концентрацій:

Концентрацію розчину виражають:

- масовими відсотками – число грамів речовини, розчиненої в 100 г розчину;
- масовими відношеннями – число грамів речовини, розчиненої в 100 (1 000) г розчинника;
- об'ємно–масовими відношеннями або об'ємними відсотками – число грамів речовини, розчиненої в 100 (1 000) см³ розчину;
- молярними відношеннями – число молів речовини, розчиненої в 100 (1 000) моль розчинника;
- атомними або іонними відсотками – числом грам–атомів або грам–іонів речовини, розчиненої в 100 г атомів або 100 г іон розчину [масою атомів (іонів) в 100 г розчину];
- молярними відсотками – числом молів речовини, розчиненої в 100 моль розчину;
- іон–еквівалентними відсотками [% (іон–екв.)] – числом іон–еквівалентів, що доводяться на 100 іон–еквівалент розчинених речовин (сухого залишку розчину); число іонів речовини, при цьому відносяться порізно до суми катіонів і аніонів, а кількість розчинника виражають в молях;
- молярно–об'ємними або молярно–масовими одиницями – числом молів речовини, розчиненої в 1 000 см³ розчину (молярність розчину) або 1 000 г розчинника (моляльність розчину) (Розчин, що містить в 1 000 см³ 1 моль розчиненої речовини, називають *молярним*. Розчин, що містить 1 моль розчиненої речовини в 1 000 г розчинника, називається *моляльним*);
- еквівалентно–об'ємними одиницями – числом грам–еквівалентів речовини, розчиненої в 1 000 см³ розчину (*нормальність*

розчину); інколи об'ємно–еквівалентну концентрацію виражають в *нормальних поділках*. Одна нормальна поділка (н.п.) дорівнює $1/20$ г. екв. речовини в 1 дм^3 розчину;

– еквівалентними відсотками – числом г.екв. речовини, що доводиться на 100 г.екв. маси розчинених речовин, тобто сухого залишку розчину $[\%(\text{екв.})]$. Аналогічно в молярних відсотках – числом молів речовини, що доводиться на 100 моль маси розчинених речовин, тобто сухого залишку розчину $[\%(\text{моль})]$; у обох випадках кількість розчинника виражають в молях на 100 моль (або 100 г. екв.) сухого залишку розчину.

Б.2 Перерахунок складу розчину

Якщо склад розчину заданий в масових відсотках A , то число кг речовини, що міститься в 100 кг розчинника B , знаходять за формулою:

$$B = \frac{100 \cdot A}{100 - A}. \quad (\text{Б.1})$$

Формула

$$A = \frac{100 \cdot B}{100 + B} \quad (\text{Б.2})$$

служить для зворотного перерахунку.

Коли в розчині присутні декілька речовин, то замість величин A і B у формули (В.1) і (В.2) підставляють суми концентрацій речовин в розчині:

$$B_i = \frac{100 \cdot A_i}{100 - \sum A_i} \quad \text{і} \quad A_i = \frac{100 \cdot B_i}{100 - \sum B_i}. \quad (\text{Б.3})$$

В 1 м^3 розчину з концентрацією $A\%$ (мас.) речовини міститься

$$C_s = \frac{A \cdot \rho}{100} \quad (\text{Б.4})$$

кілограмів цієї речовини (ρ – густина, кг/м^3).

Приводимо формули для перерахунку концентрації, вираженої в масових відсотках A в концентрацію:

– молярно–масову (моляльну) m (кмоль/100 кг розчинника)

$$m_i = \frac{100 \cdot A_i}{M_i (100 - \sum A_i)} = 10 \frac{B_i}{M_i}; \quad (\text{Б.5})$$

– молярну n (кмоль/100 кмоль розчинника)

$$n = \frac{A_i \cdot M_p}{M_i (100 - \sum A_i)} \cdot 1000 = 10 \frac{M_p}{M_i} B_i; \quad (\text{Б.6})$$

– молярно–об’ємну c (молярну) (кмоль/м^3 розчинника)

$$c = \frac{A_i - 100}{M_i \cdot 100} \cdot \rho = \frac{10 \cdot A_i}{M_i} \cdot \rho, \quad (\text{Б.7})$$

де M_i і M_p – молекулярні маси речовини і розчинника.

Для переходу від виразу концентрації в одиницях моляльності m до одиниць нормальності C_e ($\text{кг} \cdot \text{екв./м}^3$ розчину) користуються формулою:

$$C_{ei} = \frac{m_i \cdot a_i \cdot \rho}{\sum M_i m_i + 1000}, \quad (\text{Б.8})$$

де a_i – число еквівалентів в одній молекулі.

Концентрацію розчиненої речовини, виражену в одиницях нормальності (кг, екв./л м^3 розчину, C_e) можна перерахувати в мольно–процентну концентрацію (кмоль/1000 кмоль розчину, N) за співвідношенням:

$$N = \frac{100(C_e/a_i)}{C_e/a_i + \frac{\rho - \sum M_i (C_e/a_i)}{M_p}}. \quad (\text{Б.9})$$

Перерахунок складу багатокомпонентного водного розчину, вираженого в кг екв. іонів на концентрацію, виражену в кг екв. окремих солей, виконують при допущенні, що в розчині дійсно присутні ті або інші солі. Між солями в четвертній водній взаємній системі існує рівновага:



звідси: $[A] + [B] = [M] + [N]$, де $[A]$, $[B]$, $[M]$ і $[N]$ – концентрації іонів.

Склад розчину в г · екв. солей може бути представлений наступними чотирма варіантами:

$$\begin{aligned} [AM] &= [M]; & [BN] &= [N] & \text{і} & [AN] &= [A] - [M] = [N] - [B]; \\ [AM] &= [A]; & [BN] &= [N] & \text{і} & [BM] &= [B] - [N] = [M] - [A]; \\ [AN] &= [N]; & [BM] &= [B] & \text{і} & [AM] &= [A] - [N] = [M] - [B]; \\ [AN] &= [A]; & [BM] &= [M] & \text{і} & [BN] &= [B] - [M] = [N] - [A]. \end{aligned}$$

Залежно від співвідношення іонів зазвичай лише дві з цих фізичних комбінацій приводять до рішення, відповідного фізичній суті завдання. Отже, формули переходу від одних виразів концентрацій в розчинах до інших можна представити в наступному вигляді:

$$A = \frac{C}{10\rho} = \frac{100 \cdot B}{100 + B} = \frac{7 \cdot \text{екв. вага}}{10\rho} = \frac{M \cdot \text{мол. вага}}{10\rho}; \quad (\text{Б.10})$$

$$B = \frac{100 \cdot A}{100 - A} = \frac{100 \cdot C}{1000\rho - C} = \frac{m \cdot \text{мол. вага}}{10}; \quad (\text{Б.11})$$

$$C = A \cdot 10 \cdot \rho = \frac{1000 \cdot B \cdot \rho}{100 + B} = E \cdot \text{екв. вага} = M \cdot \text{мол. вага}; \quad (\text{Б.12})$$

$$M = \frac{C}{\text{екв. вага}} = \frac{10 \cdot A \cdot \rho}{\text{екв. вага}} = \frac{E \cdot \text{мол. вага}}{\text{екв. вага}}; \quad (\text{Б.13})$$

$$m = \frac{10 \cdot B}{\text{мол. вага}} = \frac{M \cdot 1000}{1000\rho - C}; \quad A = \frac{N_A \cdot M_A \cdot 100}{N_A \cdot M_A + N_B \cdot M_B}, \quad (\text{Б.14})$$

де A – кількість розчиненої речовини (у г) на 100 г розчинника, ваг. %;

B – кількість розчиненої речовини на 100 г розчинника, г ;

C – кількість розчиненої речовини в 1 дм³ розчину, г/л ;

E – число г. екв. розчиненої речовини в 1 дм³ розчину;

M – число молів розчиненої речовини на 1000 г розчинника (або в 1 дм³ розчину);

екв. вага – еквівалентна вага розчиненої речовини;

мол. вага – молекулярна вага розчиненої речовини;

ρ – густина розчину;

N_A , N_B , M_A , M_B – молярні долі і мол. ваги компонентів розчину A і B .

Додаток В

Стандартна ентальпія (теплота) утворення $\Delta_f H_{289,15}^\circ$, стандартна енергія Гіббса $\Delta_f G_{289,15}^\circ$, стандартна ентропія $S_{289,15}^\circ$, стандартна ентальпія (теплота) згоряння $\Delta_c H_{289,15}^\circ$ деяких речовин

Таблиця В.1

Речовина і стан	$\Delta_f H_{289,15}^\circ$, кДж/моль	$\Delta_f G_{289,15}^\circ$, кДж/моль	$S_{289,15}^\circ$, Дж/(моль · К)	$\Delta_c H_{289,15}^\circ$, кДж/моль
$\text{Br}_{2(\text{газ})}$	30,91	3,13	245,37	
$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{газ})}$	– 202,0	– 163,3	239,7	
$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{рід})}$	– 239,45	– 167,1	126,6	
$\text{CH}_4_{(\text{газ})}$ (метан)	– 74,81	– 50,82	186,31	– 890,31
$\text{C}_2\text{H}_{2(\text{газ})}$ (ацетилен)	226,0	208,5	200,83	– 1 299,63
$\text{C}_2\text{H}_{4(\text{газ})}$ (етилен)	52,5	68,3	219,3	– 1 410,97
$\text{C}_2\text{H}_{6(\text{газ})}$ (етан)	– 84,7	– 33,0	229,5	– 1 559,88
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{газ})}$ (етанол)	– 234,6	– 168,1	282,4	
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{рід})}$ (етанол)	– 276,9	– 174,2	161,0	1 366,8
$\text{Cl}_{2(\text{газ})}$	0	0	222,98	

Продовження таблиці В.1

Речовина і стан	$\Delta_f H_{289,15}^\circ$, кДж/моль	$\Delta_f G_{289,15}^\circ$, кДж/моль	$S_{289,15}^\circ$, Дж/(моль · К)	$\Delta_c H_{289,15}^\circ$, кДж/моль
$\text{HCl}_{(газ)}$	– 92,31	– 95,30	186,79	
$\text{H}_{2(газ)}$	0	0	130,52	– 285,8
$\text{I}_{2(газ)}$	62,43	19,37	260,6	
$\text{HI}_{(газ)}$	26,57	1,78	206,48	
$\text{O}_{2(газ)}$	0	0	205,04	
$\text{H}_2\text{O}_{(кв)}$	– 291,85	–	39,33	
$\text{H}_2\text{O}_{(газ)}$	– 241,82	– 228,61	188,72	
$\text{H}_2\text{O}_{(лід)}$	– 285,83	– 237,25	70,08	
$\text{C}_6\text{H}_6_{(газ)}$ (бензол)	82,93	129,68	269,20	– 3 301,51
$\text{C}_6\text{H}_{12(газ)}$ (циклогексан)	– 156,23	26,60	204,35	– 3 953,0
$\text{CH}_3\text{Cl}_{(газ)}$ (хлоретан)	– 86,31	– 62,90	234,47	
$\text{CO}_{(газ)}$	– 110,52	– 137,14	197,54	– 282,92
$\text{CO}_{2(газ)}$	– 393,51	– 394,38	213,67	
$\text{CCl}_{4(газ)}$	– 102,9	– 60,7	309,9	
$\text{CH}_3\text{CHO}_{(газ)}$ (ацетальдегід)	– 166,2	– 133	263,8	1 164,8

Продовження таблиці В.1

Речовина і стан	$\Delta_f H_{289,15}^\circ$, кДж/моль	$\Delta_f G_{289,15}^\circ$, кДж/моль	$S_{289,15}^\circ$, Дж/(моль · К)	$\Delta_c H_{289,15}^\circ$, кДж/моль
$\text{CH}_2\text{Cl}_2_{(газ)}$ (діхлорметан)	– 95,39	– 68,87	270,24	446,85
$\text{CH}_3\text{COOH}_{(рід)}$ (оцтова кислота)	– 487	– 392,5	159,8	876,1
$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}_{(газ)}$ (хлорбензол)	51,84	99,15	313,46	– 3 194,3
$\text{CH}_3\text{Br}_{(газ)}$ (брометан)	– 37,66	– 28,18	245,81	1 424,8
$\text{HBr}_{(газ)}$	– 36,3	– 53,3	198,59	
$\text{CH}_3\text{I}_{(газ)}$ (йодметан)	– 13,76	15,10	162,76	814,6
$\text{CH}_2\text{O}_{(газ)}$ (формальдегід)	– 115,90	– 109,94	218,78	– 561,07