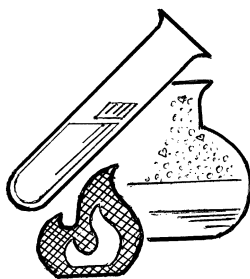


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**КУРСОВА РОБОТА
ІЗ ЗАГАЛЬНОЇ ХІМІЇ**
(завдання та методичні вказівки)



2009

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

КУРСОВА РОБОТА ІЗ ЗАГАЛЬНОЇ ХІМІЇ
(завдання і методичні вказівки)

Розглянуто:
на засіданні
кафедри
загальної хімії
протокол № 3
від 05.02.2009 р.

Затверджено:
на засіданні
навчально-
видавничої ради
ДонНТУ
протокол № 1
від 11.03.2009 р.

УДК 54 (071)

Курсова робота із загальної хімії (завдання і методичні вказівки для студентів хімічних спеціальностей) (Укл.: В.В.Приседський, О.І.Волкова, І.В.Мнускіна; під ред. В.В.Приседського). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. - 54 с.

Включають завдання і методичні вказівки для виконання курсової роботи із загальної хімії. Метою курсової роботи є закріплення знань загальних закономірностей перебігу хімічних реакцій і розвиток навичок їх практичного застосування. За одержаними вихідними експериментальними даними студент має розрахувати основні термодинамічні і кінетичні параметри гомогенної реакції. Формат курсової роботи моделює інженерну діяльність на важливій стадії науково-виробничого циклу – розробці вихідних даних для проектування хімічних виробництв.

Укладачі: Приседський В.В., професор
 Волкова О.І., доцент
 Мнускіна І.В., доцент

Відповідальний за випуск:

д.х.н., професор Приседський В.В.

1. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ:

Визначення кінетичних і термодинамічних параметрів гомогенної реакції

Вихідними даними для Вашої курсової роботи є результати експериментального вивчення ізотермічної кінетики і рівноваги реакції, що перебігає при постійному тиску в газовій фазі (див. розділ 5). Проведіть обробку експериментальних даних і розрахуйте: невідомі концентрації вихідних речовин і продуктів в реакційній суміші; порядок реакції; енергію активації і передекспоненційний множник в рівнянні Арреніуса; константи рівноваги при вказаних температурах; зміни ентальпії і ентропії в реакції (припускаючи, що можна знехтувати їх залежністю від температури).

2. РЕКОМЕНДОВАНИЙ ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Розрахуйте концентрації речовин в реакційній суміші в різні моменти часу.

2. Побудуйте на графіку кінетичні криві — залежності концентрацій реагентів і продуктів від часу.

3. За вибраною однієї з температур графічно визначте швидкість реакції у початковий момент часу, а також не менше ніж в чотирьох інших моментах часу. Знайдіть порядок реакції з нахилу експериментальної залежності швидкості v від концентрації c в подвійних логарифмічних координатах $\lg v - \lg c$. Проаналізуйте, чи відноситься знайдене значення до загального порядку реакції або до порядку за одним із реагентів. Оцініть похибку визначення.

4. Визначте графічно початкові швидкості у дослідах ще при чотирьох-п'яти інших температурах (альтернативно, можна визначити швидкості при різних температурах і в інші моменти часу, але у будь-якому випадку Ви маєте визначити концентрації реагентів у такі моменти). Розрахуйте відповідні константи швидкості k .

5. Нанесіть отримані дані на арреніусовський графік $\lg k - 1/T$, визначте графічно величину енергії активації і розрахуйте передекспоненційний множник.

6. Розрахуйте рівноважні концентрації й константи рівноваги при різних температурах. Чи відрізняються величини K_c і K_p для досліджуваної реакції?

7. Побудуйте на графіку температурну залежність константи рівноваги в координатах $\lg K_p - 1/T$ і визначте термодинамічні параметри реакції: зміну ентальпії ΔH і ентропії ΔS . Чи супроводжується реакція виділенням або поглинанням тепла, збільшенням або зниженням невпорядкованості системи? Зробіть висновки.

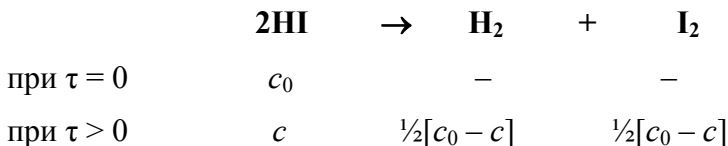
3. ДОДАТКОВІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

3.1. Розрахунок концентрацій речовин в реакційній суміші

Розрахунки співвідношень між концентраціями учасників реакції в газовій фазі не складають утруднень, якщо в ході реакції не змінюється кількість моль газу і, отже, при постійному тиску не змінюється об'єм. До таких реакцій з тих, що розглядаються в даній роботі, відносяться синтез і розклад йодоводню:

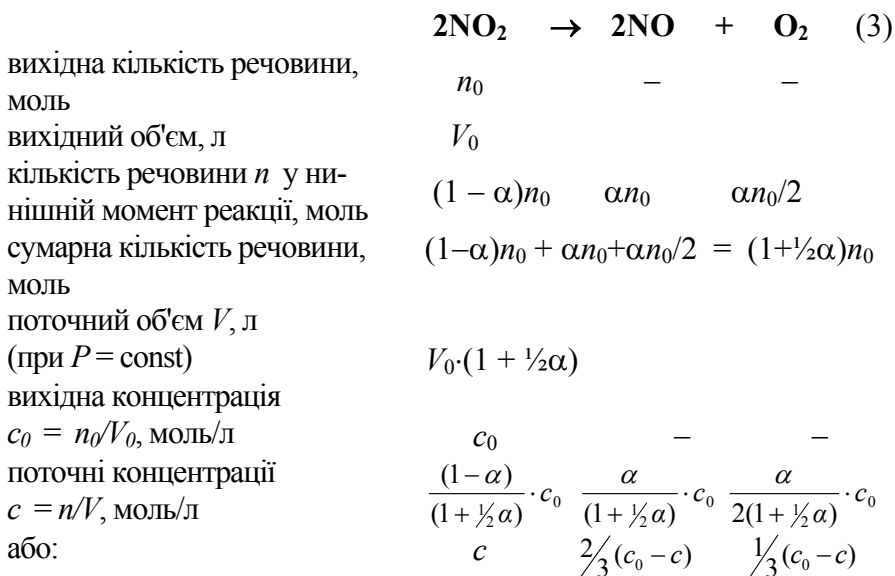


В такому випадку концентрації пов'язані такими ж співвідношеннями, як і кількості речовин (кількості моль). Їх легко знайти із стехіометрії реакції. Наприклад, співвідношення між молярними концентраціями учасників реакції (2) у деякий поточний момент τ її перебігу виглядають таким чином:



Коли в ході реакції змінюється число моль газоподібних речовин, необхідно враховувати зміну не тільки кількостей речовини, але і об'єму реакційної системи.

Обчислення можна розташувати по такій схемі (α – ступінь перетворення початкової речовини, $0 \leq \alpha \leq 1$):

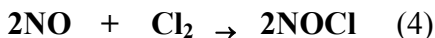


Відмітивши, що

$$c_0 - c = c_0 - \frac{(1 - \alpha)}{(1 + \frac{1}{2}a)} \cdot c_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{\alpha}{(1 + \frac{1}{2}a)} \cdot c_0$$

неважко отримати співвідношення між поточними концентраціями учасників реакції, які приведені в останньому рядку. Ці співвідношення можна використовувати для розрахунку невідомих концентрацій речовин в реакційній суміші за заданими.

Нижче наведені також розрахунки співвідношень між концентраціями в реакціях (4) і (5).



вихідна кількість речовини,

моль

$$2n_0 \quad n_0 \quad -$$

вихідний об'єм, л

$$V_0$$

кількість речовини n у ни-

нішній момент реакції, моль

$$2n_0 \cdot (1 - \alpha) \quad n_0 \cdot (1 - \alpha) \quad 2n_0 \cdot \alpha$$

сумарна кількість речовини,

моль

$$n_0 \cdot (3 - \alpha)$$

повний поточний об'єм

V , л (при $P = \text{const}$)

$$V_0 \cdot (3 - \alpha) / 3$$

початкова концентрація

$c_0 = n_0 / V_0$, моль/л

$$2c_0 \quad c_0 \quad -$$

поточні концентрації

$c = n / V$, моль/л

$$\frac{6 \cdot (1 - \alpha)}{(3 - \alpha)} \cdot c_0 \quad \frac{3 \cdot (1 - \alpha)}{(3 - \alpha)} \cdot c_0 \quad \frac{6\alpha}{(3 - \alpha)} \cdot c_0$$

або:

$$2c \quad c \quad 3(c_0 - c)$$

Для реакції (5) отримані такі ж співвідношення, як і для реакції (2), оскільки в цих реакціях однакове молярне співвідношення продуктів, а збільшення у два рази кількості продуктів в порівнянні з вихідною речовиною компенсується при розрахунках концентрацій таким же збільшенням загального об'єму.

	$C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$ (5)
вихідна кількість речовини, моль	$n_0 \quad - \quad -$
вихідний об'єм, л	V_0
кількість речовини n у ни- нішній момент реакції, моль	$(1 - \alpha)n_0 \quad \alpha n_0 \quad \alpha n_0$
сумарна кількість речовини, моль	$(1 - \alpha)n_0 + \alpha n_0 + \alpha n_0 = (1 + \alpha)n_0$
поточний об'єм V , л (при $P = \text{const}$)	$V_0 \cdot (1 + \alpha)$
початкова концентрація $c_0 = n_0/V_0$, моль/л	$c_0 \quad - \quad -$
поточні концентрації $c = n/V$, моль/л	$\frac{(1 - \alpha) \cdot c_0}{(1 + \alpha)} \quad \frac{\alpha \cdot c_0}{(1 + \alpha)} \quad \frac{\alpha \cdot c_0}{(1 + \alpha)}$
або:	$c \quad \frac{1}{2}(c_0 - c) \quad \frac{1}{2}(c_0 - c)$

3.2. Розрахунок парціального тиску газів в реакційній суміші

Парціальний тиск компонентів газової суміші при загальному тиску P зручно обчислити через їх молярні доли або концентрації. Наприклад, для реакції (3):

	$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$ (3)
вихідна кількість речовини, моль	$n_0 \quad - \quad -$
кількість речовини n у ни- нішній момент реакції, моль	$(1 - \alpha)n_0 \quad \alpha n_0 \quad \alpha n_0/2$
сумарна кількість речовини, моль	$(1 + \frac{1}{2}\alpha)n_0$
поточні концентрації $c = n/V$, моль/л	$\frac{(1 - \alpha)}{(1 + \frac{1}{2}\alpha)} \quad \frac{\alpha}{(1 + \frac{1}{2}\alpha)} \quad \frac{\alpha}{2(1 + \frac{1}{2}\alpha)}$
парціальний тиск	$\frac{(1 - \alpha)}{(1 + \frac{1}{2}\alpha)} \cdot P, \frac{\alpha}{(1 + \frac{1}{2}\alpha)} \cdot P, \frac{\alpha}{2(1 + \frac{1}{2}\alpha)} \cdot P$

3.3. Про визначення порядку реакції

За законом діючих мас швидкість реакції між двома речовинами А і В: $mA + nB \rightarrow$ (продукти) визначається кінетичним рівнянням:

$$v = k \cdot c_A^a \cdot c_B^b$$

де a і b – часткові порядки реакції за речовинами А і В відповідно, які в загальному випадку не співпадають з величинами коефіцієнтів m і n .

Зверніть увагу, що гомогенні реакції, що вивчаються, перебігають при стехіометричному співвідношенні реагентів. Це означає, що концентрації речовин, що взаємодіють у кожен момент перебігу реакції, пов'язані співвідношенням: $c_B = (m/n)c_A$. Підставляючи його в кінетичне рівняння, отримаємо:

$$v = k \cdot (m/n)^b \cdot c_A^{(a+b)}$$

Таким чином, за вказаними умовами показник ступеня при концентрації реагенту в експериментально знайденому виразі для швидкості реакції дорівнює не частковому, а загальному порядку реакції ($a + b$).

Для визначення часткового порядку реакції за даною речовиною, кінетику необхідно вивчати в умовах постійності концентрації другого реагенту. При $c_B = \text{const}$

$$v = k \cdot (\text{const})^b \cdot c_A^a$$

Найчастіше такі умови створюють, або використовуючи дуже значний стехіометричний надлишок другого реагенту, або вимірюючи початкові швидкості в спеціально приготованих реакційних сумішах з постійною концентрацією другого реагенту і змінною концентрацією першого.

3.4. Розрахунки термодинамічних параметрів реакції за температурною залежністю константи рівноваги

Як відомо, зміна енергії Гиббсу в реакції пов'язана з її константою рівноваги співвідношенням:

$$\Delta G_T^{\circ} = -RT \cdot \ln K$$

Яку константу рівноваги слід підставляти в це рівняння? Константи рівноваги K_c і K_p , що виражені через концентрації і парціальний тиск відповідно, у загальному випадку (коли суми кількостей моль вихідних і кінцевих речовин в реакції розрізняються) є розмірними величинами і, отже, виникає питання про саму можливість їх підстановки під знак математичної операції, такої як логарифм, експонент або синус.

Строго кажучи, в приведені рівняння повинна входити так звана термодинамічна константа рівноваги. Остання виражається через термодинамічні активності a речовин, що беруть участь в реакції, і є величинами безрозмірними. Активність ідеального газу може бути виражена через його парціальний тиск p : $a = p/p^{\circ}$, де p° — стандартний тиск, $p^{\circ} = 1$ атм. Отже, активність ідеального газу чисельно дорівнює його парціальному тиску, що виражений у несистемних одиницях — атмосферах. Це означає, що в наближенні ідеального газу, яке ми вважаємо відповідним до тих умов, в яких перебігають реакції, що вивчаються, в рівняння ізобари можна підставляти значення константи рівноваги K_p , що виражена через парціальний тиск газоподібних учасників реакції в атмосферах:

$$\Delta G_T^{\circ} = -RT \cdot \ln K_p$$

Підставляючи в це рівняння вираз для енергії Гиббсу $\Delta G_T^{\circ} = \Delta H_T^{\circ} - T \cdot \Delta S_T^{\circ}$ і вирішуючи відносно $\ln K_p$, отримаємо:

$$\ln K_p = -\frac{\Delta H_T^{\circ}}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S_T^{\circ}}{R}$$

Ентальпія ΔH°_T і ентропія ΔS°_T реакції слабо залежать від температури. Нехтуючи цією залежністю, визначаємо, що в системі координат $\ln K - 1/T$ залежність константи рівноваги від температури відображається прямою лінією, параметри якої: кутовий коефіцієнт і «відрізок на осі у» дозволяють знайти термодинамічні характеристики реакції: $\operatorname{tg} \alpha = -\Delta H^{\circ}/R$, «відрізок» = $\Delta S^{\circ}/R$.

4. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ:

Визначення кінетичних і термодинамічних параметрів гомогенної реакції

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ:

В таблиці представлені початкові експериментальні дані, що отримані при вивченні ізотермічної кінетики і рівноваги реакції в газовій фазі $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$. Початкові умови: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,00800$ моль/л при $\tau = 0$.

Проведіть обробку приведених результатів і розрахуйте:

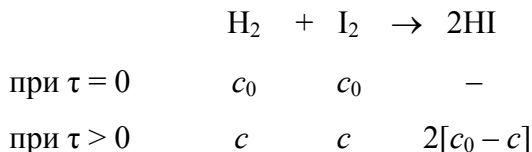
- невідомі концентрації вихідних речовин і продуктів реакції;
- порядок реакції;
- енергію активації і передекспоненційний множник в рівнянні Арреніуса;
- константи рівноваги при вказаних температурах;
- зміни ентальпії і ентропії в реакції (припускаючи, що можна ігнорувати їх залежність від температури).

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С					
	400	420	440	460	480	500
0	0,00800	0,00800	0,00800	0,00800	0,00800	0,00800
1	0,00791	0,00780	0,00757	0,00713	0,00640	0,00535
2	0,00783	0,00761	0,00719	0,00643	0,00533	0,00402
3	0,00775	0,00743	0,00684	0,00586	0,00457	0,00322
5	0,00759	0,00710	0,00623	0,00497	0,00355	0,00230
7	0,00744	0,00679	0,00573	0,00432	0,00290	
8	0,00736	0,00665	0,00551	0,00405	0,00266	
10	0,00722	0,00638	0,00511	0,00360	0,00228	
12	0,00708	0,00613	0,00476	0,00325		
15	0,00688	0,00579	0,00433	0,00283		
20	0,00658	0,00531	0,00375	0,00233		
Після встановлення рівноваги	0,00144	0,00147	0,00150	0,00153	0,00155	0,00158

ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ:

4.1. Розрахунок концентрацій продукту

За стехіометрією реакції розрахуємо концентрації продукту в суміші в різні моменти часу:



Оскільки в ході реакції об'єм не змінюється, співвідношення між концентраціями такі ж, як і для кількості моль речовин. Концентрації c приведені як вихідні експериментальні дані. Розраховані величини $2[c_0 - c]$ – поточні концентрації йодоводню – наведені в табл.1.

4.2. Побудова кінетичних кривих

На графіку будуємо кінетичні криві – ізотермічні залежності концентрацій реагентів (рис.1) і продукту реакції (рис.2) від часу взаємодії.

Графік будуємо на міліметрівці, вибравши масштаб так, щоб експериментальні точки розподілялися по можливості на все поле графіку, зверху вниз і зліва направо.

Можна використовувати комп'ютер для обробки результатів і побудови графіків, якщо ви вмієте користуватися відповідними програмами. Для цієї мети рекомендується застосовувати програму Origin.

Таблиця 1

Концентрації продукту реакції, йодоводно НІ, в реакційній суміші

Час, хв.	Вміст йодоводно $\epsilon(\text{HI})$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, $^{\circ}\text{C}$					
	400	420	440	460	480	500
0	0	0	0	0	0	0
1	0,00018	0,00040	0,00086	0,00174	0,00320	0,00530
2	0,00034	0,00078	0,00162	0,00314	0,00534	0,00796
3	0,00050	0,00114	0,00232	0,00428	0,00686	0,00956
5	0,00082	0,00180	0,00354	0,00606	0,00890	0,01140
7	0,00112	0,00242	0,00454	0,00736	0,01020	
8	0,00128	0,00270	0,00498	0,00790	0,01068	
10	0,00156	0,00324	0,00578	0,00880	0,01144	
12	0,00184	0,00374	0,00648	0,00950		
15	0,00224	0,00442	0,00734	0,01034		
20	0,00284	0,00538	0,00850	0,01134		
Після встановлення рівноваги	0,01312	0,01306	0,01300	0,01294	0,01290	0,01284

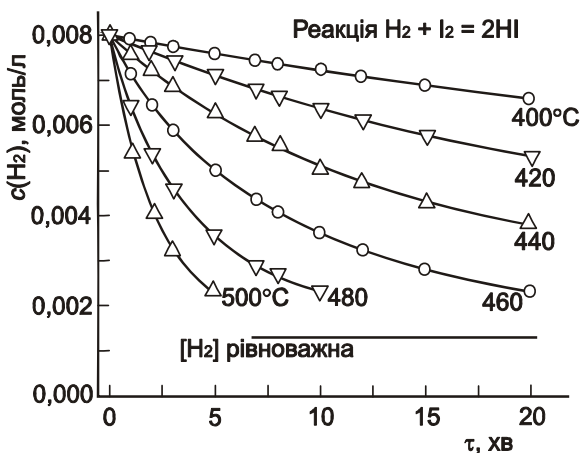


Рис.1. Ізотермічні залежності концентрації реагенту (водню або газоподібного йоду) від часу реакції при різних температурах. Вказана також рівноважна концентрація реагентів, що незначно залежить від температури.

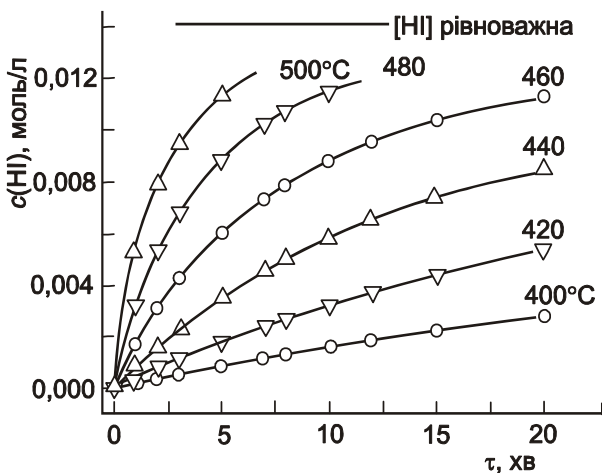


Рис.2. Ізотермічні залежності концентрації продукту, йодоводню, від часу реакції при різних температурах. Вказана також рівноважна концентрація продукту.

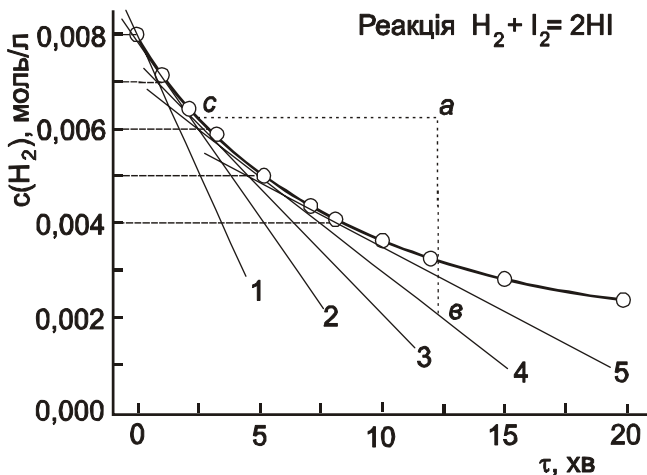


Рис.3. Графічне визначення швидкості реакції у п'ять різних моментів часу.

Горизонтальними лініями на рисунках вказані рівноважні концентрації реагентів і продуктів реакції. Як видно з таблиць, вони слабо залежать від температури в інтервалі, що вивчається, тому показаний один рівень рівноважної концентрації. При вивченні кінетики прямої реакції слід брати експериментальні точки, розташовані не дуже близько до рівноваги. Саме тому у вихідних даних не наведені результати для $\tau > 10$ хв. при 480°C і $\tau > 5$ хв. при 500°C .

4.3. Визначення порядку реакції

Виберемо для подальшого вивчення кінетичну криву для реагенту при 460°C . Проведемо на графіку (рис.3) дотичні до кривої у початковій точці (1), а також ще в чотирьох точках, що відповідають концентраціям

реагенту: $c = 0,0070$ (2), $0,0060$ (3), $0,0050$ (4), $0,0040$ моль/л (5).

Швидкості у вказаних п'яти різних моментів часу знаходимо як тангенси кутів нахилу проведених дотичних. У цих обчисленнях довжини відрізків слід брати в одиницях тих осей координат, яким вони паралельні. Наприклад, у момент 4:

$$\begin{aligned} \text{швидкість } v_4 &= \operatorname{tg} \alpha = \text{відрізок } (ab) / \text{відрізок } (ac) = \\ &= (0,0062 - 0,0020) / (14,0 - 2,5) = 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}\cdot\text{хв} = \\ &= 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}\cdot 60\text{с} = 6,09 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}\cdot\text{с}. \end{aligned}$$

Обчислюємо швидкості як тангенси нахилів дотичних в інших точках і зводимо дані в табл.2. Записуємо у таблицю також значення логарифмів швидкості і поточної концентрації реагентів.

За даними, що підготовлені у табл.2, будуємо графік залежності швидкості від концентрації реагентів в логарифмічній системі координат (рис.4). Оскільки закон діючих мас виражається рівнянням, що містить ступеневу функцію:

$$v = k \cdot c^n$$

де n – порядок реакції, то в логарифмічних координатах графік вказаної залежності

$$\lg v = \lg k + n \lg c$$

є прямою лінією з нахилом $\operatorname{tg} \alpha = n$.

Наносимо на графік експериментальні точки і проводимо через них пряму так, щоб сума відхилень (точніше, квадратів відхилень) точок по різні сторони від прямої була однакова і мінімальна. Обчислюємо тангенс кута нахилу:

$$\operatorname{tg} \alpha = [(-3,02) - (-3,63)] / [(-2,10) - (-2,40)] = 0,61 / 0,30 = 2,03.$$

Таблиця 2

Швидкості реакції $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$ в різні моменти часу при 460°C (до визначення порядку реакції)

№	$c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2)$, моль/л	Вертикальний відрізок ab , моль/л	Горизонтальний відрізок bc , хв.	Швидкість v , моль/(л·хв.) ($\text{tg}\alpha$)	$\lg v$	$\lg c$
1	0,0080	...	...	$9,76 \cdot 10^{-4}$	-3,011	-2,097
2	0,0070	...	...	$7,47 \cdot 10^{-4}$	-3,127	-2,155
3	0,0060	...	...	$5,48 \cdot 10^{-4}$	-3,261	-2,222
4	0,0050	0,0042	11,5	$3,65 \cdot 10^{-4}$	-3,438	-2,301
5	0,0040	...	...	$2,44 \cdot 10^{-4}$	-3,613	-2,398

З урахуванням похибки визначення можна прийти до висновку, що порядок реакції, що вивчається, дорівнює двом. За умовами проведення експерименту концентрації водню і газоподібного йоду були однакові у початковий і, отже, у всі подальші моменти часу: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = c$. Цей взаємозв'язок змінних концентрацій узгоджується з тим, що ми знайшли сумарний порядок реакції за реагентами:

$$v = k \cdot c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2) = k \cdot c^2$$

Можна припустити, що за кожним з реагентів реакція має перший порядок, хоча, строго кажучи, це твердження вимагає спеціального підтвердження.

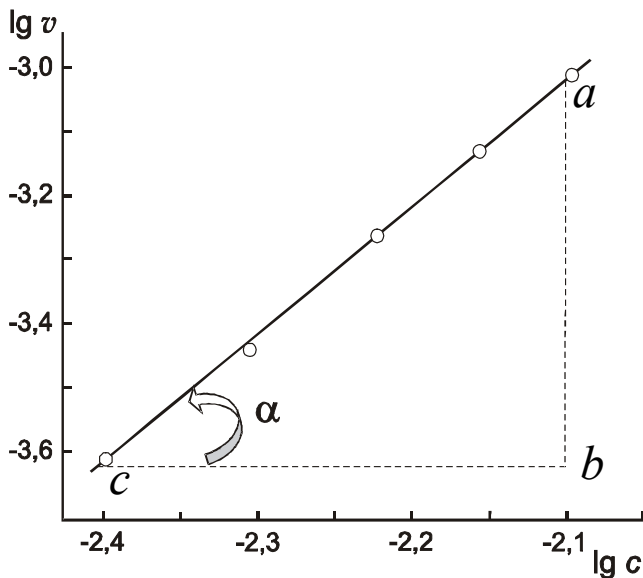


Рис.4. Залежність швидкості реакції від концентрації в логарифмічній системі координат

Для визначення порядку реакції за воднем, кінетичні серії слід було провести в умовах постійності концентрації другого реагенту, тобто або при переважному стехіометричному надлишку йоду, або вимірюючи початкові швидкості в спеціально приготованих сумішах з постійною концентрацією одного реагенту і змінною концентрацією іншого.

4.4. Розрахунок констант швидкості і визначення параметрів рівняння Арреніуса

Параметри рівняння Арреніуса – енергія активації E_A і передекспоненційний множник A – визначають вид залежності швидкості хімічної реакції від температури:

$$k = A \cdot \exp(-E_A/RT).$$

Знайдемо спочатку швидкості реакції в початковий момент часу при різних температурах. Для цього, також як і на рис.3, проводимо дотичні до кінетичних кривих в початковий момент часу (коли $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,0080$ моль/л) і визначаємо тангенси кутів їх нахилів (приведіть в курсовій роботі такі графіки). Розраховані величини заносимо у табл.3.

Таблиця 3

Дані для побудови арреніусівського графіка

№	$t, ^\circ\text{C}$	v (при $\tau = 0$), моль/(л·хв.)	v (при $\tau = 0$), моль/(л·с)	k л/(моль·с)	T, K	$10^3/T,$ K^{-1}	$\ln k$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	400	$7,87 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$	0,0205	673	1,486	-3,887
2	420	$2,03 \cdot 10^{-4}$	$3,38 \cdot 10^{-6}$	0,0528	693	1,443	-2,941
3	440	$4,80 \cdot 10^{-4}$	$8,00 \cdot 10^{-6}$	0,125	713	1,402	-2,079
4	460	$9,76 \cdot 10^{-4}$	$1,63 \cdot 10^{-5}$	0,255	733	1,364	-1,366
5	480	$1,97 \cdot 10^{-3}$	$3,28 \cdot 10^{-5}$	0,512	753	1,328	-0,669
6	500	$4,15 \cdot 10^{-3}$	$6,92 \cdot 10^{-5}$	1,081	773	1,294	0,078

В колонці 4 приводимо значення початкової швидкості, перераховані в одиницях моль/(л·с), для цього ділимо значення, приведені в колонці 3 на 60. Далі розраховуємо константи швидкості при різних температурах (колонка 5). Оскільки $v = k \cdot c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)$, то: $k = v/[c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)] = v/(0,0080)^2$.

Розраховуємо також чисельні значення абсолютної температури T в кельвінах, зворотної температури, що для зручності помножена на 10^3 ($10^3/T$), і натурального логарифму константи швидкості $\ln k$.

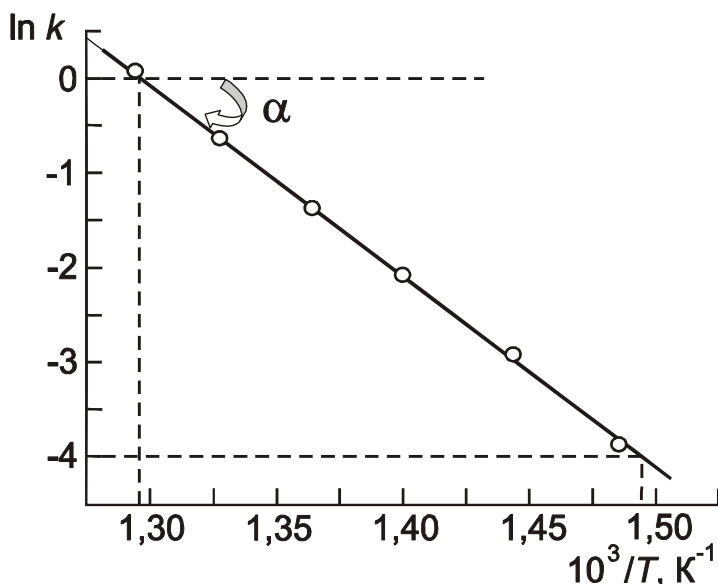


Рис.5. Температурна залежність константи швидкості реакції в арреніусівських координатах

Лінеаризовану форму рівняння Арреніуса отримують логарифмуванням початкового рівняння:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

Таким чином, в арреніусовській системі координат $\ln k - 1/T$ температурна залежність константи швидкості зображається прямою лінією. Параметри рівняння Арреніуса визначаються з кутового коефіцієнту $\operatorname{tg} \alpha = -E_A/R$ і «відрізка на осі у» $\ln A$ цієї прямолінійної залежності.

Використовуючи розраховані дані (табл.3), будуємо графік температурної залежності константи швидкості в арреніусовських координатах $\ln k - 10^3/T$ (рис.5). Через розрахункові точки при шістьох температурах проводимо

пряму так, щоб відхилення точок від неї в різні боки (вгору і вниз) були однакові і мінімальні.

Розраховуємо тангенс кута нахилу прямолінійного графіку:

$$\operatorname{tg} \alpha = -E_A/R = [(-4,000) - 0,000] / (1,494 - 1,296) = -20,2 \text{ К.}$$

За тангенсом кута нахилу арреніусовського графіку розраховуємо енергію активації реакції E_A (оскільки на осі абсцис ми відклали зворотню температуру, помножену на 10^3 (тобто $10^3/T$), значення E_A отримуємо відразу в кДж):

$$E_A = -(\operatorname{tg} \alpha) \cdot R = -(-20,2) \cdot 8,31 = 168 \text{ кДж/моль.}$$

Передекспоненційний множник A незручно визначати графічно. Для його розрахунку використовуємо знайдене значення енергії активації і також значення константи швидкості при 480°C : $k = 0,512 \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}$ (табл.3). Отже:

$$k = A \cdot \exp(-E_A/RT),$$

$$A = k/\exp(-E_A/RT) = 0,512/\exp[-168000/(8,31 \cdot 753)] = \\ = 0,512/(2,19 \cdot 10^{-12}) = 0,234 \cdot 10^{12} = 2,34 \cdot 10^{11} \text{ л/(моль}\cdot\text{с).}$$

Отже, енергія активації реакції утворення йодоводню в газовій фазі дорівнює 168 кДж/моль , а передекспоненційний множник $2,34 \cdot 10^{11} \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}$.

Температурна залежність константи швидкості реакції, в $\text{л/(моль}\cdot\text{с)}$, виражається рівнянням:

$$k = 2,34 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-168000/8,31 \cdot T) = 2,34 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-20220/T).$$

Порівнюємо розраховані величини параметрів рівняння Арреніуса з табличними і розрахуємо похибки наших визначень. За літературними даними (див. розділ 6): $E_A = 165,5 \text{ кДж/моль}$; $A = 1,6 \cdot 10^{11} \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}$. Розрахуємо відносні похибки наших визначень:

$$\Delta E_A / E_A = (168 - 165,5) / 165,5 = 0,0151 \text{ або } 1,51 \%$$

$$\Delta A / A = (2,34 - 1,60) / 1,60 = 0,462 \text{ або } 46,2\%.$$

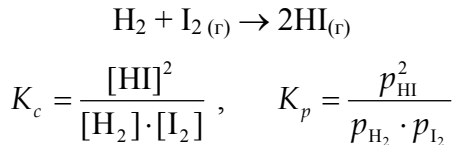
Остання помилка здається досить великою, проте потрібно врахувати, що при порівнянні коефіцієнтів експоненціальних функцій правильніше порівнювати не самі коефіцієнти, а їх логарифми.

$$\begin{aligned} \Delta(\ln A)/\ln A &= [\ln(2,34 \cdot 10^{11}) - \ln(1,60 \cdot 10^{11})] / \ln(1,60 \cdot 10^{11}) = \\ &= (26,17 - 25,80) / 25,80 = 0,0143 \text{ або } 1,43\%, \end{aligned}$$

що цілком прийнятно.

4.5. Розрахунок констант рівноваги

Запишемо вирази для констант рівноваги реакції, що вивчається:



Як бачимо, константи рівноваги даної реакції, обчислені за концентраціями і тиском, є безрозмірними. Враховуючи, що концентрації газів є пропорційними їх парціальним тискам (з однаковим коефіцієнтом пропорційності в наближенні ідеальних газів), приходимо до висновку, що $K_c = K_p = K$.

Рівноважні концентрації водню при різних температурах приведені у вихідних даних. Рівноважна концентрація йоду буде такою ж, а рівноважні концентрації йодоводню розраховані у табл. 1.

Обчислюємо константи рівноваги. Наприклад, при 400°C $[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = 0,00144$ моль/л, а $[\text{HI}] = 0,01312$ моль/л. Отже:

$$K = \frac{0,01312^2}{0,00144 \cdot 0,00144} = 83,01$$

Розраховані значення констант рівноваги при цій і інших температурах зібрані у табл.4. Там же наведені значення зворотної температури і натурального логарифму константи рівноваги.

Таблиця 4

Константи рівноваги реакції утворення йодоводню
при різних температурах

№	$t, ^\circ\text{C}$	K	T, K	$10^3/T$	$\ln K$
1	400	83,0	673	1,486	4,420
2	420	78,9	693	1,443	4,368
3	440	75,1	713	1,402	4,319
4	460	71,5	733	1,364	4,270
5	480	69,3	753	1,328	4,238
6	500	66,0	773	1,294	4,190

4.6. Визначення термодинамічних параметрів реакції

Параметри, що визначають температурну залежність констант швидкості, дозволяють знайти термодинамічні величини – ентальпію і ентропію реакції. Згідно рівнянню ізобари хімічної реакції

$$\Delta G_T^{\circ} = -RT \cdot \ln K_p$$

Підставляючи сюди вираз для енергії Гіббса

$$\Delta G_T^{\circ} = \Delta H_T^{\circ} - T \cdot \Delta S_T^{\circ}$$

і вирішуючи відносно $\ln K_p$, отримаємо:

$$\ln K_p = -\frac{\Delta H_T^{\circ}}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S_T^{\circ}}{R}$$

Ентальпія ΔH_T° і ентропія ΔS_T° реакції дуже слабо залежать від температури. Нехтуючи цією залежністю, прийдемо до висновку, що в системі координат $\ln K - 1/T$ залежність константи рівноваги від температури відображається прямою лінією, параметри якої: кутовий коефіцієнт $\text{tg}\alpha$ і «відрізок на осі y » дозволяють знайти

термодинамічні характеристики реакції: $\operatorname{tg} \alpha = -\Delta H^{\circ}/R$, «відрізок» = $\Delta S^{\circ}/R$.

Через експериментальні точки на графіку $\ln K - 10^3/T$ (рис.6) проводимо пряму так, щоб відхилення точок від прямої лежали по обидві сторони від неї і були мінімальні.

Розраховуємо тангенс кута нахилу прямолінійного графіку:

$$\operatorname{tg} \alpha = (4,400 - 4,200) / (1,465 - 1,305) = 1,250$$

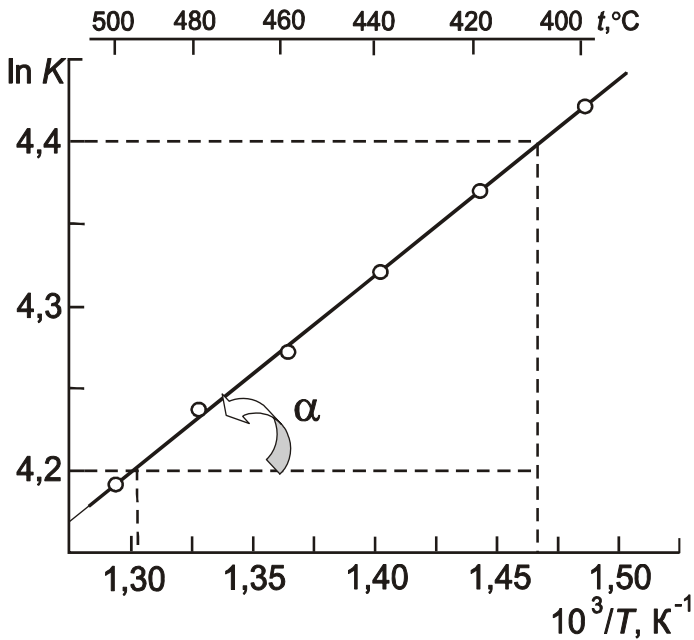


Рис.6. Температурная зависимость константы равновесия

За тангенсом кута нахилу розраховуємо ентальпію реакції ΔH (оскільки на осі абсцис ми відкладали зворотню температуру, помножену на 10^3 , значення ΔH отримуємо відразу в кДж):

$$\operatorname{tg} \alpha = -\Delta H^{\circ} / R, \Delta H^{\circ} = -(\operatorname{tg} \alpha) \cdot R = -1,250 \cdot 8,31 = -10,39 \text{ кДж}$$

Для розрахунку ΔS° використовуємо знайдене значення константи рівноваги при одній з температур. Для більшої точності слід вибрати температуру, при якій експериментальне значення найменш відхиляється від проведеної на графіку прямої. Так, при 420°C ($10^3/T = 1,443 \text{ K}^{-1}$) $\ln K = 4,368$ (табл.4). Підставляючи в рівняння для $\ln K$ знайдене значення ентальпії реакції, отримуємо:

$$\ln K_p = -\frac{\Delta H_T^{\circ}}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S_T^{\circ}}{R} \quad \text{звідки}$$

$$\Delta S^{\circ} = R \left(\ln K_p + \frac{\Delta H_T^{\circ}}{R} \cdot \frac{1}{T} \right) = 8,31 \left(4,368 - \frac{10,39 \cdot 1,443}{8,31} \right) = 21,30 \text{ Дж/К}$$

Таким чином, із температурної залежності константи рівноваги ми знайшли наступні значення ентальпії і ентропії реакції (табл.5)

Таблиця 5

Знайдені термодинамічні параметри реакції

Реакція	Ентальпія ΔH° , кДж	Ентропія ΔS° , Дж/К
$\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$	- 10,39	21,30

Порівняємо отримані результати з табличними довідковими даними (розділ 6): $\Delta H^{\circ}_{298} = -10,36 \text{ кДж}$; $\Delta S^{\circ}_{298} = 21,4 \text{ Дж/К}$. Відносні похибки наших визначень складають:

$$\Delta(\Delta H^{\circ}) / \Delta H^{\circ} = [(-10,36) - (-10,39)] / |-10,36| = 0,0029 = 0,29\%.$$

$$\Delta(\Delta S^{\circ}) / \Delta S^{\circ} = |(21,3 - 21,4)| / 21,4 = 0,0047 = 0,47\%.$$

4.7. Висновки

Проведена обробка вихідних експериментальних даних: розраховані концентрації продукту; побудовані кінетичні криві; графічно визначені початкові швидкості, а для однієї з температур – швидкості в різні моменти часу перебігу реакції; побудована залежність початкової швидкості від концентрації в логарифмічній системі координат $\lg v - \lg c$; розраховані константи швидкості і побудований арреніусовський графік для температурної залежності швидкості реакції; розраховані константи рівноваги і побудований графік їх температурної залежності.

Визначено, що реакція, яка вивчається $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$ є реакція сумарно другого порядку. Знайдені параметри рівняння Арреніуса для константи швидкості реакції: енергія активації $E_A = 168$ кДж/моль і передекспоненційний множник $A = 2,34 \cdot 10^{11}$ л/(моль·с). Як математична модель для температурної залежності константи швидкості запропоновано рівняння: $k = 2,34 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-20220/T)$, л/(моль·с).

З температурної залежності констант рівноваги визначені термодинамічні параметри реакції: стандартна зміна ентальпії $\Delta H^\circ = -10,39$ кДж; стандартна зміна ентропії $\Delta S^\circ = 21,3$ Дж/К. Реакція, що вивчається, є екзотермічною (хоча і з невеликим тепловим ефектом) і супроводжується збільшенням невпорядкованості в розташуванні і русі частинок.

Оцінені похибки знайдених термодинамічних і кінетичних параметрів в порівнянні з довідковими табличними даними.

5. ВАРІАНТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ:

Визначення кінетичних і термодинамічних параметрів гомогенної реакції.

Варіант 1.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції



Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С						
	400	410	420	430	440	450	
0	0	0	0	0	0	0	
5	0,000015	0,000024	0,000039	0,000061	0,000096	0,000148	
10	0,000030	0,000048	0,000078	0,000123	0,000190	0,000291	
15	0,000045	0,000073	0,000116	0,000183	0,000282	0,000429	
20	0,000059	0,000096	0,000154	0,000242	0,000373	0,000563	
30	0,000089	0,000144	0,000229	0,000358	0,000548	0,000819	
40	0,000118	0,000191	0,000303	0,000472	0,000716	0,001060	
60	0,000176	0,000284	0,000447	0,000689	0,001033		
80	0,000233	0,000374	0,000587	0,000896	0,001326		
100	0,000290	0,000463	0,000722	0,001093			
120	0,000346	0,000550	0,000852	0,001281			
Після встановлення рівноваги	0,00161	0,00163	0,00165	0,00167	0,00168	0,00170	

Варіант 2.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$.
Початкові умови: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,0120$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С					
	400	410	420	430	440	450
0	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120
1	0,0118	0,0117	0,0116	0,0113	0,0111	0,0107
2	0,0116	0,0114	0,0112	0,0108	0,0102	0,0096
3	0,0114	0,0112	0,0108	0,0102	0,0096	0,0087
5	0,0111	0,0107	0,0101	0,0093	0,0084	0,0074
7	0,0108	0,0102	0,0095	0,0086	0,0075	0,0064
10	0,0103	0,0096	0,0087	0,0076	0,0065	0,0053
20	0,0091	0,0080	0,0068	0,0056	0,0044	0,0034
30	0,0081	0,0068	0,0056	0,0044	0,0034	
45	0,0069	0,0056	0,0044	0,0034		
60	0,0061	0,0048	0,0036	0,0027		
Після встановлення рівноваги	0,00215	0,00218	0,00220	0,00222	0,00225	0,00227

Варіант 3.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$.
 Початкові умови: $c(\text{NO}_2) = 0,0200$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст кисню $c(\text{O}_2)$, моль/л у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	300°C 0,940 атм	320°C 0,973 атм	340°C 1,006 атм	360°C 1,038 атм	380°C 1,071 атм	400°C 1,104 атм	
0	0	0	0	0	0	0	
0,10	0,000007	0,000015	0,000031	0,000063	0,000120	0,000219	
0,20	0,000013	0,000030	0,000062	0,000124	0,000235	0,000424	
0,40	0,000027	0,000059	0,000124	0,000244	0,000455	0,000798	
0,60	0,000040	0,000088	0,000184	0,000360	0,000660	0,001130	
1,00	0,000067	0,000146	0,000300	0,000578	0,001031	0,001691	
1,50	0,000099	0,000217	0,000441	0,000832	0,001436	0,002252	
2,00	0,000132	0,000286	0,000575	0,001064	0,001786	0,002698	
3,00	0,000196	0,000420	0,000827	0,001479	0,002363		
4,00	0,000259	0,000548	0,001059	0,001836			
5,00	0,000320	0,000671	0,001273				
Після встановлення рівноваги	0,00138	0,00171	0,00206	0,00250	0,00282	0,00320	

Варіант 4.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції

 $C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$. Початкові умови: $c(C_2H_5Br) = 0,0160$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст бромоводню $c(HBr)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	400°C 0,884 атм	410°C 0,897 атм	420°C 0,910 атм	430°C 0,923 атм	440°C 0,936 атм	450°C 0,949 атм	
0	0	0	0	0	0	0	
2	0,000081	0,000143	0,000247	0,000419	0,000694	0,001122	
5	0,000201	0,000352	0,000602	0,001006	0,001623	0,002518	
10	0,000397	0,000688	0,001160	0,001886	0,002917	0,004244	
15	0,000589	0,001010	0,001675	0,002654	0,003947	0,005426	
20	0,000774	0,001318	0,002151	0,003327	0,004771	0,006236	
25	0,000956	0,001612	0,002592	0,003914	0,005426	0,006791	
30	0,001132	0,001893	0,002999	0,004428	0,005948		
40	0,001473	0,002418	0,003724	0,005270	0,006696		
50	0,001797	0,002899	0,004344	0,005914			
60	0,002105	0,003338	0,004874	0,006405			
Після встановлення рівноваги	0,00769	0,00774	0,00778	0,00782	0,00784	0,00787	

Варіант 5.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NOCl}$
Початкові умови: $c(\text{NO}) = 0,0200$ моль/л і $c(\text{Cl}_2) = 0,0100$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст хлору $c(\text{Cl}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	100°С 0,918 атм	120°С 0,966 атм	140°С 1,017 атм	160°С 1,066 атм	180°С 1,115 атм	200°С 1,164 атм	
0	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	
5	0,00943	0,00928	0,00912	0,00895	0,00877	0,00858	
10	0,00895	0,00870	0,00844	0,00817	0,00791	0,00764	
15	0,00854	0,00822	0,00790	0,00757	0,00726	0,00695	
20	0,00818	0,00781	0,00744	0,00709	0,00674	0,00642	
30	0,00757	0,00714	0,00673	0,00634	0,00597	0,00564	
40	0,00708	0,00662	0,00619	0,00579	0,00542	0,00509	
60	0,00634	0,00585	0,00541	0,00502	0,00466	0,00435	
90	0,00556	0,00507	0,00465	0,00428	0,00396	0,00367	
120	0,00502	0,00454	0,00414	0,00380	0,00349		
180	0,00428	0,00385	0,00348	0,00317	0,00291		
Після встановлення рівноваги	0,000607	0,000885	0,001231	0,001647	0,002125	0,002654	

Варіант 6.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{HI}_{(г)} \rightarrow \text{H}_{2(г)} + \text{I}_{2(г)}$.
Початкові умови: $c(\text{HI}) = 0,0180$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С						
	450	460	470	480	490	500	
0	0	0	0	0	0	0	
1	0,000030	0,000046	0,000069	0,000102	0,000150	0,000218	
2	0,000060	0,000091	0,000136	0,000202	0,000295	0,000426	
3	0,000089	0,000136	0,000203	0,000299	0,000436	0,000524	
5	0,000148	0,000223	0,000333	0,000487	0,000703	0,000994	
7	0,000205	0,000310	0,000460	0,000668	0,000955	0,001333	
10	0,000291	0,000436	0,000643	0,000924	0,001305		
12	0,000346	0,000519	0,000760	0,001087			
15	0,000429	0,000639	0,000931	0,001319			
18	0,000510	0,000756	0,001094				
20	0,000563	0,000833	0,001200				
Після встановлення рівноваги	0,00170	0,00172	0,00173	0,00175	0,00176	0,00178	

Варіант 7.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$.
Початкові умови: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,00600$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С					
	400	420	440	460	480	500
0	0,00600	0,00600	0,00600	0,00600	0,00600	0,00600
1	0,00595	0,00589	0,00576	0,00550	0,00505	0,00438
2	0,00590	0,00578	0,00553	0,00507	0,00436	0,00344
3	0,00586	0,00568	0,00532	0,00471	0,00384	0,00284
5	0,00577	0,00548	0,00495	0,00412	0,00309	0,00210
7	0,00568	0,00529	0,00462	0,00366	0,00259	0,00167
8	0,00563	0,00521	0,00448	0,00346	0,00239	0,00151
10	0,00555	0,00504	0,00421	0,00313	0,00208	
12	0,00547	0,00488	0,00397	0,00286	0,00184	
15	0,00535	0,00467	0,00366	0,00252	0,00157	
20	0,00516	0,00434	0,00324	0,00212		
Після встановлення рівноваги	0,001076	0,001100	0,001123	0,001145	0,001166	0,001186

Варіант 8.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$.
Початкові умови: $c(\text{NO}_2) = 0,0250$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст кисню $c(\text{O}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	300°C 1,175 атм	320°C 1,216 атм	340°C 1,257 атм	360°C 1,298 атм	380°C 1,339 атм	400°C 1,380 атм	
0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,000010	0,000023	0,000048	0,000097	0,000186	0,000340	0,000340
0,20	0,000021	0,000046	0,000097	0,000193	0,000364	0,000653	0,000653
0,40	0,000042	0,000092	0,000192	0,000378	0,000698	0,001211	0,001211
0,60	0,000063	0,000138	0,000285	0,000554	0,001006	0,001693	0,001693
1,00	0,000104	0,000227	0,000464	0,000884	0,001551	0,002485	0,002485
1,50	0,000155	0,000336	0,000677	0,001260	0,002129		
2,00	0,000205	0,000442	0,000880	0,001599	0,002616		
3,00	0,000304	0,000646	0,001253	0,002189			
4,00	0,000401	0,000839	0,001591				
5,00	0,000495	0,001023	0,001898				
Після встановлення рівноваги	0,00162	0,00201	0,00243	0,00288	0,00335	0,00382	

Варіант 9.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$.
Початкові умови: $c(C_2H_5Br) = 0,0160$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст бромоводню $c(HBr)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	450°C 0,949 атм	460°C 0,962 атм	470°C 0,975 атм	480°C 0,988 атм	490°C 1,002 атм	500°C 1,015 атм	
0	0	0	0	0	0	0	
1	0,000582	0,000930	0,001453	0,002190	0,003173	0,004355	
2	0,001122	0,001752	0,002642	0,003780	0,005087	0,006339	
3	0,001623	0,002478	0,003615	0,004935	0,006242	0,007243	
4	0,002088	0,003120	0,004411	0,005774	0,006940		
5	0,002518	0,003688	0,005063	0,006383			
6	0,002917	0,004189	0,005596	0,006828			
8	0,003630	0,005024	0,006390				
10	0,004244	0,005676	0,006922				
12	0,004771	0,006185					
15	0,005426	0,006747					
Після встановлення рівноваги	0,00787	0,00789	0,00790	0,00792	0,00793	0,00794	

Варіант 10.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NOCl}$
Початкові умови: $c(\text{NO}) = 0,0200$ моль/л і $c(\text{Cl}_2) = 0,0100$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст хлору $c(\text{Cl}_2)$, моль/л у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	80°С 0, 869 атм	90°С 0, 894 атм	100°С 0, 918 атм	110°С 0, 943 атм	120°С 0, 968 атм	130°С 0, 992 атм	
0	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	
0,5	0,00801	0,00779	0,00757	0,00736	0,00714	0,00694	
1	0,00687	0,00660	0,00634	0,00609	0,00585	0,00563	
2	0,00556	0,00528	0,00502	0,00477	0,00454	0,00434	
4	0,00427	0,00402	0,00379	0,00359	0,00339	0,00322	
8	0,00317	0,00297	0,00278	0,00262	0,00247	0,00234	
15	0,00237	0,00221	0,00207	0,00194	0,00183	0,00173	
30	0,00170	0,00158	0,00148	0,00139	0,00131	0,00123	
45	0,00140	0,00130	0,00121	0,00114			
60	0,00121	0,00113	0,00105	0,00099			
90	0,00099	0,00092	0,00086				
Після встановлення рівноваги	0,000397	0,000494	0,000607	0,000737	0,000885	0,001049	

Варіант 11.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{HI}_{(г)} \rightarrow \text{H}_{2(г)} + \text{I}_{2(г)}$.
Початкові умови: $c(\text{HI}) = 0,0160$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С					
	420	425	430	435	440	445
0	0	0	0	0	0	0
30	0,000182	0,000228	0,000284	0,000352	0,000436	0,000535
35	0,000211	0,000265	0,00033	0,000408	0,000504	0,000618
40	0,000241	0,000302	0,000375	0,000463	0,000571	0,000698
45	0,000270	0,000338	0,000419	0,000517	0,000636	0,000777
50	0,000299	0,000373	0,000463	0,000571	0,000701	0,000854
60	0,000356	0,000444	0,000549	0,000675	0,000826	0,001003
80	0,000467	0,000581	0,000716	0,000875	0,001065	0,001284
100	0,000576	0,000713	0,000875	0,001065	0,001289	
150	0,000834	0,001025	0,001245			
200	0,001074	0,00131				
Після встановлення рівноваги	0,001467	0,001474	0,00148	0,00149	0,00150	0,00151

Варіант 12.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$.
Початкові умови: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,0100$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С					
	400	420	440	460	480	500
0	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
1	0,00987	0,00969	0,00934	0,00868	0,00762	0,00618
2	0,00973	0,00940	0,00876	0,00766	0,00615	0,00447
3	0,00961	0,00913	0,00825	0,00686	0,00516	0,00350
5	0,00937	0,00863	0,00738	0,00567	0,00390	0,00244
7	0,00914	0,00818	0,00669	0,00484	0,00313	
8	0,00902	0,00798	0,00638	0,00451	0,00285	
10	0,00881	0,00759	0,00585	0,00396	0,00242	
12	0,00860	0,00724	0,00541	0,00354		
15	0,00832	0,00677	0,00485	0,00304		
20	0,00787	0,00612	0,00414	0,00247		
Після встановлення рівноваги	0,001794	0,001833	0,001871	0,001909	0,001943	0,001977

Варіант 13.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$.
Початкові умови: $c(\text{NO}_2) = 0,0180$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст кисню $c(\text{O}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	300°С 0,846 атм	320°С 0,876 атм	340°С 0,905 атм	360°С 0,935 атм	380°С 0,964 атм	400°С 0,994 атм	
0	0	0	0	0	0	0	
0,20	0,000011	0,000024	0,000050	0,000101	0,000191	0,000346	
0,60	0,000032	0,000072	0,000149	0,000293	0,000540	0,000931	
0,80	0,000043	0,000095	0,000197	0,000384	0,000698	0,001180	
1,00	0,000054	0,000118	0,000244	0,000472	0,000848	0,001406	
1,25	0,000067	0,000147	0,000302	0,000579	0,001024	0,001660	
1,50	0,000081	0,000176	0,000359	0,000682	0,001189	0,001888	
2,00	0,000107	0,000232	0,000470	0,000876	0,001487	0,002278	
3,00	0,000159	0,000342	0,000678	0,001225	0,001984		
4,00	0,000210	0,000448	0,000871	0,001529			
5,00	0,000261	0,000549	0,001051	0,001797			
Після встановлення рівноваги	0,00128	0,00158	0,00191	0,00225	0,00260	0,00294	

Варіант 14.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$.
Початкові умови: $c(C_2H_5Br) = 0,0180$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст бромоводню $c(HBr)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	390°C 0,980 атм	400°C 0,994 атм	410°C 1,009 атм	420°C 1,023 атм	430°C 1,038 атм	440°C 1,053 атм	
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,000251	0,000446	0,000775	0,001305	0,002121	0,003282	0,003282
15	0,000374	0,000661	0,001137	0,001884	0,002986	0,004442	0,004442
20	0,000495	0,000871	0,001483	0,00242	0,003743	0,005367	0,005367
30	0,000732	0,001274	0,00213	0,003374	0,004982	0,006692	0,006692
50	0,001186	0,002022	0,003261	0,004887	0,006653		
80	0,001821	0,003009	0,004619	0,006429	0,007952		
120	0,002588	0,004113	0,005944	0,007626			
160	0,003274	0,005013	0,006868	0,008265			
200	0,003886	0,005747	0,007512				
250	0,004560	0,006478	0,008051				
Після встановлення рівноваги	0,008535	0,008611	0,00867	0,00873	0,00877	0,00880	0,00880

Варіант 15.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NOCl}$
Початкові умови: $c(\text{NO}) = 0,0200$ моль/л і $c(\text{Cl}_2) = 0,0100$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст хлору $c(\text{Cl}_2)$, моль/л у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм							
	140°C 1,017 атм	150°C 1,041 атм	160°C 1,066 атм	170°C 1,091 атм	180°C 1,115 атм	190°C 1,140 атм		
0	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000
0,5	0,00673	0,006535	0,006343	0,00616	0,00598	0,00581	0,00581	0,00581
1	0,00541	0,005211	0,005018	0,00484	0,00466	0,00450	0,00450	0,00450
2	0,00465	0,004461	0,004281	0,00411	0,00396	0,00381	0,00381	0,00381
4	0,00414	0,003963	0,003795	0,00364	0,00349	0,00336	0,00336	0,00336
8	0,00348	0,003324	0,003176	0,00304	0,00291	0,00280	0,00280	0,00280
15	0,00306	0,002919	0,002786	0,00266	0,00255			
30	0,00265	0,002519	0,002401	0,00229				
45	0,00236	0,002248	0,002142	0,00204				
60	0,00216	0,002049	0,001952					
90	0,00199	0,001896	0,001804					
Після встановлення рівноваги	0,001232	0,001431	0,001647	0,001879	0,002125	0,002384		

Варіант 16.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{HI}_{(г)} \rightarrow \text{H}_{2(г)} + \text{I}_{2(г)}$.
Початкові умови: $c(\text{HI}) = 0,0160$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С						
	420	430	440	450	460	470	
0	0	0	0	0	0	0	
10	0,000062	0,0000971	0,000151	0,00023	0,000347	0,000512	
15	0,000092	0,000145	0,000224	0,000341	0,000509	0,000744	
20	0,000122	0,000192	0,000296	0,000448	0,000665	0,000962	
25	0,000152	0,000238	0,000366	0,000552	0,000814	0,001168	
30	0,000182	0,000284	0,000436	0,000654	0,000957	0,001361	
40	0,000240	0,000375	0,000571	0,000849	0,001228		
60	0,000355	0,000549	0,000826	0,001209			
80	0,000467	0,000716	0,001065				
100	0,000575	0,000875	0,001289				
120	0,000680	0,001028					
Після встановлення рівноваги	0,00147	0,00148	0,00150	0,00151	0,00153	0,00154	

Варіант 17.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{г})}$.
Початкові умови: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,00800$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С						
	440	460	480	500	520	540	
0	0,00800	0,00800	0,00800	0,00800	0,00800	0,00800	
0,5	0,00778	0,00754	0,00711	0,00641	0,00542	0,00425	
1	0,00757	0,00713	0,00640	0,00535	0,00410	0,00289	
1,5	0,00737	0,00676	0,00581	0,00459	0,00330	0,00219	
2	0,00719	0,00643	0,00533	0,00402	0,00276		
3	0,00684	0,00586	0,00457	0,00322			
4	0,00652	0,00538	0,00400	0,00269			
5	0,00623	0,00497	0,00355	0,00230			
6	0,00597	0,00462	0,00320				
8	0,00550	0,00405	0,00266				
10	0,00511	0,00360					
Після встановлення рівноваги	0,00150	0,00153	0,00155	0,00158	0,00161	0,00163	

Варіант 18.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$.

Початкові умови: $c(\text{NO}_2) = 0,0180$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст кисню $c(\text{O}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	310°C 0,861 атм	330°C 0,890 атм	350°C 0,920 атм	370°C 0,949 атм	390°C 0,979 атм	410°C 1,008 атм	
0	0	0	0	0	0	0	
0,10	0,000008	0,000018	0,000036	0,000071	0,000132	0,000236	
0,20	0,000016	0,000035	0,000072	0,000140	0,000258	0,000455	
0,40	0,000032	0,000070	0,000142	0,000273	0,000495	0,000846	
0,60	0,000049	0,000104	0,000211	0,000401	0,000714	0,001186	
1,00	0,000081	0,000172	0,000343	0,000640	0,001102	0,001746	
1,50	0,000120	0,000254	0,000500	0,000911	0,001862	0,002286	
2,00	0,000159	0,000334	0,000649	0,001156			
3,00	0,000236	0,000488	0,000924	0,001581			
4,00	0,000310	0,000634	0,001172	0,001939			
5,00	0,000383	0,000772	0,001396				
Після встановлення рівноваги	0,00143	0,00174	0,00208	0,00242	0,00277	0,00311	

Варіант 19.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$.
Початкові умови: $c(C_2H_5Br) = 0,0170$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст бромоводню $c(HBr)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм							
	415°C 0,960 атм	430°C 0,980 атм	445°C 1,001 атм	460°C 1,022 атм	475°C 1,043 атм	490°C 1,064 атм		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,000100	0,000225	0,000483	0,000988	0,001905	0,003371		
2	0,000200	0,000445	0,000939	0,001862	0,003384	0,005405		
3	0,000298	0,000659	0,001369	0,002633	0,00453	0,006633		
4	0,000394	0,000867	0,001775	0,003316	0,00542	0,007373		
6	0,000585	0,001266	0,002518	0,004451	0,006646			
8	0,000771	0,001645	0,003179	0,005338	0,007384			
10	0,000952	0,002003	0,003767	0,006030	0,007828			
12	0,001129	0,002344	0,004290	0,006571				
16	0,001471	0,002971	0,005170	0,007324				
20	0,001798	0,003535	0,005865	0,007782				
Після встановлення рівноваги	0,00823	0,00829	0,00834	0,00837	0,00840	0,00842		

Варіант 20.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NOCl}$
Початкові умови: $c(\text{NO}) = 0,0200$ моль/л і $c(\text{Cl}_2) = 0,0100$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст хлору $c(\text{Cl}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	110°C 0,943 атм	115°C 0,955 атм	120°C 0,968 атм	125°C 0,980 атм	130°C 0,992 атм	135°C 1,004 атм	
0	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	
0,5	0,00736	0,00725	0,00714	0,00704	0,00694	0,00683	
1	0,00609	0,00597	0,00585	0,00574	0,00563	0,00552	
2	0,00477	0,00466	0,00454	0,00444	0,00434	0,00424	
4	0,00359	0,00349	0,00339	0,00331	0,00322	0,00314	
8	0,00262	0,00254	0,00247	0,00240	0,00234	0,00227	
15	0,00194	0,00189	0,00183	0,00178	0,00173	0,00168	
30	0,00139	0,00135	0,00131	0,00127	0,00123		
45	0,00114	0,00110	0,00107				
60	0,00099	0,00096					
80	0,00086						
Після встановлення рівноваги	0,000737	0,000809	0,000885	0,000965	0,001049	0,001138	

Варіант 21.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{HI}_{(г)} \rightarrow \text{H}_{2(г)} + \text{I}_{2(г)}$.
Початкові умови: $c(\text{HI}) = 0,0200$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С							
	435	445	455	465	475	485		
0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0,000095	0,000147	0,000224	0,000337	0,000497	0,000718	0,000978	
7	0,000133	0,000205	0,000311	0,000465	0,000682	0,000978	0,001223	
9	0,000170	0,000262	0,000396	0,000590	0,000861	0,001223	0,001455	
11	0,000207	0,000318	0,000480	0,000712	0,001032	0,001455	0,001675	
13	0,000244	0,000374	0,000562	0,000831	0,001197	0,001675	0,001675	
15	0,000280	0,000429	0,000643	0,000947	0,001357			
30	0,000545	0,000823	0,001209	0,001730				
40	0,000713	0,001068	0,001549					
50	0,000876	0,001300						
60	0,001033	0,001520						
Після встановлення рівноваги	0,00186	0,00188	0,00190	0,00192	0,00193	0,00195		

Варіант 22.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{I}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{HI}_{(\text{r})}$.
Початкові умови: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,00600$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст водню $c(\text{H}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С									
	440	460	480	500	520	540				
0	0,00600	0,00600	0,00600	0,00600	0,00600	0,00600				
0,5	0,00588	0,00574	0,00548	0,00506	0,00442	0,00361				
1	0,00576	0,00550	0,00505	0,00438	0,00350	0,00258				
1,5	0,00564	0,00528	0,00468	0,00386	0,00290	0,00201				
2	0,00553	0,00507	0,00436	0,00344	0,00247					
3	0,00532	0,00471	0,00383	0,00284	0,00191					
4	0,00513	0,00439	0,00342	0,00241						
5	0,00495	0,00412	0,00309	0,00210						
6	0,00478	0,00387	0,00282	0,00186						
8	0,00447	0,00346	0,00240							
10	0,00421	0,00313	0,00208							
Після встановлення рівноваги	0,00112	0,00114	0,00117	0,00119	0,00120	0,00122				

Варіант 23.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваг реакції $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$.
Початкові умови: $c(\text{NO}_2) = 0,0220$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст кисню $c(\text{O}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм					
	310°C 1,052 атм	330°C 1,088 атм	350°C 1,124 атм	370°C 1,160 атм	390°C 1,196 атм	410°C 1,233 атм
0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,000012	0,000026	0,000054	0,000105	0,000196	0,000350
0,20	0,000024	0,000052	0,000107	0,000208	0,000382	0,000669
0,40	0,000048	0,000104	0,000211	0,000404	0,000727	0,001225
0,60	0,000072	0,000155	0,000312	0,000590	0,001039	0,001696
1,00	0,000120	0,000255	0,000506	0,000933	0,001582	0,002450
1,50	0,000179	0,000376	0,000734	0,001316	0,002142	
2,00	0,000236	0,000494	0,000947	0,001656	0,002602	
3,00	0,000349	0,000716	0,001334	0,002232		
4,00	0,000458	0,000925	0,001677	0,002702		
5,00	0,000564	0,001121	0,001983			
Після встановлення рівноваги	0,00165	0,00202	0,00242	0,00283	0,00324	0,00366

Варіант 24.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $C_2H_5Br \rightarrow C_2H_4 + HBr$.
Початкові умови: $c(C_2H_5Br) = 0,0170$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, хв.	Вміст бромоводню $c(HBr)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	390°C 0,925 атм	400°C 0,939 атм	410°C 0,953 атм	420°C 0,967 атм	430°C 0,981 атм	440°C 0,994 атм	
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,000236	0,000422	0,000732	0,001228	0,002011	0,003113	0,003113
20	0,000466	0,000822	0,001400	0,002278	0,003547	0,005085	0,005085
30	0,000690	0,001203	0,002011	0,003177	0,004719	0,006336	0,006336
40	0,000907	0,001565	0,002570	0,003946	0,005613	0,007128	0,007128
60	0,001323	0,002236	0,003547	0,005166	0,006818	0,007949	0,007949
80	0,001717	0,002842	0,004363	0,006060	0,007520		
100	0,002089	0,003390	0,005044	0,006714			
140	0,002773	0,004331	0,006089	0,007543			
180	0,003384	0,005098	0,006818				
220	0,003929	0,005725	0,007326				
Після встановлення рівноваги	0,00808	0,00815	0,00821	0,00826	0,00829	0,00834	0,00834

Варіант 25.

Експериментальні дані вивчення кінетики і рівноваги реакції $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NOCl}$
Початкові умови: $c(\text{NO}) = 0,0200$ моль/л і $c(\text{Cl}_2) = 0,0100$ моль/л при $\tau = 0$.

Час, с	Вміст хлору $c(\text{Cl}_2)$, моль/л, у вказаний момент часу при температурі, °С, і тиску, атм						
	140°C 1,017 атм	145°C 1,029 атм	150°C 1,041 атм	155°C 1,054 атм	160°C 1,066 атм	165°C 1,078 атм	
0	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	
10	0,00844	0,00838	0,00831	0,00824	0,00817	0,00811	
20	0,00744	0,00735	0,00726	0,00718	0,00709	0,00700	
40	0,00619	0,00609	0,00599	0,00589	0,00579	0,00570	
70	0,00511	0,00502	0,00492	0,00482	0,00473	0,00464	
120	0,00414	0,00405	0,00396	0,00388	0,00380	0,00371	
180	0,00348	0,00340	0,00332	0,00325	0,00318	0,00272	
240	0,00306	0,00299	0,00291	0,00285	0,00278	0,00225	
360	0,00254	0,00248	0,00241	0,00235	0,00230		
600	0,00199	0,00194	0,00190	0,00185			
900	0,00164	0,00160					
Після встановлення рівноваги	0,00123	0,00133	0,00143	0,00154	0,00165	0,00176	

6. ОСНОВНІ ТЕРМОДИНАМІЧНІ І КІНЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ РЕАКЦІЙ, ЩО ВИВЧАЮТЬСЯ У КУРСОВІЙ РОБОТІ

№	Реакція	Порядок	Параметри рівняння Арреніуса		Термодинамічні властивості	
			A	E_A , кДж/моль	ΔH^0_{298} , кДж	ΔS^0_{298} , Дж/К
1	$2\text{HI}_{(r)} \rightarrow \text{H}_{2(r)} + \text{I}_{2(r)}$	2	$9,2 \cdot 10^{10}$ л/(моль·с)	186,4	10,36	-21,4
2	$\text{H}_{2(r)} + \text{I}_{2(r)} \rightarrow 2\text{HI}_{(r)}$	2	$1,6 \cdot 10^{11}$ л/(моль·с)	165,5	-10,36	21,4
3	$2\text{NO}_{2(r)} \rightarrow 2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)}$	2	$9,4 \cdot 10^9$ л/(моль·с)	112,6	112,96	145,2
4	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}_{(r)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(r) + \text{HBr}_{(r)}$	1	$7,2 \cdot 10^{13}$ с ⁻¹	218	78,6	130,6
5	$2\text{NO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \rightarrow 2\text{NOCl}_{(r)}$	3	$4,6 \cdot 10^3$ л ² /(моль ² ·с)	15,5	-75,56	-116

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. О.М.Степаненко, Л.Г.Рейтер, В.М.Ледовських, С.В.Іванов, Загальна та неорганічна хімія. Київ: Педагогічна преса – 2002. – Ч.1. – 518 с.
2. В.В.Приседский, В.М.Виноградов, Д.И.Ожерельев, В.С.Семькин, Курс общей химии в примерах. Киев: ИСДО – 1995. – Ч.1. – 142 с.

ЗМІСТ

	Стор.
1. Завдання на курсову роботу.....	3
2. Рекомендований порядок виконання роботи.....	3
3. Додаткові вказівки до виконання роботи	4
3.1. Розрахунок концентрацій речовин в реакційній суміші.....	4
3.2. Розрахунок парціального тиску газів в реакційній суміші	7
3.3. Про визначення порядку реакції.....	8
3.4. Розрахунки термодинамічних параметрів реакції за температурною залежністю константи рівноваги.....	9
4. Приклад виконання курсової роботи.....	10
4.1. Розрахунок концентрацій продукту.....	12
4.2. Побудова кінетичних кривих.....	12
4.3. Визначення порядку реакції.....	15
4.4. Розрахунок констант швидкості і визначення параметрів рівняння Арреніуса.....	18
4.5. Розрахунок констант рівноваги.....	22
4.6. Визначення термодинамічних параметрів реакції.....	23
4.7. Висновки.....	26
5. Варіанти вихідних даних для курсової роботи.....	27
6. Основні термодинамічні і кінетичні параметри реакцій, що вивчаються у курсовій роботі.....	52
Рекомендована література.....	52

Учбове видання

**КУРСОВОЇ РОБОТИ ІЗ ЗАГАЛЬНОЇ ХІМІЇ
(ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ)**

Укладачі:

Приседський Вадим Вікторович, д.х.н., професор

Волкова Олена Іванівна, к.х.н., доцент

Мнускіна Ірина Валеріївна, к.х.н., доцент