

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РФ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве (ХИЭС)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ
ПО ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКЕ И ХИМИЧЕСКОМУ РАВНОВЕСИЮ

Методические указания по химии
для организации самостоятельной работы
студентов всех форм обучения

Казань
2016

УДК 541.13

ББК 22.0

Г 86

Г 86 Решение задач по химической кинетике и химическому равновесию: Методические указания по химии для организации самостоятельной работы студентов всех форм обучения / Сост. Н.С.Громаков. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016, 18с.

Методические указания составлены в соответствии с ГОС по дисциплине химия для нехимических специальностей вузов.

Даны методические рекомендации по решению задач, связанных с расчётом скорости различных химических реакций, влиянием на неё таких факторов, как концентрация реагентов, температура, наличие катализатора, а также условиями, влияющими на установление и смещение химического равновесия. Для самостоятельной работы предлагаются задачи, распределённые в пяти разделах.

Рецензент:

дхн, проф., зав. кафедрой неорганической химии ПФУ(КГУ) Улахович Н.А.

УДК 541.13

ББК 22.0

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2016.

© Громаков Н.С. 2016

Химическая кинетика и равновесие

В химии широко используются два основных метода исследования: термодинамический и кинетический. Если термодинамика отвечает на вопрос: «Почему происходят химические реакции и что является их движущей силой?», то кинетика – «Как проходит химическая реакция?».

Химическая кинетика – это учение о скорости, механизме и закономерностях протекания различных химических реакций во времени.

При изучении этой темы, наряду с работой по учебнику, лекционному материалу и результатам лабораторного практикума, большое значение придается решению задач. Скорость химических реакций является важнейшей количественной характеристикой и зависит от многих факторов, основными из которых, наряду с механизмом реакции, являются концентрация (давление) реагентов, температура и наличие катализатора.

Эти же факторы определяют и достижение в различных реакционных системах состояния химического равновесия.

Рассмотрим решение нескольких типовых задач на следующих примерах.

Пример 1. Во сколько раз изменится скорость прямой и обратной реакции в равновесной газовой системе: $2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{г})$, если объем газовой смеси уменьшить в три раза? В какую сторону сместится при этом равновесие в системе?

Решение. В соответствии с основным законом кинетики (законом действия масс ЗДМ) скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентрации реагирующих веществ, возведённых в некоторую степень. Этот показатель степени называется порядком скорости реакции по соответствующему компоненту или частным порядком. Его величина зависит от механизма протекания реакции. Поскольку в условии задачи не упоминается о механизме реакции, то следует считать, что она протекает по простому механизму, отражаемому уравнением химической реакции. В этом случае частные порядки совпадают со стехиометрическими коэффициентами перед соответствующими компонентами уравнения химической реакции. Обозначим исходные концентрации реагирующих веществ следующим образом: $[\text{SO}_2]_0 = a$, $[\text{O}_2]_0 = b$, $[\text{SO}_3]_0 = c$, тогда скорости прямой $V_{\text{пр}}$ и обратной $V_{\text{обр}}$ реакций до изменения объёма можно записать как:

$$V_{np} = Ka^2b \quad \text{и} \quad V_{обр} = K_1c^2.$$

После уменьшения объёма гомогенной системы в три раза концентрация каждого из веществ увеличивается в три раза, следовательно: $[SO_2]_1 = 3a$, $[O_2]_1 = 3b$; $[SO_3]_1 = 3c$. При новых концентрациях скорости прямой V'_{np} и обратной $V'_{обр}$ реакции составят, соответственно:

$$V'_{np} = K (3a)^2 (3b) = 27Ka^2b \quad \text{и} \quad V'_{обр} = K_1 (3c)^2 = 9K_1c^2.$$

Отсюда,

$$\frac{V'_{np}}{V_{np}} = \frac{27Ka^2b}{Ka^2b} = 27; \quad \frac{V'_{обр}}{V_{обр}} = \frac{9K_1c^2}{K_1c^2} = 9$$

Следовательно, скорость прямой реакции должна увеличиться в 27 раз, а обратной – в девять раз. При этом равновесие в системе должно сместиться вправо в сторону образования SO_3 .

Пример 2. Вычислите, во сколько раз изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры от 30 до 70°C, если температурный коэффициент реакции равен 2. Оцените энергию активации данной реакции.

Решение. Зависимость скорости химической реакции от температуры отражается эмпирическим правилом Вант-Гоффа по формуле

$$V_2 = V_1 \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Отсюда

$$V_2 = V_1 2^{\frac{70-30}{10}} = V_1 2^4 = 16 V_1$$

Следовательно, скорость реакции V_2 при 70°C будет превышать скорость этой же реакции V_1 при 30°C в 16 раз.

Для определения энергии активации реакции $E_{акт}$ следует воспользоваться уравнением Аррениуса:

$$K = Z \cdot e^{-\frac{E_{акт}}{RT}}$$

где K – константа скорости реакции, Z – предэкспоненциальный или частотный фактор, учитывающий частоту столкновений частиц, R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/моль К; T – температура, К.

При одинаковых концентрациях реагирующих веществ отношение скоростей данной реакции при температурах T_2 и T_1 будет равно в

соответствии с ЗДМ отношению констант скорости данной реакции при этих же температурах, соответственно, K_2 и K_1 :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K_2}{K_1}$$

С учётом уравнения Аррениуса:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{e^{-\frac{E_{акт}}{RT_2}}}{e^{-\frac{E_{акт}}{RT_1}}} = e^{-\frac{E_{акт}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

При логарифмировании получаем

$$\ln(V_2/V_1) = \ln(K_2/K_1) = -E_{акт} (1/T_2 - 1/T_1) / R.$$

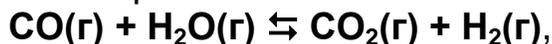
Следовательно,

$$E_{акт} = -\frac{R \ln(K_2 / K_1)}{1/T_2 - 1/T_1} = \frac{R \ln(K_2 / K_1) T_2 T_1}{T_2 - T_1}$$

Откуда

$$E_{акт} = -\frac{8,31 \ln 16}{1/343 - 1/303} = \frac{8,314 \cdot 2,7726 \cdot 343 \cdot 303}{343 - 303} = 59892,5 \text{ Дж / моль}$$

Пример 3. Константа равновесия в гомогенной системе:



при 850°C равна 1. Вычислите равновесные концентрации всех веществ, если исходные концентрации составляли: $[\text{CO}]_0 = 3$ моль/л, $[\text{H}_2\text{O}]_0 = 2$ моль/л.

Решение. В состоянии равновесия скорости прямой и обратной реакции равны, а отношение констант этих скоростей постоянно и называется константой равновесия данной системы:

$$V_{пр} = K_1[\text{CO}] [\text{H}_2\text{O}]; \quad V_{обр} = K_2[\text{CO}_2] [\text{H}_2];$$

При

$$V_{пр} = V_{обр}$$

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

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

Предположим, что к моменту установления равновесия образовалось x моль/л CO_2 . Тогда, согласно уравнению реакции, количество образовавшегося водорода также составит x моль/л. При этом столько

же молей CO и H₂O израсходуется. Следовательно, равновесные концентрации всех четырех веществ можно представить как:

$$[\text{CO}_2]_p = [\text{H}_2]_p = x \text{ моль/л}; [\text{CO}]_p = (3 - x) \text{ моль/л}; [\text{H}_2\text{O}]_p = (2 - x) \text{ моль/л}.$$

Зная величину константы равновесия, находим сначала значение x :

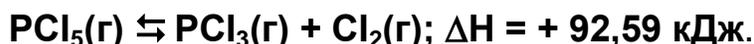
$$I = \frac{x^2}{(3-x)(2-x)}; \quad x^2 = 6 - 2x - 3x + x^2; \quad 5x = 6,$$

$$x = 1,2 \text{ моль/л}.$$

Затем исходные концентрации всех веществ:

$$\begin{aligned} [\text{CO}_2]_p &= [\text{H}_2]_p = 1,2 \text{ моль/л}; \\ [\text{CO}]_p &= 3 - 1,2 = 1,8 \text{ моль/л}; \\ [\text{H}_2\text{O}]_p &= 2 - 1,2 = 0,8 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Пример 4. Эндотермическая реакция разложения пентахлорида фосфора протекает по схеме:



Как следует изменить: а) температуру; б) давление; в) концентрацию веществ, чтобы сместить равновесие вправо, т.е. в сторону прямой реакции – разложения PCl₅?

Решение. Смещение или сдвиг химического равновесия – это изменение равновесных концентраций реагирующих веществ в результате изменения одного из условий реакции.

Направление, в котором сместится равновесие, определяется по принципу Ле Шателье:

если на систему, находящуюся в состоянии равновесия, оказано внешнее воздействие, то в результате протекающих в ней процессов равновесие сместится в таком направлении, что оказанное воздействие уменьшится.

а) Поскольку реакция разложения PCl₅ эндотермическая ($\Delta H > 0$), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции нужно повысить температуру.

б) Поскольку разложение PCl₅ сопровождается увеличением количества вещества (из одной молекулы газа образуются две газообразные молекулы), то для смещения равновесия вправо необходимо понизить давление.

в) Смещение равновесия в указанном направлении можно достигнуть как увеличением концентрации PCl₅, так и уменьшением концентрации PCl₃ или Cl₂.

Примеры задач для решения на занятии

1/. Через некоторое время после начала реакции $A + 3B \rightarrow C + 2D$ концентрации веществ составляли: $[A] = 0,8$; $[B] = 0,9$; $[C] = 0,2$ моль/л. Каковы исходные концентрации веществ А и В?

2/. Во сколько раз изменится скорость реакции: $2A + B \rightarrow A_2B$, если концентрацию вещества А увеличить в 3 раза, а концентрацию вещества В уменьшить в 2 раза?

3/. Реакция между веществами А и В выражается уравнением: $2A + B = A_2B$. Начальная концентрация вещества А равна 0.02, а вещества В – 0,008 моль/л. Константа скорости реакции при некоторой температуре равна 2,4. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции через некоторый промежуток времени, когда концентрация вещества A_2B составит 0,002 моль/л.

4/. Вычислите, во сколько раз уменьшится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, если повысить **температуру** от 27 до 47°C. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. Рассчитайте энергию активации данной реакции.

5/. В гомогенной газовой системе $A + 2B \rightleftharpoons 2C + D$ равновесие установилось при концентрациях: $[B] = 0,4$ и $[C] = 0,2$ моль/л. Константа равновесия системы равна 0,1. Вычислите исходные концентрации веществ А и В.

6/. При некоторой температуре константа равновесия в гомогенной системе: $CO_2(г) + H_2(г) \rightleftharpoons CO(г) + H_2O(г)$ равна 1. Вычислите равновесные концентрации всех реагирующих веществ, если исходные концентрации составляют: $[CO_2]_0 = 0,40$ моль/л; $[H_2]_0 = 0,20$ моль/л.

7/. В системе: $N_2(г) + 3H_2(г) \rightleftharpoons 2NH_3(г)$; $\Delta H^0 = -92,4$ кДж, находящейся в состоянии равновесия, концентрации участвующих веществ равны, соответственно: $[N_2]_p = 0,2$; $[H_2]_p = 0,7$ и $[NH_3]_p = 0,2$ моль/л.

Определить: а) исходные концентрации водорода и азота;

б) в каком направлении сместится равновесие, если уменьшить объём реакционного сосуда?

в) в каком направлении сместится равновесие при нагревании?

Задания для самостоятельной работы

Задание 1. Расчёт состава реакционной смеси

1.1. Реакция протекает по схеме: $2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{SO}_3(\text{г})$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно: $[\text{SO}_2] = 0,6$, а $[\text{O}_2] = 0,5$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда концентрация SO_3 составит 0,3 моль/л.

1.2. Через некоторое время после начала гомогенной реакции: $3\text{A} + \text{B} \rightarrow 2\text{C} + \text{D}$ концентрации составили: $[\text{A}] = 0,3$; $[\text{B}] = 0,01$; $[\text{C}] = 0,8$ моль/л. Каковы исходные концентрации веществ А и В?

1.3. Реакция идёт по схеме: $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$. Концентрации участвующих в ней веществ составляли: $[\text{N}_2] = 0,80$; $[\text{H}_2] = 1,5$; $[\text{NH}_3] = 0,10$ моль/л. Вычислите концентрацию водорода и аммиака в момент, когда концентрация азота уменьшится до 0,5 моль/л.

1.4. Через некоторое время после начала реакции: $2\text{N}_2\text{O}(\text{г}) = 2\text{N}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$ концентрации веществ составили: $[\text{N}_2\text{O}] = 0,8$; $[\text{O}_2] = 0,1$ моль/л. Какова исходная концентрация N_2O ?

1.5. Реакция протекает по схеме: $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно: $[\text{NO}] = 0,8$, а $[\text{O}_2] = 0,3$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда $[\text{NO}_2] = 0,2$ моль/л.

1.6. Через некоторое время после начала реакции: $4\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{Cl}_2(\text{г})$ концентрации (моль/л) веществ составляли: $[\text{HCl}] = 0,4$; $[\text{O}_2] = 0,7$; $[\text{Cl}_2] = 0,1$. Каковы исходные концентрации HCl и O_2 ?

1.7. Реакция протекает по схеме: $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно: $[\text{N}_2] = 0,049$, а $[\text{O}_2] = 0,01$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда $[\text{NO}] = 0,005$ моль/л.

1.8. Через некоторое время после начала реакции: $4\text{NH}_3(\text{г}) + 3\text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 6\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{N}_2(\text{г})$ концентрации (моль/л) веществ составляли: $[\text{NH}_3] = 0,7$; $[\text{O}_2] = 0,5$; $[\text{N}_2] = 0,2$. Каковы исходные концентрации NH_3 и O_2 ?

1.9. Реакция протекает по схеме: $2\text{CO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{CO}_2(\text{г})$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно:

$[\text{CO}] = 0,4$, а $[\text{O}_2] = 0,3$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда концентрация CO_2 составит $0,1$ моль/л.

1.10. Через некоторое время после начала реакции: $2\text{SO}_3(\text{г}) = 2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$ концентрации веществ составили: $[\text{SO}_3] = 0,8$; $[\text{O}_2] = 0,1$ моль/л. Какова исходная концентрация SO_3 ?

1.11. Реакция протекает по схеме: $2\text{SO}_3(\text{г}) = 2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$. Концентрация SO_3 до начала реакции составляла $0,8$ моль/л. Вычислите концентрацию всех веществ в момент, когда концентрация SO_2 составит $0,3$ моль/л.

1.12. Через некоторое время после начала реакции: $2\text{CO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) = \text{CH}_4(\text{г}) + \text{CO}_2$ концентрации (моль/л) веществ составляли: $[\text{CH}_4] = 0,7$; $[\text{CO}] = 0,5$; $[\text{H}_2] = 0,2$. Каковы исходные концентрации CO и H_2 ?

1.13. Реакция протекает по схеме: $2\text{CO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) = \text{CH}_4(\text{г}) + \text{CO}_2$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно: $[\text{CO}] = 0,8$, а $[\text{H}_2] = 0,9$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда концентрация CO_2 составит $0,2$ моль/л.

1.14. Через некоторое время после начала реакции: $2\text{NO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$ концентрации (моль/л) веществ составляли: $[\text{N}_2] = 0,7$; $[\text{NO}] = 0,5$; $[\text{H}_2] = 0,2$. Каковы исходные концентрации NO и H_2 ?

1.15. Реакция протекает по схеме: $4\text{A}(\text{г}) + \text{B}(\text{г}) = 2\text{C}(\text{г}) + 2\text{D}(\text{г})$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно: $[\text{A}] = 0,8$, а $[\text{B}] = 0,5$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда концентрация D составит $0,1$ моль/л.

1.16. Через некоторое время после начала гомогенной реакции: $2\text{A} + 2\text{B} \rightarrow 4\text{C} + \text{D}$ концентрации составили: $[\text{A}] = 0,03$; $[\text{B}] = 0,01$; $[\text{C}] = 0,008$ моль/л. Каковы исходные концентрации веществ A и B ?

1.17. Реакция протекает по схеме: $4\text{A}(\text{г}) + 3\text{B}(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{г}) + 6\text{D}(\text{г})$. Концентрации исходных веществ до начала реакции составляли, соответственно: $[\text{A}] = 0,8$, а $[\text{B}] = 0,3$ моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда $[\text{D}] = 0,2$ моль/л.

1.18. Через некоторое время после начала гомогенной реакции: $2\text{A} + 6\text{B} \rightarrow 4\text{C} + 3\text{D}$ концентрации веществ составили: $[\text{A}] = 0,3$; $[\text{B}] = 0,1$; $[\text{C}] = 0,2$ моль/л. Каковы исходные концентрации веществ A и B ?

Задание 2. Закон действия масс, влияние концентрации, константа скорости реакции

2.1. Реакция идёт по схеме: $2\text{NO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) = \text{N}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$. Константа скорости этой реакции равна 0,1. Исходные концентрации реагентов составляют: $[\text{NO}]_0 = 0,05$ и $[\text{H}_2]_0 = 0,04$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда $[\text{H}_2] = 0,03$ моль/л.

2.2. Константа скорости реакции, протекающей в соответствии со схемой: $2\text{HI}(\text{г}) = \text{H}_2(\text{г}) + \text{I}_2(\text{г})$, равна $5 \cdot 10^{-2}$. Начальная концентрация HI составляет 4,0 моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда разложится 20% HI.

2.3. Гомогенная реакция между веществами А и В выражается уравнением: $2\text{A} + \text{B} = \text{C}$. Начальная концентрация $[\text{A}]_0 = 0,8$, а $[\text{B}]_0 = 0,6$ моль/л. Константа скорости реакции равна 1,1. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции через некоторый промежуток времени, когда концентрация вещества А уменьшится на 0,3 моль.

2.4. Реакция идёт по уравнению $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$. Константа скорости этой реакции равна 0,16. Исходные концентрации (моль/л) реагирующих веществ составляют: $[\text{H}_2]_0 = 0,04$; $[\text{I}_2]_0 = 0,05$. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда $[\text{H}_2] = 0,03$ моль/л.

2.5. Гомогенная реакция идёт по схеме: $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NOCl}$. Константа скорости этой реакции равна 0,3. Исходные концентрации реагентов составляют: $[\text{NO}]_0 = 0,6$ и $[\text{Cl}_2]_0 = 0,4$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда $[\text{Cl}_2] = 0,2$ моль/л.

2.6. Гомогенная реакция выражается уравнением: $\text{A} + 2\text{B} = \text{C}$. Начальные концентрации составляют: $[\text{A}]_0 = 0,03$, $[\text{B}]_0 = 0,05$ моль/л. Константа скорости реакции равна 0,4. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции по истечении некоторого времени, когда концентрация вещества А уменьшится на 0,01 моль/л.

2.7. Константа скорости реакции, протекающей в соответствии со схемой: $2\text{N}_2\text{O}(\text{г}) = 2\text{N}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$, равна $5 \cdot 10^{-4}$. Начальная концентрация N_2O составляет 6,0 моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда разложится 50% N_2O .

2.8. Реакция идёт по схеме: $2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{SO}_3(\text{г})$. Константа скорости этой реакции равна 0,01. Исходные концентрации реагентов составляют: $[\text{SO}_2]_0 = 0,3$ и $[\text{O}_2]_0 = 0,2$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда $[\text{O}_2] = 0,04$ моль/л.

2.9. Гомогенная реакция идёт по схеме: $2A_2 + B_2 = 2A_2B$. Начальные концентрации составляют: $[A_2]_0 = 0,8$, $[B_2]_0 = 0,3$ моль/л. Константа скорости реакции равна 0,2. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции по истечении некоторого времени, когда концентрация вещества A_2 уменьшится на 0,3 моль/л.

2.10. Реакция идёт по схеме: $2NO_2(g) = 2NO(g) + O_2(g)$. Константа скорости реакции равна $2 \cdot 10^{-4}$. Начальная концентрация $[NO_2]_0 = 4,0$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда разложится 10% N_2O .

2.11. Реакция идёт по схеме: $2SO_2(g) + O_2(g) = 2SO_3(g)$. Константа скорости реакции равна 0,01. Исходные концентрации реагентов составляют: $[SO_2]_0 = 0,3$ и $[O_2]_0 = 0,2$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда $[O_2] = 0,04$ моль/л.

2.12. Гомогенная реакция выражается уравнением: $2A + B = 2C$. Начальные концентрации составляют: $[A]_0 = 0,7$ и $[B]_0 = 0,5$ моль/л. Константа скорости реакции равна $5 \cdot 10^{-4}$. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции по истечении некоторого времени, когда концентрация вещества C увеличится на 0,04 моль/л.

2.13. Константа скорости реакции, протекающей в соответствии со схемой: $2NO(g) + O_2(g) = 2NO_2(g)$, равна $2 \cdot 10^{-6}$. Начальная концентрация NO составляет 4,0 моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда разложится 25% NO .

2.14. Реакция идёт по схеме: $2CO(g) + 2H_2(g) = CH_4(g) + CO_2(g)$. Константа скорости реакции равна 0,001. Исходные концентрации реагентов составляют: $[CO]_0 = 0,6$ и $[H_2]_0 = 0,7$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда концентрация CH_4 увеличится на 0,03 моль/л.

2.15. Реакция идёт по схеме: $2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g)$. Константа скорости реакции равна $2 \cdot 10^{-4}$. Начальная концентрация $[CO]_0 = 4,0$ и $[O_2]_0 = 0,2$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда прореагирует 20% CO .

2.16. Гомогенная реакция выражается уравнением: $3A + B = 2C$. Начальные концентрации составляют: $[A]_0 = 0,7$ и $[B]_0 = 0,5$ моль/л. Константа скорости реакции равна $5 \cdot 10^{-4}$. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции по истечении некоторого времени, когда концентрация вещества C увеличится на 0,04 моль/л.

2.17. Константа скорости реакции, протекающей в соответствии со схемой: $2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 4\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$, равна $2 \cdot 10^{-5}$. Начальная концентрация $[\text{H}_2\text{O}]_0 = 4,0$ и $[\text{Cl}_2]_0 = 0,2$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда прореагирует 25% хлора.

2.18. Реакция идёт по схеме: $\text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г})$. Константа скорости реакции равна 0,001. Исходные концентрации реагентов составляют: $[\text{CO}]_0 = 0,6$ и $[\text{H}_2\text{O}]_0 = 0,7$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость, когда концентрация CO_2 увеличится на 0,03 моль/л.

Задание 3. Кинетика гетерогенных реакций

3.1. Как изменится скорость реакции: $\text{S}(\text{ж}) + \text{O}_2(\text{г}) = \text{SO}_2(\text{г})$, если объём реакционной системы уменьшить в четыре раза?

3.2. Как изменится скорость реакции: $\text{CaO}(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) = \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{к})$, если давление в реакционной системе увеличить в четыре раза?

3.3. Как изменится скорость реакции: $\text{CaCO}_3(\text{к}) = \text{CaO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$, если объём реакционной системы уменьшить в четыре раза?

3.4. Как изменится скорость реакции: $\text{NH}_3(\text{г}) + \text{HCl}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}(\text{к})$, если объём реакционной системы уменьшить в два раза?

3.5. Как изменится скорость реакции: $\text{SiO}_2(\text{к}) + 4\text{HF}(\text{г}) = \text{SiF}_4(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$, если давление в реакционной системе увеличить в три раза?

3.6. Как изменится скорость реакции: $\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + \text{SO}_2(\text{г}) = 2\text{S}(\text{к}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$, если объём реакционной системы уменьшить в четыре раза?

3.7. Как изменится скорость реакции: $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{к}) = \text{N}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$, если объём реакционной системы уменьшить в два раза?

3.8. Как изменится скорость реакции: $\text{PbO}(\text{к}) + \text{CO}(\text{г}) = \text{Pb}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$, если давление в реакционной системе увеличить в четыре раза?

3.9. Как изменится скорость реакции: $2\text{Mg}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г}) = 2\text{MgO}(\text{к}) + \text{C}(\text{графит})$, если давление в реакционной системе уменьшить в три раза?

3.10. Как изменится скорость реакции: $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{C}(\text{графит}) = 2\text{Fe}(\text{ж}) + 3\text{CO}_2(\text{г})$, если давление в реакционной системе увеличить в два раза?

3.11. Как изменится скорость реакции: $\text{C}(\text{графит}) + 2\text{H}_2(\text{г}) = \text{CH}_4(\text{г})$, если давление в реакционной системе увеличить в два раза?

3.12. Как изменится скорость реакции: $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{к}) = \text{N}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$, если объём реакционной системы уменьшить в два раза?

3.13. Как изменится скорость реакции: $\text{C}(\text{графит}) + 2\text{N}_2\text{O}(\text{г}) = \text{CO}_2(\text{г}) + 2\text{N}_2(\text{г})$, если давление в реакционной системе уменьшить в три раза?

3.14. Как изменится скорость реакции: $2\text{HI}(\text{г}) + \text{S}(\text{к}) = \text{I}_2(\text{к}) + \text{H}_2\text{S}(\text{г})$, если объём реакционной системы увеличить в два раза?

3.15. Как изменится скорость реакции: $\text{TiO}_2(\text{к}) + 2\text{C}(\text{графит}) = \text{Ti}(\text{к}) + 2\text{CO}(\text{г})$, если давление в реакционной системе увеличить в три раза?

3.16. Как изменится скорость реакции: $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{H}_2(\text{г}) = 2\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{г})$, если объём реакционной системы уменьшить в два раза?

3.17. Как изменится скорость реакции: $\text{FeO}(\text{к}) + \text{CO}(\text{г}) = \text{Fe}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$, если давление в реакционной системе уменьшить в три раза?

3.18. Как изменится скорость реакции: $\text{MgO}(\text{к}) + \text{H}_2(\text{г}) = \text{Mg}(\text{ж}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$, если объём реакционной системы увеличить в два раза?

Задание 4. Влияние температуры, температурный коэффициент, энергия активации.

4.1. Найдите температурный коэффициент скорости некоторой реакции, если константа её скорости при 413К равна $5,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, а при 458К – $9,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Рассчитайте энергию активации данной реакции.

4.2. Определите температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 45°C реакция замедляется в 25 раз. Рассчитайте энергию активации данной реакции.

4.3. Константы скорости некоторой реакции при 273 и 298К равны, соответственно, 1,17 и $6,56 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$. Найдите температурный коэффициент скорости этой реакции. Рассчитайте энергию активации данной реакции.

4.4. При 20°C константа скорости некоторой реакции равна 10^{-4} мин^{-1} , а при 50°C – $8 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции и её энергия активации?

4.5. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры от 47 до 77°C скорость реакции возрастает в 15,6 раза? Рассчитайте энергию активации данной реакции.

- 4.6.** Как изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры от 20 до 60°C, если температурный коэффициент скорости данной реакции равен 2? Рассчитайте энергию активации данной реакции.
- 4.7.** Вычислите, во сколько раз уменьшится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, если понизить температуру от 117 до 77°C. Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. Рассчитайте энергию активации данной реакции.
- 4.8.** Температурный коэффициент скорости некоторой реакции равен 2,3. Во сколько раз увеличится скорость этой реакции, если повысить температуру от 27 до 57°C? Рассчитайте энергию активации данной реакции.
- 4.9.** Константы скорости некоторой реакции при 273 и 298K равны, соответственно, 1,17 и 6,56 л·моль⁻¹мин⁻¹. Найдите температурный коэффициент скорости этой реакции и её энергию активации.
- 4.10.** Чему равна энергия активации реакции, если при повышении температуры от 290 до 300K скорость её увеличится в 2 раза? Рассчитайте температурный коэффициент скорости данной реакции.
- 4.11.** Каково значение энергии активации реакции, скорость которой при 300K в 10 раз больше, чем при 280K? Рассчитайте температурный коэффициент скорости данной реакции.
- 4.12.** Энергия активации газовой реакции: $O_3 + NO \rightarrow O_2 + NO_2$ составляет 10 кДж/моль. Во сколько раз изменится скорость реакции при повышении температуры от 27 до 37°C? Рассчитайте температурный коэффициент скорости данной реакции.
- 4.13.** Во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей при 298K, если её энергию активации уменьшить на 4 кДж/моль?
- 4.14.** Энергия активации реакции: $2HI(g) = H_2(g) + J_2(g)$ составляет 186,4 кДж/моль. Рассчитайте константу скорости этой реакции при 700 K, если константа $K_{456K} = 0,942 \cdot 10^{-6}$ л·моль⁻¹ мин⁻¹.
- 4.15.** Константы скорости реакции первого порядка при 283 и 293K равны, соответственно, 2,5 и 4,23 л·моль⁻¹мин⁻¹. Рассчитайте энергию активации этой реакции и её температурный коэффициент.
- 4.16.** Рассчитайте температурный коэффициент скорости и энергию активации химической реакции, если константа скорости её при 273 и 280 K равны, соответственно, $4,04 \cdot 10^{-5}$ и $7,72 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹.

4.17. Найдите температурный коэффициент скорости некоторой реакции и её энергию активации, если константа её скорости при 413 К равна $5,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, а при 458 К – $9,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

4.18. Определите температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 45°C реакция замедляется в 25 раз. Рассчитайте энергию активации данной реакции.

Задание 5. Равновесие, сдвиг равновесия, константа равновесия

5.1. В газовой системе $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$ равновесные концентрации (моль/л) реагирующих веществ составляли: $[\text{CO}] = 0,2$; $[\text{Cl}_2] = 0,3$; $[\text{COCl}_2] = 1,2$. Вычислите константу равновесия в системе и исходные концентрации хлора и CO.

5.2. В гомогенной системе: $\text{A} + 2\text{B} \rightleftharpoons \text{C}$, равновесные концентрации (моль/л) реагирующих газов составляли: $[\text{A}] = 0,06$; $[\text{B}] = 0,12$; $[\text{C}] = 0,216$. Вычислите константу равновесия системы и исходные концентрации веществ A и B.

5.3. В гомогенной газовой системе $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ равновесие установилось при концентрациях (моль/л): $[\text{B}] = 0,05$ и $[\text{C}] = 0,02$. Константа равновесия системы равна 0,04. Вычислите исходные концентрации веществ A и B.

5.4. В гомогенной системе $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NOCl}$ исходные концентрации $[\text{NO}]_0$ и $[\text{Cl}_2]_0$ составляют, соответственно, 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20% NO.

5.5. Равновесие в системе $4\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{Cl}_2(\text{г})$ установилось при следующих концентрациях (моль/л) реагирующих веществ: $[\text{H}_2\text{O}]_p = [\text{Cl}_2]_p = 0,14$; $[\text{HCl}]_p = 0,20$; $[\text{O}_2]_p = 0,32$. Вычислите константу равновесия и исходные концентрации хлороводорода и кислорода.

5.6. Вычислите константу равновесия в гомогенной системе: $\text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г})$, если равновесные концентрации (моль/л) реагирующих веществ составляют: $[\text{CO}]_p = 0,004$; $[\text{H}_2\text{O}]_p = 0,064$; $[\text{CO}_2]_p = 0,016$; $[\text{H}_2]_p = 0,016$. Чему равны исходные концентрации воды и CO?

5.7. При некоторой температуре константа равновесия в гомогенной системе: $\text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г})$ равна 1. Вычислите равновес-

ные концентрации всех реагирующих веществ, если исходные концентрации (моль/л) составляют: $[\text{CO}]_0 = 0,10$; $[\text{H}_2\text{O}]_0 = 0,40$.

5.8. При некоторой температуре константа равновесия в гомогенной системе $\text{N}_2(\text{г}) + 3\text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{г})$ равна 0,1. Равновесные концентрации водорода и аммиака равны, соответственно, 0,2 и 0,08 моль/л. Вычислите равновесную и исходную концентрации азота.

5.9. При некоторой температуре равновесие в гомогенной системе $2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{г})$ установилось при следующих концентрациях (моль/л) реагирующих веществ: $[\text{NO}]_p = 0,2$; $[\text{O}_2]_p = 0,1$; $[\text{NO}_2]_p = 0,1$. Вычислите константу равновесия и исходные концентрации NO и O₂.

5.10. Реакция $\text{CO}(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{г})$ протекает в закрытом сосуде при постоянной температуре; исходные вещества взяты в эквивалентных количествах. К моменту наступления равновесия остаётся 50% начального количества CO. Определить константу равновесия и давление равновесной газовой смеси, если первоначальное давление равнялось 750 мм рт.ст.

5.11. В закрытом сосуде при некоторой температуре установилось равновесие: $\text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$. Константа равновесия равна единице. Определить сколько процентов CO₂ подвергнется превращению в CO, если смешать 1 моль CO₂ и 5 молей H₂?

5.12. В закрытом сосуде при некоторой температуре установилось равновесие: $\text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$. Константа равновесия равна единице. Определить в каких объёмных соотношениях были смешаны CO₂ и H₂, если к моменту наступления равновесия в реакцию вступило 90% первоначального количества водорода?

5.13. Равновесие в системе: $2\text{CO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г})$ установилось при следующих концентрациях (моль/л) участвующих в ней веществ: $[\text{CO}] = 2$, $[\text{H}_2] = 5$, $[\text{CH}_4] = 1$. Определите константу равновесия и исходные концентрации водорода и азота.

5.14. Равновесие в системе: $\text{H}_2(\text{г}) + \text{J}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{HJ}(\text{г})$ установилось при следующих концентрациях (моль/л) участвующих в ней веществ: $[\text{H}_2] = 0,25$; $[\text{J}_2] = 0,05$, $[\text{HJ}] = 0,9$. Определите константу равновесия и начальные концентрации иода и водорода.

5.15. Равновесие в системе: $\text{N}_2(\text{г}) + 3\text{H}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{г})$ установилось при следующих концентрациях (моль/л) участвующих в ней веществ:

$[N_2]= 2$, $[H_2]= 5$, $[NH_3]= 1$. Определите константу равновесия и исходные концентрации водорода и азота.

5.16. При нагревании диоксида азота до некоторой температуры равновесие в газовой реакционной системе: $2NO_2 \rightleftharpoons 2NO + O_2$ установилось при следующих концентрациях (моль/л): $[NO_2]= 0,06$, $[NO]= 0,24$, $[O_2]= 0,12$. Найдите константу равновесия при этой температуре и исходную концентрацию диоксида азота.

5.17. Реакция $CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$ протекает в закрытом сосуде при постоянной температуре; исходные вещества взяты в эквивалентных количествах. К моменту наступления равновесия остаётся 25% начального количества CO. Определите константу равновесия и давление равновесной газовой смеси, если первоначальное давление составляло 100 кПа.

5.18. В закрытом сосуде при некоторой температуре установилось равновесие: $2CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + CO_2(g)$. Константа равновесия равна единице. Определить сколько процентов CO подвергнется превращению в CO_2 , если смешать 1 моль CO и 3 молей H_2 ?

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ
ПО ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКЕ И ХИМИЧЕСКОМУ РАВНОВЕСИЮ**

Методические указания
к лабораторной работе по химии
для студентов дневного и заочного
обучения

Составитель: Громаков Николай Семенович

Редактор Г.А.Рябенкова

Редакционно-издательский отдел
Казанская государственная архитектурно-строительная академия
Лицензия ЛР N 020379 от 22.01.92 г.

Подписано в печать		Формат 60 × 84/16
Заказ	Бумага тип N2	Усл.-печ.л. 2.0
Тираж	Печать офсетная	Учетн.-изд.л. 2.0

Печатно-множительный отдел КазГАСА
Лицензия N 03/380 от 16.10.95 г.
420043, Казань, Зелёная, 1