

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра химии

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О. Г. Локтионова

2013 г.



ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Методические указания по дисциплине "Химия"
для студентов нехимических специальностей

Курск 2013

УДК 546

Составитель: И.В.Савенкова

Рецензент

Доктор химических наук, профессор Ф.Ф.Ниязи

Химическое равновесие: Методические указания по дисциплине "Химия" для студентов нехимических специальностей / Юго-Зап. гос. ун-т; Сост.: И.В.Савенкова. Курск, 2013. 14с.

Излагаются методические рекомендации для самостоятельной работы по данной теме. Рассматриваются условия возникновения химического равновесия, способы смещения химического равновесия в ту или иную сторону; приводятся варианты индивидуальных заданий для контроля усвоения темы.

Предназначены для студентов технических специальностей.

Библиограф.: 4

Текст печатается в авторской рецензии

Подписано в печать Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.

Юго–Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

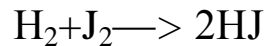
1. Какие химические процессы называются необратимыми? Обратимыми? Приведите примеры практически необратимых и обратимых процессов.
2. Какое состояние системы называют "химическим равновесием"?
3. Какие факторы влияют на состояние химического равновесия?
4. Что является термодинамическим условием химического равновесия?
5. Что показывает и от каких факторов зависит константа химического равновесия?
6. Как записывается выражение для константы равновесия в гомогенных и гетерогенных системах?
7. Что называется смещением химического равновесия? Какие факторы влияют на смещение химического равновесия?
8. В чем заключается принцип Ле Шателье? Как он применяется для прогнозирования направления смещения химического равновесия при изменении внешних условий?
9. Какая существует взаимосвязь между исходными и равновесными концентрациями реагентов и продуктов реакции?
10. Подготовка к выполнению лабораторной работы "Химическое равновесие"
("Лабораторные работы по химии" под ред. Н.В. Коровина лаб.раб.7 опыт 2).

Библиографический список

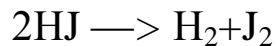
1. Коровин Н.В. Общая химия. М.: Высш. шк., 2007 г.
2. Задачи и упражнения по общей химии/ Под ред. Н.В. Коровина. М.: Высш. шк., 2004 г.
3. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии. М.: Интеграл-прес, 2002 г.
4. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. М.: Высш. шк., 2006 г.

Многие химические реакции при одних и тех же условиях могут протекать одновременно в двух противоположных направлениях. Такие процессы называются *обратимыми*.

Примером обратимой реакции может служить взаимодействие водорода с йодом. Если при комнатной температуре в закрытом сосуде смешать газообразный водород с парами йода, то вскоре можно обнаружить йодоводород, образующийся по реакции:



С другой стороны, если в закрытый сосуд поместить газообразный йодоводород, то через некоторое время в нем можно обнаружить фиолетовые пары йода. Это свидетельствует о разложении йодоводорода:



Обратимый характер реакции обозначается стрелками, направленными в обе стороны;

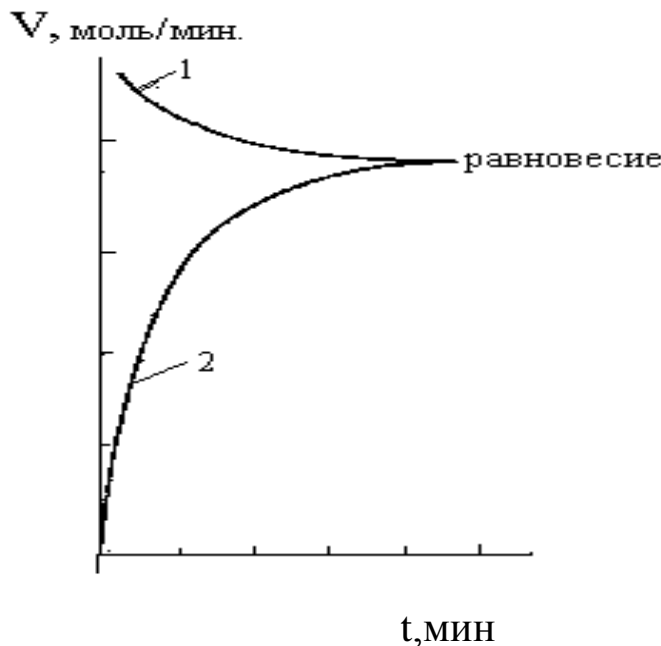
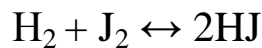


Рис.1 Двухстороннее приближение к равновесию системы $\text{H}_2 - \text{J}_2 - \text{HI}$ (1—образование HI; 2—разложение HI)

Взаимодействие водорода с парами йода вначале идет со сравнительно большой скоростью ($V_{\text{пр}}$) в сторону образования HI (рис.1 кривая 1):

$$V_{\text{пр}} = k_{\text{пр}}[\text{H}_2][\text{J}_2]$$

По мере накопления HJ все с большей скоростью ($V_{\text{обр}}$) начинает протекать обратный процесс — разложение HJ (рис.1 кривая2):

$$V_{\text{обр}} = k_{\text{обр}}[\text{HJ}]^2$$

В момент времени, отвечающий слиянию скоростей прямой и обратной реакций, эти скорости становятся одинаковыми:

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{обр}}, \text{ отсюда } k_{\text{пр}}[\text{H}_2][\text{J}_2] = k_{\text{обр}}[\text{HJ}]^2$$

Иными словами, наступит химическое равновесие.

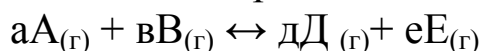
Химическим равновесием называется состояние системы, при котором скорость образования продуктов реакции (скорость прямой реакции) равна скорости их превращения в исходные реагенты (скорость обратной реакции). Таким образом, химическое равновесие— это *равновесие динамическое*, при котором происходит непрерывное образование и разложение молекул. Концентрации реагентов при установившемся равновесии называются *равновесными* и обозначают [].

На основании равенства скоростей прямой и обратной реакций при равновесии можно написать:

$$K_c = k_{\text{пр}}/k_{\text{обр}} = [\text{HJ}]^2 / [\text{H}_2][\text{J}_2]$$

На практике чаще всего константу равновесия вычисляют из экспериментально найденных равновесных концентраций. При этом в числителе записывают произведение равновесных концентраций продуктов реакции, а в знаменателе — произведение равновесных концентраций исходных реагентов. Показатели степеней равны соответствующим стехиометрическим коэффициентам.

В общем случае для гомогенной реакции вида



константа равновесия выражается равенством

$$K_c = [\text{D}]^d [\text{E}]^e / [\text{A}]^a [\text{B}]^b. \quad (1)$$

Связь между исходными и равновесными концентрациями реагентов и продуктов реакции показана в таблице 1.

Примечание: для реагентов: $[\text{A}] = C_{\text{A}} - \Delta C_{\text{A}}$;

для продуктов: $[\text{D}] = C_{\text{D}} + \Delta C_{\text{D}}$.

$\Delta C_{\text{A}} : \Delta C_{\text{B}} : \Delta C_{\text{D}} : \Delta C_{\text{E}} = a : b : d : e$ (где a, b, d, e — количество молей веществ $\text{A}, \text{B}, \text{D}, \text{E}$, участвующих в реакции).

Если в условии задачи не указаны исходные концентрации продуктов реакции, то они принимаются равными нулю.

Таблица 1

Исходная концентрация реагентов	C_A	C_B	C_D	C_E	Исходная концентрация продуктов
(-) Израсходованная концентрация	ΔC_A	ΔC_B	ΔC_D	ΔC_E	(+) образовавшаяся концентрация
Равновесная концентрация реагентов	[A]	[B]	[D]	[E]	Равновесная концентрация продуктов

ПРИМЕР 1: В системе $A_{(г)} + 2B_{(г)} = D_{(г)}$ равновесные концентрации равны: $[A] = 0,06$ моль/л, $[B] = 0,12$ моль/л, $[D] = 0,216$ моль/л. Найти константу равновесия реакции и исходные концентрации веществ А и В.

РЕШЕНИЕ: Константа равновесия данной реакции выражается уравнением:

$$K_c = [D] / [A] [B]^2.$$

Подставляя в него данные задачи, получаем:

$$K_c = 0,216 / 0,06 (0,12)^2 = 2,5.$$

Для нахождения исходной концентрации вещества А учтем, что, согласно уравнению реакции, из 1 моля А образуется 1 моль Д. Поскольку по условию задачи в каждом литре системы образовалось 0,216 моля вещества Д, то при этом было израсходовано 0,216 моля А. Таким образом, исходная концентрация вещества А равна:

$$C_A = [A] + \Delta C_A = 0,06 + 0,216 = 0,276 \text{ моль/л};$$

Для нахождения исходной концентрации веществ В, учтем, что согласно уравнению реакции, из 2 молей В образуется 1 моль Д. Поскольку по условию задачи в каждом литре системы образовалось 0,216 моля вещества Д, то при этом было израсходовано $0,216 \cdot 2 = 0,432$ моля В. Таким образом, исходная концентрация вещества В равна:

$$C_B = [B] + \Delta C_B = 0,12 + 0,432 = 0,552 \text{ моль/л}.$$

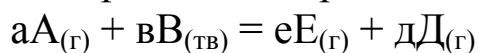
ОТВЕТ: $C_A = 0,276$ моль/л, $C_B = 0,552$ моль/л, $K_c = 2,5$.

Для реакций, протекающих между газообразными веществами, часто применяется выражение константы равновесия через парциальные давления

$$K_p = p_D^d p_E^e / p_A^a p_B^b \quad (2)$$

В выражение константы равновесия гетерогенной реакции, как и в выражение закона действующих масс, входят только концентрации веществ, находящихся в жидкой или газообразной фазе, так как концентрации твердых веществ остаются постоянными. Площадь поверхности также не влияет на значение константы равновесия в гетерогенном процессе, потому что и прямая, и обратная реакции протекают на одной площади поверхности.

В общем случае для гетерогенного процесса



константа равновесия выражается равенством

$$K_c = [E]^e [D]^d / [A]^a \quad (3)$$

Численное значение константы равновесия обычно изменяется с изменением температуры. Это происходит потому, что скорости прямой и обратной реакций изменяются с температурой по-разному. При постоянной температуре значения констант равновесия не зависят ни от давления, ни от объема, ни от концентраций реагентов или продуктов реакции.

Катализатор лишь ускоряет достижение равновесия, но также не влияет на значение константы равновесия.

Константа равновесия – важнейшая характеристика химического взаимодействия, по величине которой можно судить о полноте протекания реакции. Из уравнения (1) следует, что чем больше константа химического равновесия, тем больше равновесные концентрации продуктов реакции, т.е. больше *глубина* превращения. При константе равновесия $K_c \approx 1$ реакция оказывается типично обратимой, то есть в состоянии равновесия концентрации исходных веществ и продуктов реакции сравнимы по величине. Если $K_c \rightarrow \infty$, то реакция практически необратима. Если $K_c \rightarrow 0$, то прямая реакция практически не идет.

При неизменных внешних условиях состояние (положение) равновесия сохраняется сколь угодно долго. Изменения температуры, концентрации реагентов (а для газообразных систем иногда давления) приводят к нарушению равенства скоростей прямой и обрат-

ной реакций, а, следовательно, и к нарушению равновесия. Однако, через некоторое время при новых условиях равенство скоростей реакций снова восстанавливается. Однако равновесные концентрации реагентов в новых условиях другие. Переход системы из одного равновесного состояния к другому называется *смещением* или *сдвигом равновесия*.

Характер смещения химического равновесия под влиянием внешних воздействий можно прогнозировать, применяя **принцип Ле Шателье**:

Если на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, оказать какое-либо воздействие, то в системе усилятся те процессы, которые стремятся свести это воздействие к минимуму.

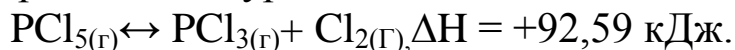
1. Повышение температуры приводит к смещению химического равновесия в направлении реакции, сопровождающейся поглощением теплоты, т.е. в сторону эндотермической реакции;

2. Повышение давления вызывает смещение химического равновесия в направлении уменьшения общего числа молей газообразных веществ, т.е. в направлении, приводящем к понижению давления;

3. Удаление из системы одного из продуктов реакции ведет к смещению равновесия в сторону прямой реакции;

4. Уменьшение концентрации одного из исходных веществ приводит к сдвигу химического равновесия в направлении обратной реакции.

ПРИМЕР 2: Эндотермическая реакция разложения пентахлорида фосфора протекает по уравнению



Как надо изменить: а) температуру; б) давление; в) концентрацию, чтобы сместить химическое равновесие в сторону прямой реакции – разложения PCl_5 ?

РЕШЕНИЕ: Направление, в котором смещается химическое равновесие, определяется по принципу Ле Шателье (см. выше): А) так как реакция разложения PCl_5 эндотермическая, т.е. протекает с поглощением тепла ($\Delta H > 0$), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции нужно повысить температуру;

Б) так как в данной системе разложение PCl_5 ведет к увеличению числа молей газообразных веществ (из одного моля газа образуются два моля газообразных веществ), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции надо уменьшить давление;

В) чтобы сместить равновесие в сторону прямой реакции (при T и $P = \text{const}$), можно увеличить концентрацию PCl_5 или уменьшить концентрацию PCl_3 или Cl_2 .

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1

Изменением каких факторов (P , C , T) можно сместить химическое равновесие системы (1) вправо, а системы (2) – влево?

1. (А) $2\text{NO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_{4(\text{г})}$, $\Delta H = -57 \text{ кДж}$;
 $\text{Mn}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{Mn}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$
2. (Б) $\text{FeO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{Fe}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = -13,2 \text{ кДж}$;
 $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{C}_{(\text{тв})} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(\text{г})}$
3. (В) $\text{C}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{п})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = 130 \text{ кДж}$;
 $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{HI}_{(\text{г})}$
4. (Г) $2\text{CO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = -569 \text{ кДж}$;
 $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{S}_{(\text{кр})} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}$
5. (Д) $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{NH}_{3(\text{г})}$, $\Delta H = -92 \text{ кДж}$;
 $3\text{Fe}_{(\text{тв})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})} \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 4\text{H}_{2(\text{г})}$
6. (Е) $\text{PCl}_{5(\text{г})} \leftrightarrow \text{PCl}_{3(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = 92,59 \text{ кДж}$;
 $4\text{H}_{2(\text{г})} + \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} \leftrightarrow 3\text{Fe}_{(\text{тв})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})}$
7. (Ж) $\text{COCl}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = 113 \text{ кДж}$;
 $\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 4\text{CO}_{(\text{г})} \leftrightarrow 3\text{Fe}_{(\text{тв})} + 4\text{CO}_{2(\text{г})}$

8. (З) $2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})}$, $\Delta H = -572 \text{ кДж}$;
 $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{Fe}_{(\text{тв})} \leftrightarrow \text{FeO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{(\text{г})}$
9. (И) $\text{PCl}_{5(\text{кр})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{п})} \leftrightarrow \text{POCl}_{3(\text{ж})} + 2\text{HCl}_{(\text{г})}$, $\Delta H = -111 \text{ кДж}$;
 $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{Br}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{HBr}_{(\text{г})}$
10. (К) $\text{PCl}_{3(\text{ж})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{PCl}_{5(\text{тв})}$, $\Delta H = -127 \text{ кДж}$;
 $3\text{Fe}_{(\text{тв})} + 4\text{CO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 4\text{CO}_{(\text{г})} + \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})}$
11. (Л) $2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{SO}_{3(\text{г})}$, $\Delta H = 123 \text{ кДж}$;
 $\text{Mn}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{MnO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{(\text{г})}$
12. (М) $4\text{HCl}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})} + 2\text{Cl}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = -114 \text{ кДж}$;
 $\text{N}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{NO}_{(\text{г})}$
13. (Н) $\text{CaCO}_{3(\text{кр})} \leftrightarrow \text{CaO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{тв})}$, $\Delta H = 176 \text{ кДж}$;
 $\text{FeSO}_{4(\text{кр})} + \text{CO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{FeCO}_{3(\text{кр})} + \text{SO}_{3(\text{г})}$
14. (О) $\text{Na}_2\text{O}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \leftrightarrow 2\text{NaOH}_{(\text{кр})}$, $\Delta H = -854 \text{ кДж}$;
 $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + 3\text{H}_2(\text{г}) \leftrightarrow 2\text{Al}_{(\text{тв})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})}$
15. (П) $\text{C}_{(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{п})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = 130 \text{ кДж}$;
 $3\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2(\text{г}) \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{п})}$
16. (Р) $2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{п})}$, $\Delta H = -572 \text{ кДж}$;
 $\text{N}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{NO}_{(\text{г})}$
17. (С) $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{NH}_{3(\text{г})}$, $\Delta H = -92 \text{ кДж}$;
 $\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{тв})} + 4\text{CO}_{(\text{г})} \leftrightarrow 3\text{Fe}_{(\text{тв})} + 4\text{CO}_{2(\text{г})}$
18. (Т) $\text{COCl}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$, $\Delta H = 113 \text{ кДж}$;
 $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{S}_{(\text{кр})} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}$
19. (У) $\text{PCl}_{5(\text{кр})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{п})} \leftrightarrow \text{POCl}_{3(\text{ж})} + 2\text{HCl}_{(\text{г})}$, $\Delta H = -111 \text{ кДж}$;
 $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{HI}_{(\text{г})}$
20. (Ф) $2\text{NO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_{4(\text{г})}$, $\Delta H = -57 \text{ кДж}$;
 $\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{Fe}_{(\text{тв})} \leftrightarrow \text{FeO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{(\text{г})}$

ПРИМЕЧАНИЕ: Влияние температурного фактора на равновесие рассматривать в системах, в которых указан тепловой эффект.

Задание 2

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

Ответ: $K=2,5$; $C_A = 0,276$ моль/л; $C_B = 0,552$ моль/л.

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

Ответ: $C_A = 0,22$ моль/л; $C_B = 0,07$ моль/л.

3. (В) Равновесие гомогенной системы $4HCl (г) + O_2 \leftrightarrow 2 H_2O (г) + 2Cl_2 (г)$ установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ: $[H_2O] = 0,14$ моль/л; $[Cl_2] = 0,14$ моль/л; $[HCl] = 0,20$ моль/л; $[O_2] = 0,32$ моль/л. Вычислите исходные концентрации хлороводорода и кислорода. *Ответ:* $C_{HCl} = 0,48$ моль/л; $C_{O_2} = 0,39$ моль/л.

4. (Г) Вычислите константу равновесия для гомогенной системы $CO(г) + H_2O (г) \leftrightarrow CO_2(г) + H_2 (г)$ если равновесные концентрации реагирующих веществ: $[CO] = 0,004$ моль/л; $[H_2O] = 0,064$ моль/л; $[CO_2] = 0,016$ моль/л; $[H_2] = 0,016$ моль/л. Рассчитайте исходные концентрации воды и СО? *Ответ:* $K = 1$; $C_{H_2O} = 0,08$ моль/л; $C_{CO} = 0,02$ моль/л.

5. (Д) Константа равновесия гомогенной системы $CO(г) + H_2O(г) \leftrightarrow CO_2 + H_2 (г)$ при некоторой температуре равна 1. Вычислите равновесные концентрации всех реагирующих веществ, если исходные концентрации: $C_{CO} = 0,10$ моль/л; $C_{H_2O} = 0,40$ моль/л. *Ответ:* $[CO_2] = [H_2] = 0,08$ моль/л; $[CO] = 0,02$ моль/л; $[H_2O] = 0,32$ моль/л.

6. (Е) Константа равновесия гомогенной системы $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ при некоторой температуре равна 0,1. Равновесные concentra-

ции водорода и аммиака соответственно равны 0,2 и 0,08 моль/л. Вычислите равновесную и исходную концентрацию азота. *Ответ:* $[N_2] = 8$ моль/л; $C_{N_2} = 8,04$ моль/л.

7. (Ж) При некоторой температуре равновесие гомогенной системы $2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$ установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ: $[NO] = 0,2$ моль/л; $[O_2] = 0,1$ моль/л; $[NO_2] = 0,1$ моль/л. Вычислите константу равновесия и исходные концентрации NO и O_2 . *Ответ:* $K = 2,5$; $C_{NO} = 0,3$ моль/л; $C_{O_2} = 0,15$ моль/л.

8. (З) В гомогенной системе $2NO + Cl_2 \leftrightarrow 2NOCl$ исходные концентрации оксида азота и хлора составляют соответственно 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20% NO. *Ответ:* $K = 0,416$.

9. (И) В гомогенной системе $CO + Cl_2 \leftrightarrow COCl_2$ равновесные концентрации реагирующих веществ: $[CO] = 0,2$ моль/л; $[Cl_2] = 0,3$ моль/л; $[COCl_2] = 1,2$ моль/л. Вычислите константу равновесия системы и исходные концентрации хлора и оксида азота. *Ответ:* $K = 20$; $C_{Cl_2} = 1,5$ моль/л; $C_{CO} = 1,4$ моль/л.

10. (К) При состоянии равновесия в системе $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ концентрации участвующих веществ равны: $[N_2] = 3$ моль/л; $[H_2] = 9$ моль/л; $[NH_3] = 4$ моль/л. Определить исходные концентрации водорода и азота. *Ответ:* $C_{N_2} = 5$ моль/л; $C_{H_2} = 15$ моль/л.

11. (Л) Константа равновесия реакции $FeO + CO \leftrightarrow Fe + CO_2$ при некоторой температуре равна 0,5. Найти равновесные концентрации CO и CO_2 , если начальные концентрации этих веществ составляли: $C_{CO} = 0,05$ моль/л; $C_{CO_2} = 0,01$ моль/л. *Ответ:* $[CO] = 0,04$ моль/л; $[CO_2] = 0,02$ моль/л.

12. (М) Равновесие в системе $H_2 + J_2 \leftrightarrow 2HJ$ установилось при следующих концентрациях: $[H_2] = 0,025$ моль/л; $[J_2] = 0,005$ моль/л; $[HJ] = 0,09$ моль/л. Определить исходные концентрации иода и водорода. *Ответ:* $C_{H_2} = 0,07$ моль/л; $C_{J_2} = 0,05$ моль/л.

13. (Н) При некоторой температуре равновесие в системе $2\text{NO}_2 \leftrightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$ установилось при следующих концентрациях: $[\text{NO}_2] = 0,006$ моль/л; $[\text{NO}] = 0,024$ моль/л. Найти константу равновесия реакции и исходную концентрацию диоксида азота. *Ответ:* $K = 0,192$; $C_{\text{NO}_2} = 0,03$ моль/л.

14. (О) После смешивания газов А и В в системе $\text{A} + \text{B} \leftrightarrow \text{C} + \text{D}$ устанавливается равновесие при следующих концентрациях: $[\text{B}] = 0,05$ моль/л; $[\text{C}] = 0,02$ моль/л. Константа равновесия реакции равна 0,04. Найти исходные концентрации веществ А и В. *Ответ:* $C_{\text{A}} = 0,22$ моль/л; $C_{\text{B}} = 0,07$ моль/л.

15. (П) Найти константу равновесия реакции $\text{N}_2\text{O}_4 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$, если начальная концентрация N_2O_4 составляла 0,08 моль/л, а к моменту наступления равновесия продиссоциировало 50% N_2O_4 . *Ответ:* $K = 0,16$.

16. (Р) В замкнутом сосуде протекает реакция $\text{AB}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{A}_{(\text{г})} + \text{B}_{(\text{г})}$. Константа равновесия реакции равна 0,04, а равновесная концентрация вещества В составляет 0,02 моль/л. Найти начальную концентрацию вещества АВ. Сколько процентов вещества АВ разложилось? *Ответ:* $C_{\text{AB}} = 0,03$ моль/л; разложилось 66,7% АВ.

17. (С) При некоторой температуре равновесные концентрации в системе $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{SO}_3$ составляли соответственно $[\text{SO}_2] = 0,04$ моль/л, $[\text{O}_2] = 0,06$ моль/л, $[\text{SO}_3] = 0,02$ моль/л. Вычислить константу равновесия и исходные концентрации оксида серы (IV) и кислорода. *Ответ:* $K = 4,17$; $C_{\text{SO}_2} = 0,06$ моль/л; $C_{\text{O}_2} = 0,07$ моль/л.

18. (Т) Реакция протекает по уравнению $2\text{A} \leftrightarrow \text{B}$. Исходная концентрация вещества А равна 0,2 моль/л, константа равновесия равна 0,5. Вычислите равновесные концентрации реагирующих веществ. *Ответ:* $[\text{A}] = 0,17$ моль/л; $[\text{B}] = 0,15$ моль/л.

19. (У) При некоторой температуре равновесие в системе $2\text{NO}_2 \leftrightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$ установилось при следующих концентрациях: $[\text{NO}_2] = 0,006$ моль/л; $[\text{NO}] = 0,024$ моль/л. Найти константу равновесия реак-

ции и исходную концентрацию диоксида азота. *Ответ:* $K = 0,192$; $C_{\text{NO}_2} = 0,03$ моль/л.

20. (Ф) В гомогенной системе $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow 2\text{NOCl}$ исходные концентрации оксида азота и хлора составляют соответственно 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20% NO. *Ответ:* $K = 0,416$.