

**Г. М. Курунина**

---

---

**МНОГОВАРИАНТНЫЕ ЗАДАЧИ И ТЕСТЫ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ  
Часть 2**

**Волжский  
2024**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Г. М. Курунина**

**МНОВОВАРИАНТНЫЕ ЗАДАЧИ И ТЕСТЫ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ  
Часть 2**

*Электронное учебное пособие*



Волжский  
2024

УДК 544.3(07)  
ББК 24.5я73  
К 938

Р е ц е н з е н т ы:

к.х.н., инженер по внедрению новой техники и технологии  
ООО «МБИ-Синтез»,  
*Данилов Д.В.*;  
Главный инженер проекта ООО «ВолжПроект»  
*Афанасьева Е.Е.*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Курунина, Г. М.

Многовариантные задачи и тесты по химической термодинамике. Часть 2 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. М. Курунина ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 9,10 МБ). – Волжский, 2024. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-4804-3

Рассмотрены темы «Химическое равновесие», «Вывод константы равновесия для гомогенной и гетерогенной реакции», «Методы расчёта константы равновесия». Приведены примеры решения задач, семестровые задания, тесты, дан перечень рекомендуемой литературы. Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 18.03.01 «Химическая технология».

Табл. 22., библиограф.: 5 назв.

ISBN 978-5-9948-4804-3

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2024  
© Волжский политехнический  
институт, 2024

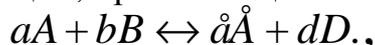
## Содержание

		Стр.
1	Химическое равновесие	5
1.1	Расчет константы равновесия	5
1.2	Расчеты по уравнениям изотермы, изобары и изохоры Вант-Гоффа	12
1.3	Расчет констант равновесия различными методами	17
1.3.1	Расчет равновесия с помощью таблиц стандартных величин	17
1.3.2	Расчет константы равновесия по методу Улиха	17
1.3.3	Расчет равновесия по методу Темкина-Шварцмана	18
2	Тесты	20
3	Многовариантные задачи	34
	Приложение 1. Термодинамические свойства простых веществ и соединений	53
	Приложение 2. Величина $M_n$ для вычисления стандартного изменений энергии Гиббса по методу Темкина и Шварцмана	61
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	63

# 1. Химическое равновесие

## 1.1. Расчет константы равновесия

Для гомогенной реакции, протекающей в газовой фазе:



Согласно закону действия масс – скорости прямой ( $v_1$ ) и обратной ( $v_2$ ) реакции определяются уравнениями:

$$v_1 = k_1 \cdot C_A^a \cdot C_B^b \quad (1)$$

$$v_2 = k_2 \cdot C_D^d \cdot C_E^e \quad (2)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – константы скорости прямой и обратной реакций;  
 $C_A^a, C_B^b, C_D^d, C_E^e$  – равновесные концентрации участников реакции.

$a, b, e, d$  – стехиометрические коэффициенты.

$A, B, E, D$  – участники реакции.

В состоянии равновесия скорости прямой и обратной реакции одинаковы:

$$v_1 = v_2.$$

Имея равенство левых частей уравнения, приравниваем их правые части:

$$k_1 \cdot C_A^a \cdot C_B^b = k_2 \cdot C_D^d \cdot C_E^e$$

Разносим в разные стороны константы скорости реакции и равновесные концентрации и получаем:

$$K_c = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_D^d \cdot C_E^e}{C_A^a \cdot C_B^b} \quad (3)$$

**Константа химического равновесия** показывает, во сколько раз скорость прямой реакции больше скорости обратной реакции:

$$K_{равн} = \frac{k_1}{k_2}. \quad (4)$$

**Константа равновесия** – это постоянная величина, равная отношению произведений равновесных концентраций конечных и исходных участников реакции, взятых в степенях, соответствующих стехиометрическим коэффициентам.

$$K_C = \frac{C_D^d \cdot C_C^c}{C_A^a \cdot C_B^b}. \quad (5)$$

Уравнения (1-2) представляет собой закон действующих масс для реакций, находящихся в состоянии равновесия.

Константу равновесия можно выразить не только через равновесные концентрации, но и через равновесные парциальные давления компонентов:

$$K_p = \frac{p_D^d \cdot p_C^c}{p_A^a \cdot p_B^b} \quad (6)$$

через числа молей:

$$K_v = \frac{v_D^d \cdot v_C^c}{v_A^a \cdot v_B^b} \quad (7)$$

через мольные доли:

$$K_N = \frac{N_D^d \cdot N_C^c}{N_A^a \cdot N_B^b} \quad (8)$$

Между различными формами выражения констант равновесия существует взаимосвязь:

$$K_p = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta v} = K_N \cdot (p_{\text{общ.}})^{\Delta v} = K_v \cdot \left( \frac{p_{\text{общ.}}}{\sum v} \right), \quad (9)$$

где  $\Delta v$  = изменение числа молей в ходе химической реакции:

$$\Delta v = d + c - a - b. \quad (10)$$

Внимание: при расчете  $\Delta v$  следует учитывать только вещества, находящиеся в газообразном состоянии.

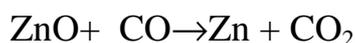
Для гетерогенных реакций при расчете констант равновесия  $K_p$  учитывают только равновесные значения давлений газообразных участников реакции. Так, для реакции разложения карбоната кальция



константа равновесия определяется по уравнению:

$$K_p = p_{\text{CO}_2}$$

а для реакции:



$$K_p = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}}}$$

При расчетах равновесных состояний по экспериментальным данным возникает необходимость рассчитать степень превращения веществ- $\alpha$ .

**Степенью превращения вещества** в химической реакции называется отношение числа моль вещества, вступившего в реакцию, к исходному числу моль этого вещества

$$\alpha = \frac{n_A}{c_A^0}. \quad (11)$$

Расчет равновесных состояний часто сводится к определению состава равновесной смеси при известной константе равновесия, или, наоборот, по известным равновесным концентрациям необходимо найти константу равновесия.

**Пример 1.** Для реакции  $H_2O + CO = CO_2 + H_2$ , протекающей в паровоздушном генераторе при  $986^\circ C$ , константа равновесия равна 0,623. Начальный состав смеси (об. доли, %) равен  $CO_2 - 12$ ;  $H_2 - 1,0$ ;  $CO - 10,0$ ;  $H_2O - 15$  (остальное приходится на инертный газ, который не принимает участие в химической реакции). Вычислите равновесные концентрации участников реакции.

Решение:

Считаем изменение числа молей веществ в ходе реакции. Все вещества являются газами ( $T=986^\circ C$ ), тогда:  $\Delta \nu = 1 + 1 - 1 - 1 = 0$ .

Тогда  $K_p = K_\nu$ .

Т.к. все вещества являются газами, то количество вещества пропорционально объемной доле, и можно сделать соответствующую замену:

$$K_\nu = \frac{\varphi_C^c * \varphi_D^d}{\varphi_A^a * \varphi_B^b}.$$

Пишем уравнение реакции и определяем концентрации веществ в исходном равновесном состоянии:



исх. состояние    10    15            12            1

равн. состояние    10-x    15-x    12+x    1+x,

где  $x$  – число молей вещества ( $CO_2$  и  $H_2$ ), образовавшихся к моменту равновесия.

Подставим полученные значения в уравнение константы равновесия и получим:

$$K_p = \frac{(12+x) \cdot (1+x)}{(10-x) \cdot (15-x)} = 0,623$$

Решаем квадратное уравнение относительно  $x$  и находим  $x = 2,75$ . Тогда равновесные концентрации будут равны:  $C_{CO_2} = 12+2,75=14,75$  %,  $C_{H_2} = 1+2,75=3,75$  %,  $C_{H_2O} = 15-2,75=12,25$  %,  $C_{CO} = 10-2,75=7,25$  %.

**Ответ:**  $C_{CO_2} = 14,75$  %,  $C_{H_2} = 3,75$  %,  $C_{CO} = 12,25$  %,  $C_{H_2O} = 7,25$  %.

**Пример 2.** В начальный момент времени в реакционный сосуд было введено 1 моль  $SO_2$  и 0,6 молей  $O_2$ , при достижении равновесия образовалось 0,22 моля  $SO_3$ . Реакция протекала при 1000 К и нормальном давлении. Определите  $K_p$  этой реакции.

Решение:

Пишем уравнение реакции:



исх. состояние    1        0,6-  
равн. состояние   0,78   0,49   0,22

Для расчета равновесных концентраций исходных веществ воспользуемся стехиометрическими коэффициентами уравнения реакции:

2 моль  $SO_2$  - 2 моль  $SO_3$ ;  
x моль  $SO_2$  - 0,22 моль  $SO_3$ .

$x = 0,22$  моля  $SO_2$  (было израсходовано к моменту равновесия). Следовательно, к моменту наступления равновесия осталось:

$$C'(SO_2) = C^\circ(SO_2) - x = 1 - 0,22 = 0,78 \text{ моль.}$$

Для кислорода расчет будет аналогичен:

1 моль  $O_2$  - 2 моль  $SO_2$ ;  
y моль  $O_2$  - 0,22 моль  $SO_2$ ;  
y = 0,11 моль;

$$C'(O_2) = C^\circ(O_2) - y = 0,6 - 0,11 = 0,49 \text{ моль.}$$

Парциальное давление газа определяется по уравнению:  $P_i = N_i \cdot P_{\text{атм}}$ .

$N_i$ , в свою очередь, считается по уравнению:  $N_i = \frac{n_i}{\sum n}$ .

Считаем сумму числа моль  $\sum n$ :

$$\sum n_i = 0,78 + 0,49 + 0,22 = 1,49 \text{ моль.}$$

Тогда парциальные давления участников реакции равны:

$$P(SO_2) = N(SO_2) \cdot P_{\text{атм}} = \frac{0,78}{1,49} \cdot 101325 = 5,31 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$P(O_2) = N(O_2) \cdot P_{\text{атм}} = \frac{0,49}{1,49} \cdot 101325 = 3,22 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$P(SO_3) = N(SO_3) \cdot P_{\text{атм}} = \frac{0,22}{1,49} \cdot 101325 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Константа равновесия равна:

$$K_p = \frac{P^2(SO_3)}{P^2(SO_2) \cdot P(O_2)} = \frac{(1,5 \cdot 10^4)^2}{(5,31 \cdot 10^4)^2 \cdot 3,22 \cdot 10^4} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Па}^{-1} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{н}.$$

Ответ:  $K_p = 2,4 \cdot 10 \text{ м}^2/\text{н}$ .

**Пример 3.** Для реакции  $C_2H_4 + HCl = C_2H_5Cl$  при 503 К  $K_p = 1,28 \cdot 10^{-6} (\text{н}/\text{м}^2)^{-1}$ . Определите состав равновесной смеси в объемных процентах, полученной при давлении  $1,013 \cdot 10^6 \text{ н}/\text{м}^2$  из 2 моль  $C_2H_4$  и 1 моль  $HCl$ .

Решение:

Обозначим через  $X$  число молей образовавшегося  $C_2H_5Cl$ . Так как на образование его должно израсходоваться, согласно химическому уравнению реакции, по  $X$  моль  $C_2H_4$  и  $HCl$ , то в равновесной смеси останется  $2-X$  моль

$C_2H_4$  и  $1-X$  моль  $HCl$ .



в исходной смеси:     2     1     0

в равн. смеси:  $2-X$   $1-X$      $X$

Считаем:  $\sum n = 2 - X + 1 - X + X = 3 - X$ .

Для парциальных давлений компонентов получаем выражения:

$$P_{C_2H_4} = \frac{2-X}{3-X} \cdot P, \quad P_{HCl} = \frac{1-X}{3-X} \cdot P, \quad P_{C_2H_5Cl} = \frac{X}{3-X} \cdot P.$$

$$\text{Тогда: } K_p = \frac{P_{C_2H_5Cl}}{P_{C_2H_4} \cdot P_{HCl}} = \frac{X \cdot (3-X)}{(2-X) \cdot (1-X) \cdot 1,013 \cdot 10^6} = 1,28 \cdot 10^{-6} (\text{н}/\text{м}^2)^{-1}.$$

После преобразований получается:  $2,32 \cdot X^2 - 6,96 \cdot X + 2,64 = 0$

Решая квадратное уравнение, находим:  $X_1 = 0,44$  и  $X_2 = 2,55$ . Так как  $X < 1$  из условия, второй корень не имеет физического смысла. Значит,  $X = 0,44$ . Таким образом, в равновесной смеси содержится  $(2-0,44) = 1,56$  моль  $C_2H_4$ ,  $(1-0,44) = 0,56$  моль  $HCl$  и  $0,44$  моль  $C_2H_5Cl$ . Состав смеси в объемных процентах определяется из соотношений:

$$\varphi_i \text{ \%.} = N_i \cdot 100 = \frac{n_i}{\sum n} \cdot 100;$$

$$\sum n = 1,56 + 0,56 + 0,44 = 2,56.$$

$$\varphi(C_2H_4) = N_{C_2H_4} \cdot 100 = \frac{1,56}{2,56} \cdot 100 = 60,94 \hat{\text{ \%.}}$$

$$\varphi(HCl) = N_{HCl} \cdot 100 = \frac{0,56}{2,56} \cdot 100 = 21,88 \hat{\text{ \%.}}$$

$$\varphi(C_2H_5Cl) = N_{C_2H_5Cl} \cdot 100 = \frac{0,44}{2,56} \cdot 100 = 17,18 \hat{\text{ \%.}}$$

**Ответ:**  $\varphi(C_2H_4) = 60,94\%$ ,  $\varphi(HCl) = 21,88\%$ ,  $\varphi(C_2H_5Cl) = 17,18\%$ .

**Пример 4.** Для реакции, протекающей по уравнению:

$C$  графит  $+ 2H_2 = CH_4$ , константа равновесия равна  $K_p = 1,53 \cdot 10^{-3}$ .

Вычислите содержание метана в равновесной смеси в объемных процентах при 570 К и давлении  $1,0133 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup>.

Решение

Реакция является гетерогенной, учитываются только газообразные вещества. Тогда формула для расчета  $K_p$  будет иметь вид:

$$K_p = \frac{P(CH_4)}{P^2(H_2)}.$$

Общее давление в системе будет равно сумме парциальных давлений метана и водорода  $P_{общ} = P(CH_4) + P(H_2)$ .

Выразим одно давление через другое  $P(CH_4) = P_{общ} - P(H_2)$  и подставим в уравнение  $K_p$ :

$$K_p = \frac{P - P(H_2)}{P^2(H_2)}.$$

Обозначим  $P(H_2)$  через  $x$ :

$$K_p = \frac{P - x}{x^2}.$$

Решая квадратное уравнение, получаем:

$$K_p \cdot x^2 = P - x;$$

$$K_p \cdot x^2 + x - P = 0.$$

$$x_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 4 \cdot K_p \cdot P}}{2 \cdot K_p} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 4 \cdot 1,53 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0133 \cdot 10^5}}{2 \cdot 1,53 \cdot 10^{-3}};$$

$$x_1 = \frac{1 + 24,92}{3,06 \cdot 10^{-3}} = 8471 \text{ } i / i^2 = P(H_2);$$

$$P(CH_4) = 1,013 \cdot 10^5 - 0,08471 \cdot 10^5 = 92859 \text{ } i / i^2;$$

$$\varphi(CH_4) = \frac{P(CH_4)}{P_{\text{общ}}} = \frac{92859}{1013300} \cdot 100\% = 91,64\%.$$

**Ответ:**  $\varphi(CH_4) = 91,64\%$ .

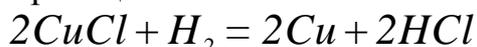
**Пример 5.** Константа равновесия реакции



Какова масса образовавшейся меди, если газовая фаза до начала реакции состояла из 0,1 моль  $H_2$  и 0,02 моль  $HCl$ ? Общее давление в состоянии равновесия равно  $P = 101325$  Па.

Решение:

Пишем уравнение реакции:



исх. состояние	0,1	0,02
равн. состояние	0,1 - x	0,02 + 2x.

Так как данная реакция является гетерогенной, то для расчета константы равновесия используются только парциальные давления газообразных веществ:

$$K_p = \frac{P^2(HCl)}{P(H_2)}.$$

Парциальные давления газов рассчитываются по уравнениям:

$$P(HCl) = N(HCl) \cdot P_{\text{общ}} = \frac{n(HCl)}{\sum n} \cdot P_{\text{общ}};$$

$$P(H_2) = N(H_2) \cdot P_{\text{общ}} = \frac{n(H_2)}{\sum n} \cdot P_{\text{общ}}.$$

Обозначим через x число молей водорода, вступившего в реакцию к моменту равновесия, тогда число молей  $H_2$  в момент равновесия составит

$$n(H_2) = 0,1 - x. \text{ Аналогично рассуждая для } HCl, \text{ получаем } n(HCl) = 0,02 + 2x.$$

Отсюда:

$$\sum n = n(\text{HCl}) + n(\text{H}_2) = 0,1 - x + 0,02 + 2x = 0,12 + x;$$

$$N(\text{HCl}) = \frac{0,02 + 2x}{0,12 + x}; N(\text{H}_2) = \frac{0,1 - x}{0,12 + x}.$$

Рассчитываем константу равновесия:

$$K_p = \frac{N^2(\text{HCl})P^2}{N(\text{H}_2)P} = \frac{N^2(\text{HCl})}{N(\text{H}_2)} P = \frac{\left(\frac{0,02 + 2x}{0,12 + x}\right)^2}{\frac{0,1 - x}{0,12 + x}} \cdot 101325 = \frac{(0,02 + 2x)^2}{(0,12 + x)(0,1 - x)}.$$

$$\cdot 101325 = \left[ (0,02 + 2x)^2 \cdot 1,01325 = (0,12 + x)(0,1 - x) \cdot 2,13 \right] = 2,13 \cdot 10^5.$$

Решаем уравнение относительно  $x$  и получаем  $x = 0,057 = \nu(\text{H}_2)$ .

Возвращаемся к уравнению и, учитывая стехиометрические коэффициенты, получаем:  $n(\text{Cu}) = 2n(\text{H}_2)$ . Тогда

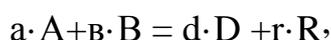
$$n(\text{Cu}) = 2 \cdot 0,057 = 0,114 \text{ моль},$$

$$m(\text{Cu}) = nM = 0,114 \cdot 63,546 = 7,24 \text{ г}.$$

**Ответ:**  $m(\text{Cu}) = 7,24 \text{ г}$ .

## 1.2. Расчеты по уравнениям изотермы, изобары и изохоры Вант-Гоффа

Изменение изобарного потенциала химической реакции:



протекающей в газовой фазе при  $P, T = \text{const}$ , можно вычислить по уравнению изотермы Вант-Гоффа:

$$\Delta G = R \cdot T \cdot \left( \ln \frac{P_D^d \cdot P_R^r}{P_A^a \cdot P_B^b} - \ln K_p \right). \quad (12)$$

При условии  $V, T = \text{const}$  по аналогичному уравнению можно вычислить изменение изохорного потенциала:

$$\Delta F = R \cdot T \cdot \left( \ln \frac{C_D^d \cdot C_R^r}{C_A^a \cdot C_B^b} - \ln K_C \right), \quad (13)$$

где  $P', (C')$  – любые взятые в реакцию парциальные давления или концентрации.

Если  $P'_i, (C'_i) = 1$ , то уравнения (12), (13) принимают вид:

$$\Delta G = -RT \cdot \ln K_p. \quad (14)$$

$$\Delta F = -RT \cdot \ln K_C. \quad (15)$$

Из уравнений (14) и (15) можно определить константу равновесия:

$$\ln K_p = \frac{-\Delta G}{R \cdot T} \quad (16)$$

$$\ln K_c = \frac{-\Delta F}{R \cdot T} \quad (17)$$

Уравнения носят название нормального химического сродства. По знаку  $\Delta G$ ,  $\Delta F$  можно судить о возможности и направлении химической реакции.

Если  $\Delta G < 0$  ( $\Delta F < 0$ ), то реакция протекает самопроизвольно в прямом направлении.

Если  $\Delta G > 0$  ( $\Delta F > 0$ ), то данная реакция в прямом направлении протекать не может.

Если  $\Delta G = 0$  ( $\Delta F = 0$ ), то система находится в состоянии равновесия.

Зависимость константы равновесия от температуры определяется уравнениями изобары Вант-Гоффа в дифференциальной форме:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} =; \quad \frac{d \ln K_p}{dT} = \quad (18)$$

изохоры Вант-Гоффа в дифференциальной форме:

$$\frac{d \ln K_C}{dT} = \frac{\Delta U}{R \cdot T^2}, \quad \frac{d \ln K_C}{dT} = -\frac{Q_v}{R \cdot T^2} \quad (19)$$

или в интегральной форме:

$$\ln \frac{K_{p_2}}{K_{p_1}} = \frac{\Delta H}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right); \quad (20)$$

$$\ln \frac{K_{C_2}}{K_{C_1}} = \frac{\Delta U}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (21)$$

**Пример 6.** Степень диссоциации фосгена по реакции  $\text{COCl}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{Cl}_2$  при  $600^\circ\text{C}$  и давлении  $1,38 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> равна 0,9. Определите, в каком направлении будет протекать процесс при следующих значениях парциальных давлений компонентов, н/м<sup>2</sup>.

N	$P_{\text{COCl}_2} \cdot 10^{-5}$ , Па	$P_{\text{CO}} \cdot 10^{-5}$ , Па	$P_{\text{Cl}_2} \cdot 10^{-5}$ , Па
1	2,026	2,026	1,013
2	1,567	3,036	3,036
3	1,013	3,059	4,059

### Решение

Пишем уравнение реакции  $\text{COCl}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \text{Cl}_2$



Рассчитываем сумму числа молей участников реакции и определяем парциальные давления всех участников реакции:

$$\sum n = n^*(1+\alpha) = n^*\alpha + n^*\alpha + n^*(1-\alpha),$$

$$P_{\text{COCl}_2} = \frac{n \cdot (1-\alpha)}{n \cdot (1+\alpha)} \cdot P;$$

$$P_{\text{CO}} = P_{\text{Cl}_2} = \frac{n \cdot \alpha}{n \cdot (1+\alpha)} \cdot P.$$

Записываем уравнение константы равновесия:

$$K_P = \frac{P_{\text{CO}} P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{COCl}_2}} = \frac{n \cdot \alpha \cdot P \cdot n \cdot \alpha \cdot P \cdot (n \cdot (1+\alpha))}{(n \cdot (1+\alpha))^2 n \cdot (1-\alpha) P} = \frac{\alpha^2 \cdot P}{1-\alpha^2} = \frac{0,9^2 \cdot 1,38 \cdot 10^2}{1-0,9^2} =$$

$$= 5,883 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2.$$

Направление процесса определяем по изменению величины  $\Delta G$ .

Для первого случая:

$$\Delta G = RT \left( \ln \frac{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{COCl}_2}} - \ln K_p \right);$$

$$\Delta G_1 = 8,314 \cdot 873 \left( \ln \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 2,026 \cdot 10^5}{2,026 \cdot 10^5} - \ln 5,883 \cdot 10^5 \right) = -12760 \text{ Дж}.$$

$\Delta G < 0$ , следовательно, процесс идет самопроизвольно в прямом направлении.

Для второго случая:

$$\Delta G_2 = 8,314 \cdot 873 \left( \ln \frac{3,036 \cdot 10^5 \cdot 3,036 \cdot 10^5}{1,567 \cdot 10^5} - \ln 5,883 \cdot 10^5 \right) = 0 \text{ Дж}.$$

Это значит, что система находится в равновесии.

Для третьего случая:

$$\Delta G_3 = 8,314 \cdot 873 \left( \ln \frac{3,059 \cdot 10^5 \cdot 4,059 \cdot 10^5}{1,013} - \ln 5,883 \cdot 10^5 \right) = 5661,13 \text{ Дж}.$$

Ответ:  $\Delta G > 0$ , следовательно, самопроизвольно процесс идет в обратном направлении.

### Пример

7.

Вычислите

$K_p$

реакции

$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  и определите, возможен ли термодинамический процесс получения аммиака из нитробензола, если известны стандартные изменения изобарного потенциала:

$$\Delta G_{298}^0(C_6H_5NO_2) = 146,20 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}};$$

$$\Delta G_{298}^0(C_6H_5NH_2) = 149,08 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}};$$

$$\Delta G_{298}^0(H_2) = 0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}};$$

$$\Delta G_{298}^0(H_2O) = -237,23 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Решение

Вычисляем  $\Delta G$  химической реакции:

$$\Delta G_{298}^{\circ} = \Delta G_{298}^{\circ}(C_6H_5NH_2) + 2\Delta G_{298}^{\circ}(H_2O) - \Delta G_{298}^{\circ}(C_6H_5NO_2) - 3\Delta G_{298}^{\circ}(H_2) = 149,08 + 2 \cdot (-237,23) - 146,20 - 3 \cdot (0) = -471,58 \text{кДж}.$$

$\Delta G < 0$ , следовательно, реакция может протекать при стандартных условиях. Константу равновесия вычисляем по уравнению нормального химического сродства

$$\ln K_p = -\frac{\Delta G_{298}^{\circ}}{RT} = -\frac{-471580}{8,314 \cdot 298} = 16,90,$$

$$K_p = 2,2 \cdot 10^7.$$

**Ответ:** Так как  $K_p > 1$ , то вывод (по  $\Delta G$ ) о возможности самопроизвольного течения реакции в стандартных условиях подтверждается.

**Пример 8.** Вычислите константу равновесия реакции синтеза метилового спирта при 800 К, если при стандартных условиях  $\Delta H = 70440$  Дж, константа равновесия  $K_p = 4,13 \cdot 10^{-3}$  н/м<sup>2</sup>, амольные теплоемкости газов:

$$C_p(CO) = 28,41 + 4,1 \cdot 10^{-3}T - 0,46 \cdot 10^{-5}T^2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)},$$

$$C_p(H_2) = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3}T + 0,502 \cdot 10^{-5}T^2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)},$$

$$C_p(CH_3OH) = 15,28 + 105,2 \cdot 10^{-3}T - 31,04 \cdot 10^{-6}T^2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град).}$$

Решение

Определяем тепловой эффект реакции при 800 К по уравнению Кирхгофа

$$\Delta H_{800}^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} + \int_{298}^{800} \Delta C_p dT,$$

для чего по закону Гесса рассчитываем изменение температурных коэффициентов в ходе реакции  $CO(\text{газ}) + 2H_2(\text{газ}) \rightarrow CH_3OH(\text{газ})$ .

$$\Delta a = 15,28 - 2(27,28) - 28,41 = -67,6 \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

$$\Delta b = (105,2 - 2 \cdot 3,26 - 4,1)10^{-3} = 94,58 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

$$\Delta c = -31,04 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

$$\Delta c' = (0 - 2 \cdot 0,502 + 0,46) \cdot 10^5 = -0,544 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{К}};$$

$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ + \Delta a(T - 298) + \frac{\Delta b}{2}(T^2 - 298^2) + \frac{\Delta c}{3}(T^3 - 298^3) + \Delta c' \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right);$$

$$\Delta H_{800}^\circ = -90440 - 67,60(800 - 298) + \frac{94,58 \cdot 10^{-3}}{2}(800^2 - 298^2) - \frac{31,04 \cdot 10^{-6}}{3}(800^3 - 298^3) + (-0,544 \cdot 10^5) \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{800} \right) = -103700 \text{ Дж}.$$

Константу равновесия при 800 К определяем по уравнению изобары Вант-Гоффа:

$$\ln K_{p_2} = \ln K_{p_1} + \frac{\Delta H(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2};$$

$$\ln K_{p_2} = \ln 4,13 \cdot 10^{-10} + \frac{-103700 \cdot (800 - 298)}{8,314 \cdot 800 \cdot 298} = -47,8;$$

$$K_{p_2} = 1,45 \cdot 10^{-21}.$$

**Ответ:**  $K_p = 1,45 \cdot 10^{-21}$ .

**Пример 9.** Константа равновесия реакции  $J_2 \leftrightarrow 2J$  при  $677^\circ\text{C}$  равна  $1,149 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2$ , а при  $777^\circ\text{C}$  –  $7,413 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2$ . Вычислите константу равновесия реакции при  $723^\circ\text{C}$ .

Решение

Для решения этой задачи воспользуемся уравнением изобары:

$$\Delta H = \frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln \frac{K_{p2}}{K_{p1}}}{T_2 - T_1}$$

$$\Delta H = \frac{8,314 \cdot 950 \cdot 1050 \cdot \ln \frac{7,413}{1,149}}{1050 - 950} = 154600 \text{ Дж / моль}.$$

Из этого же уравнения определяем  $K_{p_3}$

$$\ln \frac{K_{p_3}}{K_{p_1}} = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3} \right);$$

$$\ln K_{p_3} = \ln K_{p_1} + \frac{\Delta H(T_3 - T_1)}{RT_1 T_3};$$

$$\ln K_{p_3} = \ln 1,149 \cdot 10^2 + \frac{154600(1000 - 950)}{1000 \cdot 950} = 2,4853; K_{p_3} = 3,057 \cdot 10^2.$$

**Ответ:**  $K_{p_3} = 305,7$ .

**Пример 10.** Для реакции  $C(тв) + H_2O(газ) = CO(газ) + H_2(газ)$  зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением:

$$\ln K_p = -\frac{6630}{T} + 1,57 \lg T - 0,11 \cdot 10^{-3} T + 6,565.$$

Определите тепловой эффект реакции и константу равновесия при 1000 К.

Решение

Зависимость константы равновесия от температуры описывается уравнением изобары Вант-Гоффа  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ .

Подставляем  $\ln K_p$  в указанное уравнение и, продифференцировав его по температуре, получаем:

$$\frac{d}{dT} \left( -\frac{6630}{T} + 1,57 \lg T - 0,11 \cdot 10^{-3} T + 6,565 \right) = \frac{\Delta H}{2,303 RT^2}.$$

Отсюда находим изменение энтальпии  $\Delta H$ :

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,303 RT^2 - \frac{6630}{T^2} + \frac{1,57}{2,303 T} - 0,11 \cdot 10^{-3} = \\ &= 2,303 \cdot 8,314 \cdot 1000 - \frac{6630}{1000^2} + \frac{1,57}{2,303 \cdot 1000} - 0,11 \cdot 10^{-3} = 1377 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}. \end{aligned}$$

$$\ln K_p = -\frac{6630}{1000} + 1,57 \lg 1000 - 0,11 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 + 6,565 = 4,535.$$

$$K_p = 93,22.$$

**Ответ:**  $K_p = 93,22$ .

### 1.3. Расчет констант равновесия различными методами

Константа равновесия имеет огромное практическое значение, так как позволяет подобрать оптимальные условия проведения химических реакций, рассчитать аппаратуру, решить вопросы усовершенствования действующих процессов. Существует несколько методов расчета констант равновесия.

### 1.3.1. Расчет равновесия с помощью таблиц стандартных величин

Из Приложения 1 берутся значения энтальпии ( $\Delta H_{298}^{\circ}$ ), энтропии ( $\Delta S_{298}^{\circ}$ ) и температурных коэффициентов теплоемкости ( $a, b, c, d, c'$ ), рассчитывается их изменение по закону Гесса. Затем для указанной температуры рассчитывается изменение энтальпии, изменение энтропии, изменение энергии Гиббса (22) и константу равновесия (16).

### 1.3.2. Расчет константы равновесия по методу Улиха

#### 1.3.2.1. Первое приближение (самый грубый из всех расчетов)

Предполагается, что  $\Delta C_p = 0$ , тогда

$$\Delta G_T^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} - T\Delta S_{298}^{\circ}, \quad (22)$$

или

$$\ln K_p = \frac{-\Delta G}{R \cdot T} = \frac{-\Delta H_{298}^{\circ}}{RT} + \frac{\Delta S_{298}^{\circ}}{T}. \quad (23)$$

#### 1.3.2.2. Второе приближение

Предполагается, что  $C_p = \text{const}$  и ее значение учитывается. Тогда, рассчитываем

$$\Delta H_T^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} + C_p(T - 298), \quad (24)$$

$$\Delta S_T^{\circ} = \Delta S_{298}^{\circ} + C_p \ln \frac{T}{298}. \quad (25)$$

Далее по уравнениям (22) и (23).

### 1.3.3. Расчет равновесия по методу Темкина-Шварцмана

Если  $\Delta C_p$  задана степенным рядом

$$\Delta C_p = \Delta a + \Delta bT + \Delta cT^2 + \Delta c'T^{-2},$$

то  $\Delta G_T^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} - T\Delta S_{298}^{\circ} - T(\Delta aM_0 + \Delta bM_1 + \Delta cM_2 + \Delta c'M_{-2})$ ,

где  $M_0, M_1, M_2, M_{-2}$  – функции температуры.

Их можно найти по формулам:

$$M_0 = \ln \frac{T}{298} + \frac{298}{T} - 1;$$

$$M_n = \frac{T^n}{n(n+1)} + \frac{298^{n+1}}{(n+1)T} - \frac{298^n}{n}.$$

Указанные коэффициенты могут быть найдены по специальным таблицам, составленным Темкиным М.И. и Шварцманом Л.А., (табл. 22) через  $\Delta G_T^\circ$  можно определить константу равновесия по уравнению:

$$\ln K_p = -\frac{\Delta H_{298}^\circ}{RT} + \frac{\Delta S_{298}^\circ}{R} + \frac{1}{R}(\Delta aM_0 + \Delta bM_1 + \Delta cM_2 + \Delta c'M_{-2}). \quad (26)$$

**Пример 11.** Вычислите константу равновесия по методу Темкина-Шварцмана для реакции:  $CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2$  в газовой фазе при 1200К. Полученное значение константы равновесия сравните с экспериментальным  $\lg K_p^{эксн} = 3,5407$ .

Решение

Находим значения  $\Delta H_{298}^\circ, S_{298}^\circ, a, b, c, c'$  для  $H_2, CO, CO_2, CH_4$ . Данные записываем в виде таблицы:

Вещество	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$S_{298}^\circ$ , Дж/мольК	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	$c' \cdot 10^{-5}$
CO	-110,50	197,40	28,41	4,10	-	-0,460
$H_2$	0	130,60	27,28	3,26	-	0,502
$CH_4$	-74,85	186,20	17,45	60,46	1,17	-
$CO_2$	-393,50	213,60	44,14	9,04	-	8530

По данным таблицы вычисляем изменение энтальпии и энтропии:

$$\Delta H_{298}^\circ = 2\Delta H_{298}^\circ_{CO} + 2\Delta H_{298}^\circ_{H_2} - \Delta H_{298}^\circ_{CH_4} - \Delta H_{298}^\circ_{CO_2} = 247,35 \hat{e} \ddot{A} \alpha ;$$

$$\Delta S_{298}^\circ = 2\Delta S_{298}^\circ_{CO} + 2\Delta S_{298}^\circ_{H_2} - \Delta S_{298}^\circ_{CH_4} - \Delta S_{298}^\circ_{CO_2} = 256,20 \frac{\ddot{A} \alpha}{\hat{E}} ;$$

$$\Delta a = 2a_{CO} + 2a_{H_2} - a_{CH_4} - a_{CO_2} = 49,79 \frac{\ddot{A} \alpha}{\hat{E}} ;$$

$$\Delta b = 2b_{CO} + 2b_{H_2} - b_{CH_4} - b_{CO_2} = -54,78 \cdot 10^{-3} \frac{\ddot{A} \alpha}{\hat{E}} ;$$

$$\Delta c = -c_{CH_4} = -1,17 \cdot 10^{-6} \frac{\ddot{A} \alpha}{\hat{E}} ;$$

$$\Delta c' = 2c'_{CO} + 2c'_{H_2} - c'_{CO_2} = 8,614 \cdot 10^5 \frac{\ddot{A} \alpha}{\hat{E}} \cdot \hat{o}$$

По таблице Темкина-Шварцмана при  $T=1200\text{K}$  находим:  
 $M_0 = 0,641, M_1 = 0,339 \cdot 10^3, M_2 = 0,203 \cdot 10^6, M_{-2} = 0,318 \cdot 10^{-5}$ . По уравнению

(26) находим:

$$\lg K_{p,1200} = -\frac{247350}{2,303 \cdot 8,314 \cdot 1200} + \frac{256,20}{2,303 \cdot 8,314} + \frac{1}{2,303 \cdot 8,314}$$

$(49,79 \cdot 0,641 + 8,614 \cdot 0,318 - 54,78 \cdot 0,339 -$

$1,17 \cdot 0,203) = 10,76 + 13,38 + 0,8806 = 3,5006$ . Таким образом,

$K_{p,1200} = 3,166 \cdot 10^3, K_p^{\text{эксн}} = 3,473 \cdot 10^3$ . Вычисляем расхождение между

расчетными и экспериментальными данными:

$$\frac{(3,473 - 3,166) \cdot 10^3}{3,473 \cdot 10^3} 100\% = 8,84\%$$

**Ответ:** 8,84%

## 2. Тесты

1. Какой процесс называется обратимым?

Обратимым называется процесс, который:

- а) не оставляет изменений ни в самой системе, ни в окружающей среде;
- б) возвращает систему в исходное состояние;
- в) является циклическим процессом;
- г) протекает без теплообмена с окружающей средой.

2. В чём отличие равновесных состояний от любых неравновесных?

Равновесное состояние отличается от всех смежных с ним неравновесных состояний:

- а) наименьшим значением энтропии;
- б) наименьшим значением энергии Гиббса;
- в) равенством нулю всех характеристических величин;
- г) максимумом внутренней энергии.

3. Равновесие, характеризующееся абсолютным минимумом характеристических функций, называется:

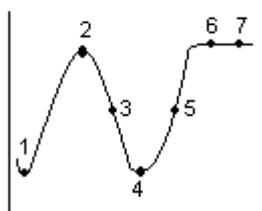
- а) стабильным;
- б) метастабильным;
- в) лабильным;
- г) неустойчивым.

4. Равновесие, характеризующееся относительным минимумом характеристических функций, называется:  
 а) стабильным; б) метастабильным;  
 в) лабильным; г) устойчивым.

5. Какое состояние имеет перенасыщенный раствор?  
 а) стабильное; в) метастабильное;  
 б) лабильное; г) устойчивое.

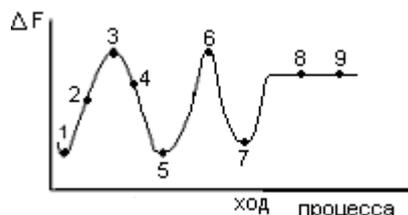
6. Какое состояние имеет переохлажденное вещество?  
 а) стабильное; в) метастабильное;  
 б) лабильное; г) устойчивое.

7. По представленным на графике точкам, определить какие из них соответствуют неустойчивому или лабильному равновесию?



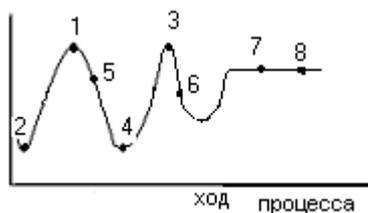
- а) 1, 4;  
 б) 6, 7;  
 в) 2;  
 г) 5, 6.

8. Определите, какие из точек определяют устойчивое равновесное состояние системы:



- а) 2, 4, 8, 9;  
 б) 3, 6, 8, 9;  
 в) 1, 5, 7;  
 г) 2, 8, 9.

9. Какие из представленных на графике точек, соответствуют безразличному равновесному состоянию?



- а) 1,3;  
 б) 2,4;  
 в) 5,6;  
 г) 7,8.

10. Каковы молекулярно-кинетические признаки равновесного состояния?

- а)  $V_{пр} / V_{обр} = 0$ ; б)  $V_{пр} / V_{обр} = const$ ;  
 в)  $V_{пр} = V_{обр}$ ; г)  $K_p = P_{прод} / P_{исх}$ .

11. Каковы термодинамические признаки равновесного состояния?  
 а)  $\Delta S = 0 \Delta F = 0 \Delta G = 0$  ; б)  $\Delta G = \Delta F \Delta S = 0$ ;  
 в)  $\Delta S > 0 \Delta F < 0 \Delta G < 0$ ; г)  $\Delta S < 0 \Delta F > 0 \Delta G > 0$ .
12. Какое из представленных уравнений представляет собой критерий равновесия Гиббса в закрытой системе?  
 а)  $\Delta H \geq 0$ ; б)  $(\Delta U)_s \geq 0$ ; в)  $\Delta H \leq 0$ ; г)  $(\Delta U)_s \leq 0$ .
13. Какое из представленных уравнений представляет собой критерий равновесия Гиббса для изолированной системы?  
 а)  $\delta S \geq 0$ ; б)  $\delta(S)_U \leq 0$ ; в)  $\Delta S \leq 0$ ; г)  $(\delta S)_U \leq 0$ .
14. Какое из представленных уравнений является критерием устойчивости Гиббса?  
 а)  $U + TS - PV - \sum \mu_i n_i > 0$ ; в)  $U - TS + PV - \sum \mu_i n_i = 0$ ;  
 б)  $U - TS + PV - \sum \mu_i n_i \geq 0$ ; г)  $U + TS + PV - \sum \mu_i n_i \leq 0$ .
15. Каковы термодинамические условия равновесного сосуществования однородных фаз?  
 а)  $d\mu_1 = d\mu_2$ ; б)  $dH_1 = dH_2$ ; в)  $dS_1 = dS_2$ ; г)  $dF_1 = dF_2$ .
16. Что называется выходом продуктов?  
 Выходом продуктов называется:  
 а) число молей равновесных продуктов реакции;  
 б) количество продуктов, выраженное в единицах массы;  
 в) количество продуктов, выраженное в процентах;  
 г) количество продуктов, выраженное в процентах и отнесенное к теоретическому.
17. Дать определение константе химического равновесия.  
 Константой химического равновесия называется:  
 а) величина, определяемая из соотношений концентраций;  
 б) отношение концентраций реагирующих веществ при постоянной температуре;  
 в) отношение концентраций реагирующих веществ при постоянном давлении;  
 г) равновесная величина, указывающая на постоянство отношения концентраций участников реакции в данных условиях.
18. От каких величин зависит константа равновесия?  
 а) от природы реагирующих веществ;  
 б) от природы реагирующих веществ и их концентраций;  
 в) от парциального давления газообразных участников реакции;  
 г) от давления в системе и температуры.

19. Какие факторы влияют на величину константы равновесия  $K_C$ , если реагирующую систему рассматривать как идеальную?

- а) природа реагирующих веществ и образующихся продуктов реакции;
- б) мольные концентрации участников реакции;
- в) природа реагирующих веществ и температура;
- г) температура и давление.

20. Какое состояние имеет жидкая вода при температуре 271 К?

- а) стабильное;                      б) метастабильное;
- в) лабильное;                      г) устойчивое.

21. Какой вид имеет уравнение закона действующих масс для гомогенной реакции:  $a \cdot A_{\text{газ}} + b \cdot B_{\text{газ}} = c \cdot C_{\text{газ}} + d \cdot D_{\text{газ}}$ ?

- а)  $K_C = \frac{1}{C_B^b}$ ;                      б)  $K_C = \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b}$ ;
- в)  $K_C = \frac{C_{P_A}^a \cdot C_{P_B}^b}{C_C^c \cdot C_L^g}$ ;                      г)  $K_C = \frac{C_C^c}{C_A^a \cdot C_B^b}$ ;

22. Какой вид имеет уравнение закона действующих масс для гомогенной реакции:  $a \cdot A_{\text{газ}} + b \cdot B_{\text{газ}} = c \cdot C_{\text{газ}}$ ?

- а)  $K_p = \frac{1}{P_B^b}$ ;                      б)  $\hat{E}_\delta = \frac{D_N^{\hat{n}}}{D_A^{\hat{a}} \cdot D_A^{\hat{b}}}$ ;
- в)  $\hat{E}_\delta = \frac{D_A^{\hat{a}} \cdot D_A^{\hat{b}}}{D_N^{\hat{n}}}$ ;                      г)  $K_p = P_B^b$ .

23. Зависит ли константа равновесия химической реакции  $2A + B = C$  от концентрации веществ, если все вещества находятся в газообразном состоянии?

- а) не зависит;
- б) зависит, т.к.  $K_C = \frac{C_C}{C_A^2 \cdot C_B}$ ;

24. Какой вид имеет уравнение закона действующих масс для гетерогенной реакции  $a \cdot A_{\text{кр}} + b \cdot B_{\text{газ}} = c \cdot C_{\text{ж}}$ ?

- а)  $K_p = \frac{1}{P_B^b}$ ; б)  $K_p = \frac{P_C^c}{P_A^a \cdot P_B^b}$ ; в)  $K_p = \frac{P_A^a \cdot P_B^b}{P_C^c}$ ; г)  $K_p = P_B^b$ .

25. По какой формуле можно рассчитать константу равновесия реакции  $SO_2 + O_2 \leftrightarrow SO_3$ , через парциальные давления участников реакции?

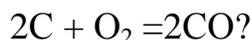
$$\text{а) } \hat{E}_D = \frac{D(SO_2) \cdot D(O_2)}{D(SO_3)}; \quad \text{в) } Kp = \frac{p(SO_3)}{p(SO_2) \cdot p(O_2)};$$

$$\text{б) } Kp = \frac{p^2(SO_2) \cdot p(O_2)}{p^2(SO_3)}; \quad \text{г) } Kp = \frac{p^2(SO_3)}{p^2(SO_2) \cdot p(O_2)}.$$

26. Для каких реакций константа равновесия равна равновесному давлению в системе при данной температуре,  $K_p = P_{\text{равн}}$ ?

- а) для любых реакций, вещества которых находятся в идеальном газообразном состоянии;
- б) для гетерогенных реакций, в результате которых выделяется 1 моль газообразного продукта;
- в) для гетерогенных реакций;
- г) для гомогенных реакций, в результате которых получается 1 моль вещества.

27. Каким уравнением описывается константа равновесия реакции



$$\text{а) } K_p = \frac{P_{CO}}{P_C \cdot P_{O_2}}; \quad \text{б) } K_p = \frac{P_{CO}^2}{P_{O_2}}; \quad \text{в) } K_p = \frac{P_C^2 \cdot P_{O_2}}{P_{CO}^2}; \quad \text{г) } K_p = \frac{P_C \cdot P_{O_2}}{P_{CO}^2}.$$

28. Какой вид имеет уравнение константы равновесия  $K_p$  для реакции:



$$\text{а) } Kp = \frac{p(CaCO_3)}{p(CaO) \cdot p(CO_2)}; \quad \text{в) } Kp = p(CO_3);$$

$$\text{б) } Kp = \frac{p(CaO) \cdot p(CO_2)}{p(CaCO_3)}; \quad \text{г) } Kp = \frac{1}{p(CO_2)}.$$

29. Для какого из приведенных уравнений пригодно выражение расчета константы равновесия  $K_p = P(CO_2)$ ?

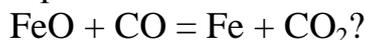
- а)  $C + O_2 = CO_2$ ;                      б)  $CO + O_2 = CO_2$ ;
- в)  $CaCO_3 = CaO + CO_2$ ;              г)  $CO + H_2O = H_2 + CO_2$ .

30. Для какой из представленных реакций верно уравнение:

$$K_p = 1/P(CO_2)$$

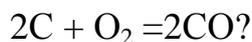
- а)  $CaCO_3 = CaO + CO_2$ ;              б)  $MgO + CO_2 = MgCO_3$ ;
- в)  $H_2 + CO = H_2O + CO_2$ ;            г)  $FeO + CO = Fe + CO_2$ .

31. Зависит ли константа равновесия от парциального давления участников реакции при протекании реакции



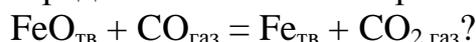
- а) не зависит;                      б) зависит, т.к.  $K_p = \frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}$ ;
- в) зависит, т.к.  $K_p = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}}$ ;    г) зависит, т.к.  $K_p = \frac{P_{Fe} \cdot P_{CO_2}}{P_{FeO} \cdot P_{CO}}$ .

32. Каким уравнением описывается константа равновесия реакции



- а)  $K_p = \frac{P_{CO}}{P_C \cdot P_{O_2}}$ ;                      б)  $K_p = \frac{P_{CO}^2}{P_{O_2}}$ ;
- в)  $K_p = \frac{P_C^2 \cdot P_{O_2}}{P_{CO}^2}$ ;                      г)  $K_p = \frac{P_C \cdot P_{O_2}}{P_{CO}^2}$ .

33. Каким уравнением определяется константа равновесия реакции

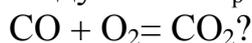


- а)  $\hat{E}_\delta = \frac{D_{FeO} \cdot D_{CO}}{D_{Fe} \cdot D_{CO_2}}$ ;                      б)  $\hat{E}_\delta = \frac{D_{Fe} \cdot D_{CO_2}}{D_{FeI} \cdot D_{CO}}$ ;
- в)  $K_p = \frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}$ ;                      г)  $K_p = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}}$ .

34. Какими справочными данными нужно пользоваться для расчета константы равновесия системы, находящейся в стационарном устойчивом равновесном состоянии при данной температуре?

- а)  $H_{298}^\circ$ ,  $C_p = f(T)$ ;    б)  $H_{298}^\circ$ ,  $S_{298}^\circ$ ;
- в)  $C_{298}^\circ$ ;                      г)  $H_{298}^\circ$ ,  $S_{298}^\circ$ ,  $C_p = f(T)$ .

35. Каким условием связаны между собой  $K_p$  и  $K_n$  для реакции



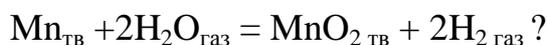
- а)  $K_p = K_n$ ;                      б)  $K_p = K_n RT / P_{общ}$ ;
- в)  $K_p = K_n / P_{общ}$ ;    г)  $K_p = K_n P_{общ}^{\Delta v}$ .

36. Для какого из представленных уравнений пригодно равенство

$$\hat{E}_\delta = \frac{1}{D_{1,2}} \quad ?$$

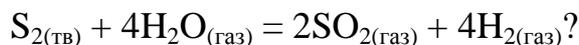
- а)  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ ;    б)  $Ni + O_2 = NiO$ ;
- в)  $2C + O_2 = 2CO$ ;        г)  $S + O_2 = SO_2$ .

37. В каком соотношении находятся  $K_p$  и  $K_c$  для реакции



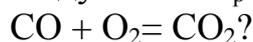
- а).  $K_p = K_c RT$ ; б)  $K_p = K_c (RT)^{-1}$ ;  
 в)  $K_p = K_c$ ; г)  $K_p = K_c (RT)^{-2}$ .

38. В каком соотношении находятся  $K_p$  и  $K_c$  для реакции



- а)  $K_p = K_c$ ; б)  $K_p = K_c P^4_{общ}$ ;  
 в)  $K_p = K_c (RT)^6$ ; г)  $K_p = K_c (RT)^2$ .

39. Каким условием связаны между собой  $K_p$  и  $K_n$  для реакции



- а)  $K_p = K_n$ ; б)  $K_p = K_n RT / P_{общ}$ ;  
 в)  $K_p = K_n / P_{общ}$ ; г)  $K_p = K_n P_{общ}^{\Delta v}$ .

40. Для какой из приведенных реакций  $\Delta v = 0$ ?

- а)  $CaO + CO_2 \leftrightarrow CaCO_3$ ; б)  $H_2 + O_2 \leftrightarrow H_2O$ ;  
 в)  $N_2 + H_2 \leftrightarrow NH_3$ ; г)  $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2O$ .

41. Чему равно изменение числа молей в ходе реакции  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ ?

- а) 2; б) -2; в) 4; г) 6.

42. Чему будет равно  $\Delta v$  для реакции:  $CO + O_2 = CO_2$ ?

- а) 1; б) -1; в) 2; г) 5.

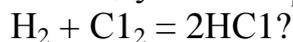
43. Какова связь между  $K_p$  и  $K_c$ ?

- а)  $K_p = K_c / (RT)^{\Delta v}$ ; б)  $K_p = K_c (RT)^{\Delta v}$ ;  
 в)  $K_c = K_p (RT)^{\Delta v}$ ; г)  $K_c = K_p P_{общ}^{\Delta v}$ .

44. Каким образом константа равновесия  $K_p$  зависит от общего давления в системе?

- а)  $K_p = K_c * P_{общ}$ ; б)  $K_p = K_n * P_{общ}^{\Delta n}$ ;  
 в)  $K_p = K_n * P_{общ}^{\Delta n}$ ; г)  $K_p = K_c \frac{P_{общ}}{\sum n}$ .

45. Каким уравнением связаны между собой  $K_p$  и  $K_v$  для реакции:



- а)  $K_p = K_v P_{общ}$ ; б)  $K_p = K_v$ ;  
 в)  $K_p = K_v P_{общ}^2$ ; г)  $K_p = K_v (RT/V)$ .

46. Какая из представленных формул написана неверно?

$$\begin{array}{ll} \text{а) } K_p = K_c RT^{\Delta v}; & \text{б) } K_p = K_N P_{\text{общ}}^{\Delta v}; \\ \text{в) } K_p = K_c P_{\text{общ}}^{\Delta v}; & \text{г) } K_p = K_v (RT/P)^{\Delta v}. \end{array}$$

47. Каково соотношение  $K_p$  и  $K_v$  для химической реакции?

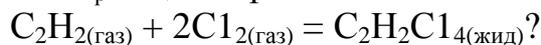
$$\begin{array}{ll} \text{а) } K_p = K_n, \text{ если } n \neq 0; & \text{б) } K_p = K_n, \text{ если } n = 0; \\ \text{в) } K_p > K_n, \text{ если } n = 0; & \text{г) } K_p < K_n, \text{ если } n = 0. \end{array}$$

48. Какова связь между  $K_p$  и  $K_c$  для уравнения  $\text{CO} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ ?

$$\text{а) } K_p = K_c; \quad \text{в) } K_p = K_c RT^{\Delta n};$$

$$\text{б) } K_p = K_c / RT; \quad \text{г) } K_p = \frac{K_c}{RT^{\Delta n}}.$$

49. Каково соотношение  $K_p$  и  $K_v$  для реакции:



$$\text{а) } K_p = K_v; \quad \text{б) } K_p > K_v; \quad \text{в) } K_p < K_v; \quad \text{г) } K_p = K_v P_{\text{общ}}^2.$$

50. В какую сторону сместится равновесие в системе:  $\text{SO}_2\text{Cl}_2 = \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$ , при введении в реакционную смесь дополнительного количества  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ?

а) вправо; б) влево; в) равновесие не сместится.

50. В какую сторону сместится равновесие в системе:  $\text{COCl}_2 = \text{CO} + \text{Cl}_2$ , при введении в реакционную смесь дополнительного количества  $\text{COCl}_2$ ?

а) вправо; б) влево; в) равновесие не сместится.

51. Каким образом влияет температура на константу равновесия?

а) константа равновесия не зависит от температуры;  
 б) увеличится с увеличением температуры;  
 в) уменьшится с ростом температуры;  
 г) эта зависимость определяется знаком теплового эффекта.

52. Каким образом нужно изменить температуру эндотермической реакции, чтобы увеличить выход продуктов реакции?

а) температуру нужно увеличить;  
 б) температуру нужно уменьшить;  
 в) выход продуктов реакции не зависит от температуры;  
 г) чтобы ответить на этот вопрос, необходимо знать изменение числа молей конкретной химической реакции.

53. Каким образом нужно изменить температуру экзотермической реакции, чтобы увеличить выход продуктов реакции?

а) температуру нужно увеличить;  
 б) температуру нужно уменьшить;  
 в) выход продуктов реакции не зависит от температуры;

- г) чтобы ответить на этот вопрос, необходимо знать изменение числа молей конкретной химической реакции.
54. У какой из реакции изменение константы равновесия с изменением температуры максимально?
- а)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3 - 176,8 \text{ кДж}$ ;
  - б)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3 - 92,18 \text{ кДж}$ ;
  - в)  $\text{CO} + 2\text{H}_2 = 2\text{CH}_3\text{OH} - 113,13 \text{ кДж}$ ;
  - г)  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} + 160,5 \text{ кДж}$ .
55. При увеличении температуры выход реакции  $\text{CO} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$  увеличивается. Каков знак теплового эффекта?
- а) положительный;
  - б) отрицательный;
  - в) равен нулю.
56. При температуре  $600^\circ\text{C}$  протекает реакция  $2\text{NH}_3 \rightleftharpoons 3\text{H}_2 + \text{N}_2$ . Изменится ли и как степень диссоциации аммиака, если в системе увеличить общее давление? Реакция протекает с поглощением тепла.
- а) не изменится;
  - б) увеличится, т.к.  $\Delta H > 0$ ;
  - в) увеличится, т.к.  $\Delta H < 0$ ;
  - г) уменьшится, т.к.  $\Delta H > 0$ .
57. Для какой из представленных реакций изменение константы равновесия с ростом температуры минимально?
- а)  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 - 393,0 \text{ кДж}$ ;
  - б)  $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI} + 52,0 \text{ кДж}$ ;
  - в)  $\text{S}_2 + \frac{3}{2}\text{O}_2 = \text{SO}_3 - 395,8 \text{ кДж}$ ;
  - г)  $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 - 1206,8 \text{ кДж}$ .
58. Реакция  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}$  является экзотермической. Как будет изменяться константа равновесия с ростом температуры?
- а) будет возрастать;
  - б) будет уменьшаться;
  - в) останется неизменной.
59. Покажите, в каком из уравнений неверно указано смещение равновесия с ростом температуры?
- а)  $\text{N}_2\text{O}_4 \leftarrow 2\text{NO} + 56,98 \text{ кДж}$ ;
  - б)  $\text{N}_2 + \text{H}_2 \leftarrow \text{NH}_3 - 92,18 \text{ кДж}$ ;
  - в)  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \leftarrow \text{NO} - 181,0 \text{ кДж}$ ;
  - г)  $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \leftarrow \text{SO}_3 - 176,8 \text{ кДж}$ .

60. Дана реакция  $C + O_2 = CO$ . Как изменится выход продуктов реакции, если в системе увеличится давление?
- увеличится;
  - уменьшится;
  - останется неизменным;
  - чтобы ответить на этот вопрос, нужно рассчитать константу равновесия.
61. Для какой реакции неверно указано смещение равновесия с ростом давления?
- $CO + O_2 \rightarrow CO_2$ ;
  - $C_2H_2 + H_2 \rightarrow C_2H_6$ ;
  - $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ ;
  - $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ .
62. Каким образом будет смещаться равновесие реакции  $CO + O_2 = CO_2$  при увеличении давления в системе?
- в сторону образования исходных веществ;
  - в сторону образования  $CO_2$ ;
  - увеличение давления будет в равной степени смещать равновесие прямой и обратной реакции.
63. Как изменится равновесный выход водорода по уравнению реакции  $CH_4 + 2H_2S = CS_2 + 4H_2$  при повышении общего давления в системе, если все вещества находятся в идеальном газообразном состоянии?  
Равновесный выход:
- увеличится;
  - уменьшится;
  - останется неизменным.
64. Как изменится выход реакции  $FeO + CO = Fe + CO_2$  с ростом давления?
- увеличится;
  - уменьшится;
  - не изменится.
65. Для какой из двух реакций, протекающих в одинаковых условиях равновесия, выход продуктов реакции будет больше, при условии, что первая имеет большее изменение энергии Гиббса по сравнению со второй?
- выход реакции (1) больше выхода реакции (2);
  - выход реакции (1) меньше выхода реакции (2);
  - в обеих реакциях выход будет одинаковым;
  - выход зависит от величины и знака энергии Гиббса.
66. Константа равновесия реакции  $1/2N_2 + 3/2H_2 = NH_3$  равна  $K_p$ , а реакции  $3H_2 + N_2 = 2NH_3$  -  $K'_p$ . Будет ли различие в величинах этих констант при одинаковой температуре?
- не будет;
  - $K'_p = 1/2 K_p$ ;
  - $K_p = (K'_p)^2$ ;
  - $K_p = 2K'_p$ .

67. Что представляет собой химическое сродство?

Это способность веществ:

- а) вступать во взаимодействие друг с другом;
- б) образовывать прочные соединения;
- в) избавляться от избытка энергии;
- г) вступать во взаимодействие с родственными веществами.

68. Что называется нормальным химическим сродством?

Нормальным химическим сродством называется:

- а) способность веществ вступать в химическое взаимодействие друг с другом;
- б) максимально полезная работа изобарно–изотермического процесса;
- в) полная максимальная работа изобарно–изотермического процесса при нормальных условиях;
- г) полная максимальная работа изобарно–изохорического процесса при нормальных условиях.

69. Что является мерой химического сродства химической реакции, если она протекает в условиях постоянного давления и температуры?

- а) максимально полная работа;
- б) максимально полезная работа;
- в) тепловой эффект химической реакции;
- г) изменение внутренней энергии реакции.

70. Что является мерой нормального химического сродства реакции, протекающей при постоянном объеме и температуре?

- а)  $\Delta S$ ;      б)  $\Delta H$ ;      в)  $\Delta U$ ;      г)  $\Delta F$ ; д)  $\Delta G$ .

71. Что является мерой нормального химического сродства реакции, протекающей при постоянном давлении и температуре?

- а)  $\Delta S$ ;      б)  $\Delta H$ ;      в)  $\Delta U$ ;      г)  $\Delta F$ ;      д)  $\Delta G$ .

72. Какое из предложенных уравнений представляет собой уравнение изотермы Вант – Гоффа?

- а)  $\Delta G = RT \ln K_p$ ;      б)  $\Delta G = -RT (\ln K_p - \ln \sum \nu P_i)$ ;
- в)  $\frac{dP}{dT} = -\frac{\Delta H}{RT^2}$ ;      г)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ .

73. Какое из уравнений является уравнением нормального химического сродства?

- а)  $\Delta G = RT \ln K_p$ ;      б)  $\Delta G = -RT \ln K_p$ ;
- в)  $\Delta G = RT (\ln K_p - \ln \sum \nu P_i)$ ;      г)  $\Delta G = -RT (\ln K_p - \ln \sum \nu P_i)$ .

74. Какое из представленных уравнений является уравнением изотермы для реакции:  $A + 2B = C$ ?

а)  $\Delta G = -RT \ln K_p$ ;      б)  $\Delta G = -RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(c)}}{P_{(A)} \cdot P_{(B)}} \right)$ ;

в)  $\Delta G = RT \left( \ln \frac{P_{(c)}}{P_{(A)} \cdot P_{(B)}^2} - \ln K_p \right)$ ;      г)  $\Delta G = RT \ln K_p$ .

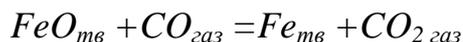
75. Какое из представленных уравнений является уравнением изотермы Вант-Гоффа для реакции:  $H_2 + Cl_2 = 2HCl$ ?

(Все вещества находятся в идеальном газообразном состоянии)

а)  $\Delta G = -RT \ln K_p$ ; б)  $K_p = \frac{P_{HCl}^2}{P_{H_2} P_{Cl_2}}$ ;

в)  $\Delta G = RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{HCl}^2}{P_{H_2} P_{Cl_2}} \right)$ ;      г)  $\Delta G = -RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{HCl}^2}{P_{H_2} P_{Cl_2}} \right)$ .

76. Каким из представленных уравнений изотермы Вант-Гоффа описывается реакция:



а)  $\Delta G = RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(CO)}}{P_{(CO_2)}} \right)$       б)  $\Delta G = -RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(CO_2)}}{P_{(CO)}} \right)$ ;

в)  $\Delta G = RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(Fe)} \cdot P_{(CO_2)}}{P_{(FeO)} \cdot P_{(CO)}} \right)$ ;      г)  $\Delta G = -RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(Fe)} \cdot P_{(CO)}}{P_{(FeO)} \cdot P_{(CO_2)}} \right)$ .

77. Какое из уравнений выражает зависимость константы равновесия от температуры для реакции:  $N_2O_{4(газ)} = 2NO_2$  ?

а)  $\ln K_p = \frac{\Delta G}{RT}$ ;      б)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = -RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(NO_2)}^2}{P_{(N_2O_4)}} \right)$ ;

в)  $\Delta G = RT \left( \ln K_p - \ln \frac{P_{(NO_2)}^2}{P_{(N_2O_4)}} \right)$ ;      г)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ .

78. Возможно ли самопроизвольное протекание процесса, если он характеризуется уменьшением энергии Гиббса и увеличением энтропии?

- а) невозможно;
- б) возможно отчасти;
- в) возможно в сторону образования продуктов реакции;
- г) возможно в сторону образования исходных веществ.

79. Как графически можно определить величину теплового эффекта химической реакции?

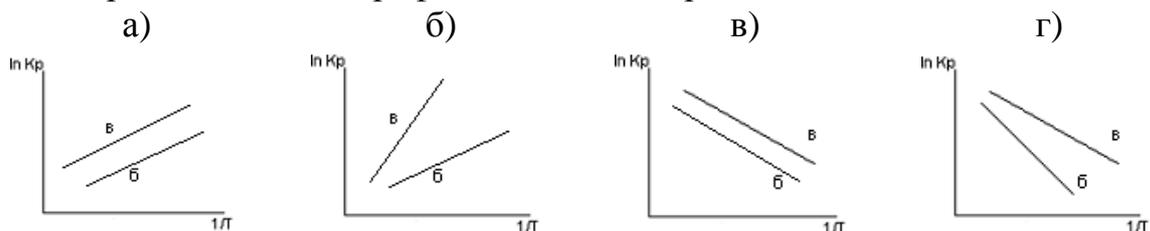
а)  $\Delta H = Rtg\alpha$  из графика  $\ln K_p = f(1/T)$ ;

- б)  $\Delta H = -Rtg\alpha$  из графика  $\ln K_p = f(1/T)$ ;  
 в)  $\Delta H = Rtg\alpha$  из графика  $K_p = f(T)$ ;  
 г)  $\Delta H = -Rtg\alpha$  из графика  $K_p = f(T)$ .

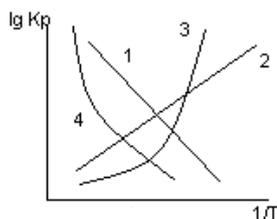
80. В каких координатах зависимость константы равновесия от температуры имеет прямолинейную зависимость?

- а)  $K_p=f(T)$ ; б)  $\ln K_p=f(T)$ ; в)  $K_p= f(1/T)$ ; г)  $\ln K_p=f(1/T)$ .

81. Известно, что для воды (в) теплота испарения равна 40,7кДж/моль, а для бензола (б) 31,5 кДж/моль при одной и той же температуре. Какой из представленных графиков является правильным?

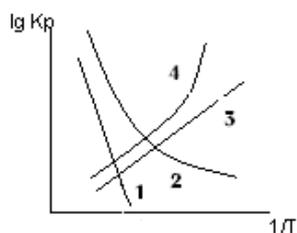


82. На графике представлена зависимость константы равновесия от температуры. Какая из кривых соответствует случаю уменьшения энтальпии с ростом температуры?



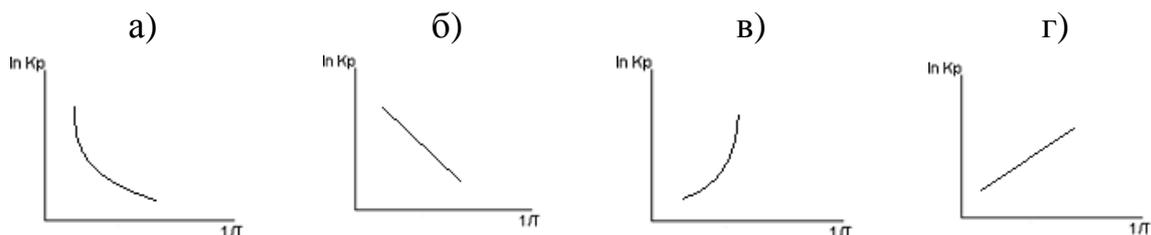
- а) 1;  
 б) 2;  
 в) 3;  
 г) 4.

83. Какая из представленных кривых на графике зависимости константы равновесия от температуры соответствует случаю увеличения энтальпии в данном интервале температур?



- а) 1;  
 б) 2;  
 в) 3;  
 г) 4.

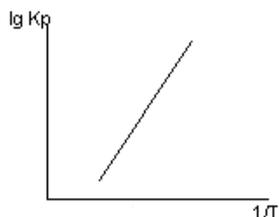
84. Какой вид имеет зависимость  $\ln K_p = f(1/T)$  для случая  $\Delta H > 0$ ?



85. Какая величина определяет наклон прямой графика, построенного в координатах:  $\ln K_p = f(1/T)$ ?

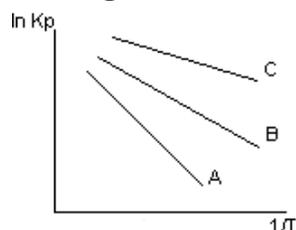
- а) связанная энергия; б) энтальпия;  
в) совершенная работа; г) энтропия.

86. Зависимость константы равновесия  $K_p$  некоторой реакции от температуры представлена графиком  $\ln K_p = f(1/T)$ . Какой знак имеет тепловой эффект данной реакции?



- а)  $H > 0$ ;  
б)  $H < 0$ ;  
в)  $H = 0$ ;  
г) наклон прямой не зависит от знака теплового эффекта.

87. На рисунке дана зависимость  $\ln K_p = 1/T$  для реакций А, В и С. Чем определяется наклон прямых и каков порядок изменения этих величин?



- а) величиной энтальпии  $\Delta H_A > \Delta H_B > \Delta H_C$ ;  
б) величиной энтальпии  $\Delta H_A < \Delta H_B < \Delta H_C$ ;  
в) знаком энтальпии  $\Delta H_A < \Delta H_B < \Delta H_C$ ;  
г) знаком и величиной энтальпии  $\Delta H_A > \Delta H_B > \Delta H_C$ .

88. Какова зависимость между  $P$  и  $T$  для равновесной системы «жидкость  $\leftrightarrow$  пар»?

- а)  $\frac{dT}{dP} = \frac{(V_{\text{п}} - V_{\text{ж}})}{\lambda}$ ; б)  $\frac{dT}{dP} = \frac{T(V_{\text{п}} - V_{\text{ж}})}{\lambda}$ ;  
в)  $\frac{dT}{d \ln P} = \frac{T(V_{\text{п}} - V_{\text{ж}})}{\lambda}$ ; г)  $\frac{dT}{d \ln P} = \frac{(V_{\text{п}} - V_{\text{ж}})}{\lambda T}$ .

89. Какое условие должно соблюдаться, чтобы для расчета константы равновесия можно было пользоваться интегральной формой уравнения изобары:

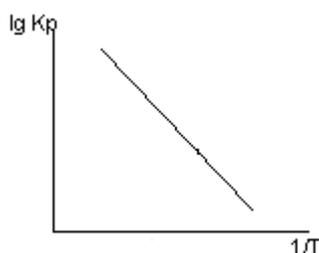
$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H}{R} \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] ?$$

- а)  $\Delta H > 0$ ; б)  $\Delta H < 0$ ;  
в)  $\Delta H = \text{const}$ ;  
г)  $\Delta H = \text{const}$  в интервале температур от  $T_1$  до  $T_2$ .

90. Какова зависимость константы равновесия от температуры в дифференциальной форме?

$$\begin{array}{ll} \text{а) } \frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT}; & \text{б) } \frac{d \ln K_p}{dT} = -\frac{\Delta H}{RT}; \\ \text{в) } \frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}; & \text{г) } \frac{d \ln K_p}{dT} = -\frac{\Delta H}{RT^2}. \end{array}$$

91. Зависимость  $\lg K_p$  некоторой реакции от обратной температуры представлена графиком. Какой тепловой эффект имеет данная реакция и к какому типу она относится?



- а)  $\Delta H < 0$  – экзотермическая;  
 б)  $\Delta H < 0$  – эндотермическая;  
 в)  $\Delta H > 0$  – экзотермическая;  
 г)  $\Delta H > 0$  – эндотермическая.

92. Какова зависимость константы равновесия от температуры в интегральной форме?

$$\begin{array}{ll} \text{а) } K_p = \frac{\Delta H (T_2 - T_1)}{R}; & \text{б) } \ln K_p = \frac{\Delta H}{RT}; \\ \text{в) } \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \frac{\Delta H (T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}; & \text{г) } \ln \frac{K_{p2}}{K_{p1}} = \frac{\Delta H (T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}. \end{array}$$

93. Зависимость константы равновесия от температуры для реакции

$$2\text{FeO}_{\text{тв}} = 2\text{Fe}_{\text{тв}} + \text{O}_{2 \text{ газ}} \text{ выражается уравнением: } K_p = -\frac{26730}{T} + 6,46.$$

Определите, выделяется или поглощается тепло в ходе протекания данной реакции и зависит ли тепловой эффект от температуры?

- а)  $\Delta H > 0$  зависит;    б)  $\Delta H > 0$  не зависит;  
 в)  $\Delta H < 0$  зависит;    г)  $\Delta H < 0$  не зависит.

94. Как нужно изменить давление реакции  $2\text{FeO}_{\text{тв}} = 2\text{Fe}_{\text{тв}} + \text{O}_{2 \text{ газ}}$ , чтобы увеличить выход продуктов?

- а) увеличивать;    б) уменьшать;  
 в) на выход реакции давление не будет оказывать влияния.

95. При температуре  $1000^\circ\text{C}$   $K_p = 3,88$ , а при  $1100^\circ\text{C}$   $K_p = 4,15$ .

Как изменится выход реакции, если температуру повысить ещё на  $200^\circ\text{C}$ ?

- а) увеличится;    б) останется неизменным;    в) уменьшится;  
 г) чтобы ответить на этот вопрос нужно подсчитать тепловой эффект реакции.

96. Какое из представленных уравнений является уравнением изохоры?

а)  $\frac{d \ln K_c}{RT} = \frac{\Delta U}{RT}$       б)  $\Delta G = RT \ln K_p$  ;  
в)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$  ;      г)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$  .

97. Какое из представленных уравнений является уравнением изобары?

а)  $\frac{d \ln K_c}{RT} = \frac{\Delta U}{RT}$       б)  $\Delta G = RT \ln K_p$  ;  
в)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$  ;      г)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$  .

98. Какое из представленных уравнений является уравнением нормального химического средства?

а)  $\frac{d \ln K_c}{RT} = \frac{\Delta U}{RT}$       б)  $\Delta G = -RT \ln K_p$  ;  
в)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta \dot{I}}{RT^2}$  ;      г)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$  .

99. Как рассчитать тепловой эффект реакции, зная константы равновесия при двух температурах?

а)  $\frac{K_{p2}}{K_{p1}} = \frac{\Delta H \cdot T_1 \cdot T_2}{R(T_2 - T_1)}$  ;      б)  $\ln \frac{K_{p2}}{K_{p1}} = \frac{\Delta H(T_2 + T_1)}{RT_2 \cdot T_1}$  ;  
в)  $\Delta H = \frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \ln \frac{K_{p2}}{K_{p1}}}{T_2 - T_1}$  ;      г)  $\Delta H = \frac{R(T_2 - T_1) \ln \frac{K_{p2}}{K_{p1}}}{T_2 \cdot T_2}$  .

100. Константу равновесия химической реакции можно рассчитать различными способами. В каком случае имеет наибольшая сходимость результатов?

- а) точный метод и метод Улиха;
- б) точный метод и метод Владимирова;
- в) точный метод и метод Тёмкина-Шварцмана;
- г) метод Тёмкина-Шварцмана и метод Улиха.

### 3.5. Многовариантные задачи

**Задача № 42.** Вычислите константу равновесия реакции:  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ , если из смеси, содержащей  $X$  молей азота и  $Y$  молей водорода, к моменту равновесия при давлении  $P$  образовалось  $Z$  молей аммиака.

Таблица 1

Вар.	$X$ , моль	$Y$ , моль	$Z$ , моль	$P \cdot 10^{-5}$ , Па
1	2,5	7,5	1,3	4,052
2	2,6	7,8	1,3	7,091
3	2,8	8,4	1,4	8,104
4	1,7	5,1	0,9	5,078
5	1,2	3,6	0,6	7,091
6	1,6	4,8	0,8	8,104
7	3,2	9,6	1,6	10,130
8	1,9	5,7	1,0	3,039
9	1,3	3,9	0,7	1,013
10	1,3	5,7	1,0	3,039
11	1,0	3,6	0,5	10,130
12	2,0	6,0	1,0	1,013
13	1,5	4,5	0,8	5,065
14	3,0	9,0	1,5	2,026
15	0,5	1,5	0,3	3,039
16	2,2	6,6	1,1	1,013
17	1,4	4,2	0,7	3,039
18	1,8	5,4	0,9	4,052
19	3,4	10,2	1,7	20,260
20	2,4	7,2	1,2	6,078
21	0,5	1,4	0,3	3,039
22	2,5	7,0	1,1	6,078
23	2,1	6,5	1,2	1,013
24	3,4	10,0	1,0	4,052
25	1,6	5,2	0,8	4,052

**Задача № 43.** При нагревании водорода и йода в закрытом сосуде до 444 °С обратимо протекает реакция  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$ . Равновесная смесь содержит А моль вещества HI, Б моль вещества водорода и В моль вещества йода. Вычислите константы равновесия  $K_c$ ,  $K_p$ ,  $K_n$ ,  $K_N$  и исходные концентрации водорода и йода.

Таблица 2

Вар.	А, моль	Б, моль	В, моль
1	5,64	5,28	0,12
2	5,81	4,51	0,15
3	4,18	3,88	0,09
4	4,52	4,55	0,16
5	8,43	6,77	0,21
6	5,98	4,77	0,15
7	7,23	5,81	0,18
8	7,95	6,32	0,20
9	8,59	7,77	0,19
10	8,65	8,31	0,18
11	6,71	4,51	1,20
12	8,31	6,28	1,22
13	5,98	3,77	0,19
14	10,93	5,44	0,44
15	14,01	7,55	0,52
16	11,35	8,31	0,31
17	7,11	7,77	0,13
18	9,39	8,41	0,21
19	10,23	9,52	0,22
20	7,59	6,41	0,18
21	6,07	3,88	0,19
22	5,44	4,55	0,13
23	8,36	9,31	0,15
24	9,24	8,54	0,20
25	8,83	7,42	0,21

**Задача № 44.** При 727 °С константа равновесия реакции:



равна  $K_p = 3,417 \cdot 10^{-5} \text{ (н/м}^2\text{)}^{-1}$ . Какова будет концентрация  $\text{SO}_3$  при равновесии, если исходные концентрации  $\text{SO}_2$  и  $\text{O}_2$  ( $\text{кмоль/м}^3$ ) имеют значения, приведенные в таблице.

Таблица 3

Вар.	C(so <sub>2</sub> )	C(o <sub>2</sub> )	Вар.	C(so <sub>2</sub> )	C(o <sub>2</sub> )	Вар.	C(so <sub>2</sub> )	C(o <sub>2</sub> )
1	2,5	1,0	9	1,0	1,0	17	1,5	1,0
2	2,5	1,5	10	2,0	2,0	18	2	1,5
3	2,5	2,0	11	1,0	2,0	19	2,5	2,0
4	1,8	2,0	12	0,5	1,8	20	3,0	2,0
5	3,0	1,0	13	1,0	0,8	21	3,0	2,5
6	4,0	2,0	14	0,5	1,0	22	2,0	1,8
7	4,0	1,5	15	1,0	0,5	23	3,0	2,2
8	3,0	1,0	16	1,5	1,5	24	4,0	2,6

**Задача № 45.** При некоторой температуре константа равновесия реакции  $\text{НСООН} + \text{СН}_3\text{ОН} \rightarrow \text{НСООСН}_3 + \text{Н}_2\text{О}$  равна 5. Определите состав равновесной смеси, если в реакцию было введено А моль муравьиной кислоты и В моль метилового спирта.

Таблица 4

Вар.	А, моль	В, моль	Вар.	А, моль	В, моль
1	1	2,2	14	2,0	4,0
2	1,5	2,7	15	1,0	2,2
3	2	3,2	16	2,2	4,5
4	1,6	3,8	17	2,4	5,0
5	2,5	4,0	18	2,3	5,0
6	0,8	1,6	19	1,0	2,0
7	1,7	3,5	20	1,01	2,2
8	0,8	1,6	21	0,9	2,0
9	1,1	1,6	22	2,4	4,0
10	1,8	3,6	23	2,6	5,0
11	1,2	2,4	24	1,4	3,0
12	1,5	3,0	25	1,4	3,6
13	1,9	4,0			

**Задача № 46.** При 300 °С для реакции  $C_{\text{граф}} + 2H_2 \rightarrow CH_4(\text{газ})$  константа равновесия  $K_p = 153 \cdot 10^{-5} \text{ (н/м}^2\text{)}^{-1}$ . Вычислите содержание метана в объемных процентах в равновесной смеси при указанной температуре и давлении  $P$ , (н/м<sup>2</sup>).

Таблица 5

Вар.	$P \cdot 10^{-5}$						
1	13,54	7	25,90	13	13,20	19	10,86
2	13,68	8	10,94	14	10,84	20	20,51
3	33,67	9	20,26	15	25,12	21	47,28
4	23,76	10	40,52	16	22,30	22	30,40
5	13,20	11	50,56	17	55,40	23	15,40
6	12,45	12	24,15	18	22,00	24	16,00

**Задача № 47.** При давлении  $1,0133 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$  и указанной температуре фосген разлагается на оксид углерода и хлор по уравнению реакции  $COCl_2 \leftrightarrow CO + Cl_2$ . Степень превращения фосгена при указанных условиях составляет  $\alpha\%$ . Рассчитайте  $K_p, K_C, K_n, K_N$ .

Таблица 6

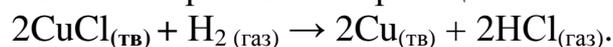
Вар.	T, К	$\alpha$ , %	Вар.	T, К	$\alpha$ , %
1	720	68	14	650	60
2	860	82	15	780	74
3	600	55	16	920	88
4	750	70	17	660	61
5	900	86	18	840	80
6	800	76	19	910	87
7	620	56	20	700	66
8	760	71	21	890	85
9	820	77	22	680	64
10	870	83	23	880	84
11	770	73	24	850	81
12	830	78	25	930	89
13	630	57			

**Задача № 48.** При 1000 °К для реакции  $C_{(граф)} + CO_2 \rightarrow 2CO$  константа равновесия  $K_p = 123,28 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ . Рассчитайте содержание  $CO_2$  и  $CO$  в объемных процентах в равновесной смеси при давлении  $P$ ,  $\text{н/м}^2$  и указанной температуре.

Таблица 7

№ вар	$P \cdot 10^{-5}$						
1	15,40	7	25,12	13	25,90	19	13,54
2	47,21	8	35,40	14	10,80	20	33,67
3	30,39	9	17,70	15	12,95	21	23,76
4	47,21	10	22,00	16	40,52	22	25,28
5	15,40	11	24,15	17	50,56	23	20,26
6	13,20	12	12,08	18	12,45	24	13,20

**Задача № 49.** Константа равновесия реакции:



$K_p = 2,13 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ . Сколько граммов меди образуется, если газовая фаза до начала реакции состояла из  $A_1$  моль водорода и  $A_2$  моль  $HCl$ . Общее давление в системе равно 101325 Па.

Таблица 8

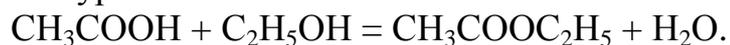
№ вар	$A_1(H_2)$ , моль	$A_2(HCl)$ , моль	№ вар	$A_1(H_2)$ , моль	$A_2(HCl)$ , моль
1	0,10	0,02	14	0,15	0,03
2	0,75	0,15	15	0,20	0,04
3	0,90	0,18	16	0,40	0,08
4	1,050	0,21	17	0,25	0,05
5	1,150	0,23	18	0,45	0,09
6	1,550	0,31	19	0,35	0,07
7	0,65	0,13	20	0,30	0,06
8	0,55	0,11	21	0,80	0,16
9	1,15	0,23	22	1,30	0,26
10	0,70	0,14	23	1,35	0,27
11	1,20	0,24	24	0,05	0,01
12	1,10	0,22	25	0,85	0,17
13	0,60	0,12			

**Задача № 50.** Для реакции  $A + B \rightarrow C + D$ , протекающей в газовой фазе при 600К и нормальном давлении, константа равновесия равна  $K_p$ , исходный состав смеси равен  $\omega_A, \omega_B, \omega_C, \omega_D$  об.%. Вычислите равновесные концентрации газообразных участников реакции.

Таблица 9

вариант	$K_p$	$\omega_A$	$\omega_B$	$\omega_C$	$\omega_D$
1	0,73	45	49	4	2
2	0,69	50	42	7	1
3	0,82	44	50	3	3
4	6,71	49	46	3	2
5	0,84	42	50	5	3
6	0,66	44	48	3	5
7	0,68	48	45	4	3
8	0,74	53	42	4	1
9	0,81	54	38	5	3
10	0,73	40	49	9	2
11	0,82	41	49	6	4
12	0,77	43	47	7	3
13	0,88	46	44	9	1
14	0,74	35	54	7	4
15	0,68	51	40	6	3
16	0,81	48	40	9	3
17	0,78	51	38	4	7
18	0,84	40	52	7	1
19	0,75	42	48	3	7
20	0,69	47	42	6	5
21	0,85	48	45	2	5
22	0,79	42	45	7	6
23	0,70	41	49	6	4
24	0,76	43	49	6	2
25	0,80	50	38	7	5

**Задача № 51.** При смешении уксусной кислоты и этилового спирта протекает реакция по уравнению



Определите константу равновесия данной реакции и исходные концентрации кислоты и спирта, если в момент равновесия в реакционной смеси содержалось  $n$  моль кислоты, спирта, эфира и воды.

Таблица 10

вариант	$n(\text{CH}_3\text{COOH})$ , МОЛЬ	$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ , МОЛЬ	$n(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5)$ , МОЛЬ	$n(\text{H}_2\text{O})$ , МОЛЬ
1	1	1	2,0	2,0
2	0,3	0,3	0,6	0,6
3	0,4	0,16	0,5	0,5
4	0,8	1,51	2,2	2,2
5	0,8	1,65	2,3	2,3
6	0,3	0,13	0,4	0,4
7	0,5	1,62	1,8	1,8
8	0,9	0,71	1,6	1,6
9	1,2	0,02	0,3	0,3
10	1,4	0,14	0,9	0,9
11	1,3	0,43	1,5	1,5
12	0,7	0,17	0,7	0,7
13	0,8	0,11	0,6	0,6
14	0,9	0,18	0,8	0,8
15	1,2	0,05	0,5	0,5
16	1,0	0,30	1,1	1,1
17	1,8	0,23	1,3	1,3
18	1,8	0,31	1,5	1,5
19	2,8	0,51	2,4	2,4
20	2,3	0,35	1,8	1,8
21	1,8	0,73	2,3	2,3
22	1,3	0,62	1,8	1,8
23	1,5	0,80	2,2	2,2
24	0,6	1,50	1,9	1,9
25	0,8	1,95	2,5	2,5

**Задача № 52.** В сосуде при 390 °С протекает реакция по уравнению  $4HCl + O_2 \leftrightarrow 2H_2O(пар) + 2Cl_2$ . В состоянии равновесия смесь содержит А моль HCl, Б моль O<sub>2</sub> и В моль Cl<sub>2</sub>. Давление в системе равно 101325 Па. Вычислите  $K_p, K_n, K_N$  при указанной температуре.

Таблица 11

вариант	n(HCl), моль	n(O <sub>2</sub> ), моль	n(Cl <sub>2</sub> ), моль
1	0,4	4,50	0,31
2	0,6	0,61	0,28
3	0,8	0,07	0,22
4	0,5	0,32	0,2
5	0,4	5,24	0,32
6	0,5	0,78	0,25
7	0,6	0,70	0,29
8	0,8	0,10	0,24
9	0,9	0,22	0,33
10	0,5	0,91	0,26
11	0,6	0,81	0,30
12	0,5	1,22	0,28
13	0,9	0,26	0,34
14	0,8	0,148	0,26
15	0,5	1,62	0,30
16	0,9	0,28	0,35
17	0,5	0,21	0,18
18	0,8	0,186	0,28
19	0,6	1,50	0,35
20	0,9	0,32	0,36
21	0,5	0,13	0,16
22	0,8	0,24	0,30
23	0,6	2,56	0,40
24	0,9	0,40	0,38
25	0,5	0,08	0,14

**Задача № 53.** Для реакции  $C_{2p} + CO_2 \rightarrow 2CO$  при 1273 К константа равновесия равна  $K_p = 123,28 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup>. Рассчитайте равновесное содержание CO и CO<sub>2</sub> в объемных процентах при давлении, равном Р.

Таблица 12

вариант	$P_{\text{общ}} \cdot 10^{-5}$ , Па	вариант	$P_{\text{общ}} \cdot 10^{-5}$ , Па	вариант	$P_{\text{общ}} \cdot 10^{-5}$ , Па
1	7,07	10	1,08	19	12,1
2	9,09	11	15,1	20	15,3
3	10,1	12	2,02	21	15,0
4	15,5	13	19,5	22	10,8
5	5,05	14	3,03	23	13,2
6	18,7	15	5,05	24	10,5
7	8,08	16	4,04	25	14,3
8	11,1	17	16,6		
9	6,06	18	17,7		

**Задача № 54.** Для реакции  $2AgCl + H_2 \rightarrow 2Ag + 2HCl$  константа равновесия при 600°С равна  $141,3 \cdot 10^3$  Па. Вычислите массу серебра, если газовая смесь до начала реакции содержала n молей H<sub>2</sub> и n молей HCl.  $P_{\text{общ}} = 1,013 \cdot 10^5$  Па.

Таблица 13

Вар.	n(H <sub>2</sub> ), моль	n(HCl), моль	Вар.	n(H <sub>2</sub> ), моль	n(HCl), моль
1	0,1	0,01	14	0,2	0,07
2	0,2	0,04	15	0,1	0,05
3	0,3	0,01	16	0,3	0,02
4	0,5	0,03	17	0,4	0,03
5	0,4	0,01	18	0,5	0,01
6	0,1	0,02	19	0,2	0,06
7	0,3	0,06	20	0,4	0,02
8	0,2	0,03	21	0,1	0,06
9	0,5	0,02	22	0,3	0,03
10	0,1	0,03	23	0,2	0,05
11	0,3	0,04	24	0,3	0,05
12	0,2	0,02	25	0,1	0,07
13	0,1	0,04			

**Задача № 55.** Степень разложения этана  $C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$  при температуре  $T$  и давлении  $P$  ( $\text{н/м}^2$ ) равна  $\alpha$ . Вычислите, в каком направлении будет протекать реакция при указанных ниже парциальных давлениях компонентов.

Таблица 14

вариант	$T, K$	$P \cdot 10^{-5}$	$\alpha, \%$	$P_{C_2H_6} \cdot 10^{-5}$	$P_{C_2H_4} \cdot 10^{-5}$	$P_{H_2} \cdot 10^{-5}$
1	1260	1,56	0,92	2,026	1,013	1,013
2	1020	1,32	0,64	1,0113	1,013	1,013
3	1140	1,43	0,79	4,048	2,026	2,026
4	1050	1,36	0,67	3,036	1,013	1,013
5	1180	1,46	0,83	3,036	2,026	1,013
6	1080	1,39	0,70	4,048	3,036	2,026
7	1130	1,42	0,78	1,013	1,056	2,026
8	1000	1,30	0,61	4,048	2,026	3,036
9	1100	1,40	0,73	3,036	2,026	4,048
10	1190	1,54	0,89	3,056	1,056	1,013
11	1060	1,37	0,68	4,048	3,036	3,036
12	1220	1,48	0,84	1,013	2,026	3,036
13	1050	1,31	0,63	2,026	1,056	3,036
14	1160	1,44	0,81	4,048	4,048	1,013
15	1250	1,55	0,91	3,036	1,013	1,056
16	1050	1,35	0,65	4,048	2,026	3,036
17	1120	1,41	0,76	1,013	2,026	1,013
18	1220	1,52	0,88	4,048	1,013	1,013
19	1150	1,42	0,80	2,026	2,026	2,026
20	1040	1,36	0,66	3,036	4,048	2,026
21	1200	1,47	0,85	1,013	2,026	1,056
22	1170	1,45	0,82	2,026	2,026	1,013
23	1070	1,38	0,69	3,036	1,013	2,026
24	1280	1,57	0,93	4,048	1,013	1,056
25	1290	1,58	0,94	2,026	3,036	1,013

**Задача № 56.** Для указанных ниже реакций по значениям стандартных изобарных потенциалов рассчитайте константу равновесия  $K_p$  и определите возможность протекания данной реакции в стандартных условиях и при указанной температуре  $T$ , используя уравнение стандартного химического сродства.

Таблица 15

вариант	Реакция	T, К
1	$H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$	1000
2	$4HCl + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2Cl_2$	1200
3	$C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$	800
4	$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$	700
5	$CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$	1000
6	$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	700
7	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$	400
8	$C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$	900
9	$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	900
10	$4HCl + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2Cl_2$	1300
11	$3C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$	700
12	$H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$	1100
13	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	900
14	$CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$	1200
15	$3C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$	800
16	$C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$	100
17	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$	500
18	$H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$	900
19	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	100
20	$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	600
21	$C + 0,5O_2 \rightarrow CO$	1100
22	$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	1000
23	$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$	600
24	$SO_2 + NO_2 \rightarrow SO_3 + NO$	700
25	$C_2H_2 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	800

**Задача № 57.** Для уравнения реакции, приведенного в задаче 55, вычислите тепловой эффект реакции при температуре  $T$  и константу равновесия, используя справочные данные зависимости  $C_p = f(T)$ .

**Задача № 58.** Для указанной ниже реакции для двух температур даны константы равновесия. Определите константу равновесия при  $T_3$  и тепловой эффект химической реакции.

Таблица 16

Вар.	Реакция	$T_1$	$T_2$	$K_{p_1}$	$K_{p_2}$	$T_3$
1	$CaCO_3 \leftrightarrow CaO + CO_2$	1141	1164	71582	91770	1200
2	$MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2$	1000	1020	42189	80313	1100
3	$SO_2 + 0,5O_2 \leftrightarrow SO_3$	900	950	0,00043	0,01062	1000
4	$N_2O_4 \leftrightarrow 2NO_2$	273	291	1560	7350	350
5	$H_2 + J_2 \leftrightarrow 2HJ$	633	718	41,7	61,6	700
6	$CaCO_3 \leftrightarrow CaO + CO_2$	1123	1173	53760	132000	1100
7	$MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2$	1013	1623	46420	93045	1500
8	$Fe_3O_4 + 4CO \leftrightarrow 3Fe + 4CO_2$	1091	1312	2,49	4,5	1200
9	$CrCl_2 + H_2 \leftrightarrow Cr + 2HCl$	993	1043	29,1	60,1	1000
10	$MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2$	690	1019	32189	80313	1100
11	$Fe_3O_4 + 4CO \rightarrow 3Fe + 4CO_2$	1110	1280	2,52	4,38	1200
12	$CaCO_3 \leftrightarrow CaO + CO_2$	1113	1153	41135	101000	1200
13	$SO_2 + 0,5O_2 \leftrightarrow SO_3$	900	930	0,00043	0,00095	1000
14	$Fe_3O_4 + 4CO \leftrightarrow 3Fe + 4CO_2$	1130	1280	2,81	4,83	1300
15	$CrCl_2 + H_2 \leftrightarrow Cr + 2HCl$	953	1013	8,1	39,3	1100
16	$CrCr_2 + H_2 \leftrightarrow Cr + 2HCl$	993	1043	29,1	60,2	1100
17	$CaCO_3 \leftrightarrow CaO + CO_2$	1073	1133	26830	66112	1200
18	$MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2$	973	1020	35088	84223	1100
19	$Fe_3O_4 + 4CO \leftrightarrow 3Fe + 4CO_2$	1150	1360	3,08	5,06	1200
20	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	2000	2100	$3,91 \cdot 10^{-6}$	$2,22 \cdot 10^{-5}$	1900
21	$C + H_2 \leftrightarrow CH_4$	973	1023	$0,11 \cdot 10^{-5}$	$0,19 \cdot 10^{-5}$	1100
22	$CrCl_2 + H_2 \leftrightarrow Cr + 4HCl$	950	1045	6,702	56,07	1100
23	$MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2$	1003	1022	46420	93045	1100
24	$Fe_3O_4 + 4CO \leftrightarrow 3Fe + 4CO_2$	1170	1370	3,24	5,11	1100
25	$CrCl_2 + H_2 \leftrightarrow Cr + 2HCl$	973	1083	10,23	40,2	1000

**Задача № 59.** Зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением  $\lg K = \frac{a}{T} + b \lg T + cT + d$ . Определите тепловой эффект и константу равновесия при температуре Т.

Таблица 17

Вар.	Реакция	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> *10 <sup>3</sup>	<i>d</i>	<i>T</i> , К
1	$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$	7674	-6,23	0,906	-1,291	1200
2	$2CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2$	-29500	1,75	-1,215	3,29	1100
3	$CO + 2H_2 \leftrightarrow CH_4 + CO_2$	11088	3,113	-2,852	-1,48	800
4	$C_2H_6 \leftrightarrow C_2H_4 + H_2$	-6365	2,961	-0,766	-2,34	1000
5	$C_2H_5OH \leftrightarrow C_2H_4 + H_2O$	-1485	7,54	-4,25	7,01	400
6	$CH_3CHO + H_2 \leftrightarrow C_2H_5OH$	1522	5,42	-2,29	-2,81	500
7	$C_6H_6 + 3H_2 \leftrightarrow C_6H_{12}$	9590	-9,92	-2,28	-6,45	500
8	$S_2 + 4H_2O \leftrightarrow 2SO_2 + 4H_2$	-13810	-0,88	2,67	8,39	1000
9	$S_2 + 4CO_2 \leftrightarrow 2SO_2 + 4CO$	-23000	4,34	-1,62	2,57	1000
10	$SO_2 + 0,5O_2 \leftrightarrow SO_3$	10373	1,22	0	-18,8	800
11	$SO_2 + Cl_2 \leftrightarrow SO_2Cl_2$	2250	-1,75	0,45	-1,21	500
12	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	9874	-7,14	1,88	-1,37	1000
13	$4CO + 2SO_2 \leftrightarrow S_2 + 4CO_2$	2300	-4,34	0	-2,58	1000
14	$COCl_2 \leftrightarrow CO + Cl_2$	5020	1,75	0	3,75	400
15	$CO_2 + H_2 \leftrightarrow CO + H_2O$	-2303	0	-0,05	2,3	1200
16	$N_2H_4 \leftrightarrow 2NO_2$	-2692	1,75	-4,83	1,95	500
17	$Mg(OH)_{2r} \leftrightarrow MgO_T + H_2O$	-4600	0,623	-1,02	17,78	600
18	$CaCO_{3r} \leftrightarrow CaO_T + CO_2$	-9680	-1,385	-0,22	17,76	1000
19	$Ca(OH)_{2r} \leftrightarrow CaO_T + H_2O$	-5650	0,67	0,41	9,62	600
20	$2H_2 + CO \leftrightarrow CH_3OH$	3724	-9,13	0,31	3,40	800
21	$4HCl + O_2 \leftrightarrow 2H_2O + 2Cl_2$	5750	-2,14	-0,86	-4,71	800
22	$NH_4Cl_T \leftrightarrow NH_3 + HCl$	-9650	1,83	-3,24	28,24	500
23	$5N_2 + 6H_2O \leftrightarrow 4NH_3 + 6NO$	-66250	-1,75	0	-10,21	1200
24	$4NO + 6H_2O_T \leftrightarrow 4NH_3 + 5O_2$	-47500	-1,75	0	-13,71	1000
25	$2NO_2 \leftrightarrow 2NO + O_2$	-5749	1,75	-0,5	7,90	800

**Задача № 60.** Определите тепловые эффекты и значения  $K_p$  указанных реакций при температуре  $T, (K)$ , если даны температурные зависимости констант равновесия.

Таблица 18

№ вар	Реакция	T, K	$\lg K_p = f(T)$
1	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	1000	$2116/T - 0,783 \cdot \lg T +$ $+ 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot T$
2	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	1200	
3	$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	1200	$2366/T - 2,961 \cdot \lg T - 7,67 \cdot 10^{-4} \cdot T$
4	$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	1000	
5	$4NO + 6H_2O \rightarrow 4NH_3 + 5O_2$	1100	$(-47500)/T - 1,75 \cdot \lg T$
6	$4NO + 6H_2O \rightarrow 4NH_3 + 5O_2$	1300	
7	$C_6H_6(g) + 3H_2(g) \rightarrow C_6H_{12}$	400	$9590/T - 9,919 \cdot \lg T +$ $+ 0,002285T + 8,566$
8	$C_6H_6(g) + 3H_2(g) \rightarrow C_6H_{12}$	300	
9	$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$	1000	$(-5749)/T + 1,75 \cdot \lg T +$ $+ 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,407$
10	$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$	1200	
11	$C_{(графит)} + CO_2 \rightarrow 2CO$	1000	$(-6630)/T + 1,57 \cdot \lg T -$ $- 0,11 \cdot 10^{-3} \cdot T + 6,565$
12	$C_{(графит)} + CO_2 \rightarrow 2CO$	1100	
13	$C_{(графит)} + CO_2 \rightarrow 2CO$	1200	
14	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	1300	$(-9160)/T + 1,66 \cdot \lg T -$ $- 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot T + 5,69$
15	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	1200	
16	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	1100	
17	$2HCl \rightarrow H_2 + Cl_2$	1000	$(-9586)/T + 0,44 \cdot \lg T - 2,16$
18	$2HCl \rightarrow H_2 + Cl_2$	1200	
19	$CH_4 = C_{(графит)} + 2H_2$	500	$(-3853)/T + 1,58 \cdot \lg T -$ $- 1,58 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0,407$
20	$CH_4 = C_{(графит)} + 2H_2$	700	
21	$S_{(ромб)} + 2H_2O \rightarrow SO_2 + 2H_2$	1000	$(-13810)/T - 0,877 \cdot \lg T +$ $+ 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot T + 3,88$
22	$S_{(ромб)} + 2H_2O \rightarrow SO_2 + 2H_2$	1200	
23	$CH_3CHO(g) + H_2 \rightarrow C_2H_5OH$	500	$1522/T + 5,42 \cdot \lg T -$ $- 2,29 \cdot 10^{-3} \cdot T + 2,186$
24	$CH_3CHO(g) + H_2 \rightarrow C_2H_5OH$	600	
25	$CH_3CHO(g) + H_2 \rightarrow C_2H_5OH$	700	

**Задача № 61.** Воспользовавшись данными Приложения 1, вычислите по методу Темкина-Шварцмана константы равновесия реакций при указанных температурах.

Таблица 19

Вариант	Уравнение реакции	Т,К
1	$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$	675
2	$2HCl = Cl_2 + H_2$	1000
3	$0,5N_2 + 0,5O_2 = NO$	1400
4	$4HCl + O_2 = 2H_2O + 2Cl_2$	703
5	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$	700
6	$H_2 + CO_2 = CO + H_2O$	800
7	$2H_2O = 2H_2 + O_2$	1600
8	$2CO_2 = 2CO + O_2$	2000
9	$4HCl + O_2 = 2H_2O + 2Cl_2$	923
10	$C_2H_6 = C_2H_4 + H_2$	900
11	$3H_2 + N_2 = 2NH_3$	800
12	$CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2$	763
13	$CO_2 = CO + 0,5O_2$	1400
14	$CO + H_2O = CO_2 + H_2$	1200
15	$3CO + 2H_2O = CH_3OH_{г} + 2CO_2$	400
16	$CO_2 + 3H_2 = CH_3OH_{г} + H_2O$	900
17	$CO + H_2O = CO_2 + H_2$	1000
18	$C_2H_6 = C_2H_4 + H_2$	1000
19	$PbSO_4 = PbO + SO_3$	400
20	$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	600
21	$Al_2O_3 + 3H_2 = 2Al + 3H_2O$	1500
22	$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	900
23	$C_2H_4 + H_2O = C_2H_5OH$	400
24	$CO + 2H_2 = CH_3OH$	700
25	$C_6H_6 + 4H_2 = C_6H_{14}$	1000

**Задача № 62.**

- Для всех веществ, принимающих участие в химической реакции, в справочнике найдите следующие значения:  $\Delta H_{298}^{\circ}$ ,  $\Delta S_{298}^{\circ}$  и температурные коэффициенты теплоемкости.

- По закону Гесса рассчитайте изменение энтальпии, энтропии температурных коэффициентов.
- От  $T_1$  до  $T_2$  с шагом  $200^\circ\text{C}$  (для четырех температур) рассчитайте изменение энтальпии, энтропии, энергии Гиббса, константу равновесия.
- Вычислите изменение энергии Гиббса и константу равновесия по первому и второму приближению Улиха для температуры  $T_1$ . Данные сравните с результатами точного метода, вычислите относительную ошибку.
- Для  $T_1$  рассчитайте изменение энергии Гиббса и константу равновесия по методу Темкина-Шварцмана. Сравните полученные данные с результатами точного метода. Вычислите относительную ошибку.
- По полученным данным постройте графики:  $\Delta H = f(T)$ ,  $\Delta S = f(T)$ ,  $\Delta G = f(T)$ ,  $\ln K_p = f(T)$ . Сделайте вывод о направлении процесса.
- Постройте график  $\ln K_p = f(1/T)$ , включая  $T = 298^\circ\text{C}$ . Рассчитайте изменение энтальпии реакции графическим способом. Рассчитайте среднее значение энтальпии в указанном интервале температур (по п. 3). Сравните  $\Delta H_{\text{ср}}$  и  $\Delta H_{\text{гр}}$ , вычислите относительную ошибку.

Таблица 20

№ вар	Реакции	$T_1$ , К	$T_2$ , К
1	$\text{ZnO} + \text{C} = \text{Zn} + \text{CO}$	500	1100
2	$\text{Zn} + \text{CuSO}_4 = \text{Cu} + \text{ZnSO}_4$	600	1200
3	$\text{Pb} + \text{S} = \text{PbS}$	700	1300
4	$\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$	800	1400
5	$\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$	700	1300
6	$\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$	700	1300
7	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$	900	1500
8	$\text{Cu} + \text{S} = \text{CuS}$	800	1400
9	$\text{FeO} + \text{H}_2 = \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	900	1500
10	$\text{ZnO} + \text{C} = \text{Zn} + \text{CO}$	800	1400
11	$\text{MnO} + \text{CO} = \text{Mn} + \text{CO}_2$	900	1500
12	$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$	1000	1600
13	$\text{CaO} + \text{C} = \text{Ca} + \text{CO}$	900	1500
14	$\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$	600	1200
15	$\text{CdO} + \text{CO} = \text{Cd} + \text{CO}_2$	800	1400
16	$\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$	900	1500
17	$\text{FeS} + \text{H}_2 = \text{Fe} + \text{H}_2\text{S}$	1000	1600

Таблица 20 (продолжение)

№ вар	Реакции	T <sub>1</sub> , К	T <sub>2</sub> , К
18	$\text{CaS} + \text{H}_2 = \text{Ca} + \text{H}_2\text{S}$	1000	1600
19	$2\text{HJ} = \text{H}_2 + \text{J}_2$	600	1200
20	$\text{CdS} + \text{H}_2 = \text{Cd} + \text{H}_2\text{S}$	700	1300
21	$\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 = \text{SO}_2\text{Cl}_2$	600	1200
22	$\text{CuS} + \text{O}_2 = \text{Cu} + \text{SO}_2$	800	1400
23	$\text{CdS} + \text{O}_2 = \text{Cd} + \text{SO}_2$	900	1500
24	$2\text{HBr} = \text{H}_2 + \text{Br}_2$	800	1400
25	$\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	900	1500
26	$2\text{CH}_4 = \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$	800	1400
27	$\text{C}_6\text{H}_{12} + \text{H}_2 = \text{C}_6\text{H}_{14}$	300	900
28	$2\text{C}_6\text{H}_6 + 9\text{O}_2 = 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	800	1400
29	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	900	1500
30	$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	400	1000
31	$2\text{CH}_3\text{COOH} = (\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	300	900
32	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	900	1500
33	$2\text{CH}_3\text{OH} = (\text{CH}_3)_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	200	800
34	$\text{C}_6\text{H}_{12} = \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$	600	1200
35	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{Cl}_2 = \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$	700	1300
36	$\text{C}_7\text{H}_8 + 9\text{O}_2 = 7\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	800	1400
37	$2\text{HCOOH} = (\text{HCO})_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	300	900
38	$\text{C}_5\text{H}_{12} + 8\text{O}_2 = 5\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	900	1500
39	$\text{C}_6\text{H}_{14} = \text{C}_6\text{H}_6 + 4\text{H}_2$	300	900
40	$2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	900	1500
41	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{Br}_2 = \text{C}_6\text{H}_6\text{Br}_6$	300	900
42	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO} + 3\text{H}_2 = \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	300	900
43	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	700	1300
44	$\text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_6$	900	1500
45	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	900	1500
46	$2\text{CH}_4 = 2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_6$	1000	1600
47	$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 7\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	600	1200
48	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HNO}_3 = \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	300	900
49	$\text{C}_6\text{H}_6 + 6\text{Cl}_2 = \text{C}_2\text{Cl}_6 + 6\text{HCl}$	500	1100
50	$2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	800	1400

Термодинамические свойства простых веществ и соединений

Таблица 21

Вещество	$\Delta H,$ кДж/моль	$\Delta S,$ Дж/моль·К	$C_p,$ Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур- ный интервал
				a	b·10 <sup>3</sup>	c'·10 <sup>-5</sup>	
<b>ПРОСТЫЕ ВЕЩЕСТВА</b>							
Ag (кр.)	0	42,55	25,44	23,97	5,27	-0,25	273-1234
Al (кр.)	0	28,33	24,35	20,67	12,38	-	273-932
Au(кр.)	0	47,40	25,36	23,68	5,19	-	298-1336
Br <sub>2</sub> (г)	30,91	245,37	36,07	37,32	0,50	-1,26	298-1600
C(алмаз)	1,83	2,37	6,11	9,12	13,22	-6,19	298-1200
C(графит)	0	5,74	8,54	16,86	4,77	-8,54	298-2500
C(г)	716,67	157,99	20,84	20,80	-	-	298-1600
Ca	0	41,63	26,36	22,22	13,93	-	273-713
Cd	0	51,76	25,94	22,22	12,30	-	273-594
Cl <sub>2</sub> (г)	0	222,98	33,93	37,03	0,67	-2,85	298-3000
Co	0	30,04	24,81	19,83	16,75	-	298-700
Cr (кр.)	0	23,64	23,35	24,43	9,87	-3,68	298-2000
Cu (кр.)	0	33,14	24,43	22,64	6,28	-	298-1357
Fe	0	27,15	24,98	17,24	24,77	-	298-700
H <sub>2</sub> (г)	0	130,52	28,83	27,28	3,26	0,50	298-3000
I <sub>2</sub> (г)	106,76	180,67	20,79	20,07	0,68	0,46	298-3000
K(кр.)	0	64,18	29,58	5,61	81,17	-	298-335
Mn	0	32,01	26,28	23,85	14,14	-1,59	298-980
N <sub>2</sub> (г)	0	191,50	29,12	27,88	4,27	-	298-2500

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур- ный интервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^{-5}$	
Na(кр)	0	15,21	28,24	16,82	37,82	-	298-371
Ni ( $\alpha$ )	0	29,87	26,07	16,99	29,46	-	298-633
O <sub>2</sub> (г)	0	205,04	29,37	31,46	3,39	-3,77	298-3000
O (г)	249,17	160,95	21,91	20,80	0,01	0,98	298-3000
Pb (кр)	0	64,81	26,82	24,23	8,71	-	298-601
Pb (ж)	$\Delta H_{601}^{плавл} = 4,77$	-	-	32,49	-3,09	-	601-1200
S (монокл.)	0,38	32,55	23,64	23,64	-	-	368-392
S (ромб)	0	31,92	22,68	22,68	-	-	273-368
S(г)	278,81	167,75	23,67	-	-	-	-
S <sub>2</sub>	128,37	228,03	32,51	36,11	1,09	-3,51	298-2000
Si (кр.)	0	18,83	19,99	22,82	3,86	-3,54	298-1685
Zn (кр.)	0	41,63	25,44	22,38	10,04	-	273-690
<b>НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА</b>							
AgCl (кр.)	-126,78	96,23	50,79	62,26	4,18	-11,30	298-725
AlCl <sub>3</sub> (кр)	-704,17	109,29	91,00	77,12	47,83	-	273-453
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (корунд)	-1675,69	50,92	79,04	114,55	12,89	-34,31	298-1800
BaCO <sub>3</sub> (кр)	-1210,85	112,13	85,35	86,90	48,95	-11,97	298-1040
BaO (кр)	-553,54	70,29	46,99	53,30	4,35	-8,28	298-1270
CO(г)	-110,53	197,55	29,14	28,41	4,10	-0,46	298-2500
CO <sub>2</sub> (г)	-393,51	213,66	37,11	44,14	9,04	-8,54	298-2500

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур ный интервал
				a	b·10 <sup>3</sup>	c·10 <sup>-5</sup>	
COCl <sub>2</sub> (г)	-219,50	283,64	57,76	67,15	12,03	-9,04	298-1000
COS(г)	-141,70	231,53	41,55	48,12	8,45	-8,20	298-1800
CaO(кр)	-635,09	38,07	42,05	49,62	4,52	-6,95	298-1800
CaCO <sub>3</sub> (кальцит)	-1206,83	91,71	83,47	104,52	21,92	-25,94	298-1200
Ca(OH) <sub>2</sub> (кр.)	-985,12	83,39	87,49	105,19	12,01	-19,00	298-600
CaS (кр.)	-476,98	56,61	47,49	42,68	15,90	-	298-1000
CdO (кр.)	-258,99	54,81	43,64	48,24	6,38	-4,90	298-1500
CdS (кр.)	-156,90	71,13	47,32	53,97	3,77	-	298-1273
CrCl <sub>3</sub> (кр.)	-556,47	123,01	91,80	79,50	41,21	-	298-1218
CuCl (кр.)	-137,24	87,02	48,53	38,27	34,38	-	298-703
CuS (кр.)	-53,14	66,53	47,82	44,35	11,05	-	298-1273
CuSO <sub>4</sub> (кр.)	-770,90	109,20	98,87	78,53	71,96	-	298-900
FeO(кр)	-264,85	60,75	49,92	50,80	8,61	-3,31	298-1650
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (кр)	-822,16	87,45	103,76	97,74	72,13	-12,89	298-1000
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (кр.)	-1117,13	146,19	150,79	86,27	208,92	-	298-866
FeCO <sub>3</sub> (кр)	-738,15	95,40	83,26	48,66	112,13	-	298-855
FeS <sub>2</sub> (кр)	-177,40	52,93	62,17	74,81	5,52	-12,76	298-1000
FeS (α)	-100,42	60,29	50,54	0,502	167,36	-	298-411
FeS (β)	$\Delta H_{411}^{\alpha \rightarrow \beta} = 4,39$	-	-	50,42	11,42	-	411-1468
H <sub>2</sub> O(кр)	-291,85	39,33	-	4,41	109,50	46,47	100-273
H <sub>2</sub> O(ж)	-285,83	69,95	75,30	39,02	76,64	11,96	273-380
H <sub>2</sub> O (г)	-241,81	188,72	33,61	30,00	10,71	0,33	298-2500

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур- ный интервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^{-5}$	
H <sub>2</sub> S(г)	-20,60	205,70	33,44	29,37	15,40	-	298-1800
HCl (г)	-92,31	186,79	29,14	26,53	4,60	1,09	298-2000
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ж)	-813,99	156,90	138,91	156,90	28,30	-23,46	298-553
HJ (г)	26,36	206,48	29,16	26,32	5,94	0,92	298-2000
KCl(кр)	-436,68	82,55	51,49	41,38	21,76	3,22	298-1000
MgCO <sub>3</sub> (кр.)	-1095,85	65,10	76,11	77,91	57,74	-17,41	298-750
MgO (кр.)	-601,49	27,07	37,20	48,98	3,14	-11,44	298-3000
Mg(OH) <sub>2</sub> (кр.)	-924,66	63,18	76,99	46,99	102,85	-	298-541
MnO (кр.)	-385,10	61,50	44,10	46,48	8,12	-3,68	298-1800
MnS (кр.)	-214,35	80,75	49,92	47,70	7,53	-	298-1800
NO(г)	91,26	210,64	29,86	29,58	3,85	-0,59	298-2500
N <sub>2</sub> O (г)	82,01	219,83	38,62	45,69	8,62	-8,53	298-2000
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (г)	11,11	304,35	79,16	83,89	39,75	-14,90	298-1000
NO <sub>2</sub> (г)	34,19	240,06	36,66	41,16	11,33	-7,02	298-1500
NH <sub>3</sub> (г)	-45,94	192,66	35,16	29,80	25,48	-1,67	298-1800
NOCl (г)	52,59	263,50	39,37	44,89	7,70	-6,95	298-2000
NH <sub>4</sub> Cl-β	-314,22	95,81	84,10	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> S(кр)	-374,47	79,50	84,93	82,89	6,86	-	298-1250
NiO-α	-239,74	37,99	44,31	-28,88	157,23	16,28	298-525
NiS (кр.)	-79,50	52,97	47,11	38,70	26,78	-	273-597
PCl <sub>3</sub> (ж)	-320,91	218,49	131,38	131,38	-	-	298-340

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур ный интервал
				a	b·10 <sup>3</sup>	c'· 10 <sup>-5</sup>	
PCl <sub>3</sub> (г)	-287,02	311,71	71,84	81,11	3,10	7,99	298-1000
PCl <sub>5</sub> (кр.)	-445,89	178,80	(138)	(138)	-	-	298-432
PCl <sub>5</sub> (г)	-374,89	364,47	112,97	129,49	2,93	-16,40	298-1500
PbO (жел.)	-217,61	68,70	45,77	37,87	26,78	-	298-1000
PbO (красн.)	-219,28	66,11	45,81	36,15	32,47	-	298-760
PbS (кр.)	-100,42	91,21	49,48	46,74	9,20	-	298-1392
PbS (г)	122,34	251,33	35,10	37,32	-2,05	-	1609-2400
PbSO <sub>4</sub> (кр.)	-920,48	148,57	103,22	45,86	129,70	17,57	298-1100
SO <sub>2</sub> (г)	-296,90	248,07	39,87	46,19	7,87	-7,70	298-2000
SO <sub>3</sub> (г)	-395,85	256,69	50,09	64,98	11,75	-16,37	298-1300
SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (ж)	-394,13	216,31	133,89	133,89	-	-	219-342
SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (г)	-363,17	311,29	77,40	87,91	16,15	-14,23	298-1000
SiO <sub>2</sub> (кварц-α)	-910,94	41,84	44,43	46,99	34,31	-11,30	298-846
ZnO (кр.)	-348,11	43,51	42,25	48,99	5,10	-9,12	298-1600
ZnS (кр.)	-205,18	57,66	45,36	49,25	5,27	-4,85	298-1290
ZnSO <sub>4</sub> (кр.)	-981,36	110,54	99,06	76,36	76,15	-	298-1020

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур ный интервал
				a	b·10 <sup>3</sup>	c·10 <sup>6</sup>	
<b>ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА</b>							
CH <sub>4</sub> (г) метан	-74,85	186,27	35,71	14,32	74,66	-17,43	298-1500
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (г) ацетилен	226,75	282	43,93	26,44	66,65	-26,48	298-1000
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (г) этилен	52,30	219,45	43,56	11,32	122,01	-37,90	298-1500
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (г) этан	-84,67	229,49	52,64	5,75	175,11	-57,85	298-1500
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (г) пропен	20,41	266,94	63,89	12,44	188,38	-47,60	298-1000
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (г) циклопропан	53,30	237,44	55,94	-14,94	268,91	-105,90	298-1000
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (г) пропан	-103,85	269,91	73,51	1,72	270,75	-94,48	298-1500
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (г) бутан	-126,15	310,12	97,45	18,23	303,56	-92,65	298-1500
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (г) 2-метил пропан (изобутан)	-134,52	294,64	96,82	9,61	344,79	-128,83	298-1000
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (г) пентан	-173,33	262,85	172,90	-	-	-	-
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (г) бензол	82,93	269,20	81,67	-21,09	400,12	-169,87	298-1000
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> (г) циклогексан	-123,14	298,24	106,27	-51,71	598,77	-230,00	298-1000
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (г) гексан	-167,19	388,40	143,09	8,66	505,85	-184,43	298-1000
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (г) толуол	50,00	320,66	103,64	-21,59	476,85	-190,33	298-1000
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (г) октан	-208,45	466,73	188,87	11,84	666,51	-244,93	298-1000
C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> (г) нафталин	150,96	335,64	132,55	-26,48	609,48	-255,01	298-1000
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (г) мурав.кислота	-378,80	248,77	45,80	19,40	112,80	-47,50	298-1000
CH <sub>4</sub> O (ж) метанол	-238,57	126,78	81,60	-	-	-	-
CH <sub>4</sub> O (г) метанол	-201,00	239,76	44,13	15,28	105,20	-31,04	298-1000

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур ный интервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	
$C_2H_4O$ (г) ацетальдегид	-166,00	264,20	54,64	13,00	153,50	-53,70	298-1000
$C_2H_4O$ (г) этиленоксид	-52,63	242,42	48,50	-2,02	196,60	-73,60	298-1000
$C_2H_4O_2$ (ж) уксус.кислота	-484,09	159,83	123,43	-	-	-	-
$C_2H_4O_2$ (г) уксус.кислота	-434,84	282,50	66,50	14,82	196,70	-77,70	298-1000
$C_2H_6O$ (г) этанол	-234,80	281,38	65,75	10,99	204,70	-74,20	298-1000
$C_2H_6O$ (г) диметил. эфир	-184,05	267,06	65,81	16,18	183,90	-58,70	298-1000
$C_3H_6O$ (ж) ацетон	-248,11	200,41	125,00	-	-	-	-
$C_3H_6O$ (г) ацетон	-217,57	294,93	74,90	22,47	201,80	-63,50	298-1500
$C_3H_8O_3$ (ж) глицерин	-668,60	204,47	223,01	-	-	-	-
$C_4H_8O_2$ (ж) этилацетат	-479,03	259,41	169,87	-	-	-	-
$C_4H_8O_2$ (ж) 1,4-диоксан	-400,80	196,60	152,90	-	-	-	-
$C_4H_{10}O$ (ж) диэтил.эфир	-279,49	253,13	173,30	-	-	-	-
$C_4H_{10}O$ (г) диэтил. эфир	-252,21	342,67	112,51	21,09	341,70	-117,90	298-1000
$CCl_4$ (г) тетрахлорметан	-100,42	310,12	83,76	59,36	97,00	49,57	298-1000

Таблица 21 (продолжение)

Вещество	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль·К	$C_p$ , Дж/моль·К	Коэффициенты			Температур- ный интервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	
CH <sub>3</sub> Cl (г) хлорметан	-86,31	234,47	40,75	15,57	92,74	-28,31	298-1500
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl (ж) хлорбензол	10,65	194,1	150,1	-	-	-	298
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl (г) хлорбензол	52,13	313,2	97,1	-33,9	558,0	-445,2	298-1500
CH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> (г) нитрометан	-74,73	275,01	57,32	11,76	172,60	-66,49	298-1000
CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O (кр.) карбонид	-333,17	104,60	93,14	-	-	-	-
C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N (г) пиридин	140,16	282,80	78,12	-18,45	370,10	-154,30	298-1000
C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> (ж) нитробензол	11,2	224,26	(186)	-	-	-	298
C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N (г) анилин	86,86	319,20	108,40	-6,00	439,40	-185,30	298-1000
C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N (ж) анилин	29,7	192	191	-	-	-	-
CH <sub>3</sub> F (г) фтористый метил	-247	222,8	37,4	9,75	97,3	-29,1	298-1500
CH <sub>3</sub> Br (г) бромистый метил	-35,6	245,8	42,4	18,53	89,4	-27,28	298-1500
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (кр) сахароза	-2221	360	425	-	-	-	298

Приложение 2

Величина  $M_n$  для вычисления стандартного изменений энергии Гиббса по методу Темкина и Шварцмана

Таблица 22

T, K	$M_0$	$M_1 \cdot 10^{-3}$	$M_2 \cdot 10^{-6}$	$M_2 \cdot 10^5$
300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
400	0,0392	0,0130	0,0043	0,6364
500	0,1133	0,0407	0,0140	0,0916
600	0,1962	0,0759	0,0303	0,1423
700	0,2794	0,1153	0,0498	0,1853
800	0,3597	0,1574	0,0733	0,2213
900	0,4361	0,2012	0,1004	0,2521
1000	0,5088	0,2463	0,1310	0,2783
1100	0,5765	0,2922	0,1652	0,2988
1200	0,6410	0,3389	0,2029	0,3176
1300	0,7019	0,3860	0,2440	0,3340
1400	0,7595	0,4336	0,2886	0,34835
1500	0,8141	0,4814	0,3362	0,3610
1600	0,8665	0,5296	0,3877	0,3723
1700	0,9162	0,5780	0,4424	0,3824
1800	0,9635	0,6265	0,5005	0,3915
1900	1,009	0,6752	0,5619	0,3998

Таблица 22 (продолжение)

<b>T, K</b>	<b>M<sub>0</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>·10<sup>-3</sup></b>	<b>M<sub>2</sub>·10<sup>-6</sup></b>	<b>M<sub>2</sub>·10<sup>5</sup></b>
2000	1,0525	0,7240	0,6265	0,4072
2100	1,094	0,7730	0,6948	0,4140
2200	1,134	0,8220	0,7662	0,4203
2300	1,173	0,8711	0,8411	0,4260
2400	1,210	0,9203	0,9192	0,4314
2500	1,246	0,9696	1,0008	0,4363
2600	1,280	1,0189	1,0856	0,4408
2700	1,314	1,0683	1,1738	0,44505
2800	1,346	1,1177	1,2654	0,4490
2900	1,3775	1,1672	1,3603	0,4527
3000	1,408	1,2166	1,4585	0,4562

## Список литература

1. Ипполитов Е.Г., Артемов А. В. Физическая химия: учебник для вузов Москва: Академия, 2005. – 447 с.
2. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М.: Высш. Школа, 2001, 485 с.
3. Гамеева О. С. Сборник задач и упражнений по физической и коллоидной химии [Электронный ресурс] : учебное пособие - <https://e.lanbook.com//book/92621> СПб. [и др.]: Лань, 2017
4. Ерёмин В.В., Борщевский А.Я. Основы общей и физической химии. Долгопрудный: Интеллект, 2012.
5. Краткий справочник физико-химических величин. Под редакцией К.П. Мищенко, А.А. Равделя. – Санкт-Петербург: Химия, 2002, 298 с.

Электронное учебное издание

Галина Михайловна **Курунина**

**Многовариантные задачи и тесты по химической термодинамике.  
Часть 2**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2024 г. Поз. № 16.

Подписано к использованию 20.03.2024. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,0.

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.