

Задачи для 9 класса

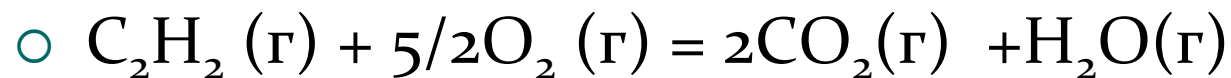
1. I закон термодинамики
2. Закон Гесса
3. Фазовое равновесие
4. Растворы, способы выражения концентрации растворов

Задача 1. 12 грамм магния растворили в соляной кислоте при 27°C в сосуде с поршнем, давление над которым 1 атм. Определите работу процесса.

- *Решение.* Переведем 27°C в К: $27+273=300\text{К}$. Универсальная газовая постоянная $R=8,3145\text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$. Молекулярная масса Mg равна 24,305 г/моль.
- Что происходит при взаимодействии магния с соляной кислотой? Запишем уравнение химической реакции:
- $\text{Mg} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$
- При растворении происходит выделение водорода. Согласно реакции число молей магния равно числу молей образующегося водорода. Для расчета числа молей водорода определим число молей Mg:
- $n_{\text{Mg}} = n_{\text{H}_2} = 12/24,305 = 0,494\text{ моль}$.
- $W = p\Delta V = \Delta nRT = 0,494 \cdot 8,3145 \cdot 300 = 1232\text{ Дж}$.

Задача 2. При сгорании одного моля ацетилена в кислороде выделилось 1300 кДж теплоты. Определите стандартную энтальпию образования ацетилена, если стандартные энтальпии образования $\text{CO}_2(\text{г})$ и $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ соответственно равны $-393,5$ кДж/моль и -286 кДж/моль.

○ Решение. Из условия задачи следует, что изменение энтальпии реакции сгорания 1 моля ацетилена в кислороде $\Delta H^\circ_{\text{(реакции)}}$ равно -1300 кДж. Рассчитаем стандартную энтальпию образования ацетилена по реакции:



$$\Delta H^\circ_{298 \text{ (реакции)}} = 2\Delta_f H^\circ_{298}(\text{CO}_2) + \Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O})$$

$$-5/2\Delta_f H^\circ_{298}(\text{O}_2) - \Delta_f H^\circ_{298}(\text{C}_2\text{H}_2), \text{ отсюда находим}$$

$$\Delta_f H^\circ_{298}(\text{C}_2\text{H}_2) = 227 \text{ кДж/моль}$$

Задача 3. Рассчитайте константу равновесия реакции $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$, если начальные концентрации водорода и йода равны 0,02 моль/л, а равновесная концентрация HI составила 0,03 моль/л. Определите равновесные концентрации исходных веществ.

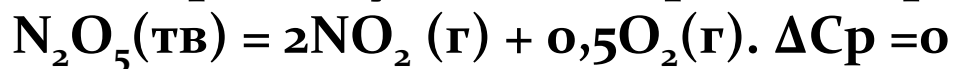
Решение. Согласно уравнению химической реакции для получения 0,03 моль/л HI было израсходовано по 0,015 моль/л водорода и йода, тогда равновесная концентрация исходных веществ составит $0,02 - 0,015 = 0,005$ моль/л.

Запишем константу равновесия:

$$K_c = \frac{C_{\text{HI}}^2}{C_{\text{H}_2} C_{\text{I}_2}} = \frac{0,03^2}{0,005 \cdot 0,005} = 36$$

Ответ: 36; 0,005 моль/л

Задача 4. Вычислите изменение энергии Гиббса при стандартных условиях в реакции разложения:



□ Справочные данные:

Формула вещества	$\Delta_f H^\circ_{298}$, кДж/моль	S°_{298} , Дж/(моль·К)
NO ₂ (г)	33,8	240,2
N ₂ O ₅ (тв)	-42,68	178,240
O ₂ (г)		205

Решение:

$$\Delta H^\circ_{298} = 2\Delta_f H^\circ_{298}(\text{NO}_2) + 0,5\Delta_f H^\circ_{298}(\text{O}_2) - \Delta_f H^\circ_{298}(\text{N}_2\text{O}_5) = 2 \cdot 33,8 + 0 - (-42,68) = 110,28 \text{ кДж.}$$

$$\Delta S^\circ_{298} = 2S^\circ_{298}(\text{NO}_2) + 0,5S^\circ_{298}(\text{O}_2) - S^\circ_{298}(\text{N}_2\text{O}_5) = 2 \cdot 240,2 + 0,5 \cdot 205 - 178,24 = 404,66 \text{ Дж/К.}$$

$$\Delta G^\circ_{298} = 110,28 - 298 \cdot 0,40466 = -10,309 \text{ кДж.}$$

Ответ: -10,309 кДж

Задача 5. Выразите концентрацию 50% (по весу) водного раствора AgNO_3 через молярность, нормальность, моляльность, и мольную долю. Плотность раствора при 18°C $1,668 \text{ г/см}^3$.

По определению весового процента этот раствор содержит 50 г. AgNO_3 в 100 г раствора, или 50 г AgNO_3 в 50 г воды.

$m(\text{AgNO}_3) = 50 \text{ г}$. $m(\text{H}_2\text{O}) = 50 \text{ г}$. $m \text{ раствора} = 100 \text{ г}$.

а) молярность – число молей растворенного вещества в 1 литре раствора.

$M(\text{AgNO}_3) = 108 + 14 + 16 \cdot 3 = 170 \text{ г/моль}$

$n_{\text{AgNO}_3} = 50 / 170 = 0,29 \text{ моля}$, $V = 100 / 1,668 = 59,95 \text{ см}^3$,

$\left\{ \begin{array}{l} 0,29 \text{ моля } \text{AgNO}_3 \text{ содержится в } 59,95 \text{ см}^3 \text{ раствора} \\ C \text{ молей } \text{AgNO}_3 \text{ содержится в } 1000 \text{ см}^3 \text{ раствора} \end{array} \right.$

$$C = \frac{0,29 \cdot 1000}{59,95} = 4,84 \text{ моль/л}$$

б) нормальность – число грамм-эквивалент растворенного вещества в 1 л. раствора.

Нормальность можно рассчитать, зная молярность и валентность металла (для солей), количество атомов водорода, входящих в кислоту или количество групп OH (для оснований). В данном случае валентность серебра – единица, значит для AgNO_3 , нормальность будет равна молярности. $N = C = 4,84 \text{ г-экв/л}$.

в) моляльность – количество молей растворенного вещества в 1 кг. растворителя.

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,29 \text{ моля } \text{AgNO}_3 \text{ содержится в } 50 \text{ г воды} \\ m \text{ молей } \text{AgNO}_3 \text{ содержится в } 1000 \text{ г воды} \\ m = 5,8 \text{ моль/1 кг воды} \end{array} \right.$$

г) мольная доля – отношение числа молей данного компонента к сумме чисел молей всех компонентов раствора.

Рассчитаем число молей воды и мольную долю соли

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{50}{18} = 2,78$$

$$X_{\text{AgNO}_3} = \frac{0,29}{0,29 + 2,78} = 0,094$$

Задачи для 10 класса

1. I закон термодинамики. Закон Гесса
2. Энтропия. Энергия Гиббса
3. Константа равновесия
4. Фазовое равновесие
5. Законы, действующие в идеальных растворах

Задача 1. Вычислите работу, теплоту и изменение внутренней энергии процесса испарения 72 грамм воды при давлении 76 мм рт. ст. и температуре 46°C, если теплота испарения при этой температуре равна 43 кДж/моль. Плотность воды 0,98981 г/см³

- *Решение:* определим число молей воды $n=72/18,0148=3,997$
переведем давление в Па: 76 мм.рт.ст = 0,1 атм = $1,013 \cdot 10^4$ Па.
 $T=46+273=319$ К

$Q = \Delta H = \Delta H_{\text{исп}} \cdot n = 43 \cdot 3,997 = 172$ кДж. $V_{\text{пара}} = nRT/p$,
Работа испарения

$W_{\text{исп}} = p\Delta V = p(V_{\text{пара}} - V_{\text{ж}}) =$

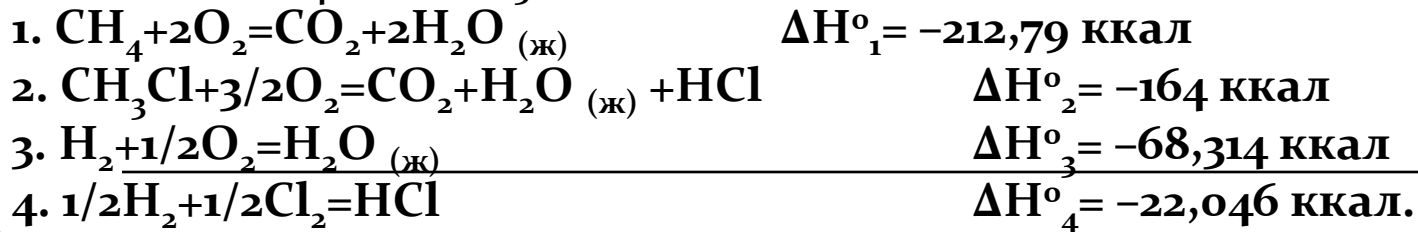
$1,013 \cdot 10^4 (4 \cdot 8,314 \cdot 319 / 1,013 \cdot 10^4 - 72 \cdot 10^{-3} / 0,98981 \cdot 10^3) = 1,013 \cdot 10^4 (1,047 - 0,000073) =$

$= 10605$ Дж = 10,6 кДж.

$\Delta U = Q - W = 172 - 10,6 = 161,4$ кДж

- *Ответ:* 10,6 кДж, 172 кДж, 161,4 кДж.

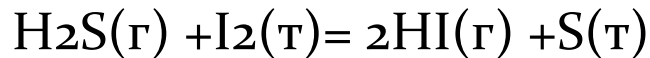
Задача 2. С помощью следующих данных определить тепловой эффект реакции: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$



- *Решение:* перед нами термодинамические уравнения, как получить из 4-х уравнений искомую реакцию? Химические реакции можно складывать и вычитать как алгебраические уравнения. Произведем следующие действия: от первой реакции отнимем вторую, отнимем третью и прибавим четвертую, предварительно умножив ее на 2.
- $(1) - (2) + 2(4) - (3)$, тогда получим реакцию $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$
- С тепловыми эффектами производим те же действия, тогда тепловой эффект искомой реакции будет равен $\Delta H^\circ = -212,79 + 164 - 2 \cdot 22,046 + 68,314 = -24,568$ ккал = $-102,98$ кДж
- *Ответ:* $-102,98$ кДж.

Задача 3. Определить направление реакции $\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + \text{I}_2(\text{т}) = 2\text{HI}(\text{г}) + \text{S}(\text{т})$, если K_p равна 1,33 при 60°C и общем давлении 1 атм. В исходный момент взято по 2 моль исходных веществ и по 1 моль продуктов реакции.

Решение: запишем исходное число молей только для газообразных веществ, конденсированные фазы не входят в константу равновесия и в расчете не участвуют:



2

1

Суммарное число молей в исходный момент равно 3, $X_{\text{HI}}=1/3$,

$$X_{\text{H}_2\text{S}}=2/3$$

○ Расчет проводим по изотерме Вант-Гоффа

$$\Delta G_T = -RT \ln K_p + RT \ln \frac{P_{\text{HI}}^2}{P_{\text{H}_2\text{S}}} = -8,134 \cdot 333 \ln 1,33 + 8,134 \cdot 333 \ln \frac{1 \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^2}{\left(\frac{2}{3}\right)} = -5534 \text{ Дж}$$

ΔG_T меньше нуля, следовательно, реакция идет в прямом направлении.

Ответ: реакция идет в прямом направлении.

Задача 4. Сколько олова нужно растворить в 50 г ртути, чтобы давление пара ртути понизилось от 709,9 до 700 мм.рт.ст.

Растворителем в этой задаче является ртуть, растворенным веществом – олово.

Поведение растворителя в бесконечно-разбавленном растворе подчиняется закону Рауля:

- $P_1 = P_1^0 X_1$, где P_1 – давление пара растворителя над раствором; P_1^0 – давление пара растворителя над чистым растворителем; X_1 – мольная доля растворителя в растворе.
- Тогда $P_1^0 = 709,9$ мм.рт.ст, а $P_1 = 700$ мм.рт.ст.

$$X_{Hg} = \frac{P_1}{P_1^0} = \frac{700}{709,9} = 0,986 \quad X_{Hg} = \frac{n_{Hg}}{n_{Hg} + n_{Sn}} \quad X_{Hg} = \frac{0,25}{0,25 + n_{Sn}} = 0,986$$

Число молей ртути равно: $n_{Hg} = \frac{50}{201} = 0,25$ моль.

$$n_{Sn} = 3,54 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$m_{Sn} = n_{Sn} \cdot A_{Sn} = 3,54 \cdot 10^{-3} \cdot 119 = 0,42 \text{ г.}$$

Задача 5. Рассчитайте изменение давления, необходимое для изменения температуры плавления льда на 1°C. При 0°C энтальпия плавления льда составляет 333,5 Дж /г. Удельные объемы воды и льда соответственно равны $V_{ж}=1,0002 \text{ см}^3/\text{г}$, $V_{т}=1,0908 \text{ см}^3/\text{г}$

- Решение: изменение объема при плавлении составляет $\Delta V=1,0002-1,0908=-0,0906 \text{ см}^3/\text{г} = -9,06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{г}$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H_{пл}}{T(V_{ж} - V_{тв})} = \frac{333,5}{273,15 \cdot (-9,06 \cdot 10^{-8})} = -1,348 \cdot 10^7 \text{ Па} / \text{К} = -133 \text{ атм} / \text{К}$$

- Ответ: при повышении давления на 133 атм температура плавления уменьшится на 1 градус.

Задача 6. Определить ΔG°_{298} для реакции образования N_2O_4 на основании следующих данных:

(1)	$0,5N_2 + 0,5O_2 = NO$	$\Delta G^\circ_{298} = 90374 \text{ Дж}$
(2)	$NO + 0,5O_2 = NO_2$	$\Delta G^\circ_{298} = -38535 \text{ Дж}$
(3)	$2NO_2 = N_2O_4$	$\Delta G^\circ_{298} = -5397 \text{ Дж}$

Реакция образования N_2O_4 – получение данного вещества из простых веществ – из азота и кислорода: $N_2 + 2O_2 = N_2O_4$ данная реакция может быть получена как $2(1) + 2(2) + (3)$, отсюда

$$\Delta G^\circ_{298} (N_2O_4) = 2 \cdot 90374 + 2(-38535) + (-5397) = 98281 \text{ Дж.}$$

Ответ: 98281 Дж.

Задачи для 11 класса

1. Закон Гесса
2. Энтропия. Энергия Гиббса
3. Закон действующих масс
4. Фазовое равновесие
5. Термодинамика гальванических элементов
6. Скорость химической реакции. Энергия активации

Задача 1. Найти тепловой эффект реакции $\text{CuS} + \text{O}_2 = \text{Cu} + \text{SO}_2$ при 727°C и $p=1$ атм на основании следующих данных: теплоты образования CuS и SO_2 при стандартных условиях соответственно равны -48500 и -296900 Дж/моль. Мольные теплоемкости взаимодействующих веществ _____ приведены ниже, размерность Дж/(моль·К): $C_p(\text{CuS})=44,35+11,05\cdot 10^{-3}T$; $C_p(\text{O}_2)=27,2+7,272\cdot 10^{-3}T$; $C_p(\text{Cu})=22,72+5,9\cdot 10^{-3}T$; $C_p(\text{SO}_2)=47,7+7,171\cdot 10^{-3}T$

- *Решение:* определим тепловой эффект реакции при стандартных условиях

$$\Delta H_{298}^0 = -296900 - (-48500) = -248400 \text{ Дж.}$$

$$\text{Определим } \Delta C_p = C_p(\text{Cu}) + C_p(\text{SO}_2) - C_p(\text{O}_2) - C_p(\text{CuS})$$

$$\Delta C_p = 22,72 + 5,9 \cdot 10^{-3}T + 47,7 + 7,171 \cdot 10^{-3}T - (27,2 + 7,272 \cdot 10^{-3}T) - (44,35 + 11,05 \cdot 10^{-3}T) = -1,13 - 5,251 \cdot 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT$$

$$\Delta H_{1000}^0 = -248400 - 1,13(1000 - 298) - 2,6255 \cdot 10^{-3}(1000^2 - 298^2) = -248400 - 793,26 - 2392,35 = -251586 \text{ Дж}$$

- *Ответ:* -251586 Дж.

Задача 2. ЭДС элемента, работающего за счет реакции $\text{Ag} + 1/2\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{AgCl} + \text{Hg}$ равна 0,0455 В при 25°C и 0,0421 В при 20°C. Определите изменение энергии Гиббса, тепловой эффект реакции и изменение энтропии при 25°C

○ Изменение энтропии:

$$\Delta S = nF \left(\frac{dE}{dT} \right)_p = nF \left(\frac{E_{T_2} - E_{T_1}}{T_2 - T_1} \right) = 1 \cdot 96500 \cdot \left(\frac{0,0455 - 0,0421}{5} \right) = 65,62 \text{ Дж/К.}$$

$$\Delta G_{298K} = -nFE_{298K} = -1 \cdot 96500 \cdot 0,0455 = -4390,75 \text{ Дж.}$$

$$\Delta H_{298K} = \Delta G_{298K} + 298 \cdot \Delta S_{298K} = -4390,75 + 298 \cdot 65,62 = 15164,01 \text{ Дж}$$

Задача 3. При температуре 230°C константа равновесия гомогенной реакции, где все вещества находятся в газовой фазе $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCl} = \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ равна $0,128$. Определите состав равновесной смеси в объемных процентах, полученной из 2 моль этилена и 1 моль соляной кислоты. Общее давление $10,13$ атм.

Решение: перед нами гомогенная реакция, где все вещества находятся в газовой фазе, следовательно, парциальные давления, согласно закону Дальтона равны $p_i = p \cdot X_i$, где p - общее давление, X_i - мольная доля i вещества.

Запишем равновесное число молей для каждого реагента:

○		C_2H_4	+	HCl	=	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$
	Исходное число молей, моль	2		1		0
	Прореагировало, моль			z		
	равновесные числа молей, моль	$2 - z$		$1 - z$		z

Подсчитаем общее число молей при равновесии $n = 2 - z + 1 - z + z = 3 - z$

Запишем мольные доли

каждого из веществ	$\frac{(2 - z)}{(3 - z)}$	$\frac{(1 - z)}{(3 - z)}$	$\frac{z}{(3 - z)}$
и парциальные давления			

$$K_p = \frac{P_{C_2H_5Cl}}{P_{C_2H_4} \cdot P_{HCl}} = \frac{p_o X_{C_2H_5Cl}}{p_o X_{C_2H_4} \cdot p_o X_{HCl}} = \frac{z(3-z)}{p_o(2-z)(1-z)} = 0,128$$

Решая квадратное уравнение: $2,32z^2 - 6,9z + 2,64 = 0$ получим два корня $z_1 = 0,44$; $z_2 = 2,55$

z_2 не является искомым корнем, т.к. число молей исходных веществ при равновесии становятся отрицательным числом, что не имеет смысла. Итак, корень уравнения $z_1 = 0,44$

При равновесии в газовой смеси содержится C_2H_4 -1,56 моль, HCl -0,56 моль, C_2H_5Cl -0,44 моль.

Состав смеси в объемных, мольных процентах

$$\%C_2H_4 = (1,56/2,56) \cdot 100\% = 60,94\%$$

$$\% HCl = (0,56/2,56) \cdot 100\% = 21,88\%$$

$$\% C_2H_5Cl = (0,44/2,56) \cdot 100\% = 17,18\%$$

Сумма мольных процентов всех веществ равна 100%

Ответ: 60,94%; 21,88%; 17,18%

Задача 4. Найти изменение энтропии при превращении 100 г воды, взятой при 0°С, в пар при 120°С. Удельная теплота испарения воды при 100°С равна 2255 Дж/г. Удельная теплоемкость воды 1 кал/(г·К). Удельная теплоемкость пара 1,912 Дж/(г·К).

- Решение: изменение энтропии равно сумме трех изменений энтропий:

При нагревании 100 г воды от 0°С до температуры кипения.

$$\Delta S_1 = 100 \int_{273}^{373} \frac{1}{T} dT = mC \ln \frac{T_2}{T_1} = 100 \ln \frac{373}{273} = 31,165 \text{ кал} / \text{К} = 130,394 \text{ Дж} / \text{К}$$

При испарении при температуре кипения.

$$\Delta S_2 = \frac{2255 \cdot 100}{373} = 604,556 \text{ Дж} / \text{К}$$

При нагревании пара от 100°С до 120°С

$$\Delta S_3 = 100 \int_{373}^{393} \frac{1,912}{T} dT = 100 \cdot 1,912 \ln \frac{393}{373} = 9,987 \text{ Дж} / \text{К}$$

Общее изменение энтропии

равно: $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 130,394 + 604,556 + 9,987 = 744,936 \text{ Дж} / \text{К}$.

- Ответ: 744,936 Дж/К.

Задача 5. Константа скорости некоторой реакции первого порядка равна $2,06 \cdot 10^{-3}$ мин⁻¹. Определите, сколько процентов исходного вещества разложится за 25 минут и сколько времени потребуется для разложения 95%.

Константа скорости реакции первого порядка

$$C_0 = 100 \%. \quad K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C} \quad 2,06 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{25} \ln \frac{100}{C}$$

$$5,15 \cdot 10^{-2} = \ln 100 - \ln C \quad -\ln C = -4,554$$

$C = 95\%$

в задаче надо найти количество, которое разложилось, очевидно:

$$C_0 - C = 100 - 95 = 5\%$$

При ответе на второй вопрос задачи, примем $C_0 = 100\%$, а $C = 100 - 95 = 5\%$, поскольку в уравнение надо подставить концентрацию которая осталась, а не разложилась.

$$2,06 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{\tau} \ln \frac{100}{5} \quad \frac{2,06 \cdot 10^{-3}}{2,996} = \frac{1}{\tau} \quad \tau = 1454 \text{ мин} = 24 \text{ часа } 14 \text{ мин.}$$