Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»
Кафедра «Естественные и математические науки»

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Учебное пособие для выполнения контрольных работ по курсу «Физическая химия» для студентов направлений 18.03.01 «Химическая технология», 18.03.02 «Энерго и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 04.03.01 «Химия» заочной формы обучения.

Энгельс 2025г.

УДК 543.47
ББК 24.4
О 50

О 50 Авторы-составители: Окишева Н.А.: Физическая химия: Учебное пособие к выполнению контрольных работ по курсу «Физическая химия» – Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ, 2025. – 36 с.

Рецензенты**:** профессор кафедры «Естественные и математические науки» ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., д.т.н. Целуйкин В.Н.
профессор кафедры «Химические технологии» ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., д.т.н. Соловьева Н.Д.

Учебное пособие к выполнению контрольных работ по курсу «Физическая химия» студентами заочного обучения. Пособие содержит десять контрольных задач, рекомендации к решению задач, примеры решения задач, список литературы, рекомендованной для изучения курса и справочный материал в приложении.

УДК 543.47
ББК 24.4

Одобрено редакционно-издательским советом
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Брошюра издается в авторской редакции

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Физическая химия – это наука об общих законах, определяющих строение и химические превращения веществ при различных внешних условиях. Она является основным теоретическим фундаментом современной химии. Предметом физической химии является объяснение химических явлений на основе более общих законов физики. Изучение физической химии дает возможность понять законы химии и физики, а также предсказывать химические явления и управлять ими. Поэтому знание этой дисциплины для будущих бакалавров открывает большие возможности для решения различных задач, встречающихся на производстве и в научно-исследовательской деятельности.

Знание курса физической химии необходимо и для успешного изучения последующих дисциплин. Студенты должны прочно усвоить основные законы и теории физической химии и овладеть техникой химических расчетов; выработать навыки самостоятельного выполнения химических экспериментов и обобщения наблюдаемых фактов.

Основной вид учебных занятий студентов-заочников – самостоятельная работа над учебным материалом. По курсу физической химии она состоит из: изучения материала по учебникам и учебным пособиям; выполнения контрольных заданий; выполнения лабораторного практикума; индивидуальных консультаций; посещения лекций; сдачи экзамена.

Работа с учебником. Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении не задерживайтесь на математических выводах, составлении уравнений реакций; старайтесь получить общее представление об излагаемых вопросах, а также отмечайте трудные или неясные места. Внимательно прочитайте текст, напечатанный особым шрифтом. При повторном изучении темы усвойте все теоретические положения, математические зависимости и их выводы. Вникайте в сущность того или иного вопроса, а не пытайтесь запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала. Чтобы лучше запомнить и усвоить изучаемый материал, надо обязательно иметь рабочую тетрадь и заносить в нее формулировки законов и основных понятий химии, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т. п. Во всех случаях, когда материал поддается систематизации, составляйте графики, схемы, диаграммы, таблицы. Они очень облегчают запоминание и уменьшают объем конспектируемого материала. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену. Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач (см. список рекомендованной литературы).

Решение задач − один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

Контрольные задания. В процессе изучения курса химии студент должен выполнить контрольную работу. К выполнению контрольной работы можно приступить только тогда, когда будет изучена определенная часть курса и тщательно разобраны решения примеров, приведенных перед задачами к соответствующим темам контрольных заданий.

Решение задач и ответы на теоретические вопросы должны быть коротко, но четко обоснованы.

При решении задач нужно приводить весь ход решения и математические преобразования. Графики, которые необходимо выполнить по условиям задачи чертятся на миллиметровой бумаге или выполняются в электронном варианте в формате Excel с указанием на осях координат отложенных величин, соблюдая масштабность.

Контрольная работа должна быть аккуратно оформлена; для замечаний рецензента надо оставлять поля; писать четко и ясно; номера и условия задач переписывать в том порядке, в каком они указаны в задании. Работы должны быть датированы, подписаны студентом и представлены в институт на рецензирование.

Если контрольная работа не зачтена, ее нужно выполнить второй раз в соответствии с указаниями рецензента и выслать на повторное рецензирование вместе с не зачтенной работой. Исправления следует выполнять в конце тетради, а не в рецензированном тексте. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, преподавателем не рецензируется и не зачитывается.

Лабораторные занятия. Для глубокого изучения физической химии как науки, основанной на эксперименте, необходимо выполнить лабораторные работы. Студенты выполняют их в период лабораторно-экзаменационной сессии.

Консультации. Если у студента возникают затруднения при изучении курса, следует обращаться за консультацией в институт к преподавателю, рецензирующему контрольные работы. Консультации можно получить по вопросам организации самостоятельной работы и по другим организационно-методическим вопросам.

Лекции. В помощь студентам читаются лекции по важнейшим разделам курса. Лекции читаются в период установочной и лабораторно-экзаменационной сессий.

Экзамен. К сдаче экзамена допускаются студенты, которые выполнили контрольные задания и лабораторный практикум.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Каждый студент выполняет вариант контрольных заданий, соответствующий сумме двух последних цифр номера студенческого билета (шифра). Например, номер студенческого билета 80594, две последние цифры − 94, им соответствует вариант 13 каждой задачи (Смотри таблицу вариантов контрольных заданий).

Перед каждым заданием в пособии даются рекомендации и пример решения задачи.

Задание 1

Рекомендации.

Согласно первому следствию закона Гесса, стандартный тепловой эффект при постоянных P и T (стандартная энтальпия) химической реакции вычисляется таким образом

$$\Delta H^{o}_{реакции} = \sum \nu_{прод.} \cdot \Delta H^{o}_{обр.прод.} - \sum \nu_{исх.} \cdot \Delta H^{o}_{обр.исх.},$$

где ν – стехиометрические коэффициенты продуктов реакции («прод.») и исходных веществ (индекс «исх.»), $\Delta H^{o}_{обр.}$ – стандартные энтальпии образования продуктов реакции или исходных веществ.

Для решения задачи рассматриваем реакцию сгорания данного вещества, принимая $\Delta H^{o}_{реакции} = \Delta H^{o}_{сгор.}$, где $\Delta H^{o}_{сгор,}$ энтальпия сгорания данного вещества, берётся из приложения 1. Энтальпия образования CO_2 и H_2O (ж) находится в приложении 2. Подставляя эти значения в уравнение для $\Delta H^{o}_{реакции}$, вычисляем искомую энтальпию образования.

Задача №1

Вычислить стандартную энтальпию образования соединения (таблица 1) при 298 К и P = $1{,}0133 \cdot 10^5$Па, если известна его энтальпия сгорания (приложение 2). Продукты сгорания: CO_2, H_2, N_2.

Таблица 1

№ варианта	вещество	№ варианта	вещество
1	C_6H_6 (ж) бензол	11	C_2H_6O (ж) этанол
2	CH_4 (г) метан	12	$C_3H_8O_3$ (ж) глицерин
3	C_2H_2 (г) ацетилен	13	C_6H_6O (к) фенол
4	C_2H_4 (г) этилен	14	C_3H_6O (ж) ацетон
5	C_2H_6 (г) этан	15	CH_2O_2 (ж) муравьиная к-та
6	C_3H_6 (г) пропилен	16	$C_2H_4O_2$ (ж) уксусная к-та
7	C_3H_8 (г) пропан	17	$C_{10}H_{16}O$ (к) камфара
8	C_6H_7N (ж) анилин	18	$C_2H_6O_2$ (ж) этиленгликоль
9	C_7H_8 (ж) толуол	19	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (к) сахароза
10	CH_4ON_2(к) мочевина	20	$C_{10}H_8$ (к) нафталин

Пример решения. Вариант 20:

Дано:

T = 298 K

P= $1{,}0133 \cdot 10^5$Па

$\Delta H^o_{сгор}$ = -5156,78 кДж/моль

$\Delta H^o_{обр.}C_{10}H_8$ (кр.) - ?

Решение

Для решения задачи используем первое следствие из закона Гесса:

$\Delta H^o_{реакции} = \sum \nu_{прод.} \cdot \Delta H^o_{обр.прод.} - \sum \nu_{исх.} \cdot \Delta H^o_{обр.исх.}$

Запишем уравнение реакции:

$C_{10}H_8$ (кр.) + $12O_2$ (г) = $10CO_2$ (г) + $4H_2O$ (ж)

$\Delta H^o_{сгор}$ ($C_{10}H_8$ (кр.) = [10 $\cdot \Delta H^o_{обр}$ (CO_2(г) +4$\Delta H^o_{обр}$ H_20 (ж)] – [$\Delta H^o_{обр}$($C_{10}H_8$ (кр.) + 12$\Delta H^o_{обр}O_2$ (г)], где

$\Delta H^o_{обр.}$ - стандартные теплоты образования соответствующих веществ. Значения $H^o_{обр}$ берём из таблицы 3 приложения к Методическим указаниям:

$\Delta H^o_{обр}$ CO_2 (г) = - 393,51 кДж/моль

$\Delta H^o_{обр}$ H_2O (ж) = -285,84 кДж/моль

$\Delta H^o_{обр}$ O_2 (г) = 0, т.к. O_2 простое вещество

Выразим стандартную энтальпию образования нафталина:

$\Delta H^o_{обр.}C_{10}H_8$ (кр.) = [10 $\cdot \Delta H^o_{обр}$ (CO_2(г) +4$\Delta H^o_{обр}$ H_20 (ж)] – [$\Delta H^o_{сг.}$($C_{10}H_8$ (кр.) + 12$\Delta H^o_{обр}O_2$(г)]

$\Delta H^o_{обр.}C_{10}H_8$ (кр.) = [10·(-393,51) + 4(-285,84)] – [-5156,78 +12·0] = 78,32 кДж/моль

Ответ: $\Delta H^o_{обр.}C_{10}H_8$ (кр.) = 78,32 кДж/моль

Задание 2

Рекомендации.

Стандартную внутреннюю энергию (стандартный тепловой эффект при постоянныхV и T) реакции находим из соотношения:

$\Delta H^o_{реакции} = \Delta U^o_{реакции} + \Delta nRT$,

где Δn – изменение числа молей газообразных веществ при протекании реакции (слева направо). Если все партнёры реакции находятся в конденсированном состоянии (жидком или твёрдом), то можно принять, что энтальпия и внутренняя энергия реакции приближённо равны.

Задача №2

Вычислите тепловой эффект химической реакции при 298 К (таблица 2) и определите, на сколько при этой температуре отличается ΔH от ΔU. Необходимые данные взять из приложения 3.

Таблица 2

№ вари-анта	Уравнения реакций	№ вари-анта	Уравнения реакций
1	$N_2O_4 = 2NO_2$	11	$4NH_3+5O_2 = 6H_2O + 4NO$
2	$2NO + Cl_2 = 2NOCl$	12	$CCl_4 + 4\ H_2 = CH_4 + 4HCl$
3	$2NO_2 = 2NO + O_2$	13	$2S_2 + CH_4 = 2H_2S + CS_2$
4	$C_2H_5Cl = C_2H_4 + HCl$	14	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$
5	$C_2H_4 + H_2O = C_2H_5OH$	15	$Cl_2 + CO = COCl_2$
6	$2N_2 + 6\ H_2O = 4NH_3 + 3O_2$	16	$4HBr + O_2 = 2H_2O + 2Br_2$
7	$4CO + 2SO_2 = S_2 + 4\ CO_2$	17	$CH_4 + Br_2 = CH_3Br + HBr$
8	$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$	18	$F_2 + H_2O = 2HF + O$
9	$C_2H_2 + H_2O = CH_3COH$	19	$3C_2H_{2(г)} = C_6H_{6(г)}$
10	$4HI + O_2 = 2H_2O + 2I_2$	20	$SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2$

Пример решения. Вариант 20:

Дано:

$\Delta \boldsymbol{H}^{\mathbf{0}}_{\boldsymbol{Cl_2}(г)} = \mathbf{0}$

$\Delta \boldsymbol{H}^{\mathbf{0}}_{\boldsymbol{SO_2}(г)} = -\ 296{,}81\ \frac{кДж}{моль}$

$\Delta \boldsymbol{H}^{\mathbf{0}}_{\boldsymbol{SO_2Cl_2}(г)} = -358{,}70\ \frac{кДж}{моль}$

$\Delta H^o_{реакции} = ?$, $\Delta U^o_{реакции} = ?$

Решение

SO_2(г) + Cl_2 (г) = SO_2Cl_2 (г)

Для решения задачи используем первое следствие из закона Гесса:

$\Delta H^o_{реакции} = \sum \nu_{прод.} \cdot \Delta H^o_{обр.прод.} - \sum \nu_{исх.} \cdot \Delta H^o_{обр.исх.}$

$\Delta H^o_{реакции} = 1 \cdot (-358{,}70) - [1 \cdot (-296{,}81) + 1 \cdot 0] = -\ 61{,}89$ Дж\моль

$\Delta n = 2-1 = 1$

$\Delta U = \Delta H^o_{реакции} - \Delta nRT$

$\Delta U = -61{,}89 - 1 \cdot 8{,}314 \cdot 298 = 2539{,}46$ Дж/моль

Ответ: ΔH от ΔU отличается на: 2539,46 – (-61,89) = 2601,35 Дж/моль

Задание 3

Рекомендации.

Изменение энтропии вычисляется по формуле:

$\Delta S^o_{реакции} = \sum \nu_{прод.} \cdot S^o_{прод.} - \sum \nu_{исх.} \cdot S^o_{исх.}$,

где S - стандартные энтропии участников реакции, ν – стехиометрические коэффициенты.

Энергия Гиббса *G* и энергия Гельмгольца *F* вычисляются по формулам:

$$\Delta G^o = \Delta H^o - T\,\Delta S^o$$

$$\Delta F^o = \Delta G^o + \Delta nRT,$$

где Δn– изменение числа молей газообразных веществ при протекании реакции (слева направо). Верхний индекс «^{o}» указывает стандартные состояния участников реакции. Если изменение энергии Гиббса или энергии Гельмгольца меньше нуля, то реакция идёт в прямом направлении (слева направо) при (p, T) = const или (V,T) = const, соответственно.

Энергия Гиббса – это часть внутренней энергии, которую система может отдать окружающей среде. Поэтому её называют свободной (остальная часть как бы заперта – «связана»). Для расчёта пользуются формулой:

$$\Delta G_o = -RT\ln K_p,$$

где ΔG_o – стандартная энергия Гиббса, K_p - константа равновесия.

Задача №3

Для химической реакции, указанной в таблице 2 (все реакции протекают в газовых фазах), вычислить ΔS^0, ΔG^0, ΔF^0, K_p при T = 298 К, пользуясь справочными данными таблицы 2 приложения.

Сделать выводы:

1. Является ли данная реакция экзотермической или эндотермической?
2. Как изменилась энтропия системы после протекания реакции?
3. Протекает ли данная реакция самопроизвольно при стандартных условиях?

Пример решения. Вариант 19:

Дано:

$3C_2H_2$ (г)= C_6H_6 (г)

ΔH^o_{298} C_2H_2 (г) ацетилен = 226,75 кДж/моль

$S^o_{298}C_2H_2$ (г) ацетилен = 200,80 Дж/моль К

$\Delta H^o_{298}C_6H_6$ (г) бензол = 82,93 кДж/моль

S^o_{298} C_6H_6 (г) бензол = 269,20 Дж/моль К

Решение :

1. Тепловой эффект химической реакции находится с помощью первого следствия закона Гесса:

$$\Delta H^o_{реакции} = \sum \nu_{прод.} \cdot \Delta H^o_{обр.прод.} - \sum \nu_{исх.} \cdot \Delta H^o_{обр.исх.}$$

$\Delta H^o_{реакции}$ = 82,93 – (3· 226,75) = 82,93 – 680,25 = -597,32 кДж/моль

2. Изменение энтропии вычисляется по формуле:

$$\Delta S^o_{реакции} = \sum \nu_{прод.} \cdot S^o_{прод.} - \sum \nu_{исх.} \cdot S^o_{исх.}$$

$\Delta S^o_{реакции}$= 269,2 – (3 · 200,8) = -333,2 Дж/моль К

3. Энергия Гиббса G вычисляется по формуле:
$\Delta G^o = \Delta H^o - T\,\Delta S^o$
ΔG^o=-597,320 $\frac{кДж}{моль}$ –(-333,2 $\frac{Дж}{моль}$)·298 =-597320 + 99293,6=
= -498026,4 Дж/моль
Энергия Гельмгольца F вычисляется по формуле:
$\Delta F^o = \Delta G^o + \Delta nRT$
Δn = 3-1 = 2
ΔF^o = - 498026,4 + 2 · 8,314 · 298 = -493071,256 Дж/моль
Ответ: Реакция идёт в прямом направлении (слева направо), т.к. $\Delta G^o < 0$.

Задание 4

Рекомендации.

Зависимость теплового эффекта реакции от температуры выражается уравнением Кирхгоффа:

$$\Delta H_T = \Delta H^0 + \int_{298}^{T} \Delta C_p dT \quad (1)$$

Изменение теплоемкости в ходе химической реакции:

$$\Delta C_p(T) = \Delta a + \Delta bT + \Delta c' T^{-2} \quad (2)$$

Коэффициенты Δa, Δв, Δc' определяются по формуле:
$\Delta a = \Sigma\nu_i a_{i(продуктов)} - \Sigma\nu_i a_{i(реагентов)}$,где ν – стехиометрический коэффициент уравнения реакции. Δb и Δc рассчитывают аналогично. Значения $a_{i(продуктов)}$ и $a_{i(реагентов)}$ следует брать из справочных данных.

Задача №4

Для химической реакции, указанной в таблице 2, вычислить тепловой эффект (ΔH), изменение энтропии (ΔS), изменение энергии Гиббса (ΔG) и константу равновесия (K) при температуре T = 500 K. Определить направление химической реакции.

Задание 5

Рекомендации.

Необходимо использовать уравнение изотермы химической реакции. Для химической реакции вида aA + bB = eE + rR:

$$\Delta F_{V,T} = RT \cdot \left(ln \frac{C_E'^{e} \cdot C_R'^{r}}{C_A'^{a} \cdot C_B'^{b}} - lnK_C \right),$$

где K_C – константа равновесия: $K_C = \frac{C_E^e \cdot C_R^r}{C_A^a \cdot C_B^b}$;

C’ – исходные (неравновесные) концентрации веществ;

C –равновесные концентрации;

$\Delta F_{V,T}$ - энергия Гельмгольца.

Уравнение рассматривается в условиях постоянства состава газовой смеси. Это означает, что после того, как прореагировало число молей компонентов, равное стехиометрическим коэффициентам в уравнении реакции, начальные концентрации C остаются практически неизменными. Такое условие достигается, если масса смеси газов велика. Если полученное значение $\Delta F_{V,T}$ окажется меньше нуля, то реакция пойдёт в сторону образования конечных продуктов реакции.

Задача №5

Константа равновесия реакции $H_2 + I_2 = 2HI$ при 693 К равна 50. Образуется ли йодид водорода, если исходные концентрации (моль/л) равны x H_2; y I_2; zHI (x, y и z даны в таблице 3). Вещества в реакционный сосуд поступают из бесконечно больших ёмкостей. Йодид водорода выводится из реакционного сосуда в ёмкость бесконечно большого объёма.

Таблица 3

№ варианта	**x**	**y**	**z**	**№** варианта	**x**	**y**	**z**
1	2	5	10	11	0,5	1,5	5
2	1,5	5	5	12	1,5	2	10
3	1,5	0,25	5	13	0,25	1,5	5
4	1	2	10	14	1	4	7
5	0,25	1,25	4	15	1,25	2,25	10
6	0,2	0,5	5	16	2,25	5,25	7,25
7	1	5	9	17	1	2	5
8	2	6	10	18	1,5	2,5	5,5
9	3	5	10	19	0,5	3	10
10	2,5	5	8	20	2	6	10

Пример решения. Вариант 20:

Для химической реакции aA + bB = eE + rR

$H_2 + I_2 = 2HI$

$$\Delta F_{V,T} = RT \cdot \left(ln \frac{C_E'^e \cdot C_R'^r}{C_A'^a \cdot C_B'^b} - lnK_C \right); \quad K_C = \frac{C_E^e \cdot C_R^r}{C_A^a \cdot C_B^b}$$

$$\Delta F_{V,T} = \mathrm{RT}\left(\ln \frac{C_{HI}^2}{C_{H_2} \cdot C_{I_2}} - \ln 50 \right)$$

$$8{,}314 \frac{Дж}{моль \cdot К} \cdot 693К \cdot (\ln 100 - \ln 12 - 3{,}912) =$$

$$8{,}314 \cdot 693 \cdot (4{,}61 - 2{,}48 - 3{,}912) = -10267{,}17 \frac{Дж}{моль}$$

Ответ: Полученное значение $\Delta F_{V,T}$ = -10267,17 Дж/моль, т.е. меньше нуля. Реакция пойдёт в сторону образования конечных продуктов реакции.

Задание 6

Рекомендации.

Необходимо построить график зависимости lgKp =f(1/T) и найти тангенс угла наклона (допустим, tgα) полученной прямой к оси абсцисс, как отношение противолежащего катета к прилежащему, взятых в единицах измерения соответствующих осей координат. Тогда энтальпия химической реакции вычисляется таким образом:

ΔH= 2,303 Rtgα.

Задача №6

Зависимость константы равновесия от температуры реакции

$2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2$ выражается уравнением:

$$\lg Kp = \frac{11088}{T} - 2{,}85 \cdot 10^{-3} \cdot T + 18{,}539 + 3{,}113 \cdot \lg T$$

Найти графически энтальпию химической реакции при заданной температуре (таблица 4).

Таблица 4

№ варианта	Температура, ^{0}C	№ варианта	Температура, ^{0}C
1	20	11	5
2	30	12	15
3	40	13	25
4	50	14	35
5	85	15	45
6	70	16	55
7	80	17	65
8	90	18	75
9	100	19	60
10	10	20	95

Пример решения. Вариант 20

Дано:

$2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2$

$\lg K_p = 11088/T - 2{,}85\cdot10^{-3}\cdot T + 18.539 + 3\cdot113\ \lg T$

$t^oC = 50$

TK = 323 K

ΔH -?

Решение

Для решения построим график зависимости $\lg K_p$ от 1/T.

Решим уравнения, чтобы определить три значения $\lg K_p$

Пусть T_1 = 323 К; T_2 = 333 К; T_3 = 343 К;

$\lg K_{p1} = 11088/323 - 2{,}85\cdot10^{-3}\cdot323 + 18.539 + 3\cdot113\ \lg323 = 59{,}75$

$\lg K_{p2} = 11088/333 - 2{,}85\cdot10^{-3}\cdot333 + 18.539 + 3\cdot113\ \lg333 = 58{,}75$

$\lg K_{p3} = 11088/343 - 2{,}85\cdot10^{-3}\cdot343 + 18.539 + 3\cdot113\ \lg343 = 57{,}78$

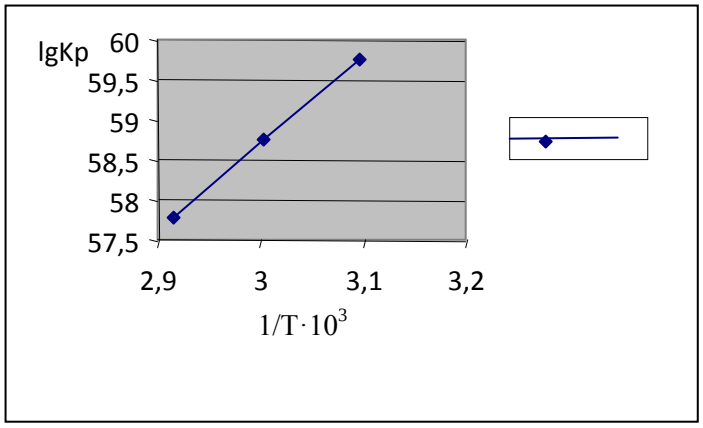
Находим 1/T:

$1/T_1 = 1/323 = 3{,}0959\cdot10^{-3}$

$1/T_2 = 1/333 = 3{,}003\cdot10^{-3}$

$1/T_3 = 1/343 = 2{,}9154\cdot10^{-3}$

Построим график и найдём значение углового коэффициента



$$tg\alpha = \frac{59,75-57,78}{0,00309-0,00291} = \frac{1.97}{0,00018} = 10944.4$$

$$\lg Kp = \frac{11088}{T} - 2,85\cdot 10^{-3}\cdot T + 18,539 + 3,113\cdot \lg T$$

Найденное значение подставим в уравнение:

$\Delta H = 2,3 \cdot R \cdot tg\alpha$

$\Delta H = 2,3 \cdot 8,314 \cdot 10944,4 = 209281,01$ Дж/моль

Ответ: ΔH= 209,3 кДж/моль.

Задача №7

По зависимости давления насыщенного пара от температуры:

1) построить график зависимости lgp от 1/T;
2) определить по графику координаты тройной точки;
3) рассчитать среднюю теплоту испарения и возгонки;
4) определить приближенную температуру кипения вещества при нормальном давлении;
5) определить теплоту плавления вещества при температуре тройной точки;
6) определить число термодинамических степеней свободы при следующих значениях температуры и давления:
   а) $T_{тр.т.}$, $p_{тр.т.}$; б) $T_{н.т.к.}$, p – 1 атм; в) $T_{н.т.к.}$, $p_{тр.т}$.

Необходимые для расчета данные взять из таблицы 5.

Таблица5

Вариант	Твердое состояние		Жидкое состояние		Условия
	T, K	p, Н/м^2	T, K	p, Н/м^2	
1	245 255 258 259 266	7999 13305 17995 19995 23326	250 255 260 268 272	23326 27195 31861 40293 47991	M = 27 P = 850·10^5 Па
2	205,0 208,5 209,0 213,0 216,4 220,5 224,0	16796 19195 22662 29859 35991 45988 59985	219,7 224,0 226,7 229,2 231,4 232,5	56310 59985 74650 75981 83479 87078	M = 127,5 P = 600·10^5 Па
3	230 233 237 240 243	26260 31458 39990 49997 58518	236 246 248 249 252,5	63315 78647 83979 86645 96942	M = 52 P = 350·10^5 Па

Вариант	Твердое состояние		Жидкое состояние		Условия
	T, K	p, Н/м^2	T, K	p, Н/м^2	
	245	66650	253,5	100508	
4	183,2 188,0 196,2 199,2 203,7	333,3 586,5 1850 3000 5305	201 203,7 214 216 230,2 244	4665,5 5305 7198 7998 13328 21828	M=64 P=1000·10^5 Па
5	353,2 363,2 373,2 383,2 393,2	39,99 79,98 186,6 393,2 679,8	363,2 393,2 395,2 400,7 403,7 408,7	186,6 679,8 733,1 973,1 1133 1399,6	M=122 P= 850·10^5 Па
6	205,2 208 209,2 213,2 216,4 220 224,2	16796 19195 22662 29859 35991 45988 59985	219,2 224,4 226,7 229,2 231,2 232,7	55319 59985 66650 75981 83979 87975	M = 127,5 P = 500·10^5 Па
7	248 254,4 258 259 260	7998 13300 17995 19995 23327	260 265 270 278 282	23327 27190 31860 40290 47990	M = 27 P = 800·10^5 Па
8	248,5 254,5 258,5 259,5 265,0	7898 12302 16993 18995 22324	265 270 275 280 285	22324 23190 24860 30290 37990	M = 27 P = 700·10^5 Па
9	268 269 270 271,2 272	411,5 447,5 485,5 527,0 563,5	269,2 271,2 273,2 275,2 278,2 283,2 299,2	500 527 571 655 762 984 1605	M = 18 P = 405·10^5
10	283,0 287,2	2112 2472	269 271	1500 1530	M = 18 P = 450·10^5

Вариант	Твердое состояние		Жидкое состояние		Условия
	T, K	p, Н/м^2	T, K	p, Н/м^2	
	290,2 291,2 292,2	4859 5272 5632	273 275 278 283 299	1570 1650 1760 2112 2600	
11	235 238 230 243 246 249	2626 3145 3999 4999 5851 6665	236,5 246,5 248,5 249,5 252,5 253,5	3315 8647 3979 6645 6942 10508	M = 52 P = 400·10^5 Па
12	230,5 233,5 237,0 240,5 243,5 245,5	6262 1453 9991 9997 8515 6656	237 246 248 249 252 255	6331 7864 8397 8664 9694 10058	M = 52 P = 550·10^5 Па
13	183 188 196 199 203	333 586 1852 3015 5326	201 203 214 216 230 244	4660 5300 7190 7990 13320 21820	M=64 P=1000·10^5 Па
14	353,5 363,5 373,5 383,5 393,5	390 798 806 932 980	363,5 393,5 395,5 400,5 403,5 408,5	798 819 833 973 1133 1399	M=122 P= 950·10^5 Па
15	248,5 254,4 258,2 259,7 260,9	7990 13301 17990 19993 23320	261 265 272 278 286	23320 24190 25860 26290 27990	M = 27 P = 300·10^5 Па
16	248 254,4 258 259	7998 13300 17995 19995	260 265 270 278	23327 27190 31860 40290	M = 64 P = 850·10^5 Па

Вариант	Твердое состояние		Жидкое состояние		Условия
	Т, К	р, Н/м^2	Т, К	р, Н/м^2	
	260	23327	282	47990	
17	248 255 258 259 265	7997 13302 17993 19995 23329	260 265 270 278 282	23320 23329 31865 40290 47995	М = 27 Р = 800·10^5 Па
18	248,1 254,4 258,4 259,5 260,2	7998 13303 17995 19998 23327	260,2 265,5 270,7 278,1 282,8	23327 27195 31860 40290 47999	М = 52 Р = 700·10^5 Па
19	245 254 259 262 268	7998 13300 17995 19995 23327	262 265 270 278 282	19995 27190 31860 40290 47990	М = 27 Р = 800·10^5 Па
20	268,2 269,2 270,2 271,2 272,2	401,2 437,2 475,9 517,2 553,2	269,2 271,2 273,2 275,2 278,2 283,2 299,2	505 533 573 656 760 982 1600	М = 18 Р = 40,5·105

Пример решения. Вариант 20:

1. Для построения графика зависимости lgp от 1/T посчитаем данные для жидкого и твердого состояний и внесем их в таблицу.

Твердое состояние

Т, К	1/Т·10^3	Р, Па	lgP
248	4,0323	7998	3,903
254,4	3,9308	13300	4,124
258	3,8759	17995	4,255
259	3,8610	19995	4,301
260	3,8462	23327	4,368

Жидкое состояние

T, K	$1/T\cdot10^3$	P, Па	lgP
260	3,8462	23327	4,368
265	3,7736	27190	4,434
270	3,7037	31860	4,503
278	3,5971	40290	4,605
282	3,5461	47990	4,681

По данным строим график зависимости lgp от 1/T.

2.По графику определим координаты тройной точки: например – lgp -4,368; $1/T$ - $3,8462\cdot10^{-3}$

3. Найдем среднюю теплоту испарения и возгонки из данных жидкого состояния по уравнению

Отсюда = $2,3\cdot R\cdot \lg\frac{P_2}{P_1}$,

где R = 8,31 Дж/моль – универсальная газовая постоянная

$\Delta H_{исп.} = 2,3\cdot 8,31\cdot\frac{282\cdot260}{260-282}\cdot\lg\frac{47990}{23327} = 19,956\cdot10^3$ Дж/моль

Найдем значение $\Delta H_{плавл}$ из данных твердого состояния.

$\Delta H_{плавл.} = 2,3\cdot 8,31\cdot 27\,\frac{260\cdot248}{260-248}\lg\frac{23327}{47998} = 155,29\cdot10^3$ Дж/моль 155,29

$\Delta H_{возг.} = 538,8\cdot10^3 + (155,29\cdot10^3) = 694,1\cdot10^3$ Дж/моль/

4. Определим приблизительную температуру кипения по правилу Трутона, которое используют для многих неполярных веществ:

теплота испарения при нормальных условиях - $\Delta H_{исп.} / T_к \approx 21,3$.

Откуда имеем $T_к \approx \Delta H_{исп.} /21,3 = 538,8\cdot10^3 / 21,3 = 25295,77$ К.

5. Определим теплоту плавления вещества при температуре тройной точки. Используем выражение: $\lg P = \frac{\Delta H_{пл}}{2,3\cdot R\cdot T_{тр.т.}}$.

откуда имеем $\Delta H_{пл} = 2,3\cdot R\cdot T_{тр.т.}\cdot\lg P\cdot M = 2,3\cdot8,31\cdot260\cdot\lg 23327\cdot27 = 585,34\cdot10^3$ Дж/моль

6. Термодинамическая степень свободы при T = 260 K, P = 23327Па.с рассчитаем по правилу фаз Гиббса:

$$C = K - Ф + 2,$$

где C – степень свободы, K – число компонентов, Ф – число фаз.

У нас число компонентов равно 1, в тройной точке Ф =3, тогда в тройной точке: $C = K - Ф + 2 = 1 - 3 + 2 = 0$.

Аналогично делаем расчеты при других условиях, задания (б) и (в).

Задание 8

Рекомендации.

В условиях равновесия при данной температуре константа равновесия – постоянная величина, равная отношению произведения равновесных концентраций (парциальных давлений) продуктов реакции к произведению концентрации (парциальных давлений) исходных веществ, взятых в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам в уравнении химической реакции.

Рассмотрим решение задачи на примере химической реакции: A + B = 2C

Константа равновесия K_p, выраженная через парциальные давления компонентов смеси, вычисляется по формуле:

$$K_p = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B}$$

P – парциальные давления веществ – участников реакции. Парциальные равновесные давления рассчитываются по формуле Дальтона; $P = P_{общ.} \cdot N$, где N – мольная доля, рассчитываемая как отношение числа молей данного вещества к общему числу молей всех участников реакции при равновесии. Ход вычислений может быть представлен таблицей:

	A	B	2C
Исходные количества молей	1	1	0
Прореагировало, количество молей	x/2	x/2	x
Равновесные количества молей	1-x/2	1-x/2	x

Общее число молей составляет (1 – x/2) + (1-x/2) + x. На основании этого баланса чисел молей, вычисляются парциальные давления (по закону Дальтона) и константа равновесия K_p.

Между K_p и K_c существует связь: $K_C = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}}$, где Δn –разность между стехиометрическими коэффициентами газообразных веществ в правой и левой частях уравнения равновесия;

K_c – константа равновесия, если состав равновесной смеси выражен через равновесные концентрации.

Задача №8

Газообразные вещества A и B реагируют с образованием продукта C. Рассчитайте K_p и Кс, если исходные вещества A и B взяты в

стехиометрических количествах при общем давлении равновесной системы $1{,}0133 \cdot 10^5$ Па и температуре 298 К. Количество вещества С = 0,35.

Таблица 6

№ варианта	Реакция	№ варианта	Реакция
1	A + B = 1/2C	11	A + B = 3C
2	1/2A + B = C	12	1/3 A + B = 3C
3	3A + B = 2C	13	3A + B = 1/2C
4	2A + 1/2B = 2C	14	3A + 1/2B = C
5	2A + 3B = 3C	15	1/2A + 1/2B = C
6	3A + ½ B = C	16	3A + B = C
7	A + 2B =C	17	A + 3B = C
8	A + 2B = 1/2C	18	2A + B = C
9	A + 3B = C	19	1/2A + B = 1/2C
10	A + 2B = 3C	20	2A + 1/2B = 3C

Пример решения. Вариант 20:

По уравнению 2A + 1/2B = 3Сопределяем количество вещества A и B в момент равновесия:

n (C) = 0,35 моль/л – по условию задачи

$n_{прореаг.}$ (A) = $\frac{0{,}35 \cdot 2}{3} = 0{,}233 моль/л$

$n_{прореаг.}$ (B) = $\frac{0{,}35 \cdot 0{,}5}{3} = 0{,}0583 моль/л$

$n_{равн.}$ (A) = 2 – 0,233 = 1,767

$n_{равн.}$ (B) = 0,5 – 0,0583 = 0,4417

Определим молярные доли газов A, B и C в момент равновесия:

N(A) = $\frac{1{,}767}{1{,}767 + 0{,}4417 + 0{,}35} = 0{,}691$

N(B) = $\frac{0{,}4417}{1{,}767 + 0{,}4417 + 0{,}35} = 0{,}173$

N(C) = $\frac{0{,}35}{1{,}767 + 0{,}4417 + 0{,}35} = 0{,}137$

Определим парциальные давления из уравнения Дальтона $P_x = P_o \cdot N$

P(A) = $1{,}0133 \cdot 10^5 \cdot 0{,}691 = 0{,}700 \cdot 10^5$ Па

P(B) = $1{,}0133 \cdot 10^5 \cdot 0{,}173 = 0{,}175 \cdot 10^5$ Па

P(C) = $1{,}0133 \cdot 10^5 \cdot 0{,}137 = 0{,}139 \cdot 10^5$ Па

Подставим значения в формулу и определим K_p

$$K_p = \frac{P_C^3}{P_A^2 \cdot P_B^{0,5}} = \frac{0,139^3 \cdot 10^{15}}{(0,700 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(0,175 \cdot 10^5\right)^{0,5}} =$$

$$\frac{2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{15}}{0,49 \cdot 10^{10} \cdot 0,418 \cdot 10^{2,5}} = \frac{2,7 \cdot 10^{12}}{0,205 \cdot 10^{12,5}} = 13,17 \cdot 10^{0,5} = 41,65$$

K_c определяем по формуле: $K_c = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}}$

$\Delta n = 3 - 2,5 = 0,5$

$$K_c = \frac{41,65}{\left(8,314 \cdot 298\right)^{0,5}} = \frac{41,65}{49,775} = 0,837$$

Ответ: K_p = 41,65; K_c = 0,837

Задание 9

Рекомендации.

Равновесные количества реагентов и продуктов реакции$C_2H_5OH + CH_3COOH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$ вычисляются таким образом:

- число молей эфира $CH_3COOC_2H_5$ $n_{эф}$ = x
- число молей воды $n_{воды}$ = x
-
- число молей спирта C_2H_5OH $n_{сп} = \frac{100}{M_{сп}} - x$
- число молей кислоты CH_3COOH $n_{кисл.} = \frac{100}{M_{кисл}} - x$,

где М – молекулярная масса соответствующего партнёра.

Равновесные концентрации реагентов и продуктов реакции пропорциональны числам молей n, поскольку все они относятся к одному общему объёму. Поэтому константа равновесия может быть представлена

$$K_c = \frac{n_{эф} \cdot n_{воды}}{n_{сп} \cdot n_{кисл}}$$

так:

$$K_c = \frac{x^2}{\left(\frac{100}{M_{сп}} - x\right) \cdot \left(\frac{100}{M_{кисл}} - x\right)}$$

Это уравнение следует решить относительно x.

Задача №9

Константа равновесия реакции $C_2H_5OH + CH_3COOH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$ равна ***а*** (таблица 7). Сколько эфира получится, если в исходной смеси взять ***в*** г этанола и ***с*** г уксусной кислоты?

Таблица 7

№ варианта	***а***	***в***	***с***	№ варианта	***а***	***в***	***с***
1	10	120	140	11	39	140	110
2	2	140	120	12	42	120	130
3	6	110	130	13	45	130	110
4	1	110	150	14	52	150	110
5	2,5	115	130	15	55	130	115
6	2,4	120	150	16	60	150	120
7	5	125	140	17	65	140	125
8	8	150	130	18	61	130	150
9	3	120	110	19	7	110	120
10	50	135	15	20	4	100	100

Пример решения. Вариант 20:

$M(C_2H_5OH) = 46$ г/моль

$M(CH_3COOH) = 60$ г/моль

Подставим данные в уравнение $K_C = \dfrac{x^2}{\left(\dfrac{100}{46} - x\right)\cdot\left(\dfrac{100}{60} - x\right)}$

$$4 = \frac{x^2}{3,62 - 3,84x + x^2}$$

$$4 = \frac{x^2}{3,62 - 3,84x + x^2}$$

$$14,48 - 15,36x + 4x^2 = x^2$$

$$3x^2 - 15,36x + 14,48 = 0$$

Получено квадратное уравнение вида:

$ax^2 + bx + c = 0$

x_1 и x_2 – корни уравнения;

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_1 = \frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a} = \frac{15,36+\sqrt{(-15,36)^2-4\cdot 3\cdot 14,48}}{2\cdot 3} = 3,87$$

$$x_2 = \frac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a} = \frac{15,36-\sqrt{(-15,36)^2-4\cdot 3\cdot 14,48}}{2\cdot 3} = 1,25$$

Возьмём X = 1,25

- число молей эфира $CH_3COOC_2H_5$ $n_{эф}$ = x
- число молей воды $n_{воды}$ = x
- число молей спирта C_2H_5OH $n_{сп} = \frac{100}{M_{сп}} - x$
- число молей кислоты CH_3COOH $n_{кисл.} = \frac{100}{M_{кисл.}} - x$

$n_{эф}$ = 3,87
$n_{сп}$. = 2,17 – 3,87 = -1,7 - не подходит
$n_{эф}$ = 1,25
$n_{сп}$. = 2,17 – 1,25 = 0,92
$n_{кисл}$. = 1,67 – 1,25 = 0,42

$C_2H_5OH + CH_3COOH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$

0,92 моль 1,25 моль
42,32 г 110 г

1.25 моля $CH_3COOC_2H_5$ составляет 110 г.
Ответ: количество $CH_3COOC_2H_5$ составляет 110 г.

Задание 10

Рекомендации.

Расчёт ведётся по уравнению Клапейрона-Клаузиуса: $\frac{dP}{dt} = \frac{\Delta H}{t\Delta V}$,

где ΔH - энтальпия фазового перехода.

Задача №10

Давление пара некоторого вещества при температуре t^oC имеет следующие значения (таблица 8). Определить графически молярную энтальпию испарения и температуру кипения.

Таблица 8

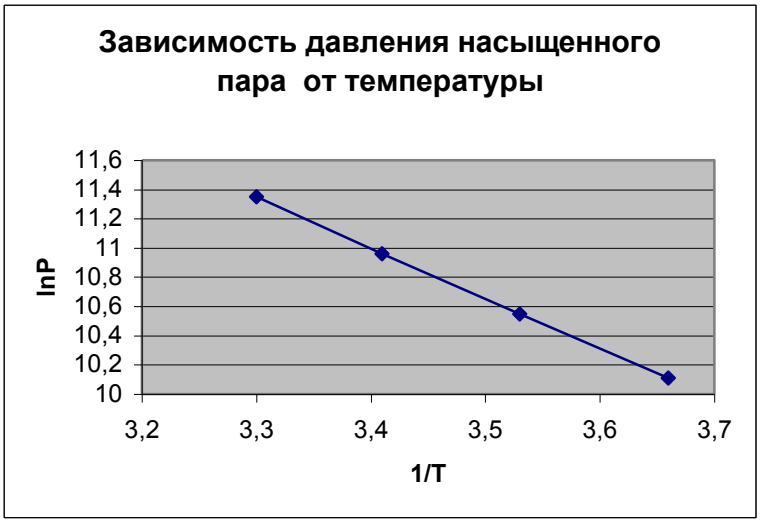
№ варианта	t^oC	P, Па	№ варианта	t^oC	P, Па
1	15	1704,9	11	0	24533,0
	30	4245,2		15	38265,0
	45	9583,2		20	57731,0
	60	19916,0		30	84633,0

№ варианта	t^oC	P, Па	№ варианта	t^oC	P, Па
2	1	1704,9	12	5	14553,0
	15	4245,2		10	28265,0
	25	9587,2		20	47631,0
	35	18916,0		35	74633,0
3	25	1555,5	13	10	1668,2
	30	4335,3		30	4145,9
	55	9591,4		40	9763,3
	65	19651,0		50	19616,0
4	10	17652,0	14	0	24433,0
	30	4405,2		30	37265,0
	40	9579,5		40	56731,0
	50	19935,1		60	94033,0
	15	1712,6	15	10	24533,0
	35	4123,9		20	38265,0
	40	9432,5		30	57731,0
	65	19987,0		40	84633,0
6	15	1678,2	16	0	17652,0
	30	4345,9		25	4105,2
	45	9563,3		45	9579,5
	60	19916,0		60	19935,1
7	35	1704,9	17	4	1678,2
	50	4245,2		10	4345,9
	65	9583,2		25	9563,3
	70	19916,0		30	19916,0
8	20	1704,9	18	2	24533,0
	30	4245,2		12	38265,0
	45	9583,2		22	57731,0
	60	19916,0		32	84633,0
9	20	1704,9	19	7	24533,0
	35	4245,2		15	38265,0
	55	9583,2		25	57731,0
	60	19916,0		40	84633,0
10	15	1704,9	20	0	24533,0
	30	4245,2		10	38265,0
	45	9583,2		20	57731,0
	75	19916,0		30	84633,0

Пример решения. Вариант 20:

Зависимость давления насыщенного пара от температуры определяется уравнением Клапейрона-Клаузиуса: $\frac{dP}{dt} = \frac{\Delta H}{t\Delta V}$, где ΔH - энтальпия фазового перехода. В данной задаче рассмотрим пар, как идеальный газ и преобразуем уравнение Клапейрона-Клаузиуса в выражение: $\frac{d\ln P}{d(1/t)} = \frac{\Delta H}{R}$.

Отсюда получается, что энтальпия фазового перехода (деленная на R), есть тангенс угла наклона графика в координатах lnP по оси ординат и 1/t по оси абсцисс.



Для решения этой задачи построим график зависимости lnP от 1/T обратной температуры по тангенсу угла наклона этой линии к оси абсцисс.

P, Па	24533,0	38265,0	57731,0	84633,0	101325,0
T, K	273,15	283,15	293,15	303,15	

Определим lnP и 1/T

lnP	10,11	10,55	10,96	11,35	11,53
1/T	$3{,}66\cdot10^{-3}$	$3{,}53\cdot10^{-3}$	$3{,}41\cdot10^{-3}$	$3{,}30\cdot10^{-3}$	

Определим графически температуру кипения воды. Известно, что жидкость кипит тогда, когда давление её паров сравняется с внешним давлением. $P(C_4H_{10}O)$ = 101325 Па. Определим lnP. lnP = 11,526.

Найдём на графике эту точку и от неё опустим перпендикуляр на ось X. Определим X, X = $3{,}23\cdot10^{-3}$; $1/T = 3{,}23\cdot10^{-3}$ $T = 1/3{,}23\cdot10^{-3} = 309{,}6^{o}$К.
$309{,}6 - 273 = 36{,}6^{0}$ – температура кипения заданного вещества

$$\frac{d\ln P}{d\left(\frac{1}{t}\right)} = \frac{12,40}{3,65\cdot10^{-3}} \qquad \frac{12,40}{3,65\cdot10^{-3}} = \frac{\Delta H}{R}$$

$$\Delta H = \frac{12,40\cdot8,314}{3,65\cdot10^{-3}} = 2,82\cdot10^{4}\,\frac{Дж}{моль}$$

Ответ: $\Delta H_{исп.} = 2{,}82\cdot10^{4}$ Дж/моль, T = $36{,}6^{o}$C

Приложения

Таблица 1.

Стандартная энтальпия сгорания соединений при 298 К.
Продукты сгорания $CO_{2(г)}$, $H_2O_{(ж)}$, $N_{2(г)}$.

Соединение	ΔH^o, кДж/моль	Соединение	ΔH^o, кДж/моль
CH_4 (г) метан	-890,31	CH_2O_2 (ж) муравьиная кислота	-256,48
C_2H_2 (г) ацетилен	-1299,63	$C_2H_4O_2$ (ж) уксусная кислота	-873,75
C_2H_4 (г) этилен	-1410,97	$C_2H_6O_2$ (ж) этиленгликоль	-1192,88
C_2H_6 (г) этан	-1559,88	C_3H_6O (ж) ацетон	-1789,79
C_3H_6(г) пропилен	-2058,53	$C_3H_8O_3$ (ж) глицерин	-1664,40
C_3H_8 (г) н-пропан	-2202,00	C_6H_6O (кр.) фенол	-3063,52
C_6H_6 (ж) бензол	-3267,70	$C_{10}H_{16}O$ (кр.) камфара	-5904,00
C_7H_8 (ж) толуол	-3910,28	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (кр.) сахароза	-5648,00
$C_{10}H_8$ (кр.) нафталин	-5156,78	CH_4ON_2 (кр.) мочевина	-634,30
CH_40 (ж) метанол	-726,64	C_6H_7N анилин	-3396,20
C_2H_60 (ж) этанол	-1366,91		

Таблица 2

Термодинамические функции некоторых простых веществ и соединений при 298 К ΔH^o_{298} – стандартная энтальпия образования, S^o_{298} – стандартная энтропия и $C^0_{p,298}$– стандартные значения энтропии и изобарной теплоемкости вещества при 298 К.

Теплоемкость [в Дж/(моль · К)] при температуре Т в указанном в таблице интервале температур выражается уравнениями:

$$C^0_p = a + bT + c'/T^2 \quad \text{или} \quad C^0_p = a + bT + cT^2$$

Вещество	ΔH^o_{298}, кДж/моль	S^o_{298}, Дж/моль·К	Дж/моль· К			
			a	$b\cdot10^3$	$c'\cdot10^{-5}$	$c\cdot10^6$
Al_2O_3 корунд (кр.)	-1675,00	50,94	114,56	12,89	-34,31	-
$Al_2(SO_4)_{3\ (кр.)}$	-3434	239,20	366,3	62,6	-111,6	-
$Br_{2\ (г)}$	30,92	245,35	37,20	0,71	-1,19	-
C (графит)	0	5,74	17,167	4,271	-8,794	-
CH_4 (г) метан	-74,85	186,19	17,464	60,502	-	1,118

Вещество	ΔH^o_{298}, кДж/моль	S^o_{298}, Дж/моль·К	Дж/моль·К			
			a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^{-5}$	$c \cdot 10^6$
C_2H_2(г) ацетилен	226,75	200,80	23,476	85,820	-	-58,333
C_2H_4(г) этилен	52,28	219,40	4,199	154,701	-	-81,148
C_2H_6 (г) этан	-84,67	229,40	4,497	-182,390	-	-74,910
C_3H_8 (г) пропан	-103,90	269,90	-4,802	307,531	-	-160,274
C_4H_4(г) винилацетилен	304,60	279,37	-	-	-	-
C_4H_{10}(г) н-бутан	-124,70	310,00	0,469	385,38	-198,38	39,97
C_4H_{10}(ж) н-бутан	-147,70	230,96	-6,84	409,64	-220,55	45,74
C_6H_6(ж) бензол	49,04	173,20	59,50	255,02	-	-
C_6H_6 (г) бензол	82,93	269,20	-33,923	472,210	-	-298,21
C_6H_{12}(г) циклогексан	-123,01	298,20	-51,72	598,8	-230,0	-
C_2H_5Cl(г) хлористый этил	-105,00	274,80	13,07	188,5	-71,94	-
CH_3NO_2 (г)	-74,42	220,30	-	-	-	-
C_2H_7NO(ж) моноэтанола-мид	-274,47	-	-	-	-	-
CH_4O(г) метанол	-295,477	282,224	20,432	103,754	-	-24,657
C_2H_6O(г) этанол	-235,30	282,00	20,709	205,527	-	-99,881
C_2H_6O(ж) этанол	-277,60	160,70	106,601	-165,805	-	575,712
C_3H_8O(ж) изопропило-вый спирт	-318,70	180,00	-	-	-	-
C_4H_8O(ж) бутаналь	-238,74	256,86	-	-	-	-
$C_5H_{10}O$(ж) циклопентанол	-300,20	206,00	-	-	-	-
CH_2O_2(г) муравьиная кислота	-376,70	251,60	19,4	112,8	-47,5	-
$C_2H_4O_2$(г) уксусная кислота	-437,40	293,50	21,272	193,272	-	-76,831

Вещество	ΔH^o_{298}, кДж/моль	S^o_{298}, Дж/моль·К	Дж/моль·К			
			a	$b\cdot10^3$	$c'\cdot10^{-5}$	$c\cdot10^6$
$C_2H_4O_2$(ж) уксусная кислота	-484,90	159,80	54,860	-	-	-
$C_3H_4O_2$(г) акриловая кислота	-336,23	311,01	-	-	-	-
$C_3H_6O_2$(г) метилацетат	-409,61	320,00	-	-	-	-
$C_4H_8O_2$(ж) этилацетат	-469,55	259,41	-	-	-	-
CO (г)	-110,50	197,40	27,634	5,024	-	-
CO_2 (г)	-393,51	213,00	44,173	9,044	-8,541	-
CaC_2 (кр.)	-62,70	70,30	68,62	11,88	-8,66	-
$CaCl_2$ (кр.)	-785,80	113,80	71,88	12.72	-2,5	-
CaO (кр.)	-633,10	39,70	48,862	4,522	-6,532	-
$Ca(OH)_2$ (кр.)	-987,295	76,203	84,577	-	-	-
Cl_2 (г)	0	223,108	36,720	1,047	-2,525	-
F_2 (г)	0	202,90	34,69	1,84	-3,35	-
H_2 (г)	0	130,680	27,28	3,26	0,502	-
HBr	-35,98	198,40	26,15	5,86	1,09	-

Таблица 3

Некоторые физико-химические константы

Авогадро число, N_A	$6,022\cdot10^{23}$моль-1
Атомная единица массы (масса изотопа углерода -12),а.е.м.	$1,661\cdot10^{-27}$кг
Больцмана постоянная, k	$1,381\cdot10^{-23}$Дж/К
Диэлектрическая проницаемость вакуума, ε_o	$8,854\cdot10^{-12}$ Ф/м
Нормальное давление	$1,013\cdot10^5$ Па
Объём 1 моля идеального газа при н.у.	22,41 $дм^3$ (л)
Планка постоянная, h	$6,626\cdot10^{-34}$ Дж·с
Скорость света в вакууме, c	$2,998\cdot10^8$м/с
Температура плавления льда при нормальном давлении, (0^oC)	273,15 К
Универсальная газовая постоянная, R	8,314 Дж/(моль·К)
Ускорение свободного падения, g	9,807 $м/с^2$
Фарадея число, F	$9,648\cdot10^4$ Кл/моль

Приложение 4

Основные свойства логарифмов

Логарифмом числа N по основанию a называется показатель степени x, в которую нужно возвести a, чтобы получить число N.

Обозначение $\log_a N = x$. Запись $\log_a N = x$ совершенно равнозначна записи $a^x = N$.

Например, $\log_2 8 = 3$, так как $2^3 = 8$.

Числа a (основание логарифма) и N (число) можно брать целыми и дробными, но непременно положительными, если мы хотим, чтобы логарифмы были действительными числами.

Сами же логарифмы могут быть и отрицательными. Отрицательные логарифмы столь же важны на практике, как и положительные.

Если за основание логарифмов взято число, большее единицы (например, число 10), то большее число имеет больший логарифм. Логарифмы чисел, больших единицы, положительны, меньших единицы – отрицательны. Логарифм единицы при любом основании равен нулю. Логарифм числа, равного основанию, всегда есть 1 (в десятичных логарифмах lg 10 =1).

Логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей:

$\log(ab) = \log a + \log b$)

Логарифм частного равен логарифму делимого без логарифма делителя:

$$\log\frac{a}{b} = \log a - \log b$$

Логарифм степени равен произведению показателя степени на логарифм её основания: $\log a^m = m\log a$.

Логарифм корня равен частному от деления логарифма подкоренного числа на показатель корня: $\log\sqrt[m]{a} = \frac{\log a}{m}$.

Логарифм суммы не равен сумме логарифмов: нельзя вместо log(a+b)= loga + logb.

Логарифмы, взятые по основанию e называются натуральными логарифмами. Вместо $\log_e x$ принято писать $\ln x$. $e = 2{,}71828047$

Запись $\log_e x = N$ совершенно равнозначна записи $e^N = x$.

Например, $\ln k = 3$; $e^3 = k$; $2{,}71828047^3 = k$.

Приложение 5

Основные единицы СИ

величина	наименование	обозначение
основные единицы		
длина	метр	м
масса	килограмм	кг
время	секунда	с
количество вещества*	моль	моль
температура термодинамическая	кельвин	К
сила электрического тока	ампер	А
сила света	кандела	кд
дополнительные единицы		
плоский угол	радиан	рад
телесный угол	стерадиан	ср

- определение СИ:"*Моль – это количество вещества, в котором содержится столько названных единиц, сколько содержится атомов в 0.012 кг изотопа* ^{12}C". Можно сказать иначе, моль – это количество вещества, в котором содержится N_A (число Авогадро) единиц вещества, которые должны быть ясно указаны. Например, в качестве единиц вещества могут рассматриваться формульные единицы $AlCl_3$, $1/3AlCl_3$, комплексы $(CH_3COOH)_2$, ионы, электроны и т.д.

Приложение 6

Производные единицы СИ

Некоторые производные единицы СИ, имеющие собственные наименования (не включены те, что имеют отношение к магнитному полю и радиационной активности)

величина	единица СИ		выражение через другие ед. СИ	
	наименование	обозначение	основные	другие производные
эл. потенциал, ЭДС, напряжение,	вольт	В	$кг·м^2/(А·с^3)$	Дж/Кл; Вт/А
мощность	ватт	Вт	$м^2·кг/с^3$	Дж/с
частота	герц	Гц	$с^{-1}$	
энергия, работа, кол-во теплоты	джоуль	Дж	$кг·м^2/с^2$	Н·м, Па·$м^3$, Кл·В

величина	единица СИ		выражение через другие ед. СИ	
	наименование	обозначение	основные	другие производные
кол-во электричества	кулон	Кл	с·А	Дж/В
сила	ньютон	Н	кг·м/с^2	Дж/м; Па·м^2; Кл·В/м
эл. сопротивление	ом	Ом	кг·м^2/(А^2·с^3)	В/А
давление	паскаль	Па	кг/(м·с^2)	Н/м^2; Дж/м^3
эл. проводимость	сименс	См	А^2·с^3/(кг·м^2)	А/В; Ом$^{-1}$; Ф/с
эл. ёмкость	фарад	Ф	А^2·с^4/(кг·м^2)	Кл/В; Кл^2/Дж; Дж/В^2

Некоторые десятичные (дольные и кратные) приставки к единицам СИ

множитель	приставка	обозначение	множитель	приставка	обозначение
10^{-1}	деци-	д	10	дека-	да
10^{-2}	санти-	с	10^2	гекто-	г
10^{-3}	милли-	м	10^3	кило-	к
10^{-6}	микро-	мк	10^6	мега-	М
10^{-9}	нано-	н	10^9	гига-	Г
10^{-12}	пико-	п	10^{12}	тера-	Т

Единицы, не входящие в СИ, но используемые наряду сединицам СИ

величина	наименование	обозначение	перевод в СИ
время	минута	мин	60 с
	час	ч или час	3600 с
	сутки	сут	86400 с
давление	бар	бар	10^5 Па
длина	ангстрём	Å	10^{-10} м, 0.1 нм
масса	атомная единица массы	а.е.м.	$1.66054 \cdot 10^{-27}$ кг
	дальтон	Da	$1.66054 \cdot 10^{-27}$ кг
	тонна	т	10^3 кг
объём	литр	л	10^{-3} м^3, 1 дм^3
	миллилитр	мл	10^{-6} м^3, 1 см^3
температура Цельсия	градус	°C	(ϑ + 273.15) K
угол плоский	градус	°	(π/180) рад
	минута	′	(π/10800) рад
	секунда	″	(π/648000) рад
энергия	электрон-вольт	эВ	$1.60219 \cdot 10^{-19}$ Дж

Некоторые единицы измерения, применявшиеся в физической химии в прошлой практике, и не входящие в СИ

величина	наименование	обозначение	перевод в СИ
сила	дина	дин	10^{-5} Н
энергия, работа, количество теплоты	эрг	эрг	10^{-7} Дж
	калория	кал	4.1868 Дж
вязкость	пуаз	Пз	0.1 Па·с
	сантипуаз	сПз	10^{-3} Па·с, 1 мПа·с
длина	микрон	мк	10^{-6} м, 1 мкм
давление	атмосфера физич.	атм	101325 Па
	миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.	133.322 Па
	торр	торр	133.322 Па
дипольный момент	дебай	Д	$3.33564 \cdot 10^{-30}$Кл·м

ЛИТЕРАТУРА

1. Стромберг А.Г., Семченко О.П. Физическая химия. – М.: Высш. шк., 2006. – 527 с.
2. Физическая химия в 2 кн. Под. Ред. Краснова К.С. – М.: Высш. шк., 2003. – 512 с.
3. Зимон А.Д. Физическая химия: Учебник для вузов. –М. : Агар 2006. - 320 С.
4. Основы физической химии. Учебное пособие в 2 частях. Ермин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А. Изд-во Бином. 2012. -480 с.
5. Белик В.В. Физическая и коллоидная химия ./ К.И. Киенская - 4-е изд., - М. : Academia, 2008. - 288 с.
6. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности. – Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. – 568 с.
7. Краткий справочник физико-химических величин. –Л.: Химия., 1974. - 198 с.

Оглавление

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ 3
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ 5
Задание 1 5
Рекомендации 5
Задача №1 5
Пример решения. Вариант 20: 6
Задание 2 6
Рекомендации 6
Задача №2 6
Пример решения. Вариант 20: 7
Задание 3 7
Рекомендации 7
Задача №3 8
Пример решения. Вариант 19: 8
Задание 4 9
Рекомендации 9
Задача №4 9
Задание 5 9
Задача №5 10
Пример решения. Вариант 20: 11
Задание 6 11
Рекомендации 11
Задача №6 11
Пример решения. Вариант 20 12
Задача №7 13
Пример решения. Вариант 20: 16
Задание 8 18

Рекомендации..... 18
Задача №8 18
Пример решения. Вариант 20:..... 19
Задание 9..... 20
Рекомендации..... 20
Задача №9 21
Пример решения. Вариант 20:..... 21
Задание10..... 22
Рекомендации..... 22
Задача №10 22
Пример решения. Вариант 20:..... 24
Приложения 26
Стандартная энтальпия сгорания соединений при 298 К. 26
Термодинамические функции некоторых простых веществ и соединений 26
Некоторые физико-химические константы..... 28
Основные свойства логарифмов 29
Основные единицы СИ..... 30
Производные единицы СИ 30
ЛИТЕРАТУРА 33
Оглавление..... 34

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Учебное пособие

Автор-составитель Окишева Наталья Анатольевна

Ответственный за выпуск Окишева Н.А.
Оригинал-макет Окишева Н.А.

Подписано в печать _____ г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать RISO.
Объем 2,25 усл.печ.л. Тираж 50 экз. Заказ № _____

413100, Россия, Саратовская область, г. Энгельс, пл. Свободы, 17
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.