

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

Г. М. Курунина

**МНОГОВАРИАНТНЫЕ ЗАДАЧИ И ТЕСТЫ
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ. Часть 1**

Электронное учебное пособие



Волжский
2023

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 1. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Курунина Г.М. ;
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон.текстовые дан. (1
файл: 6,39 МБ). – Волжский, 2023. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. –
Загл. с титул.экрана.

ISBN 978-5-9948-4663-6

Рассмотрены основные формулы для расчетов термодинамических
характеристических функций, работы, теплоты, энтальпии, энтропии и энергии
Гиббса для различных температур. Приведены примеры решения задач, семестровые
задания, тесты и программа для решения задач, 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».

Илл. 1, табл. 34, библиограф.: 5 назв.

ISBN 978-5-9948-4663-6

© Волгоградский государственный
технический университет, 2023
© Волжский политехнический
институт, 2023

1. Первый закон термодинамики

1.1. Теоретические основы первого закона термодинамики

1.1.1. Применение первого закона термодинамики к процессам идеальных газов

Математическое выражение первого начала термодинамики можно представить в виде уравнения:

$$dq = dU + dW, \quad (1)$$

где: q – теплота (форма передачи энергии при неупорядоченном (хаотичном) движении материи); Дж/моль;

W – работа (форма передачи энергии при упорядоченном движении материи); Дж/моль;

U – внутренняя энергия (полный запас энергии изохорического процесса); Дж/ моль;

Формулировка I начала термодинамики: всё поглощённое системой тепло расходуется на увеличение внутренней энергии и на совершение внешней работы (работы расширения).

Для изменения состояния системы в двух пределах первый закон термодинамики можно выразить:

$$q = \Delta U + W. \quad (2)$$

Учитывая, что

$$W = p \cdot \Delta V, \quad (3)$$

получаем:

$$q = \Delta U + p \cdot \Delta V. \quad (4)$$

Теплота считается положительной, если она подводится к системе, и отрицательной, если отводится от системы. Работа считается положительной, если система совершает работу над окружающей средой, и отрицательной, если работа совершается над системой.

Основной закономерностью, которой подчиняются идеальные газы, является уравнение состояния идеальных газов или уравнение Менделеева – Клапейрона:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T. \quad (5)$$

Учитывая, что

$$n = \frac{m}{M}, \quad (6)$$

получаем:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T. \quad (7)$$

где R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,314$ Дж/(моль·град));

P – давление, Па; T – температура, К; V – объем, м³; n – число моль газа.

Физический смысл: универсальная газовая постоянная (R) – это работа расширения, которую совершает 1 моль идеального газа при повышении температуры на 1 градус.

В зависимости от условий проведения различают изобарический ($P=const$), изохорический ($V=const$), изотермический ($T=const$) и адиабатический ($q=const$) процессы. В зависимости от вида процесса уравнения I закона термодинамики, работа и теплота будут вычисляться по различным формулам.

Формулы для расчета работы и теплоты в различных процессах приведены для 1 моль идеального газа в таблице 1.

Таблица 1

Процесс	Формула закона	Работа	Теплота	Уравнение состояния
$V=const$	$q_v=\Delta U$	$W=0$	$q_v=C_v\cdot(T_2-T_1)$	$\frac{P}{T} = const$
$P=const$	$q_p=\Delta H$ $\Delta H=\Delta U+W$ $q_p=\Delta U+W$	$W=P\cdot(V_2-V_1)$ $W=R\cdot(T_2-T_1)$	$q_p=C_p\cdot(T_2-T_1)$	$\frac{V}{T} = const$
$T=const$	$q_T=W$ $\Delta U=0$	$W=R\cdot T\cdot\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ $W=R\cdot T\cdot\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$	$q_T=R\cdot T\cdot\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ $q_T=R\cdot T\cdot\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$	$P\cdot V=const$
$q=const$	$\delta q=0$ $\Delta U=-W$ $W=-\Delta U$	$W=C_v\cdot(T_1-T_2)$ $W = \frac{P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2}{\gamma - 1}$ $W = \left(\frac{R}{\gamma-1}\right) \cdot (T_1-T_2)$ $W = \frac{R \cdot T_1}{\gamma - 1} \cdot \left(1 - \frac{V_1^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}}\right)$	$q=0$	$P\cdot V^\gamma=const$

Изохорная (C_v) и изобарная (C_p) молярные теплоёмкости связаны уравнением Майера:

$$C_p - C_v = R \quad (8)$$

Отношение изобарной и изохорной теплоёмкости друг к другу называется адиабатическим коэффициентом или коэффициентом Пуассона:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (9)$$

Мольные теплоёмкости газов берутся из таблиц термодинамических данных. При сравнительно невысоких температурах их можно определять по уравнениям:

- для одноатомных газов (He, Ne и т.д.)

$$C_V = \frac{3}{2} \cdot R = 12,5 \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{град)}; \quad (10)$$

- для двухатомных газов (N_2 , O_2 и т.д.), и трёхатомных с линейными молекулами (CO_2 , SO_2)

$$C_V = \frac{5}{2} \cdot R = 20,8 \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{град)}; \quad (11)$$

- для газов с линейными и многоатомными молекулами (NH_3 , SO_3 и т.д.)

$$C_V = \frac{5}{2} \cdot R = 20,8 \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{град)}. \quad (12)$$

Пример 1. Определите количество теплоты, работу, изменение энтальпии и внутренней энергии для нагревания 50 г азота от 35°C до 45°C при постоянном объеме.

Решение:

Для изохорического процесса: $W=0$, $q_v=\Delta U$, $q_v=n \cdot C_V \cdot (T_2-T_1)$

N_2 – является двухатомным газом, следовательно,

$C_V(N_2) = 20,8 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$;

$$n(N_2) = \frac{m(N_2)}{M(N_2)} = \frac{50}{28} = 1,786 \text{ моль};$$

$$q_v = 1,786 \cdot 20,8 \cdot (318-308) = 371,49 \text{ Дж}.$$

Давление находим из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P_1 = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{V}; \quad P_2 = \frac{n \cdot R \cdot T_2}{V}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{n \cdot R \cdot T_2}{V} - \frac{n \cdot R \cdot T_1}{V} = \frac{n \cdot R}{V} \cdot (T_2 - T_1)$$

Тогда:

$$\Delta H = \Delta U + V \cdot \Delta P = \Delta U + V \cdot \frac{n \cdot R}{V} \cdot (T_2 - T_1) = \Delta U + n \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\Delta H = 371,49 + 1,786 \cdot 8,314 \cdot (318-308) = 519,98 \text{ Дж}.$$

Ответ: $W=0 \text{ Дж}$; $q_v=371,49 \text{ Дж}$; $\Delta U=371,49 \text{ Дж}$; $\Delta H=519,98 \text{ Дж}$.

Пример 2. Оксид углерода (IV) массой 100 г находится при нормальных условиях. Вычислите теплоту, работу, изменение внутренней энергии и энтальпии при изобарическом расширении газа до $0,2 \text{ м}^3$.

Решение:

Вычисляем число моль CO_2 :

В Приложении 1 находим молярную теплоёмкость CO_2 :

$$C_p(\text{CO}_2) = 37,1 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{град}).$$

По уравнению Менделеева – Клапейрона определяем исходный объём газа:

$$V_1 = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{P_1} = \frac{2,273 \cdot 8,314 \cdot 273}{101325} = 0,0509 \text{ м}^3$$

Из соотношения $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, находим $T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1} = \frac{0,2 \cdot 273}{0,0509} = 1072,7 \text{ К}$

Количество теплоты определяем по формуле:

$$q_p = \Delta H = n \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = 2,273 \cdot 37,1 \cdot (1072,7 - 273) = 67437,34 \text{ Дж} = 67,4 \text{ кДж}.$$

Работу расширения в изобарическом процессе определяем по формуле:

$$W = P \cdot (V_2 - V_1) = 101325 \cdot (0,2 - 0,0509) = 15107,56 \text{ Дж} = 15,1 \text{ кДж}.$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \Delta H - W = 67437,34 - 15107,56 = 52329,78 \text{ Дж} = 52,3 \text{ кДж}.$$

Ответ: $q_p = \Delta H = 67,4 \text{ кДж}$; $W = 15,1 \text{ кДж}$; $\Delta U = 52,3 \text{ кДж}$.

Пример 3. При 10°C 6 г кислорода занимают объём $0,004 \text{ м}^3$. Вычислите работу, теплоту и изменение внутренней энергии при изотермическом расширении газа до объёма $0,0045 \text{ м}^3$.

Решение:

Вычисляем число моль O_2 :

$$n(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = \frac{6}{32} = 0,1875 \text{ моль}.$$

Работа при изотермическом расширении определяется следующим образом:

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = 0,1875 \cdot 8,314 \cdot 283 \cdot \ln \frac{0,0045}{0,0040} = 51,96 \text{ Дж};$$

В изотермическом процессе: $\Delta U = 0 \text{ Дж}$, а $q_T = W$.

Ответ: $q_T = W = 51,96 \text{ Дж}$; $\Delta U = 0 \text{ Дж}$.

1.1.2. Теплоёмкость. Зависимость теплоёмкости от температуры

Различают среднюю теплоёмкость:

$$\bar{C} = \frac{q}{T_2 - T_1}, \quad (13)$$

и истинную теплоёмкость:

$$C_{\text{ист}} = \frac{\delta q}{\delta T}. \quad (14)$$

Средняя теплоёмкость равна количеству теплоты, которое нужно подвести к телу, чтобы повысить его температуру на один градус.

Истинная теплоёмкость равна количеству теплоты, которое нужно подвести к телу, чтобы увеличить его температуру на дифференциально малую величину.

Взаимосвязь средней и истинной теплоёмкостей определяется уравнением:

$$\bar{C} = \frac{1}{T_2 - T_1} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C dT \quad (15)$$

Зависимость теплоёмкости от температуры определяется степенным рядом:

$$C_p = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + c' \cdot T^{-2}, \quad (16)$$

где a, b, c, c' – коэффициенты, зависящие от природы вещества

Среднюю теплоёмкость рассчитывают по уравнению:

$$\bar{C} = a + \frac{b}{2} \cdot (T_2 + T_1) + \frac{c}{3} \cdot (T_2^2 + T_1 \cdot T_2 + T_1^2) + \frac{c'}{T_1 \cdot T_2} \quad (17)$$

Учитывая, что теплоёмкость является функцией температуры, для расчета количества теплоты используют уравнение:

$$q_p = n \cdot \left[a \cdot (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) + c' \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \right] \quad (18)$$

Пример 4. Определите средние молярную, массовую и объёмную теплоёмкости кислорода при постоянном давлении в интервале температур 0-1000 К, если средняя мольная теплоёмкость кислорода при постоянном давлении в интервале температур от 0 до 1500 К выражается уравнением:

$$C_p = 29,58 + 0,0034 \cdot T \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}.$$

Решение:

Рассчитываем среднюю мольную теплоёмкость в интервале температур от 0 до 1000 К по формуле:

$$\bar{C}_p = 29,58 + 0,0034 \cdot (T_2 + T_1) = 29,58 + 0,0034 \cdot (1000 + 0) = 32,98 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}.$$

Средняя массовая теплоёмкость вычисляется по уравнению:

$$\bar{c}_p(m) = \frac{\bar{c}_p}{M(O_2)} = \frac{32,98}{32} = 1,031 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Средняя объёмная теплоёмкость рассчитывается по уравнению:

$$\bar{c}_p(v) = \frac{\bar{c}_p}{V_m} = \frac{32,98}{22,4} = 1,472 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Ответ:

$$\bar{c}_p(v) = 1,472 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$$

Пример 5. Рассчитайте среднюю молярную теплоёмкость водорода в интервале температур 400-500°С, если степенной ряд теплоёмкости для водорода имеет вид:

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

Решение:

Для решения задачи воспользуемся уравнением (17). Подставив в него значения коэффициентов и температур, получаем:

$$\bar{c}_p = a + \frac{b}{2} \cdot (T_2 + T_1) + \frac{c}{T_1 \cdot T_2};$$

$$\bar{c}_p = 27,28 + \frac{3,26 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (773 + 673) + \frac{0,502 \cdot 10^{-5}}{673 \cdot 773} = 29,73 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Ответ: $\bar{c}_p = 29,73 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$

Пример 6. Вычислите теплоту, поглощаемую 300 г CO₂ при нагревании от 15 до 100°С при постоянном объеме.

Решение:

Из Приложения 1 находим температурные коэффициенты теплоёмкости и составляем степенной ряд теплоёмкости:

$$C_p = 27,24 + 0,00809 \cdot T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Вычисляем число моль CO₂:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{300}{44} = 6,818 \text{ моль};$$

Для расчета теплоты воспользуемся уравнением (18):

$$q_p = n \cdot \left[a \cdot (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right]$$

$$q_p = 6,818 \cdot \left[27,24 \cdot (373 - 288) + \frac{0,00809}{2} \cdot (373^2 - 288^2) \right] = 17335,91 \text{ Дж}.$$

Ответ: $q_p = 17335,91$ Дж.

1.1.3. Закон Гесса

Закон Гесса читается следующим образом: **тепловой эффект реакции не зависит от пути перехода, а зависит лишь от начального и конечного состояния системы.** Математическая формулировка закона Гесса выражается уравнениями:

$$q_V = -\Delta U, \quad (19)$$

$$q_P = -\Delta H. \quad (20)$$

Взаимосвязь изобарного и изохорного теплового эффекта описывается уравнением:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n \cdot R \cdot T, \quad (21)$$

где Δn – приращение числа молей газообразного вещества в ходе реакции.

$$\Delta n = \sum n_{\text{прод}} - \sum n_{\text{исх}}, \quad (22)$$

Внимание: при расчете используются стехиометрические коэффициенты только газообразных веществ.

Из закона Гесса вытекают 2 следствия:

1. Тепловой эффект реакции равен разности сумм теплот образования продуктов реакции и исходных веществ:

$$\Delta H = \sum n \cdot \Delta H_{\text{прод}} - \sum n \cdot \Delta H_{\text{исх}}. \quad (23)$$

2. Тепловой эффект реакции равен разности сумм теплот сгорания исходных веществ и продуктов реакции:

$$\Delta H = \sum n \cdot \Delta H_{\text{исх}}^{\text{сгор}} - \sum n \cdot \Delta H_{\text{прод}}^{\text{сгор}}. \quad (24)$$

Пример 7. Вычислите тепловой эффект химической реакции:

$Al_2O_3 + 3SO_3 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + \Delta H_X$ при постоянном давлении и постоянном объеме при стандартных условиях. Укажите тип реакции.

Решение:

Из Приложения 1 находим теплоты образования веществ:

$$\Delta H_{298}^{\circ}(Al_2O_3) = -1675,69 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{298}^{\circ}(SO_3) = -395,85 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{298}^{\circ}(Al_2(SO_4)_3) = -3434,0 \text{ кДж/моль}.$$

В соответствии с первым следствием закона Гесса пишем уравнение для расчета теплового эффекта при постоянном давлении:

$$\Delta H_{298}^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) - \Delta H_{298}^{\circ}(\text{Al}_2\text{O}_3) - 3 \cdot \Delta H_{298}^{\circ}(\text{SO}_3),$$

$$\Delta H_{298}^{\circ} = -3434,0 - (-1675,69) - 3 \cdot (-395,85) = -570,76 \text{ кДж} =$$

$$= -570760 \text{ Дж.}$$

Для расчета ΔU воспользуемся уравнением (21), предварительно рассчитав Δn по уравнению (22):

$$\Delta n = \sum n_{\text{прод}} - \sum n_{\text{исх}} = 1 - 1 - 3 = -3,$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n \cdot R \cdot T,$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta n \cdot R \cdot T,$$

$$\Delta U = -570760 - (-3) \cdot 8,314 \cdot 298 = -563328,28 \text{ Дж} = -563,33 \text{ кДж.}$$

$$Q_p = -\Delta H = 570760 \text{ Дж}; Q_v = -\Delta U = 563328,28 \text{ Дж.}$$

Так как $\Delta H < 0$, а $Q_p > 0$, следовательно, реакция экзотермическая.

Ответ: $\Delta H = -570,76 \text{ кДж}; \Delta U = -563,33 \text{ кДж};$

$Q_p = 570,76 \text{ кДж}; Q_v = 563,33 \text{ кДж.}$

Пример 8. Пользуясь стандартными теплотами сгорания, вычислите тепловой эффект реакции:



Решение:

Из приложения 1 находим теплоты сгорания веществ:

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}) = -1366,9 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})}) = -873,8 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = -2254,2 \text{ кДж/моль}.$$

Согласно 2 следствию закона Гесса:

$$\Delta H = \sum n \cdot \Delta H_{\text{исх}}^{\text{сгор}} - \sum n \cdot \Delta H_{\text{прод}}^{\text{сгор}}.$$

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} = \Delta H_{\text{сгор}}^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}) + \Delta H_{\text{сгор}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})}) - \Delta H_{\text{сгор}}^{\circ}(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5);$$

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} = -1366,9 + (-873,8) - (-2254,2) = 13,5 \text{ кДж} = 13500 \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta H_{\text{сгор}}^{\circ} = 13500 \text{ Дж.}$

1.1.4. Зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры

Зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры определяется уравнением Кирхгофа в дифференциальной форме:

$$\frac{dQ_V}{dT} = \frac{d\Delta U}{dT} = \Delta C_V, \quad (25)$$

$$-\frac{dQ_P}{dT} = \frac{d\Delta H}{dT} = \Delta C_P, \quad (26)$$

где ΔC – это изменение теплоёмкости в ходе химической реакции.

ΔC считается по закону Гесса:

$$\Delta C = \sum n \cdot C_{\text{прод}} - \sum n \cdot C_{\text{исх}}, \quad (27)$$

В интегральной форме уравнение Кирхгофа имеет вид:

$$\Delta H_{T_2}^0 = \Delta H_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \cdot dT. \quad (28)$$

Если $T_1 = 298 \text{ K}$, то

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_P \cdot dT. \quad (29)$$

Учитывая зависимость теплоёмкости от температуры (16), определяют изменение теплоёмкости (ΔC) химической реакции:

$$\Delta C_P = \Delta a + \Delta b \cdot T + \Delta c \cdot T^2 + \Delta c' \cdot T^{-2}, \quad (30)$$

Подставляем уравнение (29) в уравнение (28), интегрируем и получаем интегральную форму уравнения Кирхгофа в развернутом виде:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta a \cdot (T - 298) + \frac{\Delta b}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + \frac{\Delta c}{3} \cdot (T^3 - 298^3) + \Delta c' \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right), \quad (31)$$

где ΔH_{298}^0 , Δa , Δb , Δc , $\Delta c'$ – для химической реакции считается по закону Гесса.

Пример 9. Вычислите тепловой эффект химической реакции

$2\text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ при 500K и постоянном давлении, если известны зависимости мольных теплоёмкостей от температуры (Дж/моль·K):

$$C_P(\text{H}_2) = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0,502 \cdot 10^{-5} \cdot T^{-2};$$

$$C_P(\text{CO}) = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot T^{-2};$$

$$C_P(\text{CH}_3\text{OH}) = 15,28 + 105,2 \cdot 10^{-3} \cdot T - 3,104 \cdot 10^{-6} \cdot T^2.$$

Решение:

Стандартные теплоты образования веществ берем из Приложения 1:

$$\Delta H_{298}^0(\text{CO}) = -110,5 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{298}^0(\text{CH}_3\text{OH}) = -201,2 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{298}^{\circ}(\text{H}_2) = 0 \text{ кДж/моль}.$$

Определяем изменение энтальпии и температурных коэффициентов в ходе реакции по закону Гесса:

$$\Delta H_{298}^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ}(\text{CH}_3\text{OH}) - \Delta H_{298}^{\circ}(\text{CO}) - 2 \cdot \Delta H_{298}^{\circ}(\text{H}_2);$$

$$\Delta H_{298}^{\circ} = 1 \cdot (-201,2) - 1 \cdot (-110,5) - 2 \cdot 0 = -90,7 \text{ кДж} = -90700 \text{ Дж};$$

$$\Delta a = 1 \cdot 15,28 - 1 \cdot 28,41 - 2 \cdot 27,28 = -67,69 \text{ Дж/К};$$

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

$$\Delta c = -3,104 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/К};$$

$$\Delta c' = -(1 \cdot (-0,46) + 2 \cdot 0,502) \cdot 10^5 = -0,544 \cdot 10^5 \text{ Дж/К}.$$

Определяем тепловой эффект реакции при 500 К:

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

$$\Delta H_{500}^{\circ} = -90700 + (-67,69) \cdot (500-298) + \frac{94,58 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (500^2-298^2) + \frac{(-3,104) \cdot 10^{-6}}{3} \cdot (500^3-298^3) + (-0,544) \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{500}\right) = -96926,12 \text{ Дж} = -96,93 \text{ кДж}.$$

Ответ: $\Delta H_{500}^{\circ} = -96,93 \text{ кДж}.$

1.2. Тесты

1. Что называется энергией?

Энергией называется:

- а) способность системы совершать работу;
- б) мера теплоты системы;
- в) мера движения материи;
- г) способность системы к нагреванию.

2. Что называется внутренней энергией?

Внутренней энергией называется:

- а) кинетическая энергия молекул системы;
- б) энергия всех видов движения макрочастиц;
- в) кинетическая и потенциальная энергия всех микрочастиц, составляющих данную систему;
- г) кинетическая и потенциальная энергия вращательного и поступательного движения элементарных частиц, атомов и молекул.

3. В чем заключается физический смысл энтальпии?

Энтальпия представляет собой:

- а) полный запас энергии системы;
- б) полный запас энергии системы изобарического процесса;
- в) полный запас энергии системы изохорического процесса;
- г) запас кинетической и потенциальной энергии всех атомов, составляющих данную систему.

4. Что называется функцией?

Функцией называется:

- а) зависимая переменная величина;
- б) величина, дифференциал которой является полным;
- в) величина, дифференциал которой является частным;
- г) величина, переменная по времени и в пространстве.

5. Что называется работой?

Работой называется:

- а) вид энергии системы;
- б) часть общего запаса энергии;
- в) форма передачи энергии неупорядоченного движения материи;
- г) форма передачи энергии упорядоченного движения материи.

6. Что называется теплотой?

Теплотой называется:

- а) один из видов энергии системы;
- б) форма передачи энергии упорядоченного движения материи;
- в) форма передачи энергии при хаотическом движении материи;
- г) способность тела к нагреванию или охлаждению.

7. Что называют удельной теплоемкостью?

Удельной теплоемкостью называют:

- а) количество тепла, необходимого для нагревания системы;
- б) меру теплового эффекта системы;
- в) количество тепла, необходимого для нагревания системы на 1 градус;
- г) количество тепла, необходимого для нагревания единицы массы вещества на 1 градус.

8. Что называется мольной теплоемкостью?

Мольной теплоемкостью называется количество тепла, необходимое для нагрева:

- а) 1 грамма вещества на 1 градус;
- б) 1 моль вещества на 1 градус;
- в) 1 грамма вещества до полного плавления;
- г) 1 килограмма вещества на 1 градус.

9. Что называется теплотой образования вещества?

Теплотой образования вещества называется:

- а) тепловой эффект образования 1 кг вещества из простых;
- б) тепловой эффект образования 1 моля вещества из простых веществ при стандартных условиях;
- в) тепловой эффект образования 1 моля вещества из любых веществ;
- г) тепловой эффект образования 1 моля вещества из простых веществ при нормальных условиях.

10. Какой вид имеет уравнение политропы?

- а) $PV = const$; б) $PV^\gamma = const$; в) $PV^n = const$; г) $PV^n = 0$.

11. Каким уравнением описывается первое начало термодинамики изотермического процесса?

- а) $\delta q = \delta W$; б) $\delta q = dU$; в) $\delta q = -\delta W$; г) $\delta q = dU + \delta W$.

12. Каким уравнением описывается первое начало термодинамики адиабатического процесса?

- а) $\delta q = 0$; б) $\delta q = \Delta U$; в) $\delta q = \delta W$; г) $\delta q = \Delta H$.

13. Каким уравнением описывается первое начало термодинамики изохорического процесса?

- а) $\delta q = -dU$; б) $\delta q = dU$; в) $\delta q = \Delta H$; г) $\delta q = \delta W$.

14. Каким уравнением описывается первое начало термодинамики для изолированных систем?

- а) $q = \Delta U$; б) $q = \Delta H$; в) $\Delta U = 0$; г) $\Delta H = \delta W$.

15. Каким уравнением описывается первое начало термодинамики для изобарического процесса в дифференциальной форме?

- а) $\delta q_P = dH$; б) $\delta q_P = dU$; в) $\delta q_P = \delta W$; г) $\delta q_P = dU - P \cdot dV$.

16. Каким уравнением описывается первое начало термодинамики для изобарического процесса?

- а) $q_P = W$; б) $q_P = \Delta U - P \cdot \Delta V$; в) $\Delta H = \Delta U + P \cdot \Delta V$; г) $q_P = \Delta U$.

17. Укажите формулу, по которой можно рассчитать теплоту изотермического процесса:

- а) $q = C_v (T_2 - T_1)$; б) $q = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $q = C_p (T_2 - T_1)$; г) $q = C_v (T_1 - T_2)$.

18. Укажите формулу, по которой можно рассчитать теплоту изобарического процесса:

- а) $q = C_v (T_2 - T_1)$; б) $q = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $q = C_p (T_2 - T_1)$; г) $q = C_v (T_1 - T_2)$.

19. Укажите формулу, по которой можно рассчитать теплоту изохорического процесса:

- а) $q = C_v (T_2 - T_1)$; б) $q = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $q = C_p (T_2 - T_1)$; г) $q = C_v (T_1 - T_2)$.

20. Укажите формулу, по которой можно рассчитать теплоту адиабатического процесса:

а) $q = C_v(T_2 - T_1)$; б) $q = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $q = C_p(T_2 - T_1)$; г) $q = C_v(T_1 - T_2)$.

21. По какой из формул можно вычислить работу изохорического процесса?

а) $W = q$; б) $W = p\Delta V$; в) $W = 0$; г) $W = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$.

22. Какая из формул соответствует работе расширения n молей идеального газа в изотермических условиях?

а) $W = nT \ln \frac{V_2}{V_1}$; б) $W = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $W = RT \ln \frac{V_1}{V_2}$; г) $W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$.

23. Какая из формул соответствует работе изобарного процесса?

а) $W = 0$; б) $W = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $W = p\Delta V$; г) $q = C_p(T_2 - T_1)$.

24. Какой процесс характеризуется формулой: $W = -\Delta U$?

- а) изохорический; в) изобарический;
б) изотермический; г) адиабатический.

25. Одинаковое число молей двух газов – N_2 и CO_2 – в идеальном состоянии изотермически сжимаются от V_1 до V_2 . Для какого из этих газов работа расширения будет больше?

а) $W(N_2) > W(CO_2)$; б) $W(N_2) = W(CO_2)$; в) $W(N_2) < W(CO_2)$.

26. Одинаковое число молей двух газов – N_2 и O_2 – в идеальном состоянии изотермически сжимаются от V_1 до V_2 . Для какого из этих газов работа расширения будет больше?

а) $W(N_2) > W(O_2)$; б) $W(N_2) = W(O_2)$; в) $W(N_2) < W(O_2)$.

27. Одинаковое число молей двух газов – N_2 и CO – в идеальном состоянии изотермически сжимаются от V_1 до V_2 . Для какого из этих газов работа расширения будет больше?

а) $W(N_2) > W(CO)$; б) $W(N_2) = W(CO)$; в) $W(N_2) < W(CO)$.

28. Два газа – гелий и кислород – адиабатически расширяются. Для какого газа работа расширения будет больше, при условии, что температура в обоих случаях понизилась на одинаковую величину?

- а) для одноатомного;
б) для двухатомного;
в) работа будет одинаковой, т.к. температура понизилась на одну и ту же величину;
г) работа будет одинаковой, т.к. она не зависит от типа газа.

29. 1 моль гелия и 1 моль водорода изохорически нагрели от 25°C до 400°C. Для какого из этих газов работа расширения будет больше?

- а) для гелия; в) в обоих случаях работа одинакова;
б) для водорода; г) работа расширения для обоих газов равна нулю.

30. В изолированной системе протекает реакция сгорания водорода с образованием жидкой воды. Изменятся ли внутренняя энергия и энтальпия системы?

- а) $\Delta U > 0$; $\Delta H > 0$; в) $\Delta U = 0$; $\Delta H = 0$;
б) $\Delta U < 0$; $\Delta H < 0$; г) $\Delta U = 0$; $\Delta H > 0$.

31. Изобарная теплоемкость оксида углерода (II) равна 29,14 Дж/(моль·К). Чему равна изохорная теплоемкость?

- а) 29,14; б) 37,45; в) 20,83; г) 20,826.

32. По какой формуле можно рассчитать изохорную мольную теплоемкость благородных газов (аргона, неона, гелия)?

- а) $C_V = 2,5R$; б) $C_V = 1,5R$; в) $C_V = 2R$; г) $C_V = 3R$.

33. По каким из формул можно рассчитать теплоемкость газов, молекулы которых содержат три и более атомов?

- а) $C_V = 2,5R$; б) $C_V = 1,5R$; в) $C_V = 2R$; г) $C_V = 3,5R$.

34. По какой формуле можно рассчитать изохорную теплоемкость двухатомных газов (O_2 , N_2 , H_2 , Cl_2)?

- а) $C_V = 0,5R$; б) $C_V = 1,5R$; в) $C_V = 2,5R$; г) $C_V = 3R$.

35. Как выглядит температурная зависимость теплоемкости веществ, находящихся в твердом состоянии в интервале температур от 0 К до стандартной температуры?

- а) $C = aT^3$; б) $C = a + bT + cT^2$; в) $C = aT^2$; г) $C = const$.

36. Изменение теплоемкости в ходе реакции в некотором интервале температур больше нуля. Как изменится тепловой эффект этой реакции при повышении температуры в данном интервале?

- а) увеличится; б) уменьшится; в) останется постоянным.

37. Для какого температурного интервала применима зависимость $C = aT^3$?

- а) $0 - T_{\text{комн.}}$; в) $T_{\text{пл.}} - T_{\text{кип.}}$;
б) $T_{\text{комн.}} - T_{\text{пл.}}$; г) для любого температурного интервала.

38. Какова зависимость между C_p и C_v для идеальных газов?

- а) $C_p = C_v$; б) $C_p = C_v + RT$; в) $C_p = C_v - RT$; г) $C_p = C_v + R$.

39. Кто из ученых сформулировал правило аддитивности: молярная теплоёмкость сложного вещества равна сумме теплоемкостей элементов, входящих в состав веществ?

- а) Кирхгофф; б) Дебай; в) Дюлонг и Пти; г) Нейман и Копп.

40. Какое из уравнений является зависимостью теплоемкости от температуры для металлов, находящихся в твердом состоянии вплоть до температуры плавления?

- а) $C_p = a + bT + c'T^2$; б) $C_p = aT^3$; в) $C_p = aT^2$; г) $C_p = a + b \cdot \ln T$.

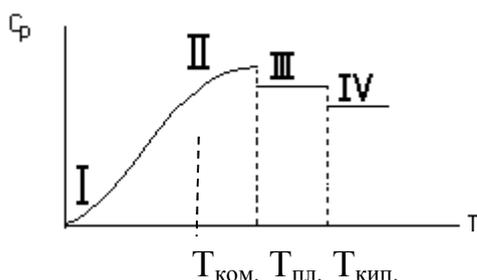
41. Какая из формул описывает правило Дюлонга – Пти?

- а) $C_p - C_v = R$; в) $C_M = MC_{уд.}$ (6,2 – 6,4 кал/моль град);
 б) $C_p = aT^3$; г) $C_{ат} = AC_{уд.}$ (6,2 – 6,4 кал/моль град).

42. Изменение теплоемкости в ходе реакции в некотором интервале температур меньше нуля. Как изменится тепловой эффект этой реакции при повышении температуры в данном интервале?

- а) увеличится; б) уменьшится; в) останется постоянной.

43. Зависимость теплоемкости от температуры носит сложный характер и выражается графиком. Какая часть графика соответствует уравнению $C = aT^3$?



- а) I б) II в) III г) IV

44. Каким уравнением определяется связь между средней и истинной теплоёмкостью?

- а) $\bar{C} = a + bT + cT^2$; в) $\bar{C} = \frac{Q}{T}$;
 б) $\bar{C} = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$; г) $\bar{C} = \frac{1}{T_2 - T_1} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$.

45. Уравнение состояния идеального газа для изобарического процесса:

а) $PV=const$; б) $V/T=const$; в) $P/T=const$; г) $P \cdot V^\gamma=const$.

46. Уравнение состояния идеального газа для изохорического процесса:

а) $PV=const$; б) $V/T=const$; в) $P/T=const$; г) $P \cdot V^\gamma=const$.

47. Уравнение состояния идеального газа для изотермического процесса:

а) $PV=const$; б) $V/T=const$; в) $P/T=const$; г) $P \cdot V^\gamma=const$.

48. Уравнение состояния идеального газа для адиабатического процесса:

а) $PV=const$; б) $V/T=const$; в) $P/T=const$; г) $P \cdot V^\gamma=const$.

49. При каком значении n уравнение политропы $PV^n = const$ применимо к адиабатным процессам?

а) $n = 0$; б) $n = 1$; в) $n = \gamma$; г) $n = \infty$.

50. При каком значении n уравнение политропы $PV^n = const$ приемлемо для изохорического процесса?

а) $n = 0$; б) $n = 1$; в) $n = \gamma$; г) $n = \infty$.

51. При каком значении n уравнение политропы $PV^n = const$ приемлемо для изохорического процесса?

а) $n = 0$; б) $n = 1$; в) $n = \gamma$; г) $n = \infty$.

52. Какой вид имеет уравнение политропы?

а) $PV = const$; б) $PV^\gamma = const$; в) $PV^n = const$; г) $PV^n = 0$.

53. Как определяется адиабатический коэффициент?

а) $\gamma = C_P - C_V$; б) $\gamma = C_P/C_V$; в) $\gamma = C_V/C_P$; г) $\gamma = C_P + C_V$.

54. Какие из представленных параметров являются экстенсивными?

а) m, V ; б) P, V ; в) P, T ; г) T, m .

55. Какие из представленных параметров являются интенсивными?

а) m, V ; б) P, V ; в) P, T ; г) T, m .

56. Для какого из следующих веществ – H_2O или D_2O – температурный коэффициент теплоты испарения при 298 К больше?

а) для H_2O ;

- б) для D_2O ;
- в) коэффициенты равны, т.к. обе формулы представляют собой воду;
- г) коэффициенты будут одинаковы, т.к. одинаков тип молекул.

57. Для веществ $K_2Cr_2O_7, KCl, HgS, CS_2$ энтальпии при стандартных условиях соответственно равны: -2033; -435,85; -58,16; 87,8 Дж/моль. Указать, какое из названных веществ является наименее прочным.

- а) $K_2Cr_2O_7$; б) KCl ; в) HgS ; г) CS_2 .

58. Имеется ряд веществ: KCl, Al_2O_3, HCN, KOH , теплоты образования, которых соответственно равны: -436,0; -1675; 130,54; -125,0 Дж/моль. Какое из этих веществ является наиболее прочным?

- а) KCl ; б) Al_2O_3 ; в) HCN ; г) KOH .

59. Как зависит от температуры изменение энтальпии (ΔH_{298}^0) индивидуального простого вещества?

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) изменение энтальпии не зависит от температуры;
- г) изменение энтальпии такого вещества равно 0.

60. Какими данными следует воспользоваться, чтобы рассчитать теплоту сгорания бензола при стандартной температуре?

- а) теплоты сгорания всех участников реакции;
- б) теплоты сгорания бензола, углекислого газа и воды;
- в) теплоты образования бензола, углекислого газа и воды;
- г) температурные коэффициенты теплоемкости и теплоты образования бензола.

61. При каких условиях справедлив закон Гесса?

- а) $T, P = const$; б) $T, V = const$; в) $P или V = const$; г) $T = const$.

62. Зависит ли величина теплового эффекта реакции от пути ее протекания?

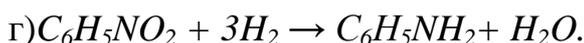
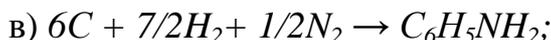
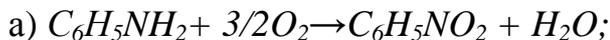
- а) не зависит, если реакция протекает в несколько стадий;
- б) не зависит, так как зависит только от исходного и конечного состояния системы;
- в) зависит, если реакция протекает при высоких температурах;
- г) зависит, если исходные вещества имеют высокие значения теплот образования.

63. Какая из представленных формул является формулой Коновалова?

- а) $Q_{реак.} = \sum Q_{сгор.исх.вещ.} - \sum Q_{сгор.прод.}$; в) $Q_{реак.} = \sum Q_{сгор.прод.}$;

$$\text{б) } Q_{\text{реак.}} = \sum Q_{\text{сгор. прод. реак.}} - \sum Q_{\text{сгор. исх. вещ.}}; \quad \text{г) } Q_{\text{сгор.}} = 204,2n + 44,4m + x.$$

64. Стандартная теплота образования жидкого нитробензола при 298К равна 49,04 кДж/моль. Как выглядит уравнение реакции, к которой относится этот тепловой эффект?



65. Какая из формул применима для расчета теплового эффекта реакции
 $2CO + O_2 = 2CO_2$?

а) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(O_2) - \Delta H^0_{298}(CO) - \Delta H^0_{298}(CO_2)\uparrow$;

б) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(O_2) + \Delta H^0_{298}(CO) - 2\Delta H^0_{298}(CO_2)\uparrow$;

в) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(CO_2)\uparrow + \Delta H^0_{298}(CO) - \Delta H^0_{298}(O_2)$;

г) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(CO_2)\uparrow - 2\Delta H^0_{298}(CO)$.

66. Какая из формул применима для расчета теплового эффекта реакции
 $C + CO_2 = 2CO$?

а) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(C) + \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(CO)$;

б) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(C) + \Delta H^0_{298}(CO_2) - 2\Delta H^0_{298}(CO)$;

в) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(CO) - \Delta H^0_{298}(C) - \Delta H^0_{298}(CO_2)$;

г) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(CO) - 2\Delta H^0_{298}(CO_2)$.

67. Какая из формул применима для расчета теплового эффекта реакции
 $ZnO + CO = Zn + CO_2$?

а) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(Zn) + \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(ZnO) + \Delta H^0_{298}(CO)$;

б) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(ZnO) - \Delta H^0_{298}(CO)$;

в) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(ZnO) + \Delta H^0_{298}(CO)$;

г) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(ZnO) + \Delta H^0_{298}(CO) - \Delta H^0_{298}(Zn) - \Delta H^0_{298}(CO_2)$.

68. Какая из формул применима для расчета теплового эффекта реакции
 $FeO + CO = Fe + CO_2$?

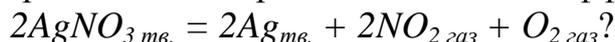
а) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(Fe) + \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(FeO) - \Delta H^0_{298}(CO)$;

б) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(FeO) - \Delta H^0_{298}(CO)$;

в) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(CO_2) - \Delta H^0_{298}(FeO) + \Delta H^0_{298}(CO)$;

г) $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(FeO) + \Delta H^0_{298}(CO) - \Delta H^0_{298}(Fe) - \Delta H^0_{298}(CO_2)$.

69. Какая из формул применима для расчета теплового эффекта реакции



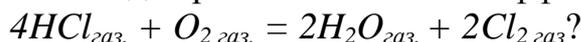
а) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(\text{Ag}) + \Delta H^0_{298}(\text{O}_2) + 2\Delta H^0_{298}(\text{NO}_2) - 2\Delta H^0_{298}(\text{AgNO}_3)$;

б) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(\text{NO}_2) - 2\Delta H^0_{298}(\text{AgNO}_3)$;

в) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(\text{AgNO}_3) - 2\Delta H^0_{298}(\text{Ag}) - 2\Delta H^0_{298}(\text{NO}_2) - \Delta H^0_{298}(\text{O}_2)$;

г) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(\text{AgNO}_3) - \Delta H^0_{298}(\text{Ag}) - \Delta H^0_{298}(\text{NO}_2) - \Delta H^0_{298}(\text{O}_2)$.

70. Какая из формул применима для расчета теплового эффекта реакции



а) $\Delta H^0_{298} = 4\Delta H^0_{298}(\text{HCl}) - 2\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O})$;

б) $\Delta H^0_{298} = 2\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - 4\Delta H^0_{298}(\text{HCl})$;

в) $\Delta H^0_{298} = 4\Delta H^0_{298}(\text{HCl}) + \Delta H^0_{298}(\text{O}_2) - \Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H^0_{298}(\text{Cl}_2)$;

г) $\Delta H^0_{298} = 4\Delta H^0_{298}(\text{HCl}) + \Delta H^0_{298}(\text{O}_2) - 2\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - 2\Delta H^0_{298}(\text{Cl}_2)$.

71. Как вычислить тепловой эффект реакции по теплотам сгорания?

а) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{сгор.}} + \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{сгор.}}$;

б) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{сгор.}} - \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{сгор.}}$;

в) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{сгор.}} - \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{сгор.}}$;

г) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{сгор.}} + \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{сгор.}}$.

72. Как вычислить тепловой эффект реакции по теплотам образования?

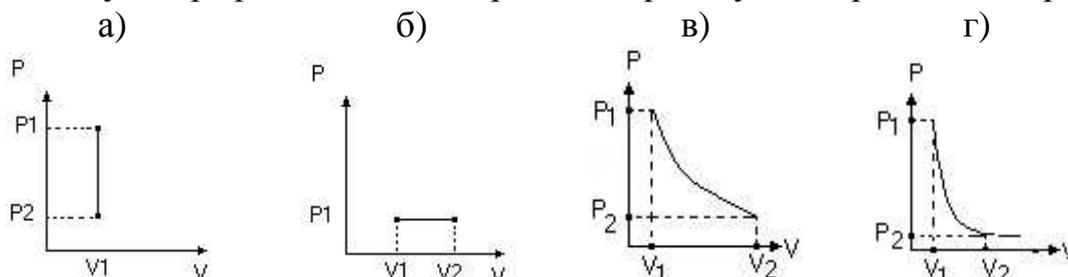
а) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{обр.}} + \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{обр.}}$;

б) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{обр.}} - \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{обр.}}$;

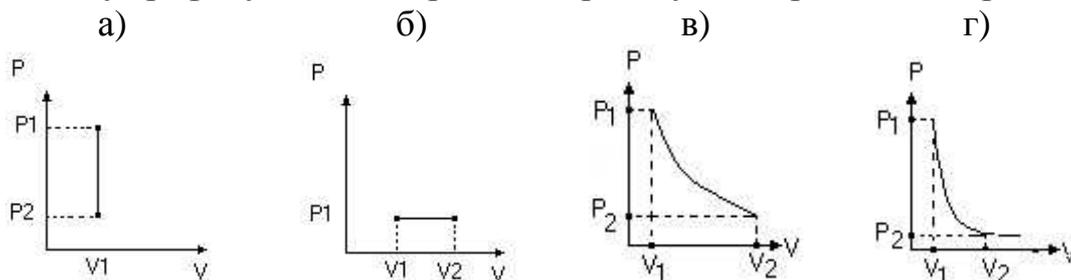
в) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{обр.}} - \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{обр.}}$;

г) $\Delta H_{\text{реакции}} = \sum \Delta H_{\text{исх. вещ.}}^{\text{обр.}} + \sum \Delta H_{\text{прод.}}^{\text{обр.}}$.

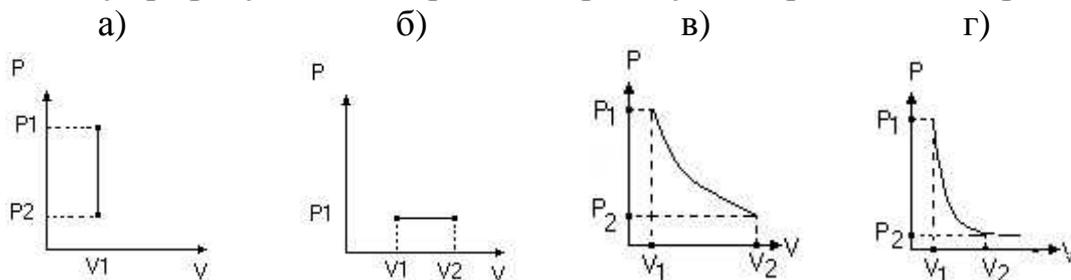
73. По какому из графиков можно определить работу изобарического процесса?



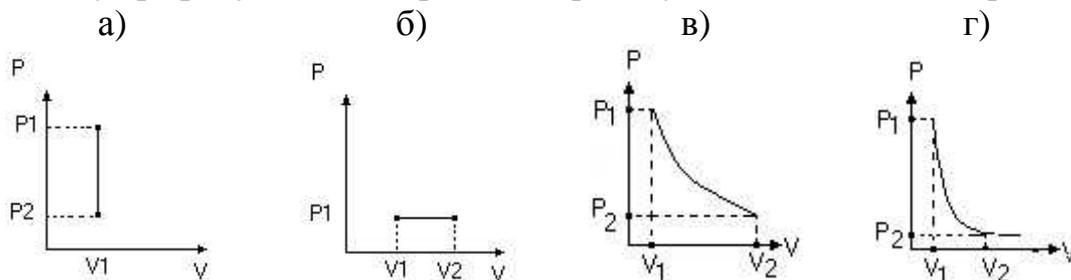
74. По какому графику можно определить работу изохорического процесса?



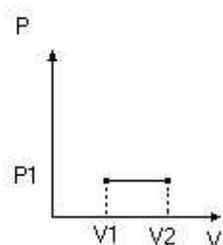
75. По какому графику можно определить работу изотермического процесса?



76. По какому графику можно определить работу адиабатического процесса?



77. Для какого процесса зависимость давления от объема выглядит следующим образом?



- а) для изохорического;
- б) для изобарического;
- в) для изотермического;
- г) для адиабатического.

78. Дана реакция: $H_2 + Cl_2 = 2HCl$. По какой формуле можно рассчитать изменение теплоемкости?

- а) $\Delta C_p = C_p(HCl) - C_p(H_2) - C_p(Cl_2)$;
- б) $\Delta C_p = 2C_p(HCl) - C_p(H_2) - C_p(Cl_2)$;
- в) $\Delta C_p = C_p(HCl) + C_p(H_2) - C_p(Cl_2)$;
- г) $\Delta C_p = C_p(H_2) + C_p(Cl_2) - 2C_p(HCl)$.

79. Дана реакция: $2NO_2 = 2NO + O_2$. По какой формуле можно рассчитать изменение теплоемкости?

- а) $\Delta C_p = C_p(NO_2) - C_p(O_2) - C_p(NO)$;
- б) $\Delta C_p = 2C_p(NO_2) - C_p(O_2) - 2C_p(NO)$;
- в) $\Delta C_p = 2C_p(NO) + C_p(O_2) - 2C_p(NO_2)$;
- г) $\Delta C_p = C_p(NO) + C_p(O_2) - C_p(NO_2)$.

80. Дана реакция: $SO_2 + 2O_2 = SO_3$. По какой формуле можно рассчитать изменение теплоемкости?

- а) $\Delta C_p = C_p(SO_3) - C_p(O_2) - C_p(SO_2)$;
- б) $\Delta C_p = C_p(SO_3) - 2C_p(O_2) - C_p(SO_2)$;
- в) $\Delta C_p = C_p(SO_2) + C_p(O_2) - C_p(SO_3)$;
- г) $\Delta C_p = C_p(SO_2) + 2C_p(O_2) - C_p(SO_3)$.

81. Дана реакция: $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$. По какой формуле можно рассчитать изменение теплоемкости?

- а) $\Delta C_p = C_p(NH_3) - C_p(N_2) - C_p(H_2)$;
- б) $\Delta C_p = C_p(N_2) + 3C_p(H_2) - 2C_p(NH_3)$;
- в) $\Delta C_p = C_p(N_2) + C_p(H_2) - C_p(NH_3)$;
- г) $\Delta C_p = 2C_p(NH_3) - C_p(N_2) - 3C_p(H_2)$.

82. Дана реакция: $H_2O + CO = H_2 + CO_2$. По какой формуле можно рассчитать изменение теплоемкости?

- а) $\Delta C_p = C_p(CO_2) + C_p(H_2) - C_p(H_2O) - C_p(CO)$;
- б) $\Delta C_p = C_p(CO_2) + C_p(H_2) + C_p(H_2O) + C_p(CO)$;
- в) $\Delta C_p = C_p(H_2O) + C_p(CO) - C_p(CO_2) - C_p(H_2)$;
- г) $\Delta C_p = C_p(CO_2) + 2C_p(H_2) - C_p(H_2O) - C_p(CO)$.

83. Для какой из приведенных реакций справедливо соотношение $\Delta H = \Delta U$?

- а) $N_2 + 2O_2 = 2NO_2$;
- б) $MgCO_3 = MgO + CO_2$;
- в) $C_2H_2 + H_2 = C_2H_4$;
- г) $CO_2 + H_2 = CO + H_2O$.

84. Для какой из приведенных реакций справедливо соотношение $\Delta H < \Delta U$?

- а) $H_2 + Cl_2 = 2HCl$; в) $2CO + O_2 = 2CO_2$;
б) $N_2O_4 = 2NO_2$; г) $CaCO_3 = CaO + CO_2$.

85. В изолированной системе протекает реакция сгорания серы с образованием диоксида серы (IV). Изменится ли внутренняя энергия и энтальпия системы?

- а) $\Delta U > 0$; $\Delta H > 0$; в) $\Delta U = 0$; $\Delta H = 0$;
б) $\Delta U < 0$; $\Delta H < 0$; г) $\Delta U = 0$; $\Delta H > 0$.

86. От температуры T_1 до температуры T_2 при постоянном давлении нагревают 1 моль азота. По какой формуле можно рассчитать изменение энтальпии в ходе процесса, если в указанном интервале температур изобарная теплоемкость является постоянной?

- а) $\Delta H = C_V(T_2 - T_1)$; в) $\Delta H^0 = \Delta H^0_{298} + C_P(T_2 - T_1)$;
б) $\Delta H = C_P(T_2 - T_1)$; г) $\Delta H = \Delta C_P(T_2 - T_1)$.

87. Как зависит внутренняя энергия индивидуального вещества от температуры? Каково математическое выражение этой зависимости?

- а) с ростом T , ΔU увеличивается $\left(\frac{dU}{dT}\right) = C_P$;
б) с ростом T , ΔU уменьшается $\left(\frac{dU}{dT}\right) = C_V$;
в) с ростом T , ΔU увеличивается $\left(\frac{dU}{dT}\right)_V = C_V$;
г) с ростом T , ΔU уменьшается $\left(\frac{dU}{dT}\right)_V = C_V$.

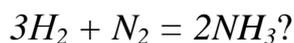
88. Какое из представленных уравнений является сокращенным уравнением Кирхгофа в интегральной форме при условии, что $C_p = f(T)$?

- а) $dQ_P = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P dT$;
б) $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C dT$;
в) $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} C_P dT$;
г) $\Delta H = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT$.

89. Какова связь между тепловым эффектом при постоянном объеме (ΔU) и постоянном давлении (ΔH)?

- а) $\Delta H = \Delta U$; в) $\Delta U = \Delta H - nRT$;
б) $\Delta U = \Delta H + \Delta nRT$; г) $\Delta H = \Delta U + \Delta nRT$.

90. Какова связь между энтальпией и внутренней энергией для реакции



- а) $\Delta H = \Delta U - 2RT$; в) $\Delta H = \Delta U - 3RT$;
б) $\Delta H = \Delta U + 3RT$; г) $\Delta H = \Delta U + 2RT$.

91. Какова связь между Q_P и Q_V ?

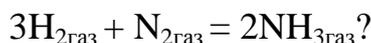
- а) $Q_P = Q_V + \Delta nRT$; в) $Q_P = Q_V + nRT$;
б) $Q_P = Q_V - \Delta nRT$; г) $Q_P = Q_V - nRT$.

92. В каких случаях $Q_P = Q_V$?

Равенство тепловых эффектов в изобарных и изохорных условиях наблюдается, если:

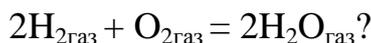
- а) $\Delta n = 0$; в) $\Delta n = 2$;
б) $\Delta n = 1$; г) $\Delta n = -1$.

93. Чему равно Δn в уравнении $Q_P = Q_V + \Delta nRT$ для реакции



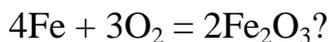
- а) 1; б) 2; в) -2; г) -1.

94. Чему равно Δn в уравнении $Q_P = Q_V + \Delta nRT$ для реакции



- а) 1; б) 2; в) -3; г) -1.

95. Подсчитать чему равно Δn в уравнении $Q_P = Q_V + \Delta nRT$ для реакции



- а) 1; б) -1; в) -2; г) -3.

96. Подсчитать чему равно Δn в уравнении $Q_P = Q_V + \Delta nRT$ для реакции



- а) 1; б) -1; в) -2; г) -3.

97. Каковы границы применимости правила Кирхгоффа?

Правило Кирхгоффа применимо:

- а) при температуре фазового перехода;
б) вблизи абсолютного нуля;
в) в интервале температур от комнатной до температуры плавления;
г) в интервале температур, указанном в таблицах.

98. Какое из представленных уравнений представляет собой уравнение Кирхгоффа в дифференциальной форме?

а) $\frac{d\Delta H}{dT} = \Delta C_p$; в) $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$;
 б) $\frac{d\Delta H}{dT} = -\Delta C_p$; г) $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$;

99. Какое из представленных уравнений представляет собой сокращенное уравнение Кирхгофа в интегральной форме?

а) $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$;
 б) $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$;
 в) $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT$;
 г) $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT$.

100. Какое из представленных уравнений представляет собой развернутое уравнение Кирхгофа в интегральной форме?

а) $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$;
 б) $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$;
 в) $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT$;
 г) $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT$.

1.3. Многовариантные задачи

Задача № 1. Какая работа будет совершена, если m грамм газа X, занимавшего при температуре T объем V_1 , расширятся до объема V_2 ?

Таблица 2

№ варианта	Газ X	m , г	T , °C	V_1 , л	V_2 , л
1	N ₂	50	15	50	70
2	Cl ₂	100	26	58	85
3	H ₂	90	22	66	100
4	CO	80	32	56	95
5	O ₂	60	20	63	90
6	CO ₂	100	25	62	100
7	N ₂	70	31	50	80
8	Cl ₂	50	15	66	120

9	O ₂	80	26	55	95
10	H ₂	60	20	57	110
11	CO	90	30	55	100
12	N ₂	60	16	65	120
13	O ₂	70	24	50	120
14	H ₂	50	26	64	90
15	Cl ₂	100	25	61	150
16	N ₂	70	16	57	140
17	O ₂	60	27	60	160
18	H ₂	80	24	50	90
19	CO ₂	50	28	67	110
20	N ₂	100	20	58	130
21	O ₂	70	18	50	150
22	N ₂	50	25	59	125
23	Cl ₂	90	29	68	145
24	O ₂	100	18	70	180
25	H ₂	60	25	55	200

Задача № 2. Газ X массой m грамм имеет температуру T . Вычислите совершенную работу, если его объем увеличится в n раз.

Таблица 3

№ варианта	Газ X	m , г	T , °C	n
1	O ₂	90	22	2,2
2	NO	80	32	4,2
3	H ₂	60	20	5,5
4	CO	100	25	2,5
5	SO ₂	70	31	3,6
6	N ₂	50	15	3,2
7	Cl ₂	80	26	2,8
8	Cl ₂	60	20	4,5
9	O ₂	90	30	3,0
10	H ₂	60	16	4,6
11	CO ₂	70	24	4,1
12	N ₂	50	26	5,5
13	CO	100	25	4,2
14	N ₂	70	16	5,2
15	H ₂	60	27	5,0

16	SO ₂	80	24	3,8
17	H ₂	50	28	2,8
18	Cl ₂	100	20	3,6
19	N ₂ O	70	18	3,3
20	O ₂	50	15	3,8
21	CO ₂	50	25	4,2
22	N ₂	90	29	2,9
23	O ₂	100	18	4,5
24	H ₂	60	25	3,8
25	Cl ₂	100	26	5,0

Задача № 3. Определите количество теплоты, необходимое для нагревания m грамм газа X от T_1 до T_2 при постоянном давлении.

Таблица 4

№ варианта	Газ X	m , г	T_1 , °C	T_2 , °C
1	N ₂	50	15	50
2	Cl ₂	100	26	58
3	H ₂	90	22	66
4	CO	80	32	56
5	O ₂	60	20	63
6	CO ₂	100	25	62
7	N ₂	70	31	50
8	Cl ₂	50	15	66
9	O ₂	80	26	55
10	H ₂	60	20	57
11	CO	90	30	55
12	N ₂	60	16	65
13	O ₂	70	24	50
14	H ₂	50	26	64
15	Cl ₂	100	25	61
16	N ₂	70	16	57
17	O ₂	60	27	60
18	H ₂	80	24	50
19	CO ₂	50	28	67
20	N ₂	100	20	58

21	O ₂	70	18	50
22	N ₂	50	25	59
23	Cl ₂	90	29	68
24	O ₂	100	18	70
25	H ₂	60	25	55

Задача № 4. Определите количество теплоты, необходимое для нагревания m грамм газа X от T_1 до T_2 при постоянном объеме.

Таблица 5

№ варианта	Газ X	m , г	T_1 , °C	T_2 , °C
1	N ₂	50	15	50
2	Cl ₂	100	26	58
3	H ₂	90	22	66
4	CO	80	32	56
5	O ₂	60	20	63
6	CO ₂	100	25	62
7	N ₂	70	31	50
8	Cl ₂	50	15	66
9	O ₂	80	26	55
10	H ₂	60	20	57
11	CO	90	30	55
12	N ₂	60	16	65
13	O ₂	70	24	50
14	H ₂	50	26	64

Таблица 5 (продолжение)

№ варианта	Газ X	m, г	T ₁ , °C	T ₂ , °C
15	Cl ₂	100	25	61
16	N ₂	70	16	57
17	O ₂	60	27	60
18	H ₂	80	24	50
19	CO ₂	50	28	67
20	N ₂	100	20	58
21	O ₂	70	18	50
22	N ₂	50	25	59
23	Cl ₂	90	29	68
24	O ₂	100	18	70
25	H ₂	60	25	55

Задача №5. Газ X массой m грамм находится при температуре T₁ и давлении P₁. Определите теплоту, работу, изменение внутренней энергии и энтальпии при изотермическом расширении до объема V₂.

Таблица 6

№ варианта	Газ X	m, г	T ₁ , K	P·10 ⁻⁵ , Па	V ₂ , м ³
1	CO ₂	120	293	3,039	0,044
2	CO	220	293	1,013	0,022
3	N ₂	130	303	2,026	0,063
4	CO ₂	310	303	1,013	0,210
5	CO ₂	360	313	4,052	0,066
6	CO	140	303	4,052	0,045
7	O ₂	150	303	1,013	0,200
8	N ₂	210	283	3,039	0,069
9	SO ₂	330	303	2,026	0,088
10	N ₂	350	323	2,026	0,188

Таблица 6 (продолжение)

№ варианта	Газ X	m, г	T ₁ ,K	P·10 ⁻⁵ , Па	V ₂ , м ³
11	Cl ₂	180	313	2,026	0,042
12	CO ₂	200	283	2,026	0,062
13	O ₂	280	293	2,026	0,138
14	CO	320	323	3,039	0,155
15	SO ₂	170	293	2,026	0,045
16	N ₂	300	313	1,013	0,028
17	O ₂	230	323	1,013	0,220
18	Cl ₂	370	293	3,039	0,058
19	O ₂	160	323	3,034	0,064
20	Cl ₂	340	303	4,052	0,130
21	SO ₂	240	333	4,052	0,038
22	Cl ₂	190	303	4,052	0,028
23	CO	290	313	2,026	0,148
24	SO ₂	260	313	3,039	0,048
25	Cl ₂	270	323	3,039	0,049

Задача № 6. Газ X массой m грамм находится при температуре T₁ и давлении P₁. Определите теплоту, работу, изменение внутренней энергии и энтальпии при изобарическом расширении до объёма V₂.

Таблица 7

№ варианта	Газ X	m, г	T ₁ ,K	P·10 ⁻⁵ , Па	V ₂ , м ³
1	SO ₂	120	293	3,039	0,044
2	N ₂	200	283	2,026	0,062
3	O ₂	310	303	1,013	0,210
4	Cl ₂	360	313	4,052	0,066
5	O ₂	130	303	2,026	0,063
6	Cl ₂	210	283	3,039	0,069

Таблица 7 (продолжение)

№ варианта	Газ X	m, г	T ₁ ,K	P·10 ⁻⁵ , Па	V ₂ , м ³
7	SO ₂	350	323	2,026	0,188
8	Cl ₂	300	313	1,013	0,028
9	CO	140	303	4,052	0,045
10	SO ₂	220	293	1,013	0,022
11	Cl ₂	320	323	3,039	0,155
12	CO ₂	290	313	2,026	0,148
13	CO	150	303	1,013	0,200
14	N ₂	230	323	1,013	0,220
15	CO ₂	280	293	2,026	0,138
16	CO ₂	160	323	3,034	0,064
17	CO	330	303	2,026	0,088
18	O ₂	240	333	4,052	0,038
19	N ₂	170	293	2,026	0,045
20	SO ₂	260	313	3,039	0,048
21	N ₂	340	303	4,052	0,130
22	Cl ₂	180	313	2,026	0,042
23	CO ₂	370	293	3,039	0,058
24	O ₂	270	323	3,039	0,049
25	CO	190	303	4,052	0,028

Задача № 7. Газ массой m грамм находится при стандартных условиях. Определите количество теплоты, работу, изменение внутренней энергии и энтальпии при: а) изотермическом расширении до объема V_2 , б) изобарном расширении до объема V_2 , в) изохорном нагревании до P_2 , г) адиабатном сжатии до P_2 .

Таблица 8

№ вар.	Газ	m, г	V ₂ , м ³	P ₂ · 10 ⁻⁵ , Н/м ²	C _p , Дж/(моль · К)
1	CO	100	0,130	2,026	29,15
2	CO ₂	200	0,180	4,052	37,1
3	N ₂	100	0,150	2,026	20,8
4	O ₂	200	0,240	3,039	29,2
5	NO	180	0,250	2,026	29,8
6	N ₂ O	190	0,180	3,039	38,7
7	SO ₂	130	0,100	4,052	39,9
8	Cl ₂	150	0,100	2,026	33,8
9	O ₂	160	0,200	4,052	29,2
10	NO ₂	240	0,250	3,039	37,1
11	CO	260	0,400	2,026	29,15
12	NO	200	0,300	4,052	29,8
13	SO ₂	300	0,200	3,039	39,9
14	N ₂	150	0,200	2,026	20,8
15	CO ₂	150	0,110	4,052	37,1
16	O ₂	100	0,150	2,026	29,2
17	N ₂ O	250	0,280	3,039	38,7
18	Cl ₂	150	0,120	4,052	33,8
19	CO	220	0,350	2,026	29,15
20	N ₂	200	0,300	4,052	20,8
21	O ₂	250	0,340	2,026	29,2
22	Cl ₂	100	0,100	4,052	33,8
23	CO	150	0,200	2,026	29,15
24	CO ₂	250	0,280	4,052	37,1
25	NO ₂	300	0,300	3,039	37,1

Задача № 8. Вычислите массовую теплоемкость сплава, состоящего из висмута, свинца, кадмия и олова, если известны их массовые доли металлов. Массовая теплоемкость (Дж/(г·К)) каждого металла равна: для висмута 0,122; для свинца 0,129; для кадмия 0,0,231; для олова 0,221.

Таблица 9

№ вар.	$\omega(\text{Bi}), \%$	$\omega(\text{Pb}), \%$	$\omega(\text{Cd}), \%$	$\omega(\text{Sn}), \%$
1	33,2	25,8	30,1	10,9
2	18,2	30,5	15,8	35,5
3	19,3	31,4	14,5	34,8
4	22	32,1	15,8	30,1
5	23,1	33,3	16,7	26,9
6	21,6	32,4	13,5	32,5
7	28,1	31,2	28,8	11,9
8	28,8	30,6	24,5	16,1
9	24,5	31,5	11,6	32,4
10	11,6	18,2	18,6	51,6
11	18,6	19,3	19,3	42,8
12	19,3	22	18,5	40,2
13	18,5	23,1	14,5	43,9
14	14,5	21,6	15,8	48,1
15	15,8	30,1	14,5	39,6
16	16,7	28,8	15,8	38,7
17	13,5	24,5	16,7	45,3
18	16,7	30,6	13,5	39,2
19	31,5	31,5	16,9	20,1
20	29,1	18,2	31,5	21,2
21	24,2	19,3	29,1	27,4
22	14,5	22	24,2	39,3
23	15,8	23,1	31,2	29,9
24	14,5	21,6	30,6	33,3
25	15,8	30,1	31,5	22,6

Задача № 9. Истинная мольная теплоёмкость водяного пара выражается уравнением:

$$C_p = 28,83 + 13,74 * 10^{-3} * T - 1,435 * 10^{-6} * T^2 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} * \text{К}$$

Рассчитайте среднюю молярную теплоёмкость в указанном интервале температур (T_2-T_1).

Таблица 10

№ вар.	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	№ варианта	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
1	280	800	14	360	200
2	300	200	15	400	300
3	290	90	16	320	120
5	290	90	18	370	120
6	200	100	19	320	130
7	250	150	20	400	280
8	200	100	21	360	150
9	340	240	22	400	250
10	260	160	23	350	120
11	250	100	24	370	140
12	250	120	25	320	140
13	210	110			

Задача № 10. Определите количество теплоты, поглощенное m кг вещества А при нагревании от T_1 до T_2 при постоянном давлении, считая $C_p = \text{const}$.

Таблица 11

№ варианта	Вещество А	m , кг	T_1 , К	T_2 , К
1	Cu	1,2	298	800
2	Al	1,9	273	600
3	Fe	2,9	300	600
4	CaO	5,6	273	600
5	CO ₂	8,8	300	800
6	Fe	2,6	300	1000
7	SO ₂	3,2	323	800
8	Al	1,7	333	800
9	Cu	1,4	298	900
10	H ₂ O	3,6	323	600
11	CaO	2,8	273	700
12	Al	1,5	300	1000

13	MgO	4,2	313	800
14	H ₂ O	7,2	323	1000
15	Fe	2,4	300	1200
16	Cu	1,6	298	1000
17	CO	5,6	329	900
18	SO ₂	6,4	313	700
19	Al	1,3	273	800
20	CaO	2,2	313	600
21	Cu	2,0	298	1100
22	Fe	2,2	300	1400
23	MgO	3,8	273	1000
24	Cu	2,2	300	1000
25	Al	1,2	273	900

Задача № 11. Определите количество теплоты, поглощенное при нагревании m (г) вещества от температуры T_1 до температуры T_2 , если известны коэффициенты зависимости теплоемкости от температуры в данном интервале температур.

Таблица 12

№ варианта	Вещество	m, г	T ₁ , К	T ₂ , К	C _p , Дж/моль·К		
					a	b·10 ³	c·10 ⁻⁵
1	MgCO ₃	300	273	600	77,91	57,74	- 7,41
2	CaCO ₃	500	298	700	104,52	21,92	-25,94
3	PbSO ₄	300	298	800	45,86	129,70	17,57
4	Fe ₃ O ₄	800	298	1000	86,27	208,92	-
5	AgCl	500	273	700	62,26	4,18	- 1,30
6	Fe ₂ O ₃	900	300	140	97,74	72,13	- 2,89
7	FeS ₂	700	300	600	74,81	5,52	- 2,76
8	AgCl	800	273	600	62,26	4,18	- 1,30
9	PbSO ₄	600	298	600	45,86	129,70	17,57
10	MgCO ₃	400	273	700	77,91	57,74	-17,41
11	BaCO ₃	80	273	800	86,90	49,0	- 1,97

12	FeS ₂	500	300	700	74,81	5,52	- 2,76
13	Fe ₂ O ₃	800	300	1600	97,74	72,13	-12,89
14	SiO ₂	500	300	800	56,02	15,41	-14,44
15	ZnS	300	273	900	49,25	5,27	-4,85
16	ZnO	400	298	1000	48,99	5,10	-0,12
17	BaCO ₃	700	273	900	86,90	49,0	- 1,97
18	FeS ₂	400	300	800	74,81	5,52	- 2,76
19	Fe ₃ O ₄	500	298	800	167,03	78,91	- 1,82
20	AgCl	600	273	700	62,26	4,18	- 1,30
21	BaCO ₃	600	273	1000	86,90	49,0	- 1,97
22	PbSO ₄	400	298	900	45,86	129,70	17,57
23	MgCO ₃	500	273	900	77,91	57,74	- 7,41
24	AgCl	700	273	600	62,26	4,18	- 1,30
25	Al ₂ O ₃	500	298	900	114,55	12,89	-34,31

Задача № 12. Пользуясь табличными данными энтальпии образования веществ, вычислите тепловой эффект реакции при стандартных условиях.

Таблица 13

№ варианта	Реакция	T, K
1	$2\text{CO} + \text{SO}_2 = \text{S}_{\text{ромб}} + 2\text{CO}_2$	1000
2	$4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$	900
3	$2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2$	1200
4	$\text{S}_{\text{ромб}} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SO}_2 + 2\text{H}_2$	800
5	$2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$	900
6	$\text{S}_{\text{ромб}} + 2\text{CO}_2 = \text{SO}_2 + 2\text{CO}$	700
7	$\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{COS}$	80
8	$2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$	1000
9	$2\text{NO} + \text{Cl}_2 = 2\text{NOCl}$	800
10	$\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$	1400
11	$\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$	600
12	$2\text{Na} + \text{S} = \text{Na}_2\text{S}$	500

13	$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	600
14	$2CO + O_2 = 2CO_2$	800
15	$CO_2 + H_2 = H_2O + CO$	1000
16	$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$	800
17	$SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2$	900
18	$2Ca + O_2 = 2CaO$	500
19	$FeCO_3 = FeO + CO_2$	800
20	$2SO_2 + O_2 = 2SO_3$	400
21	$2Al + 3Cl_2 = 2AlCl_3$	500
22	$CaCO_3 = CaO + CO_2$	800
23	$4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3$	1300
24	$2K + Cl_2 = 2KCl$	1000
25	$BaCO_3 = BaO + CO_2$	800

Задача № 13. Вычислите тепловые эффекты в изобарных и изохорных условиях химических реакций при стандартных условиях.

Таблица 14

№ варианта	Реакция
1	$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$
2	$CH_3COOH + CH_3OH \rightarrow CH_3COOCH_3 + H_2O$
3	$C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$
4	$C_2H_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$
5	$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$
6	$CH_3Cl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl_2 + HCl$
7	$C_2H_6 + Cl_2 \rightarrow C_2H_5Cl + HCl$
8	$CH_3COOH + C_3H_7OH \rightarrow CH_3COOC_3H_7 + H_2O$
9	$HCHO + H_2 \rightarrow CH_3OH$
10	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$
11	$HCOOH + CH_3OH \rightarrow HCOOCH_3 + H_2O$
12	$CH_2Cl_2 + Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + HCl$
13	$C_3H_6 + H_2O \rightarrow C_3H_7OH$

14	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
15	$\text{HCOOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{HCOOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$
16	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$
17	$\text{CHCl}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + \text{HCl}$
18	$\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$
19	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
20	$\text{C}_4\text{H}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$
21	$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{HBr} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$
22	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + 2\text{Na} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10} + 2\text{NaCl}$
23	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
24	$2\text{CH}_3\text{J} + 2\text{Na} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + 2\text{NaJ}$
25	$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_7\text{Cl} + \text{HCl}$

Задача № 14. Вычислите тепловой эффект химической реакции при указанной температуре, считая $C_p = \text{const}$:

Таблица 15

№ варианта	Реакция	T, K
1	$\text{C}_2\text{H}_6 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$	400
2	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$	700
3	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	500
4	$\text{C}_6\text{H}_{12} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2$	400
5	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	800
6	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$	500
7	$\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{COCl}_2$	500
8	$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	600
9	$\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	450
10	$\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	400
11	$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$	600
12	$\text{C}_6\text{H}_{14} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2$	400
13	$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	800
14	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH} + \text{HBr}$	600

15	$C_6H_5CH_3 + O_2 \rightarrow C_6H_5COOH + H_2O$	700
16	$HCOOH + CH_3OH \rightarrow HCOOCH_3 + H_2O$	600
17	$C_6H_5Cl + NaOH \rightarrow C_6H_5OH + NaCl$	550
18	$CH_3OH + O_2 \rightarrow HCOOH + H_2O$	450
19	$HCOOH + C_2H_5OH \rightarrow HCOOC_2H_5 + H_2O$	600
20	$C_6H_6 + HNO_3 \rightarrow C_6H_5NO_2 + H_2O$	750
21	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_2H_5OH + CO_2$	870
22	$CH_3COOH + CH_3OH \rightarrow CH_3COOCH_3 + H_2O$	680
23	$CH_4 + O_2 \rightarrow HCOH + H_2O$	660
24	$C_6H_6 + Br_2 \rightarrow C_6H_5Br + HBr$	560
25	$C_6H_6 + H_2 \rightarrow C_6H_{12}$	700

Задача № 15. Пользуясь табличными данными энтальпии образования веществ, вычислите тепловой эффект реакции при температуре T при условии, что $C_p = \text{const}$.

Таблица 16

№ варианта	Реакция	T, К
1	$S_{\text{ромб}} + 2CO_2 = SO_2 + 2CO$	700
2	$2NO + Cl_2 = 2NOCl$	800
3	$N_2 + O_2 = 2NO$	1400
4	$CO + Cl_2 = COCl_2$	600
5	$S_{\text{ромб}} + 2H_2O = SO_2 + 2H_2$	800
6	$2CO_2 = 2CO + O_2$	900
7	$2CO + SO_2 = S_{\text{ромб}} + 2CO_2$	1000
8	$4HCl + O_2 = 2H_2O + Cl_2$	900
9	$2N_2 + 6H_2O = 4NH_3 + 3O_2$	1200
10	$H_2S + CO_2 = H_2O + COS$	80
11	$2NO_2 = 2NO + O_2$	1000
12	$2Na + S = Na_2S$	500
13	$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	600
14	$FeCO_3 = FeO + CO_2$	800
15	$2CO + O_2 = 2CO_2$	800
16	$CO_2 + H_2 = H_2O + CO$	1000

17	$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$	800
18	$SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2$	900
19	$2Ca + O_2 = 2CaO$	500
20	$4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3$	1300
21	$2K + Cl_2 = 2KCl$	1000
22	$BaCO_3 = BaO + CO_2$	800
23	$2SO_2 + O_2 = 2SO_3$	400
24	$2Al + 3Cl_2 = 2AlCl_3$	500
25	$CaCO_3 = CaO + CO_2$	800

Задача № 16. Вычислите тепловой эффект указанной в задаче 15 реакции при температуре T, используя стандартные теплоты образования веществ и температурные коэффициенты теплоемкости.

Задача № 17. Найти изменение энтальпии при нагревании m массы вещества, находящегося при стандартных условиях, до температуры T, если известны температура плавления, удельная теплота плавления и теплоемкость твердого и жидкого вещества.

Таблица 17

№ варианта	Вещество	m, г	T _{пл} , °C	T, °C	ΔH _{пл} , Дж/моль	Cp(тв), Cp(ж)	
						Дж/(моль·град)	
1	Cu	200	1356	1573	209	31,4	31,4
2	Al	900	933	1173	387	32,3	39,3
3	Fe	1800	1812	1973	272	42,0	44,1
4	Mn	400	1523	1673	267	47,4	46,1
5	Cu	1200	1356	1423	209	31,4	31,4
6	Al	500	933	1073	387	32,3	39,3
7	Fe	1800	1812	1823	272	42,0	44,1
8	Mg	700	923	1123	343	32,9	32,7
9	Fe	1500	1812	1873	272	42,0	44,1
10	Cu	1500	1356	1356	209	31,4	31,4
11	Al	1500	933	1023	387	32,3	39,3
12	Cu	500	1356	1373	209	31,4	31,4
13	Mg	600	923	1173	343	32,9	32,7
14	Ni	500	1234	1423	104	38,0	38,6

15	Bi	300	1336	1373	65	28.5	31.8
16	Mg	1000	923	1023	343	32,9	32,7
17	Bi	500	1336	1423	65	28.5	31.8
18	Al	400	1234	1473	104	32.3	29.3
19	Cu	900	1356	1473	209	31,4	31,4
20	Bi	1200	1336	1523	65	28.5	31.8
21	Al	200	1234	1573	104	32.3	29.3
22	Mn	700	1523	1623	267	47,4	46,1
23	Ni	1300	1234	1273	104	38.0	38.6
24	Bi	900	1336	1473	65	28.5	31.8
25	Mn	1000	1523	1573	267	47,4	46,1

Задача № 18. Вычислите изменение энтальпии при нагревании m кг меди от T_1 до T_2 , если теплота плавления меди равна 206 кДж/кг; массовая теплоемкость жидкой меди -0,494 кДж/(кг·К); температура плавления меди 1084°C; истинная массовая теплоемкость твердой меди описывается зависимостью:

$$C_p = 0,382 + 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot T + 3,8 \cdot 10^{-9} \cdot T^2.$$

Таблица 18

№ варианта	m , кг	T_1 , К	T_2 , К	№ варианта	m , кг	T_1 , К	T_2 , К
1	1,2	298	1200	14	3,2	473	1260
2	1,9	473	1360	15	1,7	300	1330
3	2,9	300	1260	16	3,6	450	1340
4	5,6	573	1300	17	2,8	573	1370
5	8,8	400	1260	18	1,2	400	1200
6	2,6	500	1330	19	1,9	500	1360
7	3,2	383	1340	20	2,6	550	1260
8	1,7	533	1480	21	3,2	530	1300
9	1,4	550	1390	22	5,6	383	1340
10	3,6	473	1460	23	8,8	533	1480
11	2,8	673	1370	24	2,6	473	1390
12	1,5	400	1330	25	4,2	673	1450
13	4,2	413	1450				

2. Второй закон термодинамики

2.1. Теоретические основы второго закона термодинамики

Математическое выражение 2-го закона термодинамики записывается в виде:

$$\Delta S \geq \frac{\delta q}{T}, \quad (32)$$

где ΔS – энтропия.

Знак “=” относится к обратным, а “>” – к необратным процессам.

Энтропия – это мера неупорядоченности системы. Ее размерность [Дж/моль·град]. Энтропия является функцией состояния, обладает свойством аддитивности; для сложного процесса, состоящего из нескольких стадий, измерение энтропии равно сумме измерений энтропии в отдельных стадиях:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \dots \quad (33)$$

Измерение энтропии вычисляют по следующим уравнениям:

1. При фазовых переходах:

$$\text{при } P = \text{const} \quad \Delta S = n \frac{\Delta H_{\text{ф.н.}}}{T_{\text{ф.н.}}}, \quad (34)$$

$$\text{при } V = \text{const} \quad \Delta S = n \frac{\Delta U_{\text{ф.н.}}}{T_{\text{ф.н.}}}. \quad (35)$$

2. В изотермическом процессе: $T = \text{const}$.

$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \text{или} \quad \Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (36)$$

3. В изохорическом процессе: $V = \text{const}$.

$$\Delta S = n \cdot C_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \Delta S = n \cdot C_V \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}. \quad (37)$$

4. В изобарическом процессе: $P = \text{const}$.

$$\Delta S = n \cdot C_P \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \Delta S = n \cdot C_D \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (38)$$

Учитывая температурную зависимость теплоемкости (16) изменение энтропии при нагревании вещества при постоянном давлении:

$$\Delta S_T = \Delta a \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + \Delta b \cdot (T_2 - T_1) + \frac{\Delta c}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) + \frac{\Delta c'}{2} \cdot \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} \right) \quad (39)$$

5. При переходе n молей идеального газа из одного состояния в другое:

а) если независимыми переменными являются температура и давление:

$$\Delta S = n \cdot (C_P \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}); \quad (40)$$

б) если независимыми переменными являются температура и объем:

$$\Delta S = n \cdot (C_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}); \quad (41)$$

в) если независимыми переменными являются давление и объем:

$$\Delta S = n \cdot (C_P \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} + C_V \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}) \quad (42)$$

$$\text{или } \Delta S = n \cdot C_V \cdot \ln \frac{P_2 \cdot V_2^\gamma}{P_1 \cdot V_1^\gamma}, \quad (43)$$

где γ – коэффициент Пуассона или показатель адиабаты (9).

6. В процессе диффузии при смешении идеальных газов (при $P = \text{const}$, $T = \text{const}$), т.е. в изобарно-изотермическом процессе:

$$\Delta S = R \cdot (n_1 \cdot \ln \frac{V_{\text{общ}}}{V_1} + n_2 \cdot \ln \frac{V_{\text{общ}}}{V_2}) \quad (44)$$

или

$$\Delta S = -R \cdot (n_1 + n_2) \cdot [N_1 \cdot \ln N_1 + N_2 \cdot \ln N_2], \quad (45)$$

где n_1, n_2 – число молей газов,

N_1, N_2 – число мольных долей газов.

7. В процессе работы гальванического элемента:

$$\Delta S = \frac{\Delta H + zFE}{T}, \quad (46)$$

где ΔH – тепловой эффект химической реакции (Дж/моль);

F – число Фарадея $F = 96500$ Кулон;

E – электродвижущая сила гальванического элемента;

z – число электронов, участвующих в элементарном акте электродной реакции.

8. В уравнении химической реакции $aA + bB \rightarrow cC + dD$ изменение энтропии рассчитывается по закону Гесса:

$$\Delta S_{298}^0 = c \cdot S_{298}^0(C) + d \cdot S_{298}^0(D) - a \cdot S_{298}^0(A) - b \cdot S_{298}^0(B). \quad (47)$$

S_{298}^0 находят в Приложении 1.

С учетом теплоемкости при условии, что C_p является постоянной величиной:

$$\Delta S_T^o = \Delta S_{298}^o + \Delta C_p \cdot \ln \frac{T}{298}. \quad (48)$$

С учетом температурной зависимости теплоемкости ΔS_T^o рассчитывается по формуле:

$$\Delta S_T^o = \Delta S_{298}^o + \Delta a \cdot \ln \frac{T}{298} + \Delta b \cdot (T - 298) + \frac{\Delta c}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + \frac{\Delta c'}{2} \cdot \left(\frac{1}{298^2} - \frac{1}{T^2} \right). \quad (49)$$

По изменению энтропии в ходе химической реакции можно сделать вывод о направлении самопроизвольного протекания процесса:

Если $\Delta S < 0$ – процесс является вынужденным.

Если $\Delta S > 0$ – процесс идет самопроизвольно.

Пример 10. Определите изменение энтропии при превращении 20 г воды в пар при температуре 423 К. Исходная температура – 253 К, а давление $1,013 \cdot 10^5$ Па. Теплота плавления льда равна 0,335 Дж/г, теплота парообразования жидкой воды равна 2,255 кДж/г, удельная теплоемкость: льда $C_p = 2,02$ Дж/(г · К), воды $C_p = 4,2$ Дж/г · К, пара $C_p = 30,13 + 11,3 \cdot 10^{-3} T$ Дж/(моль · К).

Решение

Данный процесс состоит из 5 стадий:

1. Нагревание льда от T_1 до $T_{пл}$ – ΔS_1 .
2. Плавление льда при $T_{пл}$ – ΔS_2 .
3. Нагревание жидкой воды от $T_{пл}$ до $T_{кип}$ – ΔS_3 .
4. Переход жидкой воды в пар при $T_{кип}$ – ΔS_4 .
5. Нагревание пара от $T_{кип}$ до T_2 – ΔS_5 .

Тогда изменение энтропии по 5 стадиям определится по формулам:

$$\Delta S_1 = m \cdot C_p \cdot \ln \frac{T_{пл}}{T_1} = 20 \cdot 2,02 \ln \frac{273}{253} = 3,1 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

$$\Delta S_2 = m \cdot \frac{\Delta H_{пл}}{T_{пл}} = 20 \cdot \frac{0,335 \cdot 10^3}{273} = 24,5 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\Delta S_3 = m \cdot C_p \cdot \ln \frac{T_{кип}}{T_{пл}} = 20 \cdot 4,2 \ln \frac{373}{273} = 26,2 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

$$\Delta S_4 = m \cdot \frac{\Delta H_{кип}}{T_{кип}} = 20 \cdot \frac{2,225 \cdot 10^3}{373} = 119,3 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

$$\Delta S_5 = n \cdot \left[\Delta a \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + \Delta b \cdot (T_2 - T_1) \right] = \frac{20}{18} \cdot \left[30,1 \cdot \ln \frac{423}{373} + 11,3 \cdot 10^{-3} \cdot (423 - 373) \right] = 4,9 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

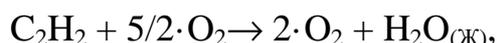
Суммарное изменение энтропии определится по правилу аддитивности:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 + \Delta S_5$$

$$\Delta S = 3,1 + 24,5 + 26,5 + 120,9 + 4,9 = 179,6 \text{ Дж/К.}$$

Ответ: $\Delta S = 179,6 \text{ Дж/К}$

Пример 11. Определите стандартное изменение энтропии и изобарного потенциала при стандартных условиях для реакции:



и решите вопрос о возможности самопроизвольного протекания процесса при указанных условиях.

Решение

В Приложении 1 находим значения $\Delta H^0_{298}, \Delta S^0_{298}$, заносим их в таблицу и рассчитываем $\Delta H^0_{298}, \Delta S^0_{298}, \Delta G^0_{298}$.

вещество	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/(моль · град)
2CO ₂	2 · (-393,51)	2 · 213,6
H ₂ O	-285,84	69,96
C ₂ H ₂	+226,75	200,8
5/2O ₂	0	2,5 · 203,03
Δ	-1299,61	-216,2

Изменение энергии Гиббса определяем по уравнению:

$$\Delta G^0_{298} = \Delta H^0_{298} - T \cdot \Delta S^0_{298}. \quad (49)$$

$$\Delta G^0_{298} = -1299,61 - 298 (-0,2162) = -1235,19 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: $\Delta G^0_{298} = -1235,19 \text{ кДж/моль.}$

Вывод: при стандартных условиях данная реакция протекает самопроизвольно.

Пример 12. Рассчитать изменение энтропии при охлаждении 0,012 м³ кислорода от 200°С до 40 °С, если одновременно повышается давление от 10⁵ до 6 · 10⁶ Па, $C_p(\text{O}_2) = 29,2 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$.

Решение

Рассчитаем число молей кислорода из уравнения состояния идеального газа:

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{10^5 \cdot 0,012}{8,314 \cdot 473} = 0,3052 \text{ моль.}$$

Для расчета изменения энтропии воспользуемся уравнением (40):

$$\Delta S = 0,3052 \cdot (8,314 \cdot \ln \frac{10^5}{6 \cdot 10^6} + 29,2 \cdot \ln \frac{233}{473}) = -16,77 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Ответ: $\Delta S = -16,77 \text{ Дж/К}$, при охлаждении газа энтропия уменьшается.

Пример 13. Плотность твердого фенола 1072 кг/м^3 , жидкого 1056 кг/м^3 , теплота его плавления $1,004 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$, температура замерзания $314,2 \text{ К}$. Вычислите dP/dT и температуру плавления фенола при $5,065 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Решение

По уравнению Клапейрона-Клаузиуса рассчитываем dP/dT :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T(V_{\text{ж}} - V_{\text{тв}})} = \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T \cdot \Delta V_{\text{ж}}}; \Delta V = \frac{1}{d_{\text{ж}}} - \frac{1}{d_{\text{тв}}}$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{1,044 \cdot 10^5}{314,2 \cdot 0,014 \cdot 10^{-3}} = 2,373 \text{ Па/К}$$

$$\frac{dT}{dP} = 4,214 \cdot 10^{-8} \text{ К/Па}$$

Чтобы вычислить температуру при заданном внешнем давлении, принимаем, что dT/dP в интервале давлений $1,0132 \cdot 10^5 - 5,065 \cdot 10^7 \text{ Па}$ является величиной постоянной, равной $4,214 \cdot 10^{-8} \text{ К/Па}$.

Тогда

$$T_2 - T_1 = 4,214 \cdot 10^{-8} \cdot 10 \cdot P$$

и

$$T_2 = 314,2 + 4,214 \cdot 10^{-8} \cdot 5,065 \cdot 10^7 = 316,33 \text{ К}$$

Ответ: $T_2 = 316,33 \text{ К}$.

Пример 14. Вычислите среднюю теплоту испарения CH_4 в интервале температур от $88,2$ до 113 К , используя следующие данные:

T, К	88,2	92,2	98,2	104,2	112,2
$P \cdot 10^{-3}$, Па	8	13,31	26,62	53,24	101,3

Решение.

Расчет можно провести двумя путями:

По уравнению Клаузиуса – Клапейрона:

$$\Delta H_{\text{исп}} = 2,3 \cdot 8,314 \frac{112,2 \cdot 88,2}{112,2 - 88,2} \lg \frac{1,013 \cdot 10^5}{8 \cdot 10^3} = 8,62 \text{ кДж/моль}$$

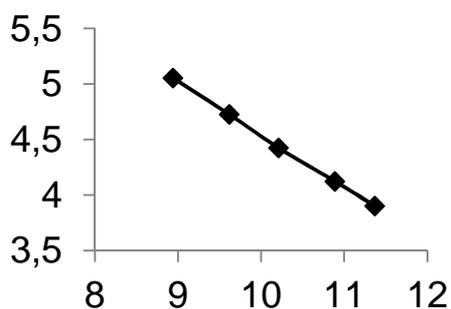
По уравнению, из которого следует, что зависимость $\lg P_{\text{от}} 1/T$ выражается прямой линией (рис. 1). Теплоту испарения можно определить по тангенсу угла наклона прямой, которой равен: $\text{tg} \alpha = -2,3R$. Вычислить для приведенных данных $\lg P$ и $1/T$:

T, К	88,2	92,2	98,2	104,2	112,2
$P \cdot 10^{-3}$, Па	8	13,31	26,62	53,24	93,40
$(1/T)10^3$	11,37	10,89	10,21	9,62	8,94
lgP	3,903	4,124	4,425	4,726	4,972

Строим график $\lg P = f(1/T)$, из которого следует:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} = \frac{0,96}{2,22 \cdot 10^{-3}} = -432,$$

$$\Delta H_f = 432 \cdot 2,3 \cdot 8,314 = 8,27 \text{ кДж/моль}$$



Этот результат, более точен, чем предыдущий, так как вычислен на основании пяти опытов (истинное значение теплоты испарения метана при нормальной температуре кипения 8,19 кДж/моль).

Рис. 1. Зависимость $\lg P$ насыщенного пара CH_4 от обратной температуры

2.2. Тесты

1. Какая из предложенных формулировок II начала термодинамики представляет собой формулировку Томсона?

- единственным результатом любой совокупности процессов не может быть переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому;
- невозможен вечный двигатель II рода, так как невозможно создать такую машину, которая позволяла бы получать работу только за счет охлаждения источника тепла;
- теплота не может самопроизвольно переходить от менее нагретого тела к более нагретому;
- невозможен процесс, единственным результатом которого было бы 100% превращение теплоты в работу.

2. Какая из предложенных формулировок II начала термодинамики представляет собой формулировку Клаузиуса?

- а) единственным результатом любой совокупности процессов не может быть переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому;
 - б) невозможен вечный двигатель II рода, так как невозможно создать такую машину, которая позволяла бы получать работу только за счет охлаждения источника тепла;
 - в) теплота не может самопроизвольно переходить от менее нагретого тела к более нагретому;
 - г) невозможен процесс, единственным результатом которого было бы 100% превращение теплоты в работу.
3. Какая из предложенных формулировок II начала термодинамики представляет собой формулировку Оствальда?
- а) единственным результатом любой совокупности процессов не может быть переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому;
 - б) невозможен вечный двигатель II рода, так как невозможно создать такую машину, которая позволяла бы получать работу только за счет охлаждения источника тепла;
 - в) теплота не может самопроизвольно переходить от менее нагретого тела к более нагретому;
 - г) невозможен процесс, единственным результатом которого было бы 100% превращение теплоты в работу.
4. Укажите правильную размерность энергии Гиббса в системе СИ:
- а) ккал/моль; б) Джоуль; в) Джоуль/град; г) Джоуль/моль.
5. Укажите правильную размерность энергии Гельмгольца в системе СИ:
- а) ккал/моль; б) Джоуль; в) Джоуль/град; г) Джоуль/моль.
6. Как называются процессы, после протекания которых систему и окружающую среду одновременно нельзя вернуть в прежнее состояние?
- а) необратимыми; в) вынужденными;
 - б) обратимыми; г) самопроизвольными.
7. Как называются процессы, после протекания которых можно вернуть и систему, и окружающую среду в прежнее состояние (идеальные процессы)? Они стремятся к выравниванию экстенсивных факторов (P, V, C).
- а) необратимыми; в) вынужденными;
 - б) обратимыми; г) самопроизвольными.
8. Что можно определить по второму началу термодинамики?
- а) возможность и предел самопроизвольного течения процесса;
 - б) направление и предел самопроизвольного течения процесса;

в) возможность, направление и предел самопроизвольного течения процесса;

г) возможность и направление самопроизвольного течения процесса.

9. Укажите запись I и II начала термодинамики (объединённого уравнения) для необратимых процессов:

а) $T \cdot dS = dU + PdV$;

в) $T \cdot dS \leq dU + P \cdot dV$;

б) $T \cdot dS \geq dU + P \cdot dV$;

г) $T \cdot dS > dU + P \cdot dV$.

10. Какое уравнение описывает математическое соотношение зависимости изменения энтропии от теплоты для необратимого процесса?

а) $dS = \frac{dq_{необр}}{T}$;

в) $dS \geq \frac{dq_{необр}}{T}$;

б) $dS > \frac{dq_{необр}}{T}$;

г) $dS < \frac{dq_{необр}}{T}$.

11. Какое уравнение описывает математическое соотношение зависимости изменения энтропии от теплоты для обратимого процесса?

а) $dS = \frac{dq_{необр}}{T}$;

в) $dS \geq \frac{dq_{необр}}{T}$;

б) $dS > \frac{dq_{необр}}{T}$;

г) $dS < \frac{dq_{необр}}{T}$.

12. Для каких процессов пригодно соотношение: $\Delta S = \frac{\delta q}{T}$?

а) для любых;

в) для изотермических;

б) для обратимых;

г) для необратимых.

13. Для реакции $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ выберите правильную формулу для расчета энтропии в стандартных условиях:

а) $\Delta S^\circ_{298} = S^\circ_{298} (NH_3) - S^\circ_{298} (N_2) - S^\circ_{298} (H_2)$;

б) $\Delta S^\circ_{298} = 2 \cdot S^\circ_{298} (NH_3) - S^\circ_{298} (N_2) - 3 \cdot S^\circ_{298} (H_2)$;

в) $\Delta S^\circ_{298} = 2 \cdot S^\circ_{298} (NH_3)$;

г) $\Delta S^\circ_{298} = 3 \cdot S^\circ_{298} (H_2) - S^\circ_{298} (N_2) - 2 \cdot S^\circ_{298} (NH_3)$.

14. Дана реакция $2P + \frac{5}{2}O_2 \rightarrow P_2O_5$. Выберите правильную формулу для расчета изохорно-изотермического потенциала данной реакции, идущей в стандартных условиях:

а) $\Delta G^\circ_{298} = \Delta G^\circ_{298} (P) + \Delta G^\circ_{298} (O_2) - \Delta G^\circ_{298} (P_2O_5)$;

$$\text{б) } \Delta G^{\circ}_{298} = \Delta G^{\circ}_{298}(\text{P}) - \Delta G^{\circ}_{298}(\text{O}_2) - \Delta G^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$\text{в) } \Delta G^{\circ}_{298} = 2 \cdot \Delta G^{\circ}_{298}(\text{P}) + 5/2 \cdot \Delta G^{\circ}_{298}(\text{O}_2) - \Delta G^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$\text{г) } \Delta G^{\circ}_{298} = \Delta G^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5) - (2 \cdot \Delta G^{\circ}_{298}(\text{P}) + 5/2 \cdot \Delta G^{\circ}_{298}(\text{O}_2)).$$

15. Дана реакция $2\text{P} + 5/2\text{O}_2 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5$.

Выберите правильную формулу для расчета изохорно-изотермического потенциала данной реакции, идущей в стандартных условиях:

$$\text{а) } \Delta F^{\circ}_{298} = \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}) + \Delta F^{\circ}_{298}(\text{O}_2) - \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$\text{б) } \Delta F^{\circ}_{298} = \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}) - \Delta F^{\circ}_{298}(\text{O}_2) - \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$\text{в) } \Delta F^{\circ}_{298} = 2\Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}) + 5/2 \cdot \Delta F^{\circ}_{298}(\text{O}_2) - \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$\text{г) } \Delta F^{\circ}_{298} = \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}_2\text{O}_5) - (2 \cdot \Delta F^{\circ}_{298}(\text{P}) + 5/2 \cdot \Delta F^{\circ}_{298}(\text{O}_2)).$$

16. Для реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ при стандартных условиях $\Delta G^{\circ}_{298} = -6900$ кал/моль. Дайте заключение о направлении реакции при $T=298^{\circ}\text{K}$.

а) \rightarrow ; б) \leftarrow ; в) \rightleftharpoons ; г) реакция не идет.

17. Для реакции $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ изменение энтальпии при стандартных условиях равно -393 кДж/моль. Дайте заключение о направлении данной реакции при температуре 298°C .

а) \rightarrow ; б) \leftarrow ; в) \rightleftharpoons ; г) реакция не идет.

18. Для реакции $\text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{SO}_3$ $\Delta G^{\circ}_{298} = -16,7$ ккал/моль. Дайте заключение о направлении данной химической реакции при 298°K .

а) \rightarrow ; б) \leftarrow ; в) \rightleftharpoons ; г) реакция не идет.

19. Для реакции $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ изменение энтальпии равно $\Delta H^{\circ}_{298} = -393$ кДж/моль. Дайте заключение о направлении данной реакции при температуре 298°C .

а) \rightarrow ; б) \leftarrow ; в) \rightleftharpoons ; г) реакция не идет.

20. По какой формуле можно вычислить коэффициент полезного действия?

$$\text{а) } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2}; \quad \text{б) } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2}; \quad \text{в) } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad \text{г) } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

21. Из каких процессов состоит идеальный цикл Карно?

Идеальный цикл Карно состоит из:

а) 2 изотерм и 2 адиабат; в) 2 изобар и 2 адиабат;

б) 2 изохор и 2 адиабат; г) 2 изотерм и 2 изобар.

22. Кто из ученых написал книгу «Размышления о движущей силе огня»?

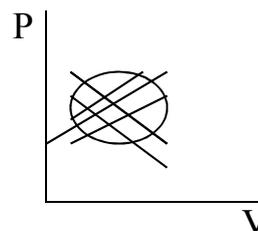
а) Клаузиус; б) Томсон; в) Карно; г) Гесс.

23. Какие факторы влияют на величину К.П.Д. цикла Карно?

- а) температура рабочего тела;
- б) природа рабочего тела;
- в) температура теплоприёмника и теплоотдатчика;
- г) температура теплоносителя.

24. Какое из следствий Карно описывает приведённый ниже рисунок?

- а) К.П.Д. не зависит от природы тела;
- б) К.П.Д. любого необратимого процесса меньше единицы;
- в) любой необратимый процесс можно представить в виде суммы бесконечно малых процессов;
- г) любой обратимый процесс можно представить в виде суммы бесконечно малых процессов.



25. За счёт чего совершается максимально полезная работа химической реакции при постоянных давлениях и температуре?

- а) за счёт увеличения энергии Гельмгольца;
- б) за счёт убыли энергии Гельмгольца;
- в) за счёт возрастания энергии Гиббса;
- г) за счёт убыли энергии Гиббса.

26. В каких случаях термодинамические функции приобретают свойства потенциалов?

- а) если процесс протекает в строго определённых условиях;
- б) если через эту функцию можно вычислить любой параметр;
- в) если по изменению их можно судить о направлении реакции;
- г) если они имеют связь с характеристическими функциями.

27. Та часть энергии, которая превращается в работу при постоянном давлении и температуре называется:

- а) свободной энергией Гельмгольца;
- б) свободной энергией Гиббса;
- в) энтальпией;
- г) работой.

28. За счёт чего совершается полная работа химической реакции, при постоянных объёме и температуре?

- а) за счёт убыли энергии Гельмгольца;
- б) за счёт возрастания энергии Гельмгольца;

- в) за счёт убыли энергии Гиббса;
- г) за счёт возрастания энергии Гиббса.

29. Та часть энергии, которая при постоянном объеме и температуре не превращается в работу, называется:

- а) свободной энергией Гельмгольца;
- б) свободной энергией Гиббса;
- в) связанной энергией;
- г) свободной энергией.

29. Реакция протекает в автоклаве при постоянной температуре. Какой термодинамический потенциал следует выбрать в качестве критерия направления реакции, и каково условие самопроизвольного течения реакции?

- а) $H, \Delta H < 0$;
- б) $U, \Delta U < 0$;
- в) $G, \Delta G < 0$;
- г) $F, \Delta F < 0$.

30. Как выглядит термодинамическая функция, характеристическими переменными которой является объём и температура?

- а) ΔF ;
- б) ΔH ;
- в) ΔG ;
- г) ΔS .

31. Как выглядит потенциал, независимыми переменными которого являются давление и температура?

- а) ΔU ;
- б) ΔG ;
- в) ΔF ;
- г) ΔS .

32. Укажите, какое из нижеприведенных уравнений является неверным?

- а) $\Delta U = \Delta H - P \cdot \Delta V$;
- б) $\Delta U = \Delta F + T \cdot \Delta S$;
- в) $\Delta G = \Delta H - P \cdot \Delta V$;
- г) $\Delta H = \Delta G + T \Delta S$.

33. Каково условие самопроизвольного протекания процессов?

- а) $\Delta S > 0, \Delta H < 0$;
- б) $\Delta S > 0, \Delta H > 0$;
- в) $\Delta S < 0, \Delta H < 0$;
- г) $\Delta S < 0, \Delta H > 0$.

34. Какое из уравнений является объединённым уравнением I и II начала термодинамики для обратимых процессов?

- а) $T \cdot dS > dU + P \cdot dV$;
- б) $T \cdot dS \leq dU + P \cdot dV$;
- в) $T \cdot dS \geq dU + P \cdot dV$;
- г) $T \cdot dS = dU + P \cdot dV$.

35. Какие из перечисленных ниже параметров являются экстенсивными?

- а) U, m ;
- б) m, T ;
- в) H, P ;
- г) P, V .

36. Какие из перечисленных ниже параметров являются интенсивными?

- а) $\Delta U, T$;
- б) m, P ;
- в) $\Delta H, \Delta F$;
- г) T, P .

37. Как изменится энергия Гельмгольца при изотермическом сжатии газа?
 а) $\Delta F < 0$; б) $\Delta F > 0$; в) $\Delta F = 0$; г) $\Delta F \geq 0$.
38. Процесс протекает в условиях постоянства температуры и объёма. Какой термодинамический потенциал следует выбрать в качестве критерия направленности самопроизвольного протекания данного процесса?
 а) ΔU ; б) ΔH ; в) ΔF ; г) ΔS .
39. Как изменится энтропия при постоянстве внутренней энергии и объёма и энергия Гиббса (изобарно-изотермический потенциал) при постоянстве давления и температуры при проведении вынужденных процессов?
 а) $\Delta G > 0, \Delta S < 0$; в) $\Delta G < 0, \Delta S \geq 0$;
 б) $\Delta G < 0, \Delta S < 0$; г) $\Delta G > 0, \Delta S = 0$.
40. Для какой термодинамической функции характеристическими переменными являются энтропия и давление?
 а) ΔU ; б) ΔH ; в) ΔF ; г) ΔG .
41. Какое из уравнений является уравнением Гиббса – Гельмгольца?
 а) $F = U - T \frac{dF}{dT}$; в) $\Delta F = \Delta U - T \frac{d\Delta F}{dT}$;
 б) $F = U + T \frac{dF}{dT}$; г) $\Delta F = \Delta U + T \frac{d\Delta F}{dT}$.
42. Каким образом энергия Гельмгольца данной системы зависит от объёма при постоянной температуре, если система совершает единственный вид работы – работу расширения?
 а) $\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = P$; в) $\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = -P$;
 б) $\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = S$; г) $\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_S = T$.
43. Какое из уравнений является объединённым уравнением I и II начала термодинамики для обратимых процессов?
 а) $T \cdot dS > dU + P \cdot dV$; в) $T \cdot dS \geq dU + P \cdot dV$;
 б) $T \cdot dS \leq dU + P \cdot dV$; г) $T \cdot dS = dU + P \cdot dV$.
44. Какие условия необходимо соблюдать, чтобы максимальная работа в системе совершалась за счет убыли энергии Гельмгольца?
 а) $P, T = \text{const}$; в) $V, T = \text{const}$;

б) $P, S = \text{const}$; г) $V, S = \text{const}$.

45. Каким математическим уравнением связаны между собой внутренняя энергия и энтальпия?

а) $\Delta U = \Delta H - T\Delta S$; в) $\Delta U = \Delta H - \Delta F$;

б) $\Delta U = \Delta H - p\Delta V$; г) $\Delta U = \Delta G - \Delta H$.

46. Функцией каких параметров является изохорно-изотермический потенциал?

а) T, S ; б) P, S ; в) P, T ; г) V, T .

47. Какое уравнение неверно определяет связь между характеристическими функциями?

а) $F = H - TS$; в) $G = F + pV$;

б) $F = U - TS$; г) $H = G + TS$.

48. Каково отношение между энергией Гиббса и энтальпией для данной термодинамической системы?

а) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$; в) $\Delta G = \Delta H + T\Delta S$;

б) $\Delta G = \Delta H - p\Delta V$; г) $\Delta G = \Delta H + \Delta U$.

49. При каких условиях осуществляются фазовые переходы веществ?

а) $T = \text{const}$; б) $V = \text{const}$; в) $T, P = \text{const}$; г) $T, V = \text{const}$.

50. Какая из формулировок представляет собой правило Труттона?

а) мольная теплота испарения при температуре кипения всегда является величиной отрицательной;

б) мольные теплоты испарения различных жидкостей равны между собой;

в) мольные теплоты испарения различных жидкостей равны 20-22 кал/моль;

г) мольные энтропии испарения различных жидкостей при нормальной температуре кипения при $P = 1$ атм. одинаковы и равны 88 Дж/моль град.

51. Определите, какое из предложенных уравнений пригодно для расчета зависимости изохорно-изотермического потенциала от температуры?

а) $W_p = Q_p + \left(\frac{\partial W}{\partial T}\right)_V$; в) $\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta F}{T\Delta V}$;

б) $-W_v = \Delta F = \Delta U + T \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial T}\right)_V$; г) $\Delta F = -RT \ln K_c$.

52. Фазовый переход системы, характеризующейся тем, что процесс парообразования происходит не только с поверхности, но и внутри

жидкости путем образования пузырьков пара при любой температуре, называется:

- а) возгонкой; в) испарением;
- б) сублимацией; г) кипением.

53. Фазовый переход системы, характеризующейся тем, что процесс парообразования происходит только с поверхности жидкости при $T = \text{const}$ $P \text{ пара} = P \text{ атм.}$, называется:

- а) возгонкой; в) испарением;
- б) сублимацией; г) кипением.

54. Фазовый переход системы, характеризующейся тем, что вещество из твердого состояния переходит в парообразное, минуя жидкое, называется:

- а) возгонкой; в) испарением;
- б) сублимацией; г) кипением.

55. Фазовый переход системы, характеризующейся тем, что вещество из парообразного состояния переходит в твердое, минуя жидкое, называется:

- а) возгонкой; в) испарением;
- б) сублимацией; г) кипением.

56. Фазовый переход системы, характеризующейся тем, что вещество из парообразного состояния переходит в жидкое, называется:

- а) конденсацией; б) сублимацией; в) испарением; г) кипением.

57. Чем примечательно уравнение Клаузиуса-Клапейрона:

$$\ln p = \frac{-Q}{RT} + \text{const} ?$$

- а) даёт возможность подсчитать тепловой эффект при любой температуре;
- б) даёт возможность подсчитать давление при любой температуре;
- в) является уравнение прямой;
- г) даёт возможность рассчитать температуру.

58. Укажите, какое из представленных уравнений представляет собой уравнение Клаузиуса-Клапейрона в дифференциальной форме?

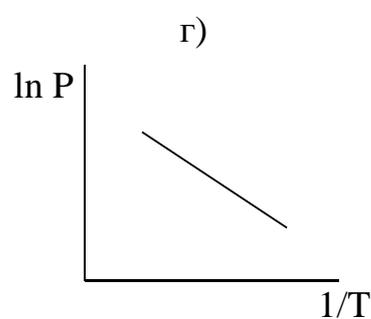
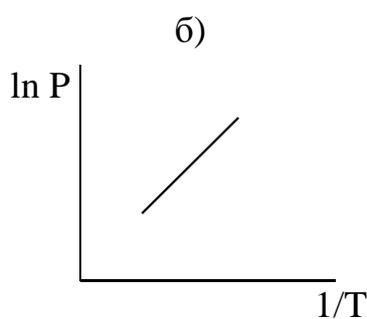
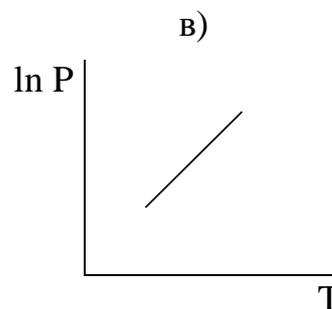
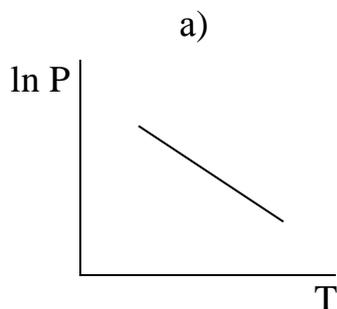
а) $\frac{dP}{P} = \frac{RT^2}{dT}$; б) $\Delta H = T \Delta V \frac{dP}{dT}$; в) $\frac{dP}{P} = \frac{\Delta H}{RT^2} dT$; г) $\frac{d \ln P}{P} = \frac{\Delta H}{RT^2} dT$.

59. Каким уравнением следует руководствоваться при выводе интегрального уравнения Клаузиуса – Клапейрона в развёрнутом виде?

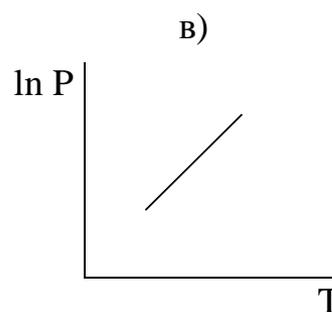
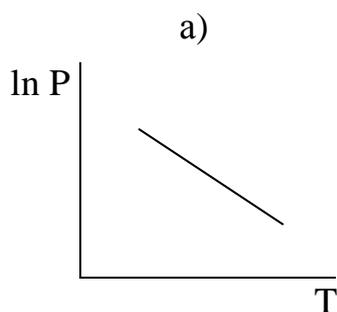
а) $\frac{dP}{dT} = \frac{Q}{T \Delta V}$; в) $C_p = \text{const}$;

б) $C_p = a + bT + cT^2 + c'T^{-2}$; г) $H_T = H_0 + \int C_p dT$.

60. Какой вид имеет зависимость $\ln P = -\frac{\Delta H}{RT} + const$ для экзотермических реакций?

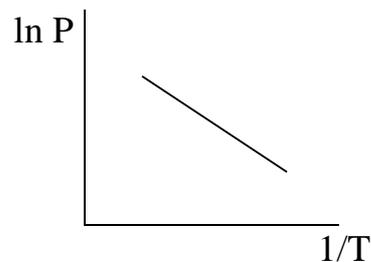
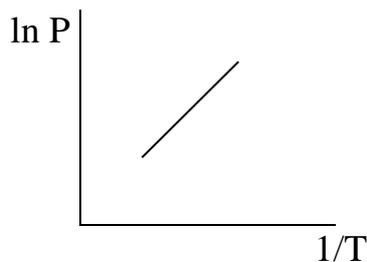


61. Какой вид имеет зависимость $\ln P = -\frac{\Delta H}{RT} + const$ для эндотермических реакций?



б)

г)



62. По какому из предложенных уравнений можно рассчитать изменение энтропии при диффузии газов?

а) $\Delta S = C_v (n_1 \ln \frac{V}{V_1} + n_2 \ln \frac{V}{V_2})$; в) $\Delta S = R (n_1 \ln \frac{V_1}{V} + n_2 \ln \frac{V_2}{V})$;

б) $\Delta S = -R (n_1 \ln \frac{V_1}{V} + n_2 \ln \frac{V_2}{V})$; г) $\Delta S = C_p (n_1 \ln \frac{V}{V_1} + n_2 \ln \frac{V}{V_2})$.

63. Каким образом изменяется энтропия в изолированной системе?

- а) убывает; в) остается постоянной;
 б) возрастает; г) возрастает при необратимых процессах.

64. Как изменяется энтропия при конденсации пара в открытой системе?

- а) уменьшается; в) остается постоянной величиной;
 б) увеличивается; г) $\Delta S = 0$.

65. Как изменяется энтропия при кипении воды в изолированной системе?

- а) увеличивается; в) не изменяется;
 б) уменьшается; г) стремится к максимуму.

66. Как изменится энтропия системы, в которой происходит необратимая кристаллизация вещества?

- а) увеличивается; б) уменьшается; в) остаётся неизменной;
 г) характер изменений зависит от природы вещества.

67. Как изменяется энтропия газообразного вещества при его конденсации?

- а) уменьшается; б) увеличивается; в) остается постоянной;
 г) изменение энтропии зависит от природы вещества.

68. Для каких систем изменение энтропии позволяет установить направление самопроизвольного процесса?

- а) для любых изотермических; в) для неравновесных;
 б) для равновесных; г) для изолированных.

69. Укажите, каким образом происходит изменение энтропии при плавлении кристаллического тела?

- а) увеличивается; б) уменьшается; в) остаётся постоянной;
г) характер изменения энтропии зависит от природы тела.

70. В каком соотношении находятся молярные энтропии трёх агрегатных состояний одного и того же вещества: газообразного, жидкого, твёрдого?

- а) $S_{\text{ТВ}} > S_{\text{Ж}} > S_{\text{ГАЗ}}$; в) $S_{\text{ГАЗ}} > S_{\text{Ж}} > S_{\text{ТВ}}$;
б) $S_{\text{Ж}} > S_{\text{ТВ}} > S_{\text{ГАЗ}}$; г) $S_{\text{ГАЗ}} < S_{\text{ТВ}} < S_{\text{Ж}}$.

71. Какое из предложенных уравнений является объединённым уравнением Гиббса-Гельмгольца?

- а) $\Delta F = \Delta U + T \cdot \left(\frac{\partial(\Delta F)}{\partial T} \right)_V$; в) $dF = dU - TdS - SdT$;
б) $\Delta F = P - T\Delta S$; г) $\Delta F = \Delta G - p\Delta V$.

72. Равновесная система состоит из 3-х фаз, каждая из которых имеет свой запас энтропии $S_{\text{ТВ}}$, $S_{\text{Ж}}$, $S_{\text{ГАЗ}}$. Как можно подсчитать изменение энтропии в целом?

- а) $S_{\text{ТВ}} + S_{\text{Ж}} + S_{\text{ГАЗ}} = S$; в) так как $S_{\text{ТВ}} \gg S_{\text{Ж}}$, т.е. $S = S_{\text{Ж}} + S_{\text{ГАЗ}}$;
б) $S = S_{\text{ТВ}} - S_{\text{Ж}} - S_{\text{ГАЗ}}$; г) $S = S_{\text{ГАЗ}} + S_{\text{Ж}} - S_{\text{ТВ}}$.

73. Каким образом будет изменяться энтропия, если при образовании правильного кристалла температура будет приближаться к нулю?

- а) $\Delta S \rightarrow 0$; в) будет увеличиваться;
б) $\Delta S = 0$; г) будет уменьшаться.

74. В изолированной системе установилось химическое равновесие самопроизвольно протекающей химической реакции с образованием определённого количества конечного продукта. Как изменилась энтропия в течение реакции и в момент установления равновесия?

- | | в течение реакции | в момент равновесия |
|----|-------------------|---------------------|
| а) | $\Delta S > 0$ | $\Delta S = 0$; |
| б) | $\Delta S = 0$ | $\Delta S > 0$; |
| в) | $\Delta S > 0$ | $\Delta S = \max$; |
| г) | $\Delta S < 0$ | $\Delta S = \min$. |

75. Каково условие самопроизвольного протекания процесса в открытом сосуде, где протекает реакция при постоянной температуре и давлении?

- а) $\Delta G > 0, \Delta S > 0$; в) $\Delta F > 0, \Delta S > 0$;
б) $\Delta G < 0, \Delta S > 0$; г) $\Delta F < 0, \Delta S > 0$.

76. Как изменяется энтропия вещества изолированной системы, в которой происходит обратимая (реакция) кристаллизация вещества?

- а) $\Delta S > 0$; б) $\Delta S < 0$; в) $\Delta S = 0$; г) $\Delta S \rightarrow 0$.

77. При каких постоянных термодинамических параметрах изменение энтальпии можно судить о направлении самопроизвольного процесса. Каким образом должна изменяться энтальпия в самопроизвольных процессах?

- а) $S, V = \text{const}, \Delta H > 0$; в) $S, V = \text{const}, \Delta H < 0$;
 б) $S, P = \text{const}, \Delta H > 0$; г) $S, P = \text{const}, \Delta H < 0$.

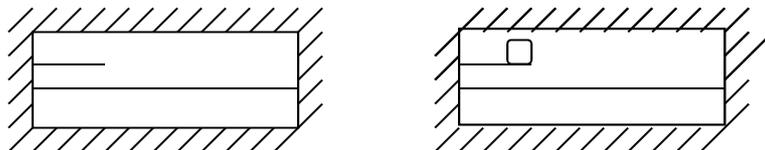
78. В изолированную систему помещают вещество, способное возгоняться, например: нафталин. Через определённое время всё вещество подвергается возгонке. Указать, как будет изменяться энтропия и внутренняя энергия системы?

- а) $\Delta S = 0, \Delta U = 0$; в) $\Delta S < 0, \Delta H < 0$;
 б) $\Delta S > 0, \Delta U > 0$; г) $\Delta S > 0, \Delta U = 0$.

79. При изотермическом расширении 2 моль вещества увеличивают свой объём от 2 до 6 м³, в другом опыте такое же количество этого вещества увеличивается в объёме от 50 до 150 м³. Укажите, в каком опыте энтропия будет изменяться на большую величину?

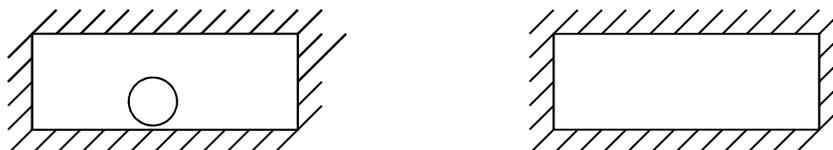
- а) в первом; б) во втором; в) энтропия изменяться не будет;
 г) в обоих опытах изменение энтропии будет одинаковым.

80. Дана изолированная система: на подставке располагается твёрдое вещество, внизу находится вода. Если твёрдое вещество стряхнуть с подставки, оно упадёт в воду и растворится. Как изменится полная энергия системы и энтропия?



- а) $\Delta S < 0, \Delta U < 0$; в) $\Delta S = 0, \Delta U > 0$;
 б) $\Delta S > 0, \Delta U = 0$; г) $\Delta S > 0, \Delta U > 0$.

81. В изолированную систему помещена ампула, содержащая немного жидкости. Определить изменение полной энергии и энтропии при условии, что эта ампула будет разбита и жидкость подвергнется испарению.



- а) $dU=0, dS=0$; в) $\Delta U=0, \Delta S>0$;
б) $\Delta U>0, \Delta S>0$; г) $\Delta U<0, \Delta S=0$.

82. Укажите, в каких условиях или в каких процессах изменение энтропии может быть равно работе процесса?
- а) в изотермических; б) в изохорических; в) в изобарических;
г) ни в каких процессах не выполняется равенство: $\Delta S = W$.
83. В одном случае при изобарическом нагревании 6 молей одноатомного газа в идеальном состоянии температура повысилась от T_1 до T_2 , а в другом – при изохорическом нагревании 10 молей того же газа в идеальном состоянии температура также повысилась от T_1 до T_2 . Укажите, в каком из этих процессов изменение энтропии будет большим?
- а) в первом; б) во втором; в) $\Delta S_1 = \Delta S_2$; г) $\Delta S = \text{const}$.
84. В изолированной системе протекает химическая реакция, характеризующаяся тем, что в результате её происходит уменьшение числа молей на три единицы. Все вещества находятся в газообразном состоянии. Определить, как изменится энтропия.
- а) энтропия будет неизменной;
б) энтропия будет уменьшаться;
в) энтропия будет возрастать;
г) энтропия в изолированной системе равна нулю.
85. При изохорном нагревании 5 молей одноатомного газа в идеальном состоянии температура повысилась от T_1 до T_2 . В другом случае такое же повышение температуры было достигнуто при изобарическом нагревании того же количества газа. Укажите, в каком из этих процессов изменение энтропии будет больше?
- а) в первом;
б) во втором;
в) энтропия в обоих случаях будет иметь одно и то же значение.
86. В стакан помещается вода. Система изолируется. Определите, как изменится энтропия этой системы через два дня?
- а) увеличится; б) уменьшится; в) не изменится;
г) сначала возрастет, затем останется постоянной.
87. В изолированной системе протекает химическая реакция, характеризующаяся тем, что в результате её происходит увеличение числа молей на три единицы. Все вещества находятся в газообразном состоянии. Определите, как изменится энтропия?

- а) энтропия будет неизменной; в) энтропия будет возрастать;
 б) энтропия будет уменьшаться; г) энтропия равна нулю.

88. Изолированная система состоит из двух равных объёмов. В одном из них находится газ, в другом вакуум. Если разбить перегородку, отделяющую один отсек от другого, то газ равномерно распределится по всему объёму. Как изменится энтропия при диффузии газа в такой системе?



- а) возрастет; б) уменьшится; в) останется неизменной.

89. Вещество, находящееся в твердом состоянии, нагревают до полного парообразования. Сколько слагаемых будет иметь энтропия этого процесса?

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

90. Какое из приведённых уравнений определяет правило Трюттона?

а) $\Delta S = C_p \frac{dT}{T}$; в) $\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$;

б) $\Delta S = \frac{Q_{исп}}{T_{исп}}$; г) $\Delta S = C_v \ln \frac{P_2}{P_1}$.

91. Для какого процесса пригодно уравнение: $\Delta S = -R \ln \frac{P_2}{P_1}$?

- а) $T = \text{const}$; б) $P = \text{const}$; в) $V = \text{const}$; г) $P, T = \text{const}$.

92. Какое уравнение позволяет рассчитать изменение энтропии для любого процесса?

а) $\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$; в) $\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T}$;

б) $\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$; г) $\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$.

93. Мерой какого качества системы является энтропия?

- а) способности совершать работу; в) неупорядоченности системы;
 б) способности принимать теплоту; г) упорядоченности системы.

94. Для какого процесса пригодно уравнение для расчета изменения энтропии

$$\Delta S = R \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} ?$$

- а) для изотермического; в) для изобарического;
 б) для изохорического; г) для адиабатического.

95. Какая из формул выражает изменение энтропии молей идеального газа при изотермическом расширении?

а) $\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \frac{dT}{T}$; в) $\Delta S = n R \ln \frac{V_2}{V_1}$;

б) $\Delta S = 0$; г) $\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_V \frac{dT}{T}$.

96. Как изменится энтропия вещества при его нагревании при постоянном объёме?

- а) увеличится; б) уменьшится; в) не изменится;
г) характер изменения зависит от природы процесса.

97. Выберите из приведённых ниже формул ту, которая даёт изменение энтропии при изобарном нагревании вещества:

а) $\Delta S = \ln \frac{T_2}{T_1}$; в) $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P dT$;

б) $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \frac{dT}{T}$; г) $\Delta S_{T_2} = \Delta S_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \frac{dT}{T}$.

98. Укажите, какое из предложенных уравнений является пригодным для расчёта стандартного изменения энтропии при температуре T , если известна его величина для стандартных условий?

а) $\Delta S_T = \int_{298}^T \Delta C_V \frac{dT}{T}$; в) $\Delta S_T = \Delta S_{298}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \frac{dT}{T}$;

б) $\Delta S_T = \int_{298}^T \Delta C_P \frac{dT}{T}$; г) $\Delta S_T = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_V \frac{dT}{T}$.

99. По какой из приведенных формул можно определить изменение энтропии при изобарном нагревании 1 моль вещества?

а) $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P dT$; в) $\Delta S_T = \frac{q}{T}$;

б) $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \frac{dT}{T}$; г) $\Delta S_{T_2} = \Delta S_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_P \frac{dT}{T}$.

100. По какой из формул определяется изменение энтропии при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое?

а) $\Delta S = C_V \ln \frac{P_1}{P_2}$; в) $\Delta S = \frac{Q}{T}$;

$$\text{б) } \Delta S = \ln C_p \frac{dT}{T}; \quad \text{г) } \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2.$$

101. Какая зависимость существует между термодинамической вероятностью и энтропией?

а) $\Delta S = R \ln W$; б) $\Delta S \approx W$; в) $\Delta S = R \cdot T \cdot \ln W$; г) $\Delta S = R \cdot \lg W$.

2.3. Многовариантные задачи

Задача № 19. Идеальная машина, работающая в интервале температур от T_1 до T_2 , дает W кДж работы за цикл. Какое количество теплоты сообщается машине и отдается теплоприемнику за этот цикл?

Таблица 19

№ вар.	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$W, \text{кДж}$	№ вар.	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$W, \text{кДж}$
1	200	30	54,25	14	340	51	80,85
2	210	31,5	56,15	15	400	60	92,25
3	430	64,5	97,95	16	220	33	58,05
4	380	57	88,45	17	440	66	99,85
5	240	36	61,85	18	450	67,5	101,75
6	360	54	84,65	19	250	37,5	63,75
7	260	39	65,65	20	370	55,5	86,55
8	270	40,5	67,55	21	310	46,5	75,15
9	410	61,5	94,15	22	390	58,5	90,35
10	290	43,5	71,35	23	420	63	96,05
11	300	45	73,25	24	280	42	69,45
12	350	52,5	82,75	25	230	34,5	59,95
13	320	48	77,05				

Задача № 20. В результате осуществления кругового процесса тепловой машине было сообщено Q_1 кДж тепла. При этом вода, нагретая до T $^\circ\text{C}$, совершила работу, равную W кДж. Вычислите теплоту, отданную теплоприемнику, КПД тепловой машины и конечную температуру.

Таблица 20

№ вар.	$T, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{кДж}$	$W, \text{кДж}$	№ вар.	$T, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{кДж}$	$W, \text{кДж}$
1	100	8374	6615,46	14	94	8574	6773,46
2	99	8399	6635,21	15	95	8499	6714,21
3	92	8874	7010,46	16	93	8849	6990,71
4	97	8449	6674,71	17	97	8649	6832,71
5	96	8474	6694,46	18	94	8824	6970,96
6	97	8749	6911,71	19	98	8424	6654,96
7	94	8524	6733,96	20	98	8674	6852,46

8	93	8549	6753,71	21	99	8699	6872,21
9	91	8899	7030,21	22	98	8724	6891,96
10	95	8599	6793,21	23	92	8949	7069,71
11	96	8624	6812,96	24	93	8974	7089,46
12	96	8774	6931,46	25	90	8924	7049,96
13	95	8799	6951,21				

Задача № 21. В результате сжатия m кг газа при температуре T давление увеличилось в n раз. Вычислите изменение энергии Гельмгольца, считая газ идеальным.

Таблица 21

№ варианта	Газ	T , °C	m , кг	n
1	O ₂	250	20	50
2	CO ₂	450	34	25
3	CO	350	36	200
4	H ₂	200	18	100
5	O ₂	450	42	80
6	H ₃	500	26	90
7	O ₂	200	42	10
8	N ₂	350	24	10
9	O ₃	300	46	20
10	H ₂ O	400	38	30
11	CO	400	29	100
12	O ₂	250	34	40
13	CO ₂	350	56	50
14	CO	450	67	60
15	O ₂	300	42	70
16	H ₂	350	56	80
17	CH ₄	200	86	90
18	O ₂	250	64	100
19	O ₃	350	56	120
20	CO	200	48	60
21	N ₂	300	36	80

22	CO	350	42	100
23	CO ₂	250	21	50
24	O ₂	400	32	70
25	H ₂	350	29	90

Задача № 22. Найти изменение энтропии m грамм газа при изотермическом сжатии газа от V_1 до V_2 , считая газ идеальным.

Таблица 22

№ варианта	вещество	m , г	V_1 , л	V_2 , л
1	SO ₃	60	30	12
2	CO ₂	150	80	10
3	N ₂	200	80	20
4	SO ₃	75	40	18
5	H ₂	120	25	10
6	N ₂	150	70	17
7	H ₂	200	40	15
8	SO ₂	120	35	15
9	CO	50	50	12
10	N ₂	100	10	25
11	CO	80	30	15
12	CO ₂	250	100	10
13	O ₂	150	60	26
14	N ₂	250	100	25
15	CO	100	50	10
16	CO ₂	100	100	50
17	H ₂	160	40	22
18	SO ₂	240	80	10
19	O ₂	180	80	10
20	H ₂	240	80	10
21	O ₂	120	25	5
22	SO ₂	320	120	20

23	CO	120	80	18
24	CO ₂	300	50	15
25	SO ₃	150	80	15

Задача № 23. Чему равно изменение энтропии m грамм газа при переходе от стандартных условий к температуре T и объему V . Газ считать идеальным.

Таблица 23

№ варианта	Вещество	m , г	T , °C	V , л
1	H ₂	75	160	50
2	O ₂	60	250	40
3	SO ₂	45	480	50
4	CO	20	570	50
5	CO ₂	150	350	80
6	SO ₃	125	420	70
7	N ₂	110	540	60
8	CO	140	620	50
9	CO ₂	120	520	70
10	O ₂	110	760	80
11	N ₂	90	840	50
12	CO	80	970	40
13	CO ₂	100	420	40
14	H ₂	75	520	50
15	SO ₂	50	740	60
16	O ₂	25	850	70
17	H ₂	140	620	60
18	N ₂	120	750	70
19	H ₂	80	800	50
20	SO ₂	90	560	90
21	SO ₃	70	670	70
22	CO ₂	50	780	50

23	N ₂	100	650	80
24	SO ₃	80	870	70
25	H ₂	60	950	60

Задача № 24. Найти изменение энтропии m грамм газа при его переходе от стандартного состояния к температуре T и давлению P . Газ считать идеальным.

Таблица 24

№ варианта	Вещество	$m, \text{г}$	$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм}$
1	H ₂	100	100	3
2	SO ₂	90	250	4
3	O ₂	60	300	5
4	H ₂	50	560	6
5	N ₂	80	220	3
6	H ₂	70	340	4
7	SO ₂	60	450	5
8	SO ₃	50	670	6
9	CO ₂	90	350	3
10	N ₂	70	460	4
11	SO ₃	50	570	5
12	H ₂	90	680	6
13	H ₂	70	540	3
14	O ₂	50	650	4
15	SO ₂	30	760	5
16	CO	100	420	3
17	CO ₂	80	550	4
18	SO ₃	60	640	5
19	N ₂	100	750	6
20	CO	80	650	3
21	CO ₂	60	740	4
22	O ₂	40	850	5

23	N ₂	100	650	3
24	CO	90	760	4
25	CO ₂	80	840	5

Задача № 25. Определить изменение энтропии m грамм газа при нагревании его от 298 К до 1000 К.

Таблица 25

№вар.	Вещество	m, кг	№вар.	Вещество	m, кг
1	CO ₂	3,9	14	SO ₂	5,2
2	O ₂	5,6	15	H ₂	15
3	N ₂	10	16	SO ₂	3,5
4	CO	15	17	O ₂	5,8
5	CO ₂	12	18	H ₂	8,6
6	O ₂	5,7	19	N ₂	9,1
7	SO ₂	12	20	H ₂	12
8	H ₂	4,5	21	SO ₂	3,8
9	SO ₂	8,6	22	SO ₃	5,6
10	O ₂	12	23	CO ₂	8,2
11	H ₂	6,3	24	N ₂	12
12	N ₂	6,9	25	SO ₃	15
13	H ₂	9			

Задача № 26. Определите изменение энтропии при нагревании m грамм газа от 300 °С до 800 °С при $C_p = \text{const}$

Таблица 26

№вар.	Газ	m, г	№вар.	Газ	m, г
1	N ₂	600	14	SO ₂	300
2	Cl ₂	800	15	N ₂	500
3	SO ₂	800	16	SO ₂	500
4	O ₂	600	17	NH ₃	400
5	NH ₃	500	18	CO ₂	800
6	N ₂	400	19	O ₂	500
7	CO ₂	600	20	CO ₂	900
8	Cl ₂	700	21	N ₂	700
9	N ₂	300	22	NH ₃	800
10	O ₂	800	23	O ₂	400
11	CO ₂	700	24	Cl ₂	500
12	Cl ₂	600	25	N ₂	800

13	CO	300			
----	----	-----	--	--	--

Задача № 27. Найдите изменение энтропии при нагревании m массы вещества, находящегося при стандартных условиях, до температуры T , если известны температура и удельная теплота плавления.

Таблица 27

№ варианта	Вещество	$m, \text{ г}$	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{\text{пл}}, \text{ Дж/моль}$	$C_p(\text{тв})$	$C_p(\text{ж})$
						$\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$	
1	Cu	200	1356	1573	209	31,4	31,4
2	Al	900	933	1173	387	32,3	39,3
3	Fe	1800	1812	1973	272	42,0	44,1
4	Mn	400	1523	1673	267	47,4	46,1
5	Cu	1200	1356	1423	209	31,4	31,4
6	Al	500	933	1073	387	32,3	39,3
7	Fe	1800	1812	1823	272	42,0	44,1
8	Mg	700	923	1123	343	32,9	32,7
9	Fe	1500	1812	1873	272	42,0	44,1
10	Cu	1500	1356	1356	209	31,4	31,4
11	Al	1500	933	1023	387	32,3	39,3
12	Cu	500	1356	1373	209	31,4	31,4
13	Mg	600	923	1173	343	32,9	32,7
14	Ni	500	1234	1423	104	38,0	38,6
15	Bi	300	1336	1373	65	28,5	31,8
16	Mg	1000	923	1023	343	32,9	32,7
17	Bi	500	1336	1423	65	28,5	31,8
18	Al	400	1234	1473	104	32,3	29,3
19	Cu	900	1356	1473	209	31,4	31,4
20	Bi	1200	1336	1523	65	28,5	31,8
21	Al	200	1234	1573	104	32,3	29,3
22	Mn	700	1523	1623	267	47,4	46,1
23	Ni	1300	1234	1273	104	38,0	38,6
24	Bi	900	1336	1473	65	28,5	31,8
25	Mn	1000	1523	1573	267	47,4	46,1

Задача № 28. Определите изменение энтропии реакции при указанной температуре, считая, что C_p является постоянной величиной.

Таблица 28

№ вар.	реакция	T, °C	№ вар.	реакция	T, °C
1	$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	950	14	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	750
2	$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	850	15	$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$	380
3	$\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$	650	16	$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$	450
4	$\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$	750	17	$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$	650
5	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$	560	18	$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$	760
6	$\text{CS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{S}_2$	670	19	$\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$	750
7	$\text{MgO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Mg} + \text{H}_2\text{O}$	850	20	$\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$	870
8	$\text{MgO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Mg} + \text{H}_2\text{O}$	940	21	$\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$	760
9	$\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	750	22	$\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$	860
10	$\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	870	23	$\text{CaO} + \text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO}$	670
11	$\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	670	24	$2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{Fe} + \text{SiO}_2$	950
12	$\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	580	25	$\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$	970
13	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	680			

Задача № 29. Вычислить изменение энергии Гиббса для данной реакции при температуре ТК, считая, что теплоёмкость не зависит от температуры. Возможна ли реакция принципиально в данных условиях?

Таблица 29

№ варианта	Реакция	T, К
1	$\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2$	550
2	$\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$	500
3	$\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$	500
4	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	600
5	$2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$	700
6	$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	650
7	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	400
8	$\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2$	350
9	$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	400
10	$\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2$	450

11	$\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$	400
12	$2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$	450
13	$\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2$	400
14	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	500
15	$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	450
16	$\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$	400
17	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	450
18	$\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$	400
19	$2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$	800
20	$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	850
21	$\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$	450
22	$\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$	400
23	$\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2$	450
24	$2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$	400
25	$\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$	450

Задача № 30. Найти изменение энтропии при нагревании m (кг) вещества от T_1 до T_2 , если известны теплоты кипения и плавления, температуры плавления и кипения, а также средние теплоемкости веществ.

Таблица 30

№ Вар	Вещество	m, кг	T_1 , К	T_2 , К	Плавление		Кипение		Уд. теплоемкость Дж/кг·град		
					$T_{пл}$, К	$\Delta H_{пл} \cdot 10^{-6}$ Дж/к·моль	$T_{кип}$, К	$\Delta H_{кип} \cdot 10^{-6}$ Дж/к·моль	твердые $C_p \cdot 10^{-3}$	жидкие $C_p \cdot 10^{-3}$	газ $C_p \cdot 10^{-3}$
1	HCOOH	30	250	420	281,5	12,687	373,7	23,112	1,620	2,135	1,058
2	CH ₃ OH	35	150	420	175,3	3,170	337,9	35,296	0,060	2,512	1,371
3	(CH ₃) ₂ CO	30	160	360	178,6	5,719	329,2	31,886	2,261	2,177	1,129
4	Br ₂	40	200	400	265,9	10,551	332,2	30,733	0,674	0,461	0,225
5	H ₂ O	50	220	400	273,2	6,133	373,2	45,069	1,570	4,178	1,919
6	C ₁₀ H ₈	60	300	560	353,5	19,302	491,2	43,541	1,612	2,094	1,023
7	CCl ₄	30	230	380	250,3	2,512	349,9	30,021	0,931	0,816	0,543
8	(C ₂ H ₅) ₂ O	40	130	360	156,9	7,537	309,2	26,713	1,256	2,215	1,934
9	Br ₂	50	210	410	268,9	10,551	332,2	30,733	0,674	0,461	0,225
10	C ₁₀ H ₈	100	260	570	353,5	19,302	491,2	43,541	1,612	2,094	1,023
11	HCOOH	40	240	440	281,5	12,687	373,7	23,112	1,620	2,135	1,058

Таблица 30 (продолжение)

№ Вар	Вещество	m, кг	T ₁ , К	T ₂ , К	Плавление		Кипение		Уд. теплоемкость Дж/кг·град		
					T _{пл} , К	$\Delta H_{пл} \cdot 10^{-6}$ Дж/к·моль	T _{кип} , К	$\Delta H_{кип} \cdot 10^{-6}$ Дж/к·моль	твердые C _p ·10 ⁻³	жидкие C _p ·10 ⁻³	газ C _p ·10 ⁻³
12	H ₂ O	100	250	400	273,2	6,138	373,2	45,069	1,570	4,187	1,919
13	Hg	100	210	690	231,3	2,332	620,2	63,642	0,137	0,139	0,109
14	(CH ₃) ₂ CO	50	150	400	178,6	5,719	329,2	31,886	2,261	2,177	1,129
15	CH ₃ OH	50	140	430	175,3	3,170	337,9	35,296	0,060	2,512	1,371
16	C ₆ H ₁₂	50	250	400	279,7	2,679	354,2	30,733	1,050	1,842	1,233
17	C ₆ H ₅ CH ₃	100	150	400	178,2	6,624	383,8	33,538	0,921	1,884	1,281
18	C ₅ H ₁₂	60	120	330	143,5	8,421	309,3	25,813	2,388	2,261	1,667
19	C ₆ H ₅ CH ₃	100	150	440	178,2	6,624	383,8	33,538	0,921	1,884	1,281
20	C ₆ H ₁₄	50	150	350	177,8	13,038	341,9	28,890	2,564	2,248	1,162
21	C ₅ H ₁₂	100	100	350	143,5	8,421	309,3	25,813	2,388	2,261	1,669
22	CHCl ₃	60	200	350	209,7	9,211	334,4	29,323	1,018	0,963	0,545
23	Br ₂	100	220	400	265,9	10,551	332,2	30,733	0,674	0,461	0,225
24	H ₂ O	200	250	450	273,2	6,133	373,2	45,069	1,570	4,187	1,919
25	C ₆ H ₁₄	80	140	400	177,8	13,038	341,9	28,890	2,564	2,248	1,162

Задача № 31. Можно ли восстановить элементом А оксид элемента В, если известны изменения энергии Гиббса для реакций образования оксидов этих элементов? Объясните.

Таблица 31

№ вар.	Элемент А	Элемент В	Оксид A_nO_m	Оксид B_xO_y	$\Delta G^\circ_{\text{обр}} A_nO_m$	$\Delta G^\circ_{\text{обр}} B_xO_y$
1	Mn	Fe	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	-466	-836
2	Al	Fe	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	-1670	-836
3	Mg	Fe	MgO	Fe ₂ O ₃	-570	-836
4	Ca	Al	CaO	Al ₂ O ₃	-604	-1670
5	Si	Ca	SiO ₂	CaO	-805	-604
6	Al	Si	Al ₂ O ₃	SiO ₂	-1670	-805
7	Ca	Mg	CaO	MgO	-604	-570
8	C	Fe	CO	FeO	-137	-244
9	Al	Mg	Al ₂ O ₃	MgO	-1670	-570
10	Fe	Si	FeO	SiO ₂	-244	-805
11	C	Fe	CO ₂	Fe ₃ O ₄	-396	-1015
12	Mg	Si	MgO	SiO ₂	-570	-805
13	Si	Al	SiO ₂	Al ₂ O ₃	-805	-1670
14	C	Cu	CO	Cu ₂ O	-137	-146
15	Ca	Si	CaO	SiO ₂	-604	-805
16	C	Fe	CO ₂	Fe ₂ O ₃	-396	-836
17	Al	Fe	Al ₂ O ₃	FeO	-1670	-244
18	C	Mg	CO	MgO	-137	-570
19	Mn	Si	MnO	SiO ₂	-363	-805
20	C	Mn	CO	MnO ₂	-137	-836
21	Si	Mg	SiO ₂	MgO	-805	-570
22	Al	Fe	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	-1670	-1015
23	C	Cu	CO	CuO	-137	-127
24	Si	Fe	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	-805	-836
25	C	Mn	CO	MnO	-137	-805

Задача № 32. Определить изменение энергии Гиббса для процесса сжатия m г газа при температуре T от P_1 до P_2 .

Таблица 32

№ вар.	Газ	m, г	T, °C	P ₁ , атм.	P ₂ , атм.
1	H ₂	250	480	0,50	2,0
2	O ₂	400	850	1,00	2,5
3	O ₂	460	750	0,25	3,5
4	CO	700	500	1,50	3,0
5	CO ₂	120	125	0,75	2,5
6	O ₂	800	250	0,50	3,0
7	O ₂	110	100	0,75	3,0
8	H ₂	870	950	0,25	2,5
9	H ₂	320	120	1,00	3,5
10	O ₂	210	140	0,50	4,0
11	O ₂	150	750	1,00	3,5
12	H ₂	850	110	0,50	2,5
13	H ₂ O	750	125	0,75	4,0
14	H ₂ O	250	850	0,25	2,5
15	CH ₄	120	950	0,60	3,2
16	C ₂ H ₄	800	750	0,50	5,5
17	C ₂	400	110	0,75	4,0
18	H ₃	900	150	0,25	2,5
19	CO ₂	600	750	0,25	2,5
20	O ₂	105	700	1,00	3,5
21	H ₂ O	150	150	0,50	4,0
22	CO	350	750	0,50	3,5
23	O ₂	360	560	1,00	2,5
24	H ₂	320	650	0,50	3,0
25	O ₂	480	750	0,75	2,5

Задача № 33. Вычислите изменение энтропии при смешении V_A газа А и V_B газа В при температуре T и давлении P.

Таблица 33

№ вар.	Газ А	$V_A, \text{ м}^3$	Газ В	$V_B, \text{ м}^3$	Т, К	Р, Н/м ²
1	Cl ₂	5	N ₂	7	250	150662
2	O ₂	6	N ₂	3	300	150662
3	H ₂	6	N ₂	9	400	136000
4	He	7	O ₂	8	300	101325
5	Ar	8	O ₂	3	320	156800
6	H ₂	1	N ₂	2	310	101325
7	H ₂ O	2	O ₂	6	380	120200
8	He	7	CO ₂	8	400	101325
9	He	4	H ₂	5	350	103975
10	CH ₄	7	C ₂ H ₆	9	300	108015
11	N ₂	7	Cl ₂	9	300	172515
12	N ₂	4	H ₂ O	7	380	101325
13	O ₂	6	N ₂	8	330	150663
14	O ₂	8	H ₂	9	350	122300
15	Ar	8	O ₂	6	340	101325
16	CO ₂	7	CO	8	300	120315
17	Cl ₂	6	Ar	4	400	101325
18	N ₂	8	CO	6	400	101325
19	CO	8	Cl ₂	8	300	101325
20	CO	9	CO ₂	6	400	140300
21	H ₂	8	O ₂	8	300	101325
22	H ₂	8	O ₂	6	400	150330
23	Cl ₂	4	Ar	9	500	101325
24	N ₂	6	H ₂	9	300	101325
25	O ₂	9	H ₂	5	300	101325

Задача № 34. Определите изменение энтропии химической реакции при температуре Т, пользуясь справочными данными зависимости теплоемкости от температуры.

Таблица 34

№ вари	Реакция	Т, К
1	$\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$	1000
2	$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$	900
3	$\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_2$	1200
4	$2\text{Ca} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CaO}$	800
5	$\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	900
6	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$	700
7	$2\text{Al} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{AlCl}_3$	80
8	$2\text{CO} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{S}_{\text{помб}} + 2\text{CO}_2$	1000
9	$4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$	800
10	$2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2$	1400
11	$\text{S}_{\text{помб}} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_2 + 2\text{H}_2$	600
12	$2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$	500
13	$\text{S}_{\text{помб}} + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + 2\text{CO}$	600
14	$\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{COS}$	800
15	$2\text{Ca} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CaO}$	1000
16	$\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	800
17	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$	900
18	$2\text{Al} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{AlCl}_3$	500
19	$2\text{K} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{KCl}$	800
20	$4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$	400
21	$2\text{K} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{KCl}$	500
22	$\text{BaCO}_3 \rightarrow \text{BaO} + \text{CO}_2$	800
23	$\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	1300
24	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$	1000
25	$2\text{Al} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{AlCl}_3$	800

Содержание

		Стр.
1	Первый закон термодинамики	3
1.1	Теоретические основы первого закона термодинамики	3
1.1.1	Применение первого закона термодинамики к процессам идеальных газов	3
1.1.2	Теплоёмкость. Зависимость теплоёмкости от температуры	7
1.1.3	Закон Гесса	9
1.1.4	Зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры	11
1.2	Тесты	12
1.3	Многовариантные задачи	26
2	Второй закон термодинамики	43
2.1	Теоретические основы второго закона термодинамики	43
2.2	Тесты	48
2.3	Многовариантные задачи	64
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	79

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 1**

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2023 г. Поз. № 38.

Подписано к использованию 20.07.2023. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 5,0.

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

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