

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра  
электронной техники и технологии

Ясюкевич Л.В., Бычек И.В., Позняк А.А.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНАМ «ХИМИЯ» И «ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»

по теме

## **ТЕРМОДИНАМИКА**

для студентов специальностей

1-36 04 01 Программно-управляемые электронно-оптические системы

1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование РЭС,

1-39 02 02 Проектирование и производство программно-управляемых  
электронных средств

1-39 02 03 Медицинская электроника,

1-39 03 01 Электронные системы безопасности,

1-39 03 03 Электронные и информационно-управляющие системы физических  
установок,

1-41 01 02 Микро- и нанoeлектронные технологии и системы,

1-41 01 03 Квантовые информационные системы,

1-41 01 04 Нанотехнологии и наноматериалы в электронике

всех форм обучения

С УЧЕТОМ УРОВНЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Минск 2019

© Ясюкевич Л.В., Бычек И.В., Позняк А.А., 2019  
© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Теоретическая часть.....	5
1.1 Первый закон термодинамики. Тепловые эффекты физико-химических процессов .....	5
1.2 Второй закон термодинамики. Энтропия системы и ее изменение при протекании физико-химических процессов .....	8
1.3 Изобарно-изотермический потенциал или свободная энергия Гиббса. Определение направленности протекания процессов .....	10
2 Примеры решения типовых задач.....	15
3 Тесты для самоконтроля.....	23
3.1 Варианты тестовых заданий 1-го уровня сложности.....	23
3.2 Варианты тестовых заданий 2-го уровня сложности.....	35
4 Индивидуальные задания .....	52
4.1 Варианты индивидуальных заданий 1-го уровня сложности .....	52
4.2 Варианты индивидуальных заданий 2-го уровня сложности .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

Методическое пособие включает задачи индивидуального домашнего задания с учётом уровневой дифференциации обучения студентов по дисциплинам «Химия» и «Физическая химия». Предназначено для совершенствования и активизации учебного процесса и самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины.

В пособии активируется и закрепляется лекционный материал. Каждый тематический раздел пособия содержит краткое теоретическое вступление. Мы считаем излишним подробное изложение теории каждой конкретной темы, поскольку теоретический материал студенты изучают по конспекту лекций и учебным пособиям, в которых он изложен полнее. С целью управления самостоятельной работой студентов используется система обучающих задач. Приведённые решения типовых задач помогут студентам освоить алгоритмы решения, а также будут способствовать развитию их логического мышления. Задачи индивидуального домашнего задания имеют два уровня сложности, что позволит студентам с различным уровнем базовой подготовки самостоятельно выстроить индивидуальную образовательную траекторию.

Методическое пособие будет способствовать дифференцированной поддержке условий и возможностей для адаптации обучающихся к вузовскому курсу дисциплины, что соответствует требованиям системы менеджмента качества подготовки специалистов в высшей школе.

# 1 Теоретическая часть

## 1.1 Первый закон термодинамики.

### Тепловые эффекты физико-химических процессов

Протекание физико-химических процессов сопровождается, как правило, изменением внутренней энергии.

**Внутренняя энергия (U)** включает общий запас энергии системы, который складывается из кинетической и потенциальной энергии всех частиц, составляющих систему. Абсолютное значение внутренней энергии определить не представляется возможным, но можно вычислить ее изменение ( $\Delta U$ ) при переходе системы из состояния 1 ( $U_1$ ) в состояние 2 ( $U_2$ ):  $\Delta U = U_2 - U_1$ . При этом  $\Delta U$  не зависит от пути и способа перехода, т. е. является функцией состояния. Изменение внутренней энергии может осуществляться как в виде теплоты, так и в виде работы.

**Теплота (Q)** — мера передачи энергии от более нагретого тела к менее нагретому за счет разности температур. **Работа (A)** — мера передачи энергии за счет перемещения масс под действием каких-либо сил. Теплота и работа зависят от способа проведения процесса, следовательно, не являются функциями состояния.

Внутреннюю энергию, теплоту и работу выражают в джоулях (Дж), килоджоулях (кДж).

Взаимосвязь между внутренней энергией, теплотой и работой устанавливается **первым законом термодинамики: подводимая к системе теплота расходуется на изменение внутренней энергии ( $\Delta U$ ) и на совершение системой работы ( $A'_{\max} + P \Delta V$ ).**

$$Q = \Delta U + A'_{\max} + P \Delta V, \quad (1)$$

где  $P \Delta V$  — работа против сил внешнего давления;

$A'_{\max}$  — максимально полезная работа, которую может совершить система при протекании в ней самопроизвольных процессов.

Для химических взаимодействий наиболее характерна работа против внешнего давления, тогда выражение (1) можно записать в виде

$$Q = \Delta U + P \Delta V. \quad (2)$$

**Тепловым эффектом** называется теплота, выделяемая или поглощаемая при протекании физико-химических процессов, при условии, что процесс протекает необратимо при постоянном объеме или давлении и единственным видом работы является работа против внешнего давления.

Соотношение (2) позволяет определять тепловые эффекты различных процессов: при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ) он равен изменению **внутренней энергии** ( $\Delta U$ )

$$Q_V = \Delta U, \quad (3)$$

при постоянном давлении ( $P = \text{const}$ ) — изменению **энтальпии** ( $\Delta H$ )

$$Q_P = \Delta H, \quad (4)$$

где  $\Delta H = \Delta U + P \Delta V$ .

**Энтальпия (H)** — **теплосодержание или полная энергия расширенной системы** — является функцией состояния, имеет размерность энергии, отнесенной к 1 молю вещества (Дж/моль; кДж/моль).

В термохимии для определения тепловых эффектов пользуются символами  $Q_V$ ,  $Q_P$ , в термодинамике —  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ . Их численные значения равны, но противоположны по знаку.

Процессы, протекающие с выделением теплоты, называются **экзотермическими**  $\Delta U$  ( $\Delta H$ )  $< 0$ , а с поглощением — **эндотермическими**  $\Delta U$  ( $\Delta H$ )  $> 0$ .

Для **конденсированных** систем (жидкое и твердое состояние) изменение объема невелико, следовательно,  $\Delta H \approx \Delta U$ ; для **газообразных** систем

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n RT, \quad (5)$$

где  $\Delta n$  — изменение числа молей газообразных веществ, участвующих в данном процессе, то есть  $\Delta n = \sum n'_{\text{прод}} - \sum n''_{\text{исх}}$ ;

$R$  — газовая постоянная, 8,314 Дж/моль·К;

$T$  — температура протекания процесса, К.

Например, для реакции  $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} = 2NH_{3(g)}$   $\Delta n = 2 - (1 + 3) = -2$  (моль). Если в реакции наряду с газами участвуют также твердые или жидкие вещества, при вычислении  $\Delta n$  в уравнении необходимо учитывать изменение числа молей только для газообразных веществ. Так, для реакции  $C_{(т)} + CO_{(г)} = 2CO_{(г)}$   $\Delta n = n'_{CO} - n''_{CO_2} = 2 - 1 = 1$  (моль).

Так как тепловой эффект зависит от агрегатного и фазового состояний, то в термодинамических уравнениях используются буквенные индексы данных состояний: кристаллического (кр), жидкого (ж) и газообразного (г).

Для того чтобы можно было сравнивать энергетические эффекты различных процессов, термохимические расчеты относят к условиям, принятым за стандартные: давлению 101,325 кПа (1 атм.) и температуре 298,15 К (25 °С), а также используют понятие стандартной энтальпии (теплоты) образования.

**Стандартной энтальпией (теплотой) образования** соединения называется

изменение энтальпии (тепловой эффект) реакции образования 1 моль этого соединения при  $P = 101$  кПа и  $T = 298$  К из простых веществ, находящихся в стандартном состоянии. Данная величина обозначается  $\Delta H_{f,298}^0$  и выражается в кДж/моль. Верхний индекс “0” означает стандартное состояние, нижние — температуру (298 К), f — от англ. formation (образование). За стандартное состояние принимают агрегатные состояния и модификации чистых веществ, которые являются наиболее устойчивыми при стандартных условиях. Например, стандартная энтальпия образования газообразного  $\text{CO}_2$   $\Delta H_{f,298}^0 = -396$  кДж/моль представляет собой изменение энтальпии реакции  $\text{C}_{(\text{графит})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightarrow \text{CO}_{2(\text{г})}$ , протекающей при  $P = 101$  кПа и  $T = 298$  К. Энтальпии образования простых веществ в стандартном состоянии принимаются равными нулю, т. е.  $\Delta H_{f,298}^0 (\text{C}_{(\text{графит})}) = 0$ ;  $\Delta H_{f,298}^0 (\text{O}_2) = 0$ .

Тепловой эффект при стандартных условиях ( $P = 101$  кПа,  $T = 298$  К) записывается в виде  $\Delta H_{298}^0$ .

Расчеты тепловых эффектов основаны на двух законах:

**1. Закон Лавуазье-Лапласа — теплота образования сложного вещества равна по абсолютной величине и обратна по знаку теплоте его разложения.**

**2. Закон Гесса — тепловой эффект процесса не зависит от пути его протекания и числа его стадий, а зависит от начального и конечного состояния системы, или суммарный тепловой эффект многостадийного процесса ( $\Delta H_{\text{сум}}$ ) равен алгебраической сумме тепловых эффектов отдельных стадий ( $\Delta H_i$ ), т.е.**

$$\Delta H_{\text{сум}} = \sum \Delta H_i. \quad (6)$$

Из закона Гесса следует, что **суммарный тепловой эффект химической реакции при стандартных условиях равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования исходных веществ с учетом стехиометрических коэффициентов, стоящих в уравнении реакции**

$$\Delta H_{298}^0 = \sum (n' \Delta H_{f,298}^0)_{(\text{прод})} - \sum (n'' \Delta H_{f,298}^0)_{(\text{исх})}, \quad (7)$$

где  $n'$  и  $n''$  — стехиометрические коэффициенты продуктов реакции и исходных веществ, стоящие в уравнении реакции;

$\Delta H_{f,298}^0$  — стандартные энтальпии образования конечных и исходных веществ, кДж/моль.

Численное значение теплового эффекта зависит от природы веществ, их агрегатного состояния, температуры и числа молей веществ, участвующих в реакции.

**Зависимость теплового эффекта от температуры выражается уравнением Кирхгофа:**

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_{P, 298}^0 (T - 298), \quad (8)$$

где 
$$\Delta C_{P, 298}^0 = \Sigma(n' C_{P, 298}^0)_{(\text{прод})} - \Sigma(n'' C_{P, 298}^0)_{(\text{исх})} \quad (9)$$

$C_{P, 298}^0$  — молярные изобарные теплоемкости конечных и исходных веществ, измеренные при стандартных условиях, Дж/моль·К (прил., табл.).

При расчете изменения теплоемкости химической реакции ( $\Delta C_P^0$ ) условно принято, что теплоемкость веществ не зависит от температуры ( $C_P \neq f(T)$ ).

## 1.2 Второй закон термодинамики. Энтропия системы и ее изменение при протекании физико-химических процессов

Второй закон термодинамики, как и первый, был открыт путем обобщения опытных данных, связанных с тепловыми процессами. Он устанавливает возможность, направление и глубину протекания самопроизвольных процессов. Существует несколько различных, но эквивалентных формулировок **второго закона термодинамики:**

- **быстро или медленно, но всякая система стремится к состоянию равновесия;**
- **теплота не может самопроизвольно переходить от менее нагретого тела к более нагретому;**
- **невозможен периодический процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты в работу.**

Многочисленными наблюдениями над реальными объектами было установлено, что всякая система стремится к переходу в наиболее вероятное состояние, при котором частицы, составляющие систему, расположены в пространстве наиболее беспорядочно. Для описания подобных процессов введена **функция состояния — энтропия (S)**, единицей измерения которой является Дж/моль·К.

Энтропия является количественной мерой степени неупорядоченности (беспорядка) в системе. Все процессы, связанные с плавлением, испарением, диффузией и т. д., ведут к увеличению энтропии. И, наоборот, при конденсации, полимеризации и т. д. энтропия уменьшается. В физико-химических процессах с участием газообразных веществ можно оценить изменение объема. При увеличении объема системы энтропия увеличивается, и наоборот, например, в реакции  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} = 2NH_{3(r)}$  объем уменьшается ( $\Delta V < 0$ ), следовательно  $\Delta S < 0$ .

Теплота, поглощенная или выделенная системой в обратимом процессе, связана с изменением энтропии и температурой соотношением, которое выра-

жает математическую запись второго закона термодинамики:

$$Q = T \Delta S \quad \text{или} \quad \Delta S = \frac{Q}{T}. \quad (10)$$

**Физический смысл энтропии** — количество рассеянной энергии, отнесенной к единице температуры (1 К). В отличие от энтальпии и внутренней энергии для большинства веществ определены абсолютные значения энтропии. **Стандартные энтропии** чистых веществ относят к 1 моль вещества при  $P = 101$  кПа и  $T = 298$  К и обозначают  $S_{298}^0$  (см. прил., табл.). Стандартные энтропии простых веществ не равны нулю.

**Изменение энтропии в химических реакциях при стандартных условиях** можно рассчитать аналогично изменению энтальпии (7):

$$\Delta S_{298}^0 = \sum(n' S_{298}^0)_{(\text{прод})} - \sum(n'' S_{298}^0)_{(\text{исх})}, \quad (11)$$

где  $n'$ ,  $n''$  — коэффициенты, стоящие в уравнении реакции;

$S_{298}^0$  — энтропии продуктов реакции и исходных веществ при стандартных условиях (прил., табл.).

При фазовых превращениях для одного моля вещества изменение энтропии равно:

$$\Delta S_{\text{ф. превр}} = \frac{\Delta H_{\text{ф. превр}}}{T_{\text{ф. превр}}}, \quad (12)$$

где  $\Delta H_{\text{ф. превр}}$  — изменение энтальпии превращения, кДж/моль;

$T_{\text{ф. превр}}$  — температура фазового превращения, К.

Численное значение энтропии зависит от природы веществ, их агрегатного состояния, температуры и числа молей веществ, участвующих в физико-химических процессах.

**Зависимость энтропии от температуры в различных процессах выражается приведенными ниже соотношениями:**

**Изобарные процессы ( $P = \text{const}$ ):** абсолютное значение энтропии для 1 моля вещества:

$$S_{T_2}^0 = S_{T_1}^0 + C_{P, 298}^0 \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (13)$$

а ее изменение

$$\Delta S = C_{P, 298}^0 \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (14)$$

**Изменение энтропии в химических реакциях** при любой температуре, отличающейся от стандартной (298 К), в изобарных процессах вычисляется по

уравнению

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \Delta C_{P 298}^0 \ln \frac{T}{298}. \quad (15)$$

**Изменение теплоемкости в химических реакциях ( $\Delta C_P$ )** рассчитывается по выражению (9).

**Изохорные процессы ( $V = \text{const}$ ):** абсолютное значение энтропии для 1 моля вещества:

$$S_{T_2}^0 = S_{T_1}^0 + C_{V 298}^0 \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (16)$$

а ее изменение

$$\Delta S_T^0 = C_{V 298}^0 \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (17)$$

**Изменение энтропии в физико-химических процессах** при любой температуре, отличающейся от стандартной, **в изохорных процессах вычисляется по уравнению**

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \Delta C_{V 298}^0 \ln \frac{T}{298}, \quad (18)$$

где  $C_{P 298}^0$  и  $C_{V 298}^0$  — изобарная и изохорная теплоемкости при стандартных условиях, Дж/моль·К ( $C_P$  и  $C_V \neq f(T)$ ).

Для одноатомного газа  $C_V = \frac{3}{2}R$ , двухатомного  $C_V = \frac{5}{2}R$ .  $C_P$  и  $C_V$  для газообразных систем связаны соотношением

$$C_P - C_V = R. \quad (19)$$

**Изотермические процессы ( $T = \text{const}$ )**

$$\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} = R \ln \frac{P_1}{P_2} = R \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (20)$$

где  $V_1, V_2$ ;  $P_1, P_2$ ;  $C_1, C_2$  — объемы, парциальные давления, концентрации веществ в состояниях 1 и 2 соответственно.

### 1.3 Изобарно-изотермический потенциал или свободная энергия Гиббса. Определение направленности протекания процессов

Направление, в котором самопроизвольно протекают физико-химические процессы, определяется совместным действием двух противоположных факторов:

- стремление системы к переходу в наиболее упорядоченное состояние (объединение атомов в молекулы, т. е. их укрупнение, агрегация и т. д.), которое характеризуется наименьшей внутренней энергией, а в случае изобарных процессов — наименьшей энтальпией (энтальпийный фактор);
- стремление системы к достижению наиболее вероятного состояния, т. е. состояния с большим беспорядком (разъединение частиц, их дробление), характеризующимся наибольшей энтропией (энтропийный фактор).

Функцией состояния, одновременно учитывающей влияние обоих упомянутых выше факторов на направление протекания процессов, служит **изобарно-изотермический потенциал, или свободная энергия Гиббса (G)**. Ее изменение для процессов, протекающих при  $P, T = \text{const}$ , равно

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S, \quad (21)$$

где  $\Delta H$  — изменение энтальпии или полной энергии расширенной системы (см. разд. 1);

$T$  — абсолютная температура, К;

$\Delta S$  — изменение энтропии.

Таким образом,  $T \Delta S$  — связанная энергия, которая не может быть превращена в полезную работу (идет на нагревание, увеличение кинетической энергии частиц, составляющих систему, на увеличение беспорядка и т.д.).

При стандартных условиях изменение свободной энергии Гиббса обозначается  $\Delta G_{298}^0$ , единица измерения — Дж/моль (кДж/моль).

При самопроизвольном протекании физико-химических процессов система совершает полезную работу, которая равна

$$A'_{\text{max}} = -\Delta G. \quad (22)$$

**При постоянстве температуры и давления все процессы могут протекать самопроизвольно в таком направлении, при котором энергия Гиббса уменьшается**

$$\Delta G < 0. \quad (23)$$

**Неравенство  $\Delta G < 0$  определяет принципиальную возможность самопроизвольного протекания физико-химических процессов в прямом направлении.** Если  $\Delta G > 0$ , то протекание физико-химического процесса в прямом направлении невозможно.

Из уравнения (21) следует, что при повышенных температурах определяю-

щим является энтропийный фактор, а при пониженных — энтальпийный.

Учитывая роль энтальпийного и энтропийного факторов, температуры в определении величины изобарно-изотермического потенциала в **неизолированных** системах, можно выделить следующие типы реакций, различающиеся условиями протекания:

1. Изменение энтальпии и энтропии благоприятствует протеканию процесса, т. е.  $\Delta H < 0$ ,  $\Delta S > 0$ , тогда при любых температурах  $\Delta G < 0$ .

2. Изменение энтальпии способствует протеканию процесса ( $\Delta H < 0$ ), а изменение энтропии не способствует его протеканию ( $\Delta S < 0$ ), тогда  $\Delta G < 0$  при условии, что  $|\Delta H| > |T\Delta S|$ , это возможно при пониженных температурах.

3. Изменение энтальпии препятствует протеканию процесса ( $\Delta H > 0$ ), а изменение энтропии способствует его протеканию ( $\Delta S > 0$ ), тогда  $\Delta G < 0$  при условии, что  $|T\Delta S| > |\Delta H|$ , это возможно при повышенных температурах.

4. Изменение энтальпии и энтропии препятствует протеканию процесса ( $\Delta H > 0$  и  $\Delta S < 0$ ), тогда при любых температурах  $\Delta G > 0$ .

В **изолированных** системах  $\Delta H = 0$ , тогда выражение (21) примет вид

$$\Delta G = -T \Delta S, \quad (24)$$

следовательно, протекание процесса обусловлено энтропийным фактором. Тогда  $\Delta G < 0$  при условии, что  $\Delta S > 0$ .

Для процессов, протекающих при стандартных условиях, выражение (21) можно записать в виде

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - 298\Delta S_{298}^0. \quad (25)$$

Если процессы протекают при других условиях, отличающихся от стандартных, тогда выражение (21) имеет вид

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \Delta S_T^0. \quad (26)$$

$\Delta H_{298}^0$  и  $\Delta H_T^0$  определяют по выражениям (7) и (8);  $\Delta S_{298}^0$  и  $\Delta S_T^0$  — по уравнениям (11) и (15).

При **состоянии равновесия** изменение свободной энергии равно нулю

$$\Delta G = 0. \quad (27)$$

Пренебрегая зависимостью  $\Delta H$  и  $\Delta S$  от температуры, можно определить **температуру наступления равновесия**:

$$T_{\text{равн}} = \frac{\Delta H_{298}^0}{\Delta S_{298}^0}. \quad (28)$$

Состояние равновесия характеризуется определенным соотношением концентраций (парциальных давлений) продуктов реакции и исходных веществ и выражается **константой равновесия** ( $K_C$ , или  $K_P$ ).

В общем случае для любой обратимой реакции  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$  можно записать:

$$K_C = \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b}, \quad \text{или} \quad K_P = \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b}. \quad (29)$$

Величины  $K_C$  и  $K_P$  связаны соотношением:

$$K_P = K_C (RT)^{\Delta n}, \quad (30)$$

где  $\Delta n$  — изменение числа молей газообразных веществ в уравнении реакции (т. е.  $c + d - (a + b)$ ).

Физический смысл  $K_C$  ( $K_P$ ): **константа равновесия выражает глубину (предел) протекания процесса в выбранном направлении. Константа равновесия зависит от природы веществ, участвующих в процессе, и от температуры.**

Зависимость константы равновесия от температуры выражается **уравнением изобары**

$$\frac{d \ln K_P}{dT} = \frac{\Delta H^0}{RT^2}, \quad (31)$$

из которого следует, что **в эндотермических реакциях ( $\Delta H > 0$ ) температурный коэффициент константы равновесия  $\frac{d \ln K_P}{dT} > 0$ , следовательно, с по-**

**вышением температуры значение константы равновесия увеличивается.**

**В экзотермических реакциях ( $\Delta H < 0$ )  $\frac{d \ln K_P}{dT} < 0$ , следовательно, значение**

**константы равновесия с повышением температуры уменьшается.**

Если принять, что тепловой эффект не зависит от температуры в интервале  $T_1 - T_2$  ( $\Delta H \neq f(T)$ ), то после интегрирования выражение (31) примет вид

$$\ln \frac{K_{PT_2}}{K_{PT_1}} = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad \text{или} \quad \lg \frac{K_{PT_2}}{K_{PT_1}} = \frac{\Delta H}{2,3R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right), \quad (32)$$

где  $K_{PT_1}$ ,  $K_{PT_2}$  — константы равновесия при температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

Изменение свободной энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) и константа равновесия ( $K_P$ ) связаны соотношением, которое выражает **уравнение изотермы**:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_p \quad \text{или} \quad \Delta G^0 = -2,3RT \lg K_p. \quad (33)$$

Если  $\Delta G^0 < 0$ , тогда  $K_p > 1$  — реакция протекает в прямом направлении и в системе преобладают продукты реакции;

если  $\Delta G^0 > 0$ , тогда  $K_p < 1$  — реакция протекает преимущественно в обратном направлении, в системе преобладают исходные вещества;

если  $\Delta G^0 = 0$ , тогда  $K_p = 1$  — состояние равновесия.

## 2 Примеры решения типовых задач

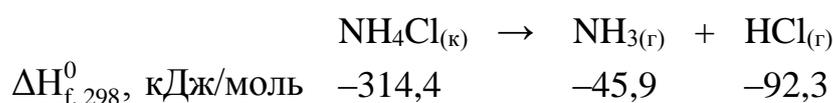
### Пример 1

Определите тепловой эффект процесса термического разложения хлорида аммония и составьте термохимическое уравнение реакции.

*Решение.*

Реакция выражается уравнением  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(к)} \rightarrow \text{NH}_{3(г)} + \text{HCl}_{(г)}$ .

Записываем табличные значения теплот образования исходных веществ и продуктов реакции под формулами веществ в уравнении реакции (прил., табл.):



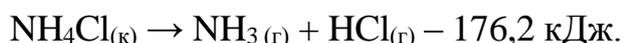
Рассчитываем тепловой эффект реакции, используя следствие из закона Гесса (7):

$$\Delta H_{298}^0 = \Delta H_{f, 298}^0(\text{NH}_3) + \Delta H_{f, 298}^0(\text{HCl}) - \Delta H_{f, 298}^0(\text{NH}_4\text{Cl}).$$

Используя справочные данные значений  $\Delta H_{f, 298}^0$  веществ, получаем:

$$\Delta H_{298}^0 = (-45,9 - 92,3) - (-314,4) = 176,2 \text{ кДж.}$$

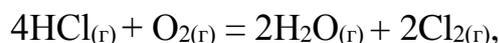
Так как  $\Delta H_{298}^0 > 0$ , реакция эндотермическая. Термохимическое уравнение имеет вид:



Ответ:  $\Delta H_{298}^0 = 176,2 \text{ кДж.}$

### Пример 2

Рассчитать тепловой эффект реакции, протекающей по уравнению



при температуре 500 К и постоянном давлении. Изменится ли численное значение теплового эффекта, если реакцию проводить при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ) и  $T = 500 \text{ К}$ ?

*Решение.*

Тепловой эффект реакции при  $T = 500 \text{ К}$  рассчитаем по уравнению (8), при этом зависимостью теплоемкости от температуры пренебрегаем.

$$\Delta H_{500}^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_{P, 298}^0 (500 - 298).$$

Используя выражение (7) и табличные значения теплот образования исход-

ных веществ и продуктов реакции (прил., табл.), рассчитаем тепловой эффект реакции при 298 К:

$$\begin{aligned}\Delta H_{298}^0 &= 2\Delta H_{f, 298 \text{ H}_2\text{O}}^0 + 2\Delta H_{f, 298 \text{ Cl}_2}^0 - 4\Delta H_{f, 298 \text{ HCl}}^0 - \Delta H_{f, 298 \text{ O}_2}^0 = \\ &= 2 \cdot (-241,8) + 0 - 4 \cdot (-92,3) - 0 = -114,4 \text{ кДж}.\end{aligned}$$

Изменение теплоемкости  $\Delta C_{p, 298}^0$  рассчитаем по уравнению (9), используя табличные значения изобарных мольных теплоемкостей веществ (прил., табл.):

$$\begin{aligned}\Delta C_{p, 298}^0 &= 2C_{p, \text{H}_2\text{O}}^0 + 2C_{p, \text{Cl}_2}^0 - 4C_{p, \text{HCl}}^0 - C_{p, \text{O}_2}^0 = \\ &= 2 \cdot 33,6 + 2 \cdot 33,9 - 4 \cdot 29,1 - 29,4 = -10,8 \text{ Дж/К}.\end{aligned}$$

Тогда:

$$\Delta H_{500}^0 = -114400 + (-10,8) \cdot (500 - 298) = -116582 \text{ Дж} = -116,582 \text{ кДж}.$$

Если реакцию проводить при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ), то необходимо рассчитать  $\Delta U_{500}^0$ . Пользуясь выражением (5), запишем

$$\Delta U_{500}^0 = \Delta H_{500}^0 - \Delta n RT.$$

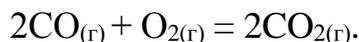
Определим изменение числа молей газообразных веществ в реакции:  
 $\Delta n = 4 - 5 = -1$ .

$$\text{Тогда } \Delta U_{500}^0 = -116,582 - (-1) \cdot 8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = -112,425 \text{ кДж}.$$

**Ответ:**  $\Delta H_{500}^0 = -116,582 \text{ кДж}$ . Если реакцию проводить при постоянном объеме, то тепловой эффект станет равным  $\Delta U_{500}^0 = -112,425 \text{ кДж}$ .

### Пример 3

Определите тепловой эффект реакции при стандартных условиях:



Рассчитайте, какое количество теплоты выделится при сжигании 1 л (н. у.) оксида углерода (II) по данной реакции.

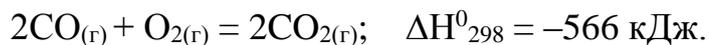
**Решение.**

Рассчитаем тепловой эффект реакции при стандартных условиях по формуле (7), используя табличные значения теплот образования исходных веществ и продуктов реакции (прил., табл.):

$$\begin{array}{ccccccc} & 2\text{CO}_{(г)} & + & \text{O}_{2(г)} & = & 2\text{CO}_{2(г)} & \\ \Delta H_{f, 298}^0, \text{ кДж/моль} & -110,5 & & 0 & & -393,5 & \end{array}$$

$$\Delta H_{298}^0 = 2 \cdot (-393,5) - (2 \cdot (-110,5) + 0) = -566 \text{ кДж}.$$

Термохимическое уравнение реакции имеет вид



Из уравнения видно, что при сгорании 2 моль СО выделится 566 кДж теплоты. Найдем, сколько моль составляют 1 л СО при н. у.:

$$n(\text{CO}) = \frac{V}{V_m} = \frac{1}{22,4} = 0,0446 \text{ моль}.$$

Составим пропорцию:

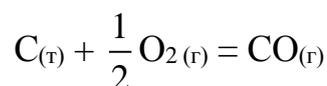
при сгорании	2 моль	СО выделится	566 кДж	теплоты
при сгорании	0,0446 моль	СО выделится	x кДж	теплоты

$$x = \frac{0,0446 \cdot 566}{2} = 12,62.$$

Ответ: при сжигании 1 л (н. у.) СО выделится 12,62 кДж теплоты.

#### Пример 4

Тепловой эффект реакции



при постоянном объеме и температуре 20 °С равен –108,9 кДж. Определить тепловой эффект реакции при постоянном давлении.

**Решение.**

Соотношение между тепловым эффектом при  $V = \text{const}$  ( $Q_V = \Delta U$ ) и тепловым эффектом при  $P = \text{const}$  ( $Q_P = \Delta H$ ) выражается уравнением (5). Определяем изменение числа молей газов в ходе реакции:

$$\Delta n = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \text{ (моль)}.$$

Учитывая значение  $T = 293 \text{ К}$ ,  $R = 8,314 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , а также единицы измерения величин, получаем для теплового эффекта реакции при  $P = \text{const}$ :

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n RT = -108,9 + \frac{1}{2} \cdot 8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 293 = -107,682 \text{ кДж}.$$

Ответ:  $\Delta H = -107,682 \text{ кДж}$ .

#### Пример 5

Вычислить изменение энтропии при плавлении 54 г серебра, если известно, что температура плавления серебра 960 °С, а энтальпия плавления 104,5 кДж/моль.

*Решение.*

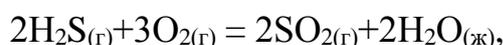
При плавлении беспорядок в расположении отдельных частиц увеличивается, следовательно, энтропия будет также увеличиваться. Пользуясь выражением (12), рассчитаем изменение энтропии при фазовом превращении для  $n = \frac{54}{108}$  молей серебра:

$$\Delta S_{\text{пл}} = n \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}}, \quad \Delta S_{\text{пл}} = \frac{54 \cdot 104500}{108 \cdot (960 + 273)} = 42,2 \text{ Дж/К}.$$

Ответ:  $\Delta S_{\text{пл}} = 42,2 \text{ Дж/К}$ .

### Пример 6

Для реакции, протекающей по уравнению

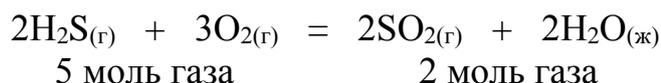


оцените изменение энтропии, не производя расчеты. Ответ поясните.

Вычислите изменение энтропии при стандартном давлении ( $P = 101 \text{ кПа}$ ) и  $T = 500 \text{ К}$ .

*Решение.*

Для определения знака изменения энтропии следует проанализировать изменение состояния веществ в ходе процесса. Увеличение числа молей газообразных веществ, образование жидкости или газа взамен твердого компонента — свидетельство увеличения энтропии системы. Рассчитаем количество моль газа в системе:

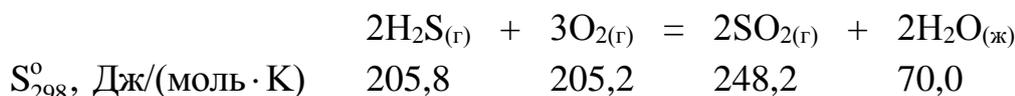


$\Delta n = 2 - 5 = -3$ . Значит,  $\Delta S_{298}^0 < 0$ .

Для расчета изменения энтропии при температуре  $500 \text{ К}$  воспользуемся соотношением (13):

$$\Delta S_{500}^0 = \Delta S_{298}^0 + \Delta C_{P, 298}^0 \ln \frac{500}{298}.$$

Записываем табличные значения абсолютных стандартных энтропий и изобарных мольных теплоемкостей исходных веществ и продуктов реакции под формулами веществ в уравнении реакции (прил., табл.):



$$C_{P,298}^0, \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \quad 34,2 \quad 29,4 \quad 39,9 \quad 75,3$$

Рассчитаем  $\Delta S_{298}^0$ , пользуясь выражением (11):

$$\Delta S_{298}^0 = 2S_{298, \text{SO}_2}^0 + 2S_{298, \text{H}_2\text{O}}^0 - 2S_{298, \text{H}_2\text{S}}^0 - 3S_{298, \text{O}_2}^0.$$

Подставим значения стандартных энтропий веществ  $S_{298}^0$ :

$$\Delta S_{298}^0 = 2 \cdot 248,2 + 2 \cdot 70,0 - 2 \cdot 205,8 - 3 \cdot 205,2 = -390,8 \text{ Дж}/\text{К}.$$

Рассчитаем изменение теплоемкости, пользуясь выражением (9):

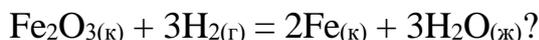
$$\begin{aligned} \Delta C_{P,298}^0 &= 2C_{P, \text{SO}_2}^0 + 2C_{P, \text{H}_2\text{O}}^0 - 2C_{P, \text{H}_2\text{S}}^0 - 3C_{P, \text{O}_2}^0 = \\ &= 2 \cdot 39,9 + 2 \cdot 75,3 - 2 \cdot 34,2 - 3 \cdot 29,4 = 73,8 \text{ Дж}/\text{К}. \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } \Delta S_{500}^0 = -390,8 + 73,8 \ln\left(\frac{500}{298}\right) = -352,6 \text{ Дж}/\text{К}.$$

**Ответ:** Изменение энтропии при 500 К для данной реакции равно  $\Delta S_{500}^0 = -352,6 \text{ Дж}/\text{К}$ .

### Пример 7

Возможно ли осуществление процесса получения металлического железа из оксида  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  действием водорода при стандартных условиях:



Как скажется повышение температуры на вероятности протекания этой реакции?

**Решение.**

Для ответа на первый вопрос задачи необходимо рассчитать изменение свободной энергии Гиббса  $\Delta G_{298}^0$  для рассматриваемой реакции, используя уравнение (25):

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - 298 \Delta S_{298}^0.$$

Записываем табличные значения теплот образования и абсолютных стандартных энтропий исходных веществ и продуктов реакции под формулами веществ в уравнении реакции (прил., табл.):

	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}$	+	$3\text{H}_{2(\text{г})}$	=	$2\text{Fe}_{(\text{к})}$	+	$3\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$
$\Delta H_{f,298}^0$ кДж/моль	-824,2		0		0		-285,8
$S_{298}^0$ , Дж/(моль · К)	87,4		130,7		27,3		70,0

По следствию из закона Гесса (7):

$$\begin{aligned}\Delta H_{298}^0 &= 2\Delta H_{f, 298}^0(\text{Fe}) + 3\Delta H_{f, 298}^0(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_{f, 298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 3\Delta H_{f, 298}^0(\text{H}_2) = \\ &= 3 \cdot (-285,8) - (-824,2) = -33,2 \text{ кДж}.\end{aligned}$$

Согласно (11):

$$\begin{aligned}\Delta S_{298}^0 &= (3S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}) + 2S_{298}^0(\text{Fe}) - (S_{298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3S_{298}^0(\text{H}_2)) = \\ &= (3 \cdot 70,0 + 2 \cdot 27,3) - (87,4 + 3 \cdot 130,7) = -214,9 \text{ Дж/К}.\end{aligned}$$

По найденным данным вычисляем  $\Delta G_{298}^0$ :

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - 298 \Delta S_{298}^0 = -33,2 + 298 \cdot 214,9 \cdot 10^{-3} = 30,84 \text{ кДж}.$$

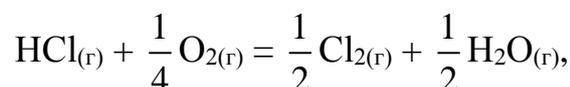
Положительное значение  $\Delta G_{298}^0$  указывает на невозможность восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  водородом при стандартных условиях.

Ответ на второй вопрос задачи определяется знаком  $\Delta S$ . Расчет показал, что  $\Delta S_{298}^0 < 0$ , следовательно, в уравнении  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  величина  $(-T\Delta S) > 0$ . Повышение температуры приводит к увеличению значения  $\Delta G$ , а значит, не будет способствовать протеканию реакции в прямом направлении.

Ответ:  $\Delta G_{298}^0 = 30,84 \text{ кДж}$ , процесс невозможен при стандартных условиях.

### Пример 8

Пользуясь справочными данными, рассчитайте константу равновесия для реакции



протекающей при стандартных условиях. Как изменится численное значение константы равновесия при 125 °С (доказать расчетом)?

**Решение.**

Для расчета константы равновесия при стандартных условиях ( $T = 298 \text{ К}$ ) воспользуемся уравнением изотермы (33):

$$\Delta G_{298}^0 = -2,3 RT \lg K_{p, 298}.$$

Изменение свободной энергии Гиббса  $\Delta G_{298}^0$  рассчитаем по соотношению (25):

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - 298 \Delta S_{298}^0.$$

Используя соотношения (7) и (11), а также данные из прил., табл., вычислим изменения энтальпии  $\Delta H_{298}^0$  и энтропии  $\Delta S_{298}^0$  при стандартных условиях:

$$\begin{aligned}\Delta H_{298}^0 &= \frac{1}{2} \Delta H_{f, 298 \text{Cl}_2}^0 + \frac{1}{2} \Delta H_{f, 298 \text{H}_2\text{O}}^0 - \Delta H_{f, 298 \text{HCl}}^0 - \frac{1}{4} \Delta H_{f, 298 \text{O}_2}^0 = \\ &= 0 + \frac{1}{2}(-241,8) - (-92,3) - 0 = -28,6 \text{ кДж}; \\ \Delta S_{298}^0 &= \frac{1}{2} S_{\text{Cl}_2}^0 + \frac{1}{2} S_{\text{H}_2\text{O}}^0 - S_{\text{HCl}}^0 - \frac{1}{4} S_{\text{O}_2}^0 = \\ &= \frac{1}{2} 223,1 + \frac{1}{2} 188,8 - 186,9 - \frac{1}{4} 205,2 = -32,25 \text{ Дж/К}.\end{aligned}$$

Вычислим изменение свободной энергии Гиббса

$$\Delta G_{298}^0 = -28600 - 298(-32,25) = -18989,5 \text{ Дж}$$

и константу равновесия

$$\lg K_{P 298} = \frac{-18989,5}{-2,3 \cdot 8,314 \cdot 298} = 3,332; \quad K_{P 298} = 2148.$$

При повышении температуры константа равновесия уменьшится, поскольку  $\Delta H < 0$ . Вычислим ее численное значение при 398 К (125+273 К), используя уравнение изобары (32):

$$\lg \frac{K_{P 398}}{K_{P 298}} = \frac{\Delta H}{2,3R} \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{398} \right)$$

или, после подстановки,

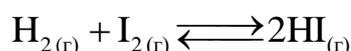
$$\lg \frac{K_{P 398}}{K_{P 298}} = \frac{-28600 \cdot 100}{2,3 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot 398} = -1,261;$$

$$\frac{K_{P 398}}{K_{P 298}} = \frac{K_{P 398}}{2148} = 10^{-1,261} = 0,055; \quad K_{P 398} = 118,14.$$

**Ответ:**  $K_{P 298} = 2148$ . При повышении температуры до 125 °С значение  $K_P$  уменьшится и станет равным 118,14.

### Пример 9

Рассчитайте парциальные давления  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$  и  $\text{HI}$  в системе

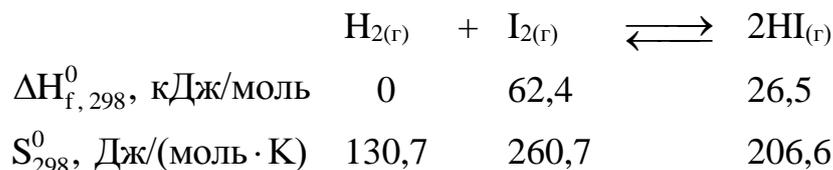


при 100 °С, если общее давление равно 2 атм. и количество вещества  $\text{H}_2$  и  $\text{I}_2$

одинаково в системе.

*Решение.*

Рассчитаем константу равновесия данной реакции  $K_p$  при  $100^\circ\text{C}$ .



$$\Delta H_{298}^0 = 2 \cdot 26,5 - (0 + 62,4) = 9,4 \text{ кДж} = 9400 \text{ Дж};$$

$$\Delta S_{298}^0 = 2 \cdot 206,6 - (130,7 + 260,7) = 21,8 \text{ Дж/К};$$

$$T = 273 + 100 = 373 \text{ К}.$$

При расчетах в малом интервале температур пренебрегаем зависимостью  $\Delta H$  и  $\Delta S$  от температуры. Тогда:

$$\Delta G_{373}^0 \approx 9400 - 373 \cdot 21,8 = 1268,6 \text{ Дж};$$

$$\lg K_p = -\frac{1268,6}{2,3 \cdot 8,314 \cdot 373} = -0,1779; \quad K_p = 10^{-0,1779} = 0,664.$$

Поскольку содержание  $\text{H}_2$  и  $\text{I}_2$  одинаково, то можно записать

$$P_{\text{H}_2} = P_{\text{I}_2} = x.$$

Поскольку общее давление равно 2 атм, то

$$P_{\text{HI}} = 2 - P_{\text{H}_2} - P_{\text{I}_2} = 2 - x - x = 2 - 2x.$$

Зная константу равновесия для данной системы, найдем  $x$ :

$$K_p = \frac{P_{\text{HI}}^2}{P_{\text{H}_2} P_{\text{I}_2}} = \frac{(2 - 2x)^2}{x^2} = 0,664;$$

$$\frac{2 - 2x}{x} = \sqrt{0,664} = 0,815;$$

$$x = \frac{2}{2 + 0,815} = 0,71.$$

**Ответ:**  $P_{\text{H}_2} = P_{\text{I}_2} = 0,71 \text{ атм}; \quad P_{\text{HI}} = 2 - 2 \cdot 0,71 = 0,58 \text{ атм}.$

## 3 Тесты для самоконтроля

### 3.1 Варианты тестовых заданий 1-го уровня сложности

#### Вариант 1

1. Изотермический процесс протекает при:

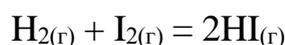
- а)  $T = \text{const}$ ;                      б)  $P = \text{const}$ ;                      в)  $V = \text{const}$ ;                      г)  $Q = \text{const}$ .

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S < 0$ ;                      б)  $\Delta S = 0$ ;  
в)  $\Delta S > 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Константа равновесия  $K_P$  реакции



при 100 °С равна 0,66. Изменение изобарно-изотермического потенциала имеет знак:

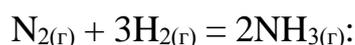
- а)  $\Delta G < 0$ ;                      б)  $\Delta G > 0$ ;  
в)  $\Delta G = 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

#### Вариант 2

1. Изобарный процесс протекает при:

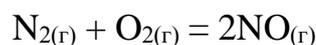
- а)  $T = \text{const}$ ;                      б)  $P = \text{const}$ ;                      в)  $V = \text{const}$ ;                      г)  $Q = \text{const}$ .

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S < 0$ ;  
в)  $\Delta S > 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Для реакции



$\Delta G^{\circ}_{298} > 0$ . Какое из приведенных утверждений верно:

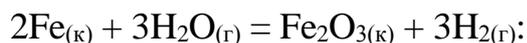
- а)  $K_P > 1$ ;                      б)  $K_P < 1$ ;  
в)  $K_P = 1$ ;                      г) в равновесной смеси преобладает NO?

#### Вариант 3

1. Изохорный процесс протекает при:

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S < 0$ ;                      б)  $\Delta S = 0$ ;  
 в)  $\Delta S > 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Если  $K_p = 1$ , то:

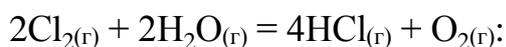
- а)  $\Delta G < 0$ ;      б)  $\Delta G > 0$ ;      в)  $\Delta G = 0$ ;      г)  $\Delta S = 0$ .

#### Вариант 4

1. Адиабатический процесс протекает при:

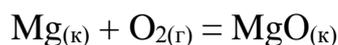
- а)  $T = \text{const}$ ;                      б)  $P = \text{const}$ ;                      в)  $V = \text{const}$ ;                      г)  $Q = \text{const}$ .

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;  
 в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. В каком направлении протекает реакция



при стандартных условиях, если  $\Delta G < 0$ ?

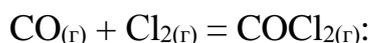
- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
 в) в обратном;                      г) без расчета определить нельзя.

#### Вариант 5

1. Теплота процесса при постоянном объеме равна:

- а)  $\Delta V$ ;                      б)  $\Delta U$ ;                      в)  $\Delta H$ ;                      г)  $\Delta C_v$ .

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;  
 в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. При постоянных давлении и температуре химические реакции протекают самопроизвольно, если:

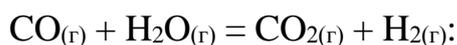
- а)  $\Delta G > 0$ ;      б)  $\Delta G < 0$ ;      в)  $\Delta G = 0$ ;      г)  $\Delta G \geq 0$ .

#### Вариант 6

1. Теплота процесса при постоянном давлении равна:

- а)  $\Delta P$ ;                      б)  $\Delta U$ ;                      в)  $\Delta H$ ;                      г)  $\Delta C_p$ .

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S < 0$ ;  
 в)  $\Delta S > 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Обратимая реакция протекает слева направо, если:

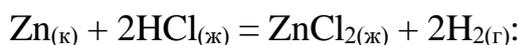
- а)  $\Delta G < 0$ ;      б)  $\Delta G > 0$ ;      в)  $\Delta G = 0$ ;      г)  $\Delta G \geq 0$ .

### Вариант 7

1. В экзотермической реакции:

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S < 0$ ;                      б)  $\Delta S = 0$ ;  
 в)  $\Delta S > 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Прямая реакция практически необратима, если:

- а)  $\Delta S \gg 0$  и  $K_p \ll 1$ ;                      б)  $\Delta G \gg 0$  и  $K_p \ll 1$ ;  
 в)  $\Delta G = 0$  и  $K_p = 1$ ;                      г)  $\Delta G \ll 0$  и  $K_p \gg 1$ .

### Вариант 8

1. В эндотермической реакции:

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;  
 в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Какая из форм уравнений, связывающих константу равновесия и изменение стандартной энергии Гиббса реакции, записана неверно:

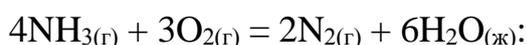
- а)  $\Delta G_T^0 = -RT \ln K_p$ ;                      б)  $\Delta G_T^0 = -RT \lg K_p$ ;  
 в)  $K_p = e^{\frac{\Delta G_T^0}{RT}}$ ;                      г)  $K_p = 10^{\frac{\Delta G_T^0}{2,3RT}}$ .

### Вариант 9

1. Какое из приведенных ниже соотношений определяет протекание экзотермического процесса при  $V = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ ?

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;  
в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Для некоторой реакции  $K_p$  при 800 К равна  $2 \cdot 10^3$ . В каком направлении протекает реакция:

- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                      г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 10

1. Какое из приведенных ниже соотношений определяет протекание эндотермического процесса при  $V = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ ?

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S < 0$ ;  
в)  $\Delta S > 0$                       г) без расчета определить нельзя.

3. Изобарно-изотермический потенциал принято обозначать символом:

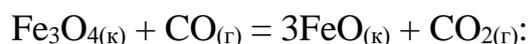
- а) H;                      б) G;                      в) S;                      г) F.

### Вариант 11

1. Какое из приведенных ниже соотношений определяет протекание экзотермического процесса при  $P = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ ?

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S < 0$ ;                      б)  $\Delta S = 0$ ;  
в)  $\Delta S > 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Энергия Гиббса обозначается:

- а) H;                      б) S;                      в) F;                      г) G.

### Вариант 12

1. Какое из приведенных ниже соотношений определяет протекание эндотермического процесса при  $P = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ ?

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

2. Изменение энтропии системы



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;

в)  $\Delta S < 0$ ; г) без расчета определить нельзя.

3. Обратимая реакция протекает справа налево, если:

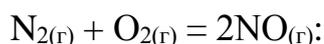
а)  $\Delta G < 0$ ; б)  $\Delta G > 0$ ; в)  $\Delta G = 0$ ; г)  $\Delta G \leq 0$ .

### Вариант 13

1. Для изобарного процесса с участием идеального газа уравнение первого закона термодинамики имеет вид:

а)  $Q = \Delta U$ ; б)  $Q = \Delta H$ ; в)  $Q = A$ ; г)  $\Delta U = -A$ .

2. Изменение энтропии системы



а)  $\Delta S = 0$ ; б)  $\Delta S < 0$ ;  
в)  $\Delta S > 0$ ; г) без расчета определить нельзя.

3. Самопроизвольность протекания изобарно-изотермических процессов определяет соотношение:

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

### Вариант 14

1. Для изохорного процесса с участием идеального газа уравнение первого закона термодинамики имеет вид:

а)  $Q = \Delta U$ ; б)  $Q = \Delta H$ ; в)  $Q = A$ ; г)  $\Delta U = -A$ .

2. Изменение энтропии системы



а)  $\Delta S = 0$ ; б)  $\Delta S > 0$ ;  
в)  $\Delta S < 0$ ; г) без расчета определить нельзя.

3. Что является признаком равновесия в системе:

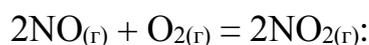
а)  $\Delta G < 0$ ; б)  $\Delta G = 0$ ; в)  $\Delta G > 0$ ; г)  $P = \text{const}, T = \text{const?}$

### Вариант 15

1. Стандартная теплота образования соединения обозначается:

а)  $\Delta U^\circ_{\text{f}, 298}$ ; б)  $\Delta H^\circ_{\text{f}, 298}$ ; в)  $Q^\circ_{298}$ ; г)  $\Delta H^\circ_{298}$ .

2. Изменение энтропии системы



а)  $\Delta S = 0$ ; б)  $\Delta S < 0$ ;  
в)  $\Delta S > 0$ ; г) без расчета определить нельзя.

3. Какая из приведенных ниже формул является правильной записью урав-

нения изотермы Вант-Гоффа?

а)  $\Delta G_T^0 = -R \cdot T \cdot \ln K_p$ ;

б)  $\Delta G_T^0 = -R \cdot T \cdot \lg K_p$ ;

в)  $\Delta G_T^0 = R \cdot T \cdot \lg K_p$ ;

г)  $\Delta G_T^0 = R \cdot T \cdot \ln K_p$ .

### Вариант 16

1. Тепловой эффект реакции при  $P = \text{const}$  обозначается:

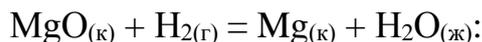
а)  $\Delta S^{\circ}_{298}$ ;

б)  $\Delta H^{\circ}_{f, 298}$ ;

в)  $\Delta U^{\circ}_{298}$ ;

г)  $\Delta H^{\circ}_{298}$ .

2. Изменение энтропии системы



а)  $\Delta S = 0$ ;

б)  $\Delta S > 0$ ;

в)  $\Delta S < 0$ ;

г) без расчета определить нельзя.

3. Для реакции



$\Delta G^{\circ}_{900} < 0$ . Какое из приведенных утверждений верно:

а)  $K_p > 1$ ;

б)  $K_p < 1$ ;

в)  $K_p = 1$ ;

г) в равновесной смеси преобладает  $\text{CaCO}_3$ ?

### Вариант 17

1. Какое из приведенных состояний веществ является стандартным?

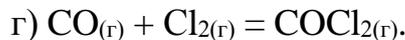
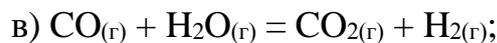
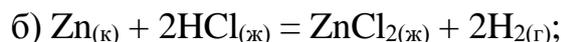
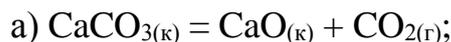
а)  $\text{Br}_{2(г)}$ ;

б)  $\text{I}_{2(г)}$ ;

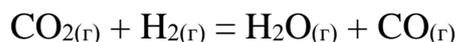
в)  $\text{H}_{2(г)}$ ;

г)  $\text{O}_{3(г)}$ .

2. Не производя вычислений, определите, в каких из приведенных ниже реакций энтропия системы уменьшается?



3. В каком направлении протекает реакция



при некоторых условиях, если  $\Delta G > 0$ ?

а) в прямом;

б) находится в равновесии;

в) в обратном;

г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 18

1. Какое из приведенных состояний веществ является стандартным?

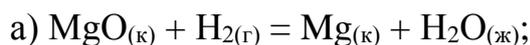
а)  $\text{C}_{(графит)}$ ;

б)  $\text{I}_{2(ж)}$ ;

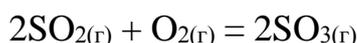
в)  $\text{C}_{(алмаз)}$ ;

г)  $\text{Br}_{2(г)}$ .

2. Не производя вычислений, определите, для какой из реакций  $\Delta S > 0$ :



3. В каком направлении протекает реакция



при стандартных условиях, если  $\Delta G < 0$ ?

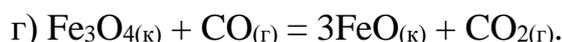
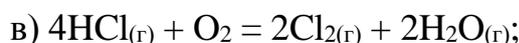
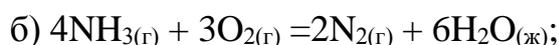
- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                    г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 19

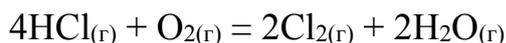
1. Какое из приведенных состояний веществ не является стандартным?

- а)  $\text{N}_{2(г)}$ ;                      б)  $\text{Fe}_{(к)}$ ;                      в)  $\text{I}_{2(г)}$ ;                      г)  $\text{Br}_{2(ж)}$ .

2. Не производя вычислений, определите, в каких из приведенных ниже реакций энтропия системы возрастает?



3. В каком направлении протекает реакция



при стандартных условиях, если  $\Delta G < 0$ ?

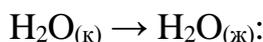
- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                    г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 20

1. Какое из приведенных равенств верное:

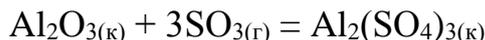
- а)  $\Delta H^\circ_{f, 298} (\text{O}_{3(г)}) = 0$ ;                      б)  $\Delta H^\circ_{f, 298} (\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = 0$ ;  
в)  $\Delta H^\circ_{f, 298} (\text{O}_{2(г)}) = 0$ ;                      г)  $\Delta H^\circ_{f, 298} (\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = 0$ ?

2. Изменение энтропии при плавлении льда



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;  
в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. В каком направлении протекает реакция



при стандартном давлении  $P=101$  кПа и  $T = 798$  К, если  $\Delta G < 0$ ?:

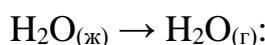
- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                    г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 21

1. Какое из приведенных равенств верное:

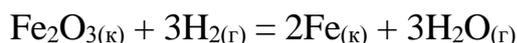
- а)  $\Delta H^\circ_{\text{f}, 298} (\text{C}_{(\text{алмаз})}) = 0$ ;                      б)  $\Delta H^\circ_{\text{f}, 298} (\text{CO}_{(\text{г})}) = 0$ ;  
в)  $\Delta H^\circ_{\text{f}, 298} (\text{C}_{(\text{графит})}) = 0$ ;                      г)  $\Delta H^\circ_{\text{f}, 298} (\text{CO}_{2(\text{г})}) = 0$ ?

2. Изменение энтропии при испарении воды



- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;  
в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. В каком направлении протекает реакция

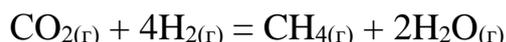


при стандартных условиях, если  $\Delta G > 0$ ?

- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                    г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 22

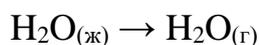
1. Теплота образования какого из веществ — участников реакции



равна нулю?

- а)  $\text{CO}_2$ ;                      б)  $\text{H}_2$ ;                      в)  $\text{CH}_4$ ;                      г)  $\text{H}_2\text{O}$ .

2. Изменение энтропии при испарении воды при  $25^\circ\text{C}$



определяется выражением:

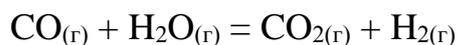
- а)  $\Delta S^\circ_{298} = S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})})$ ;  
б)  $\Delta S^\circ_{298} = S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) + S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})})$ ;  
в)  $\Delta S^\circ_{298} = S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) - S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})})$ ;  
г)  $\Delta S^\circ_{298} = S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = S^\circ_{298} (\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})})$ .

3. Реакция протекает в обратном направлении, если:

- а)  $\Delta S > 0$  и  $K_P < 1$ ;                      б)  $\Delta G > 0$  и  $K_P < 1$ ;  
в)  $\Delta G = 0$  и  $K_P = 1$ ;                      г)  $\Delta G < 0$  и  $K_P > 1$ .

### Вариант 23

1. Теплота образования какого из веществ — участников реакции



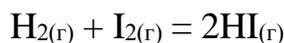
равна нулю?

- а) CO;                      б) H<sub>2</sub>O;                      в) CO<sub>2</sub>;                      г) H<sub>2</sub>.

2. При сжатии газов:

- а)  $\Delta S = 0$ ;              б)  $\Delta S > 0$ ;              в)  $\Delta S < 0$ ;              г) без расчета определить нельзя.

3. В каком направлении протекает реакция

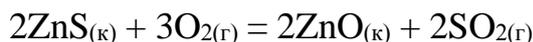


при 100 °С, если  $\Delta G > 0$ ?

- а) в прямом;              б) находится в равновесии;  
в) в обратном;              г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 24

1. Теплота образования какого из веществ — участников реакции



равна нулю?

- а) ZnS;                      б) O<sub>2</sub>;                      в) ZnO;                      г) SO<sub>2</sub>.

2. Как изменяется энтропия изолированной системы, в которой обратимо испаряется вещество?

- а)  $\Delta S = 0$ ;              б)  $\Delta S > 0$ ;              в)  $\Delta S < 0$ ;              г) без расчета определить нельзя.

3. В каком направлении протекает реакция

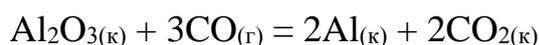


при стандартных условиях, если  $\Delta G < 0$ ?

- а) в прямом;              б) находится в равновесии;  
в) в обратном;              г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 25

1. Теплота образования какого из веществ — участников реакции



равна нулю?

- а) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;                      б) CO;                      в) Al;                      г) CO<sub>2</sub>.

2. При конденсации и кристаллизации веществ (г) → (ж) → (т):

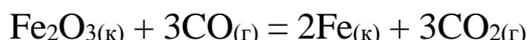
- а)  $\Delta S = 0$ ;              б)  $\Delta S > 0$ ;              в)  $\Delta S < 0$ ;              г) без расчета определить нельзя.

3. Для некоторой реакции  $K_p$  при 298 К равна  $5 \cdot 10^{-3}$ . В каком направлении протекает реакция:

- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                    г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 26

1. Теплота образования какого из веществ — участников реакции



равна нулю?

- а)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;                      б)  $\text{CO}$ ;                              в)  $\text{Fe}$ ;                              г)  $\text{CO}_2$ .

2. При фазовых превращениях  $(\text{т}) \rightarrow (\text{ж}) \rightarrow (\text{г})$ :

- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;                      в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Реакция

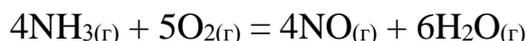


при стандартных условиях протекает в обратном направлении. Изменение изобарно-изотермического потенциала имеет знак:

- а)  $\Delta G > 0$ ;                      б)  $\Delta G < 0$ ;  
в)  $\Delta G = 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 27

1. Теплота образования какого из веществ — участников реакции



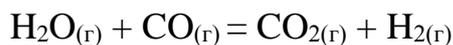
равна нулю?

- а)  $\text{NH}_3$ ;                      б)  $\text{O}_2$ ;                              в)  $\text{NO}$ ;                              г)  $\text{H}_2\text{O}$ .

2. Как изменяется энтропия изолированной системы, в которой обратимо кристаллизуется вещество?

- а)  $\Delta S = 0$ ;                      б)  $\Delta S > 0$ ;                      в)  $\Delta S < 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

3. Константа равновесия  $K_p$  реакции

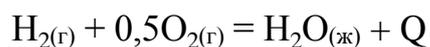


при 1000 °С равна 1,36. Изменение изобарно-изотермического потенциала имеет знак:

- а)  $\Delta G < 0$ ;                      б)  $\Delta G > 0$ ;  
в)  $\Delta G = 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

### Вариант 28

1. Для реакции при 25 °С



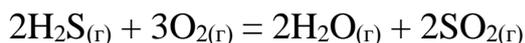
справедливо следующее выражение:

- а)  $\Delta H > 0$ ;                      б)  $\Delta H < 0$ ;  
 в)  $\Delta H = 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

2. Изменение энтропии реакции в стандартных условиях обозначается:

- а)  $\Delta S^\circ_{298}$ ;              б)  $\Delta H^\circ_{298}$ ;              в)  $\Delta F^\circ_{298}$ ;              г)  $\Delta G^\circ_{298}$ .

3. Температура наступления химического равновесия в системе

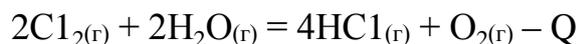


рассчитывается по формуле:

- а)  $T_{\text{равн}} = -\frac{\Delta S_{298}^0}{\Delta H_{298}^0}$ ;              б)  $T_{\text{равн}} = \frac{\Delta H_{298}^0}{\Delta S_{298}^0}$ ;  
 в)  $T_{\text{равн}} = -\frac{\Delta H_{298}^0}{\Delta S_{298}^0}$ ;              г)  $T_{\text{равн}} = \frac{\Delta S_{298}^0}{\Delta H_{298}^0}$ .

### Вариант 29

1. Для реакции при 25 °С



справедливо следующее выражение:

- а)  $\Delta H > 0$ ;                      б)  $\Delta H < 0$ ;  
 в)  $\Delta H = 0$ ;                      г) без расчета определить нельзя.

2. Стандартная энтропия чистого вещества обозначается:

- а)  $\Delta H^\circ_{\text{f}, 298}$ ;              б)  $S^\circ_{298}$ ;              в)  $\Delta S^\circ_{\text{f}, 298}$ ;              г)  $H^\circ_{298}$ .

3. Для реакции



$\Delta G^\circ_{298} < 0$ . Какое из приведенных утверждений верно:

- а)  $K_{\text{P}} > 1$ ;                      б)  $K_{\text{P}} < 1$ ;  
 в)  $K_{\text{P}} = 1$ ;                      г) в равновесной смеси преобладают  $\text{NH}_{3(\text{r})}$  и  $\text{HCl}$ ?

### Вариант 30

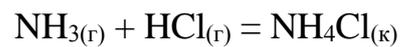
1. Какая из написанных ниже реакций отвечает теплоте образования оксида азота (II) в стандартных условиях?

- а)  $1/2\text{N}_{2(\text{r})} + \text{O}_{(\text{r})} = \text{NO}_{(\text{r})}$ ;              б)  $1/2\text{N}_{2(\text{r})} + 1/2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{NO}_{(\text{r})}$ ;  
 в)  $\text{N}_{(\text{r})} + 1/2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{NO}_{(\text{r})}$ ;              г)  $\text{NH}_{3(\text{r})} + 5/4\text{O}_{2(\text{r})} = \text{NO}_{(\text{r})} + 3/2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$ .

2. Энтропия обозначается символом:

- а) H;                      б) S;                      в) F;                      г) G.

3. В каком направлении протекает реакция



при стандартных условиях, если  $\Delta G < 0$ ?

- а) в прямом;                      б) находится в равновесии;  
в) в обратном;                    г) без расчета определить нельзя.

## 3.2 Варианты тестовых заданий 2-го уровня сложности

### Вариант 1

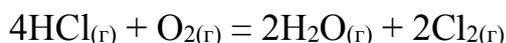
#### 1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{f,298}^0(\text{CaO}_{(к)}) = -634,9$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = -285,8$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{Ca(OH)}_{2(к)}) = -985,2$  кДж/моль, равен (кДж):

а) 64,5;      б) -129,8;      в) -64,5;      г) 129,8.

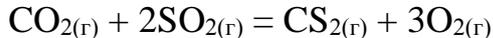
#### 2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 298 К, если  $S_{298}^0(\text{HCl}_{(г)}) = 186,9$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = 188,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Cl}_{2(г)}) = 223,1$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 129,0;      б) -258,2;      в) -129,0;      г) 258,2.

#### 3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{298}^0 = 1103,8$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 143,2$  Дж/К, равно (кДж):

а) -530,58;      б) -1061,13;      в) 530,58;      г) 1061,13.

### Вариант 2

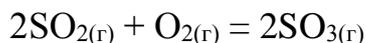
#### 1. Стандартная теплота образования этана $\text{C}_2\text{H}_6$ по реакции



( $\Delta H_{f,298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{CO}_{2(г)}) = -393,5$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = -285,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):

а) -84,0;      б) 168,0;      в) 84,0;      г) -168,0.

#### 2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 298 К, если  $S_{298}^0(\text{SO}_{2(г)}) = 248,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{SO}_{3(г)}) = 256,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 188,0;      б) -306,4;      в) -188,0;      г) 306,4.

3. Температура, при которой наступит равновесие в системе

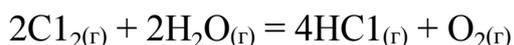


если  $\Delta H_{298}^0 = 178,6 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S_{298}^0 = 163,9 \text{ Дж/К}$ , равна (К):

а) 1565;      б) 530;      в) 858;      г) 1090.

### Вариант 3

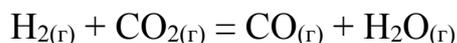
1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре  $25^\circ\text{C}$ , если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Cl}_{(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{HCl}_{(\text{г})}) = -92,3$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ , равен (кДж):

а)  $-114,4$ ;      б)  $57,2$ ;      в)  $114,4$ ;      г)  $-57,2$ .

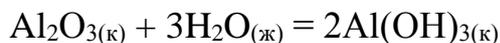
2. Изменение энтропии для реакции



при температуре  $298 \text{ К}$ , если  $S_{298}^0(\text{H}_{2(\text{г})}) = 130,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = 197,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 188,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а)  $-42,0$ ;      б)  $84,2$ ;      в)  $42,0$ ;      г)  $-84,2$ .

3. Изменение энергии Гиббса для реакции



при температуре  $25^\circ\text{C}$ , если  $\Delta H_{298}^0 = -53,9$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = -124,1$  Дж/К, равно (кДж):

а)  $16,92$ ;      б)  $-177,2$ ;      в)  $-16,92$ ;      г)  $177,2$ .

### Вариант 4

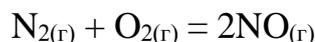
1. Стандартная теплота образования сульфида цинка ZnS по реакции



( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{ZnO}_{(\text{к})}) = -350,5$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{SO}_{2(\text{г})}) = -296,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):

а)  $206,0$ ;      б)  $103,0$ ;      в)  $-206,0$ ;      г)  $-103,0$ .

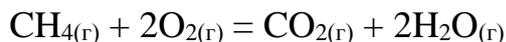
2. Изменение энтропии для реакции



при температуре  $298 \text{ К}$ , если  $S_{298}^0(\text{N}_{2(\text{г})}) = 191,6$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{NO}_{(\text{г})}) = 210,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

- а) -24,8;      б) 49,6;      в) 24,8;      г) -49,6.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции

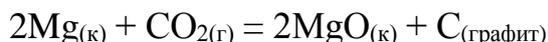


при стандартном давлении и температуре 500 К, если  $\Delta H_{500}^0 = -800,52 \text{ кДж}$ ,  
 $\Delta S_{500}^0 = -0,23 \text{ Дж/К}$ , равно (кДж):

- а) -800,41;      б) 408,35;      в) 800,41;      г) -408,35.

### Вариант 5

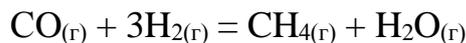
1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0 (\text{Mg}_{(\text{к})}) = 0$ ,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0 (\text{CO}_{2(\text{г})}) = -393,5 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0 (\text{MgO}_{(\text{к})}) = -601,6 \text{ кДж/моль}$ ,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0 (\text{C}_{(\text{графит})}) = 0$ , равен (кДж):

- а) -809,7;      б) 404,9;      в) 809,7;      г) -404,9.

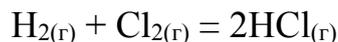
2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 25 °С, если  $S_{298}^0 (\text{CO}_{(\text{г})}) = 197,7 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  
 $S_{298}^0 (\text{H}_{2(\text{г})}) = 130,7 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $S_{298}^0 (\text{CH}_{4(\text{г})}) = 186,3 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  
 $S_{298}^0 (\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 188,8 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , равно (Дж/К):

- а) -214,7;      б) 107,4;      в) 214,7;      г) -107,4.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции

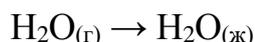


при стандартных условиях, если  $\Delta H_{298}^0 = -184,6 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S_{298}^0 = 20,0 \text{ Дж/К}$ , равно (кДж):

- а) -230,38;      б) 190,56;      в) 230,38;      г) -190,56.

### Вариант 6

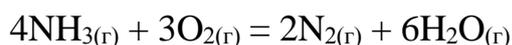
1. Тепловой эффект конденсации 10 моль воды



при  $P = \text{const}$ , если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0 (\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8 \text{ кДж/моль}$ ,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0 (\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = -285,8 \text{ кДж/моль}$ , равен (кДж):

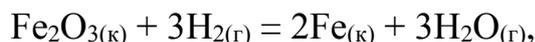
- а) 440,0;      б) -44,0;      в) -440,0;      г) 44,0.

2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 25 °С, если  $S_{298}^0(\text{NH}_{3(\text{г})}) = 192,8$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{N}_{2(\text{г})}) = 101,6$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 188,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
 а) 129,2; б) –258,6; в) –129,2; г) 258,6.

3. Температура, при которой наступит равновесие в системе



если  $\Delta H_{298}^0 = 98,8$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 141,5$  Дж/К, равна (К):  
 а) 698; б) 542; в) 825; г) 784.

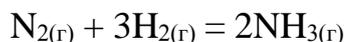
### Вариант 7

1. Стандартная теплота образования сероуглерода  $\text{CS}_2$  по реакции



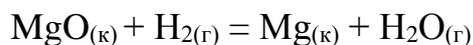
( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{к})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = -393,5$  кДж/моль,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{SO}_{2(\text{г})}) = -296,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):  
 а) 89,0; б) –178,0; в) –89,0; г) 178,0.

2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{N}_{2(\text{г})}) = 191,6$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_{2(\text{г})}) = 130,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{NH}_{3(\text{г})}) = 192,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
 а) –198,1; б) –396,2; в) 396,2; г) 198,1.

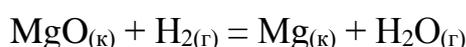
3. Изменение энергии Гиббса для реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{298}^0 = 359,8$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 63,8$  Дж/К, равно (кДж):  
 а) 686,7; б) –340,8; в) –686,7; г) 340,8.

### Вариант 8

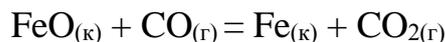
1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{MgO}_{(\text{к})}) = -601,6$  кДж/моль,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Mg}_{(\text{к})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль, равен (кДж):

а) –359,8; б) 229,3; в) 359,8; г) –229,3.

2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 25 °С, если  $S_{298}^0(\text{FeO}_{(к)}) = 61,0$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{CO}_{(г)}) = 197,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Fe}_{(к)}) = 27,3$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{CO}_{2(г)}) = 213,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) –17,6; б) 35,2; в) 17,6; г) –35,2.

3. Температура, при которой наступит равновесие в системе



если  $\Delta H_{298}^0 = 87,9$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 170,3$  Дж/К, равна (К):

а) 688; б) 516; в) 885; г) 904.

### Вариант 9

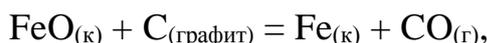
1. Тепловой эффект химической реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{f,298}^0(\text{NH}_{3(г)}) = -45,9$  кДж/моль,  
 $\Delta H_{f,298}^0(\text{HCl}_{(г)}) = -92,3$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{NH}_4\text{Cl}_{(к)}) = -314,4$  кДж/моль, равен (кДж):

а) 352,4; б) –176,2; в) –352,4; г) 176,2.

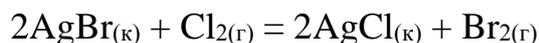
2. Стандартная энтропия оксида железа (II) FeO для реакции



если  $\Delta S_{298}^0 = 158,3$  Дж/К,  $S_{298}^0(\text{C}_{(графит)}) = 5,7$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{Fe}_{(к)}) = 27,3$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{(г)}) = 197,7$  Дж/моль·К, равна (Дж/моль·К):

а) –122,0; б) 61,0; в) 122,0; г) –61,0.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции

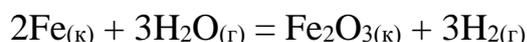


при температуре 298 К, если  $\Delta H_{298}^0 = -22,3$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 0,8$  Дж/К, равно (кДж):

а) 28,64; б) –22,54; в) –28,64; г) 22,54.

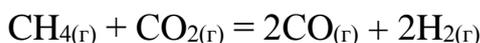
### Вариант 10

1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{f,298}^0(\text{Fe}_{(к)}) = 0$ ,  
 $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = -241,8$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_3_{(к)}) = -824,2$  кДж/моль,  
 $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2_{(г)}) = 0$ , равен (кДж):  
 а) 49,4; б) -98,8; в) 98,8; г) -49,4.

2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 25 °С, если  $S_{298}^0(\text{CH}_{4(г)}) = 186,3$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{CO}_{2(г)}) = 213,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{(г)}) = 197,7$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_{2(г)}) = 130,7$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
 а) 128,4; б) -256,7; в) -128,4; г) 256,7.

3. Температура, при которой наступит равновесие в системе



если  $\Delta H_{298}^0 = 100,7$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 175,1$  Дж/К, равна (К):  
 а) 1062; б) 426; в) 850; г) 575.

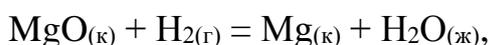
### Вариант 11

1. Стандартная теплота образования оксида азота (I) N<sub>2</sub>O по реакции



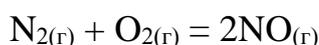
( $\Delta H_{f,298}^0(\text{C}_{(\text{графит})}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{CO}_{2(г)}) = -393,5$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{N}_{2(г)}) = 0$ ) равна (кДж/моль):  
 а) -163,2; б) 81,6; в) -81,6; г) 163,2.

2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{MgO}_{(к)}) = 27,0$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_2_{(г)}) = 130,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Mg}_{(к)}) = 32,7$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = 70,0$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
 а) 55,0; б) 110,0; в) -55,0; г) -110,0.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции



при температуре 298 К, если  $\Delta H_{298}^0 = 182,6$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 24,8$  Дж/К, равно (кДж):  
 а) 328,64; б) -175,21; в) -328,64; г) 175,21.

## Вариант 12

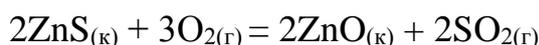
### 1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 298 К, если  $\Delta H_{f,298}^0(\text{CuO}_{(к)}) = -157,3$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{C}_{(графит)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{Cu}_{(к)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{CO}_{(г)}) = -110,5$  кДж/моль, равен (кДж):

а) -93,6;      б) -46,8;      в) 93,6;      г) 46,8.

### 2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 25 °С, если  $S_{298}^0(\text{ZnS}_{(к)}) = 57,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{ZnO}_{(к)}) = 43,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{SO}_{2(г)}) = 248,2$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 147,2;      б) 81,6;      в) -147,2;      г) -81,6.

### 3. Температура, при которой наступит равновесие в системе



если  $\Delta H_{298}^0 = 271,5$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 173,8$  Дж/К, равна (К):

а) 1985;      б) 773;      в) 958;      г) 1562.

## Вариант 13

### 1. Стандартная теплота образования сероводорода H<sub>2</sub>S по реакции



( $\Delta H_{f,298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{SO}_{2(г)}) = -296,8$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = -241,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):

а) -20,6;      б) 41,2;      в) 20,6;      г) -41,2.

### 2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{C}_{(графит)}) = 5,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{H}_{2(г)}) = 130,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{C}_2\text{H}_{6(г)}) = 229,2$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 87,2;      б) -174,3;      в) -87,2;      г) 174,3.

### 3. Изменение энергии Гиббса для реакции

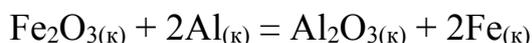


при температуре 25°C, если  $\Delta H_{298}^0 = -176,2 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S_{298}^0 = -285,1 \text{ Дж/К}$ , равно (кДж):

а) -91,24; б) -184,16; в) 91,24; г) 184,16.

### Вариант 14

1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 298 К, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к})) = -824,2 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Al}(\text{к})) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Al}_2\text{O}_3(\text{к})) = -1675,7 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Fe}(\text{к})) = 0$ , равен (кДж):

а) -425,8; б) 851,5; в) 425,8; г) -851,5.

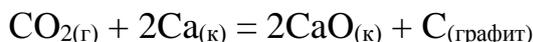
2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{MgCO}_3(\text{к})) = 65,7 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $S_{298}^0(\text{MgO}(\text{к})) = 27,0 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $S_{298}^0(\text{CO}_2(\text{г})) = 213,8 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , равно (Дж/К):

а) 87,4; б) -175,1; в) -87,4; г) 175,1.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции

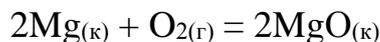


при стандартном давлении и температуре 973 К, если  $\Delta H_{973}^0 = -873,87 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S_{973}^0 = -210,8 \text{ Дж/К}$ , равно (кДж):

а) 1081,42; б) -668,76; в) -1081,42; г) 668,76.

### Вариант 15

1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 798 К ( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Mg}(\text{к})) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_2(\text{г})) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{MgO}(\text{к})) = -601,6 \text{ кДж/моль}$ ;  $C_{\text{p} 298}^0(\text{Mg}(\text{к})) = 24,9 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $C_{\text{p} 298}^0(\text{O}_2(\text{г})) = 29,4 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $C_{\text{p} 298}^0(\text{MgO}(\text{к})) = 37,2 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ) равен (кДж):

а) -605,08; б) -1205,6; в) 605,08; г) 1205,6.

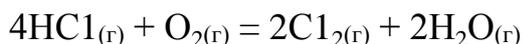
2. Стандартная энтропия гидроксида алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  для реакции



если  $\Delta S_{298}^0 = -124,1 \text{ Дж/К}$ ,  $S_{298}^0(\text{Al}_2\text{O}_3(\text{к})) = 50,9 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) = 70,0 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , равна (Дж/моль · К):

- а) 68,4;      б) 102,0;      в) -68,4;      г) -102,0.

3. Изменение энергии Гиббса для реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{298}^0 = -114,4$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = -129$  Дж/К, равно (кДж):

- а) 186,72;      б) -75,96;      в) -186,72;      г) 75,96.

**Вариант 16**

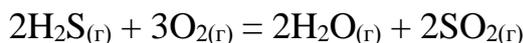
1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 298 К, если  $\Delta H_{f,298}^0(\text{ZnO}_{(к)}) = -350,5$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{C}_{(графит)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{Zn}_{(к)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{CO}_{(г)}) = -110,5$  кДж/моль, равен (кДж):

- а) -120,0;      б) 240,0;      в) 120,0;      г) -240,0.

2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 25 °С, если  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{S}_{(г)}) = 205,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = 188,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{SO}_{2(г)}) = 248,2$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

- а) 153,2;      б) -306,4;      в) -153,2;      г) 306,4.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции



при стандартном давлении и температуре 873 К, если  $\Delta H_{873}^0 = 100,01$  кДж,  $\Delta S_{873}^0 = 173,81$  Дж/К, равно (кДж):

- а) 108,36;      б) -51,73;      в) -108,36;      г) 51,73.

**Вариант 17**

1. Стандартная теплота образования сульфида свинца (II) PbS по реакции



( $\Delta H_{f,298}^0(\text{O}_{2(г)}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{PbO}_{(к)}) = -219,0$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{SO}_{2(г)}) = -296,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):

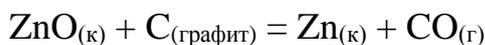
- а) 100,4;      б) 200,8;      в) -100,4;      г) -200,8.

2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 298 К, если  $S_{298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = 197,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{O}_{2(\text{к})}) = 205,2$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
 а) -173,0; б) 346,2; в) 173,0; г) -346,2.

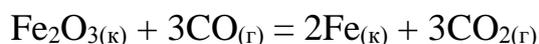
3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции



при температуре 298 К, если  $\Delta H_{298}^0 = 240$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 189,9$  Дж/К, равно (кДж):  
 а) -183,41; б) 328,52; в) -328,52; г) 183,41.

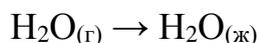
### Вариант 18

1. Тепловой эффект химической реакции



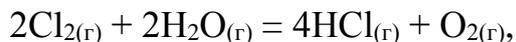
при температуре 298 К, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}) = -824,2$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = -110,5$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Fe}_{(\text{к})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = -393,5$  кДж/моль, равен (кДж):  
 а) 49,6; б) -24,8; в) -49,6; г) 24,8.

2. Изменение энтропии при конденсации 10 моль воды



при температуре 25°C, если  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 188,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = 70,0$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
 а) 1188,0; б) -118,8; в) -1188,0; г) 118,8.

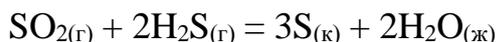
3. Температура, при которой наступит равновесие в системе



если  $\Delta H_{298}^0 = 114,4$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 129$  Дж/К, равна (К):  
 а) 734; б) 468; в) 887; г) 1125.

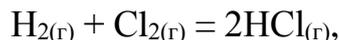
### Вариант 19

1. Тепловой эффект химической реакции



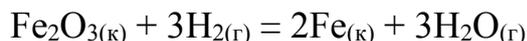
при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{SO}_{2(\text{г})}) = -296,8$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}) = -20,6$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{S}_{(\text{к})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = -285,8$  кДж/моль, равен (кДж):  
 а) -233,6; б) 467,2; в) 233,6; г) -467,2.

## 2. Стандартная энтропия хлороводорода HCl для реакции



если  $\Delta S_{298}^0 = 20,0$  Дж/К,  $S_{298}^0(\text{H}_{2(\text{г})}) = 130,7$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{Cl}_{2(\text{г})}) = 223,1$  Дж/моль·К, равна (Дж/моль·К):  
а) 186,9; б) 93,4; в) -186,9; г) -93,4.

## 3. Изменение энергии Гиббса для реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{298}^0 = 98,8$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 141,5$  Дж/К, равно (кДж):  
а) 56,63; б) 113,84; в) -56,63; г) -113,84.

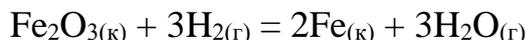
### Вариант 20

#### 1. Тепловой эффект химической реакции



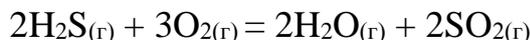
при температуре 298 К, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = -110,5$  кДж/моль,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = -393,5$  кДж/моль, равен (кДж):  
а) -566,0; б) 1132,0; в) 566,0; г) -1132,0.

#### 2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}) = 87,4$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_{2(\text{г})}) = 130,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Fe}_{(\text{к})}) = 27,3$  Дж/моль·К,  
 $S_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 188,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):  
а) 141,5; б) -70,8; в) -141,5; г) 70,8.

#### 3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции



при стандартном давлении и температуре 573 К, если  $\Delta H_{573}^0 = -1038,64$  кДж,  
 $\Delta S_{573}^0 = -159,48$  Дж/К, равно (кДж):  
а) -1852,54; б) 947,26; в) 1852,54; г) -947,26.

### Вариант 21

#### 1. Стандартная теплота образования бромоводорода HBr по реакции



( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Br}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):

а) 72,6;      б) –36,3;      в) –72,6;      г) 36,3.

2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{CaCO}_{3(\text{к})}) = 88,0$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CaO}_{(\text{к})}) = 38,1$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 82,0;      б) –163,9;      в) –82,0;      г) 163,9.

3. Изменение энергии Гиббса для реакции

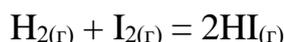


при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{298}^0 = 131,3$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 133,9$  Дж/К, равно (кДж):

а) –91,4;      б) –107,28;      в) 91,4;      г) 107,28.

## Вариант 22

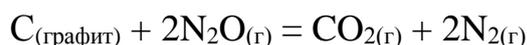
1. Тепловой эффект химической реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{I}_{2(\text{г})}) = 62,4$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{HI}_{(\text{г})}) = 26,5$  кДж/моль, равен (кДж):

а) –9,4;      б) 4,7;      в) 9,4;      г) –4,7.

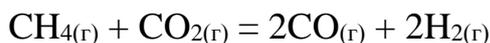
2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 298 К, если  $S_{298}^0(\text{C}_{(\text{графит})}) = 5,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 220,0$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{N}_{2(\text{г})}) = 191,6$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 151,3;      б) –258,6;      в) –151,3;      г) 258,6.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции



при стандартном давлении и температуре 773 К, если  $\Delta H_{773}^0 = 267,525$  кДж,  $\Delta S_{773}^0 = 297,69$  Дж/К, равно (кДж):

а) –84,25;      б) 37,41;      в) 84,25;      г) –37,41.

## Вариант 23

1. Стандартная теплота образования аммиака  $\text{NH}_3$  по реакции



( $\Delta H_{f,298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{N}_2) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль) равна (кДж/моль):

а) 45,9; б) -91,8; в) -45,9; г) 91,8.

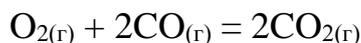
2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{PCl}_{5(\text{г})}) = 364,6$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{PCl}_{3(\text{г})}) = 311,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Cl}_{2(\text{г})}) = 223,1$  Дж/моль·К, равно(Дж/К):

а) -170,3; б) 85,2; в) 170,3; г) -85,2.

3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции

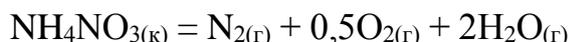


при стандартных условиях, если  $\Delta H_{298}^0 = -566$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = -173$  Дж/К, равно (кДж):

а) -384,52; б) 514,45; в) 384,52; г) -514,45.

## Вариант 24

1. Тепловой эффект химической реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{f,298}^0(\text{NH}_4\text{NO}_{3(\text{к})}) = -365,6$  кДж/моль,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{N}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль, равен (кДж):

а) -118,0; б) 236,0; в) 118,0; г) -236,0.

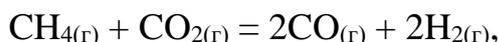
2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{ZnO}_{(\text{к})}) = 43,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{C}_{(\text{графит})}) = 5,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Zn}_{(\text{к})}) = 41,6$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = 197,7$  Дж/моль·К, равно(Дж/К):

а) 94,9; б) 189,9; в) -94,9; г) -189,9.

3. Температура, при которой наступит равновесие в системе

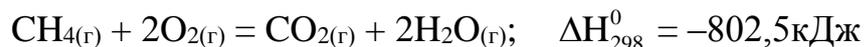


если  $\Delta H_{298}^0 = 247,1$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 256,7$  Дж/К, равна (К):

а) 963; б) 548; в) 1032; г) 675.

## Вариант 25

1. Стандартная теплота образования метана  $\text{CH}_4$  по реакции



( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = -393,5$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль)

равна (кДж/моль):

а) 74,6;      б) -149,2;      в) -74,6;      г) 149,2.

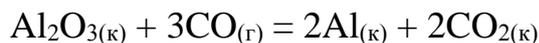
2. Изменение энтропии для реакции



при стандартных условиях, если  $S_{298}^0(\text{NH}_{3(\text{г})}) = 192,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{HCl}_{(\text{г})}) = 186,9$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})}) = 94,6$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а) 142,6;      б) -285,1;      в) -142,6;      г) 285,1.

3. Изменение энергии Гиббса для реакции

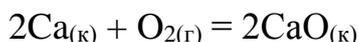


при температуре 25 °С, если  $\Delta H_{298}^0 = 826,7$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 54$  Дж/К, равно (кДж):

а) -810,61;      б) -407,28;      в) 810,61;      г) 407,28.

## Вариант 26

1. Тепловой эффект химической реакции



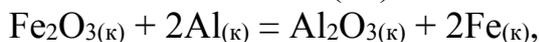
при температуре 998 К ( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Ca}_{(\text{к})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,

$\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CaO}_{(\text{к})}) = -634,9$  кДж/моль;  $C_{\text{P} 298}^0(\text{Ca}_{(\text{к})}) = 25,9$  Дж/моль·К,

$C_{\text{P} 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 29,4$  Дж/моль·К,  $C_{\text{P} 298}^0(\text{CaO}_{(\text{к})}) = 42,0$  Дж/моль·К) равен (кДж):

а) -622,4;      б) -1267,8;      в) 622,4;      г) 1267,8.

2. Стандартная энтропия оксида железа (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  для реакции



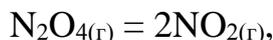
если  $\Delta S_{298}^0 = -38,5$  Дж/К,  $S_{298}^0(\text{Al}_{(\text{к})}) = 28,3$  Дж/моль·К,

$S_{298}^0(\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{к})}) = 50,9$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Fe}_{(\text{к})}) = 27,3$  Дж/моль·К, равна

(Дж/моль·К):

а) -174,3;      б) 87,4;      в) 174,3;      г) -87,4.

3. Температура, при которой наступит равновесие в системе

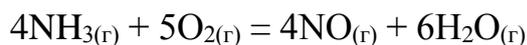


если  $\Delta H_{298}^0 = 55,3$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 175,8$  Дж/К, равна (К):

а) 687;      б) 315;      в) 298;      г) 905.

## Вариант 27

### 1. Тепловой эффект химической реакции



при стандартных условиях, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{NH}_{3(\text{г})}) = -45,9$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{O}_{2(\text{г})}) = 0$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{NO}_{(\text{г})}) = 91,3$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль, равен (кДж):

а)  $-902,0$ ; б)  $1804,0$ ; в)  $902,0$ ; г)  $-1804,0$ .

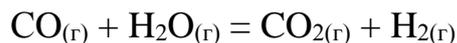
### 2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 298 К, если  $S_{298}^0(\text{BaCO}_{3(\text{к})}) = 112,1$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{BaO}_{(\text{к})}) = 72,1$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8$  Дж/моль·К, равно (Дж/К):

а)  $-173,8$ ; б)  $356,2$ ; в)  $173,8$ ; г)  $-356,2$ .

### 3. Изменение изобарно-изотермического потенциала для реакции

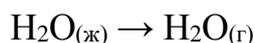


при температуре 298 К, если  $\Delta H_{298}^0 = -41,2$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = -42$  Дж/К, равно (кДж):

а)  $-69,45$ ; б)  $28,68$ ; в)  $69,45$ ; г)  $-28,68$ .

## Вариант 28

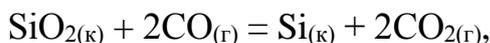
### 1. Тепловой эффект испарения 10 моль воды



при  $P = \text{const}$ , если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = -285,8$  кДж/моль,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$  кДж/моль, равен (кДж):

а)  $440,0$ ; б)  $-44,0$ ; в)  $-440,0$ ; г)  $44,0$ .

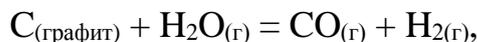
### 2. Стандартная энтропия оксида кремния (II) $\text{SiO}_2$ для реакции



если  $\Delta S_{298}^0 = 9,5$  Дж/К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = 197,7$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{Si}_{(\text{к})}) = 18,8$  Дж/моль·К,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8$  Дж/моль·К, равна (Дж/моль·К):

а)  $-41,5$ ; б)  $82,8$ ; в)  $41,5$ ; г)  $-82,8$ .

### 3. Температура, при которой наступит равновесие в системе

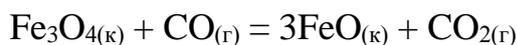


если  $\Delta H_{298}^0 = 131,3$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 133,9$  Дж/К, равна (К):

а)  $467$ ; б)  $823$ ; в)  $981$ ; г)  $647$ .

## Вариант 29

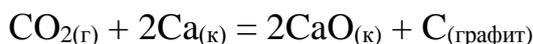
### 1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 298 К, если  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})}) = -1118,4 \text{ кДж/моль}$ ,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = -110,5 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{FeO}_{(\text{к})}) = -272,0 \text{ кДж/моль}$ ,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = -393,5 \text{ кДж/моль}$ , равен (кДж):

а) 19,4;      б) 38,8;      в) -19,4;      г) -38,8.

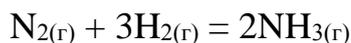
### 2. Изменение энтропии для реакции



при температуре 298 К, если  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  
 $S_{298}^0(\text{Ca}_{(\text{к})}) = 41,6 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $S_{298}^0(\text{CaO}_{(\text{к})}) = 38,1 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  
 $S_{298}^0(\text{C}_{(\text{графит})}) = 5,7 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , равно(Дж/К):

а) -215,1;      б) 107,6;      в) 215,1;      г) -107,6.

### 3. Изменение энергии Гиббса для реакции

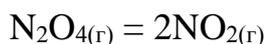


при температуре 25°C, если  $\Delta H_{298}^0 = -91,8 \text{ кДж}$ ,  $\Delta S_{298}^0 = -198,1 \text{ Дж/К}$ , равно (кДж):

а) 32,77;      б) -107,28;      в) -32,77;      г) 107,28.

## Вариант 30

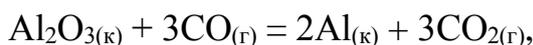
### 1. Тепловой эффект химической реакции



при температуре 698 К ( $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{N}_2\text{O}_{4(\text{г})}) = 11,1 \text{ кДж/моль}$ ,  
 $\Delta H_{\text{f}, 298}^0(\text{NO}_{2(\text{г})}) = 33,2 \text{ кДж/моль}$ ;  $C_{\text{p} 298}^0(\text{N}_2\text{O}_{4(\text{г})}) = 79,2 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  
 $C_{\text{p} 298}^0(\text{NO}_{2(\text{г})}) = 37,2 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ) равен (кДж):

а) -53,38;      б) 106,76;      в) 53,38;      г) -106,76.

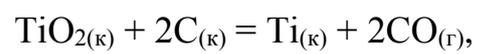
### 2. Стандартная энтропия оксида алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3$ для реакции



если  $\Delta S_{298}^0 = 54,0 \text{ Дж/К}$ ,  $S_{298}^0(\text{CO}_{(\text{г})}) = 197,7 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  
 $S_{298}^0(\text{Al}_{(\text{к})}) = 28,3 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $S_{298}^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 213,8 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , равна (Дж/моль·К):

а) 50,9;      б) 108,0;      в) -50,9;      г) -108,0.

### 3. Температура, при которой наступит равновесие в системе



если  $\Delta H_{298}^0 = 718$  кДж,  $\Delta S_{298}^0 = 364,8$  Дж/К, равна (К):

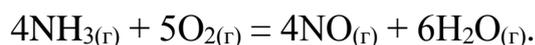
а) 926;            б) 681;            в) 1968;            г) 1273.

## 4 Индивидуальные задания

### 4.1 Варианты индивидуальных заданий 1-го уровня сложности

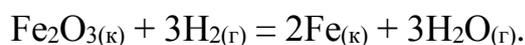
#### Вариант 1

1. Вычислите тепловой эффект реакции горения аммиака при стандартных условиях:



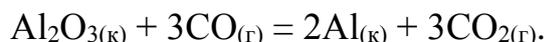
Напишите термохимическое уравнение реакции. Какая это реакция — экзо- или эндотермическая?

2. Определите, при какой температуре начнется реакция восстановления железа из его оксида водородом, протекающая по уравнению:

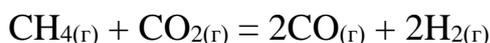


#### Вариант 2

1. Вычислите изменение энтропии при стандартных условиях для следующей химической реакции:



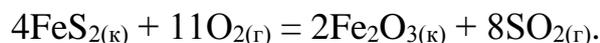
2. Определите направление протекания реакции



при стандартном давлении и температуре 500 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

#### Вариант 3

1. Вычислите тепловой эффект реакции сгорания пирита при температуре 25 °С:



Запишите термохимическое уравнение реакции. Какая это реакция — экзо- или эндотермическая?

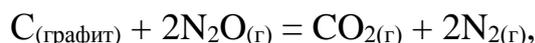
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции между компонентами земной атмосферы при стандартных условиях



используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

#### Вариант 4

1. Вычислите изменение энтропии для реакции, протекающей по уравнению



при стандартных условиях.

2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции при стандартных условиях



используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

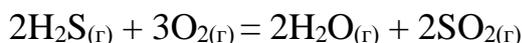
#### Вариант 5

1. Вычислите стандартную теплоту образования хлорида аммония  $NH_4Cl$ , используя стандартные энтальпии образования веществ, если для реакции



тепловой эффект  $\Delta H_{298}^0 = -176,2$  кДж.

2. Определите направление протекания реакции

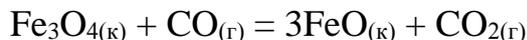


при стандартном давлении и температуре  $300$  °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

#### Вариант 6

1. Рассчитайте изменение энтропии при плавлении  $414$  г свинца, если температура плавления свинца  $327$  °С, а молярная энтальпия плавления равна  $24,8$  кДж/моль.

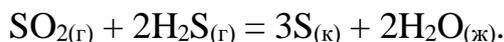
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре  $25$  °С, используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ. Возможен ли этот процесс при стандартных условиях?

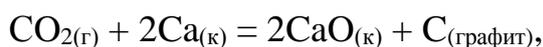
#### Вариант 7

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции при стандартных условиях:



Напишите термохимическое уравнение реакции. Какая это реакция — экзо- или эндотермическая?

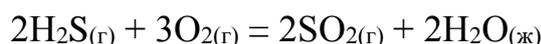
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции при стандартных условиях



используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

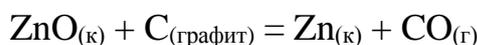
### **Вариант 8**

1. Вычислите стандартную энтропию газообразного сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ , если для реакции



изменение энтропии при стандартных условиях  $\Delta S_{298}^0 = -390,8$  Дж/К.

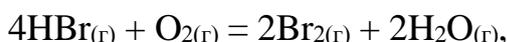
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартном давлении и температуре  $200^\circ\text{C}$ . Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

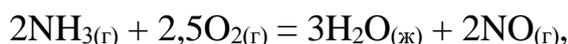
### **Вариант 9**

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции



протекающей при постоянном давлении и температуре  $500\text{ K}$ . При расчетах считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

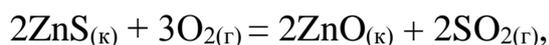
2. Вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ. Возможен ли этот процесс при стандартных условиях?

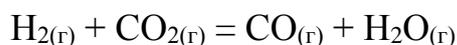
### **Вариант 10**

1. Вычислите изменение энтропии для реакции, протекающей по уравнению



при температуре  $25^\circ\text{C}$ .

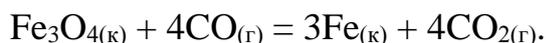
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартных условиях, используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

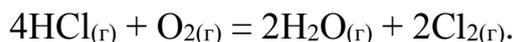
### Вариант 11

1. Вычислите изменение энтальпии реакции при температуре 600 К:



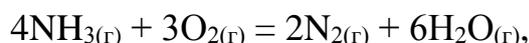
При расчетах считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

2. На основании термодинамических расчетов определите температуру наступления равновесия в системе:



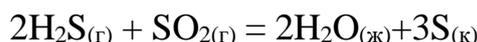
### Вариант 12

1. Вычислите изменение энтропии для реакции, протекающей по уравнению



при стандартных условиях.

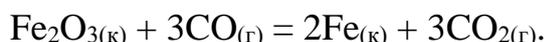
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартном давлении и температуре 500 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

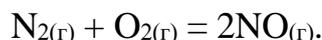
### Вариант 13

1. Рассчитайте тепловой эффект химической реакции при стандартных условиях:



Составьте термохимическое уравнение реакции. Какая это реакция — экзо- или эндотермическая?

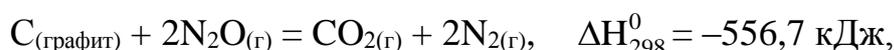
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции при стандартных условиях:



Установите температуру, при которой реакция становится термодинамически возможной.

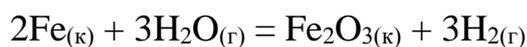
### Вариант 14

1. Исходя из стандартных энтальпий образования веществ и термохимического уравнения



вычислите стандартную теплоту образования оксида азота (I)  $\text{N}_2\text{O}$ .

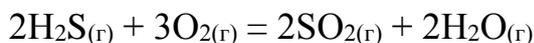
2. Определите направление протекания реакции



при стандартных условиях.

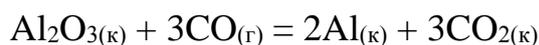
### **Вариант 15**

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции



при температуре 700 К. При расчетах считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

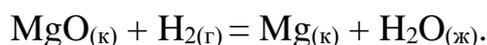
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



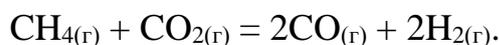
при стандартных условиях, используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

### **Вариант 16**

1. Рассчитайте изменение энтропии для реакции, протекающей при стандартных условиях:



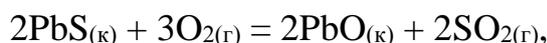
2. Реакция взаимодействия метана с диоксидом углерода протекает по уравнению



Вычислите, при какой температуре начнется эта реакция.

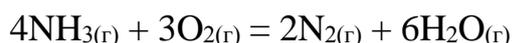
### **Вариант 17**

1. Определите тепловой эффект реакции



при температуре 25 °С, используя значения стандартных теплот образования реагирующих веществ. Какая это реакция — экзо- или эндотермическая? Напишите термохимическое уравнение реакции.

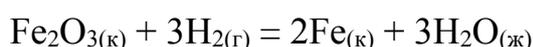
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартном давлении и температуре 100 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

### **Вариант 18**

1. Вычислите стандартную теплоту образования оксида железа (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , используя стандартные энтальпии образования веществ, если для реакции



тепловой эффект при стандартных условиях  $\Delta H_{298}^0 = -33,2$  кДж.

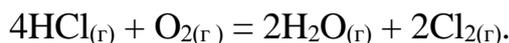
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре 500 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

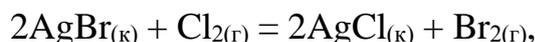
### **Вариант 19**

1. Вычислите стандартное изменение энтальпии реакции:



Напишите термохимическое уравнение реакции. Какая это реакция — экзо- или эндотермическая?

2. Рассчитайте стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К для реакции



используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ. Возможно ли протекание этой реакции в прямом направлении при стандартных условиях?

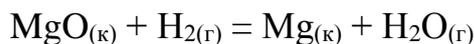
### **Вариант 20**

1. Вычислите изменение энтропии для реакции, протекающей по уравнению



при стандартных условиях.

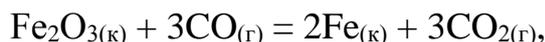
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартном давлении и температуре 998 К. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

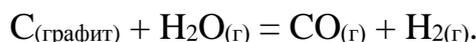
### **Вариант 21**

1. Рассчитайте изменение энтропии для реакции



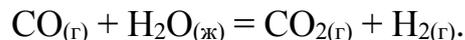
протекающей при стандартных условиях.

2. На основании термодинамических расчетов определите температуру наступления равновесия в системе:



### Вариант 22

1. Вычислите тепловой эффект реакции, протекающей при стандартных условиях:



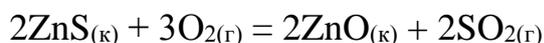
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре 700 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

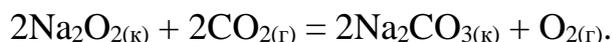
### Вариант 23

1. Вычислите стандартную энтальпию образования сульфида цинка  $\text{ZnS}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ, если известно, что тепловой эффект  $\Delta H_{298}^0$  реакции



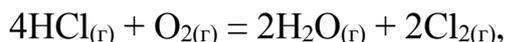
равен минус 882,6 кДж.

2. Определите термодинамическую возможность процесса регенерации воздуха в закрытых помещениях с помощью пероксида натрия при стандартных условиях:



### Вариант 24

1. Вычислите изменение энтропии для реакции, протекающей по уравнению



при стандартных условиях.

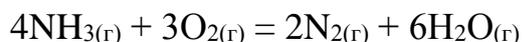
2. Вычислите изменение энергии Гиббса для химической реакции



при температуре 700 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ . Возможен ли этот процесс при данной температуре?

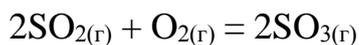
### Вариант 25

1. Вычислите стандартную энтальпию образования газообразного аммиака  $\text{NH}_3$ , используя стандартные энтальпии образования веществ, если для реакции



тепловой эффект  $\Delta H_{298}^0 = -1267,2$  кДж.

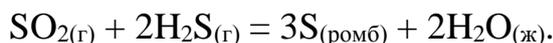
2. Вычислите изменение энергии Гиббса для химической реакции



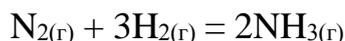
при температуре 100 °С. Считать, что  $C_p \neq f(T)$ . Возможен ли этот процесс при данной температуре?

### **Вариант 26**

1. Вычислите изменение энтропии для реакции, протекающей при стандартных условиях:



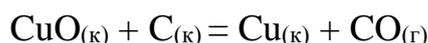
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре 500 °С. Следует считать, что  $C_p \neq f(T)$ .

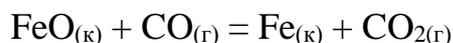
### **Вариант 27**

1. Вычислите стандартную энтальпию образования оксида меди (II)  $\text{CuO}$ , используя стандартные энтальпии образования веществ, если для реакции



тепловой эффект  $\Delta H_{298}^0 = 46,8$  кДж.

2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции

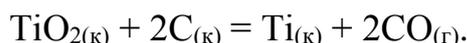


при стандартных условиях, используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

### **Вариант 28**

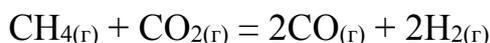
1. Вычислите изменение энтропии при испарении 250 г воды при температуре 25 °С, если молярная теплота испарения воды при этой температуре равна 44 кДж/моль.

2. На основании термодинамических расчетов определите, при какой температуре начнется реакция восстановления  $\text{TiO}_2$  до свободного титана:



### **Вариант 29**

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции



при стандартных условиях.

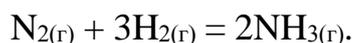
2. Вычислите изменение свободной энергии Гиббса при температуре 600 °С для реакции разложения карбоната магния



Возможен ли этот процесс при данной температуре?

### **Вариант 30**

1. Вычислите изменение энтропии при стандартных условиях для реакции



2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре 25 °С, используя значения стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий веществ.

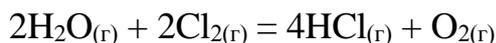
## 4.2 Варианты индивидуальных заданий 2-го уровня сложности

### Вариант 1

1. Рассчитайте количество теплоты, которое поглощается при восстановлении 1 кг оксида цинка графитом при стандартных условиях:



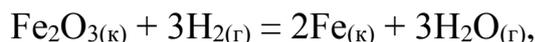
2. Определите, возможна ли реакция взаимодействия водяного пара с хлором



при стандартных условиях и 900 К,  $C_p \neq f(T)$ . Вычислите температуру, при которой в данной системе окислительные свойства хлора и кислорода одинаковы.

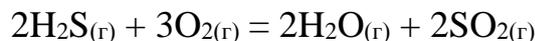
### Вариант 2

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 500 °С.

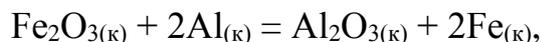
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре 300 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Вычислите константу равновесия  $K_p$  при этой температуре.

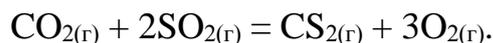
### Вариант 3

1. Рассчитайте количество теплоты, которое выделяется при стандартных условиях по реакции



если на восстановление оксида железа (III) потребовалось 250 г алюминия.

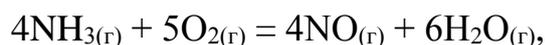
2. Вычислите константу равновесия  $K_p$  при стандартных условиях для реакции



Как изменится численное значение константы равновесия при повышении температуры до 800 °С? Ответ подтвердите расчетом.

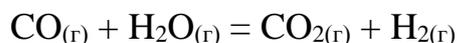
### Вариант 4

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 350 °С. Почему для данной реакции  $\Delta S > 0$ ?

2. Рассчитайте изменение изобарно-изотермического потенциала и константу равновесия  $K_p$  реакции



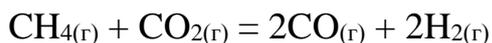
при 100 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Сделайте вывод о направлении протекания реакции при данных условиях.

### **Вариант 5**

1. Рассчитайте количество теплоты, выделяющейся при гашении 100 кг извести водой при температуре 25 °С:



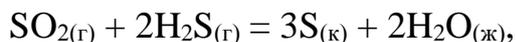
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартных условиях и температуре 1000 К,  $C_p \neq f(T)$ . Вычислите температуру наступления равновесия в системе.

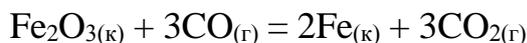
### **Вариант 6**

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 450 °С.

2. Вычислите изменение изобарно-изотермического потенциала и константу равновесия  $K_p$  для реакции



при  $P = 101325$  Па и температуре 125 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Сделайте вывод о направлении протекания реакции при данных условиях.

### **Вариант 7**

1. Определите тепловой эффект реакции при стандартных условиях:



Рассчитайте, какое количество теплоты необходимо затратить для получения 10 л (н. у.) аммиака по данной реакции.

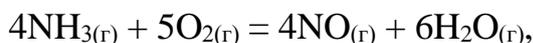
2. Вычислите константу равновесия  $K_p$  при стандартных условиях для реакции



Как изменится численное значение константы равновесия при повышении температуры до 1000 °С? Ответ подтвердите расчетом.

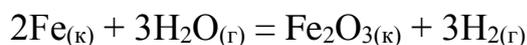
### **Вариант 8**

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции



протекающей при постоянном давлении и температуре 200 °С. При расчетах принять, что  $C_p \neq f(T)$ . Изменится ли численное значение теплового эффекта, если реакцию проводить при постоянном объеме и температуре 200 °С? Ответ подтвердите расчетом.

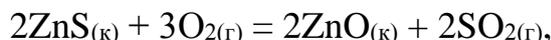
2. Вычислите изменение изобарно-изотермического потенциала и константу равновесия  $K_p$  реакции



при температуре 25 °С. Рассчитайте, при какой температуре вероятность протекания реакции в обоих направлениях одинакова.

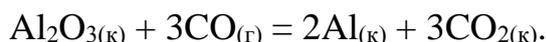
### **Вариант 9**

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 600 °С.

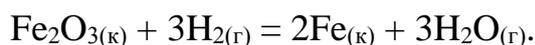
2. Вычислите константу равновесия  $K_p$  при стандартных условиях для реакции:



Как изменится численное значение константы равновесия при повышении температуры на 100 °С? Ответ подтвердите расчетом.

### **Вариант 10**

1. Рассчитайте количество теплоты, которое поглощается при восстановлении 1 кг оксида железа (III) водородом при стандартных условиях:



2. Рассчитайте парциальные давления CO и CO<sub>2</sub> в системе



при 600°С, если общее давление равно 1 атм.

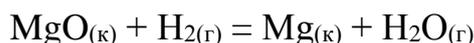
### **Вариант 11**

1. Определите тепловой эффект реакции при стандартных условиях:



Вычислите, сколько теплоты поглощается при разложении 10 кг карбоната магния по этой реакции.

2. На основании термодинамических расчетов определите направление протекания реакции



при стандартных условиях. Рассчитайте константу равновесия  $K_p$  при температуре 25 °С. Вычислите температуру наступления равновесия в системе.

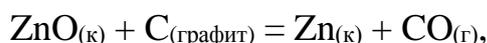
### **Вариант 12**

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 600 °С. Почему для данной реакции  $\Delta S < 0$ ?

2. Рассчитайте константу равновесия  $K_p$  для реакции



протекающей при стандартных условиях. Как изменится численное значение константы равновесия при температуре 150 °С? Ответ подтвердите расчетом.

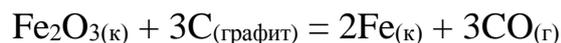
### **Вариант 13**

1. Определите тепловой эффект реакции при стандартных условиях:



Вычислите, сколько теплоты поглощается при разложении 1 кг карбоната бария по этой реакции.

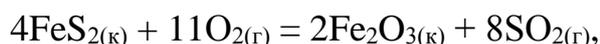
2. Проведите термодинамический анализ возможности получения железа по реакции



при стандартных условиях и при 1000 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Определите температуру начала реакции.

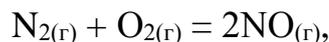
### **Вариант 14**

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 800 °С.

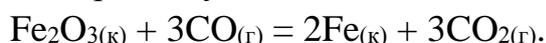
2. Вычислите тепловой эффект реакции



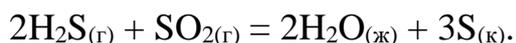
если константы равновесия  $K_p$  при температурах 2300 и 2600 К соответственно равны  $1,69 \cdot 10^{-3}$  и  $5,03 \cdot 10^{-3}$ . В указанном интервале температур  $\Delta H_{\text{х.р.}} = \text{const}$ . Рассчитайте изменение изобарно-изотермического потенциала при температуре 2600 К и сделайте вывод о направлении протекания реакции при данной температуре.

### **Вариант 15**

1. Рассчитайте количество теплоты, которое выделяется при получении железа массой 10 кг при стандартных условиях:



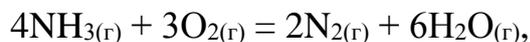
2. Вычислите константу равновесия  $K_p$  при стандартных условиях для реакции



Как изменится численное значение константы равновесия при повышении температуры до 500 °С? Ответ подтвердите расчетом.

### **Вариант 16**

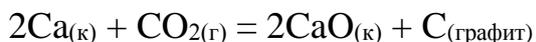
1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 350 °С.

Почему для данной реакции  $\Delta S > 0$ ?

2. Вычислите изменение изобарно-изотермического потенциала и константу равновесия  $K_p$  для реакции



при  $P = 101325$  Па и температуре 700 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Сделайте вывод о направлении протекания реакции при данных условиях.

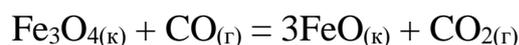
### **Вариант 17**

1. Вычислите тепловой эффект реакции



при температуре 25 °С и определите, какое количество теплоты выделяется при взаимодействии 10 л (н. у.) аммиака по данной реакции.

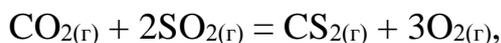
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартных условиях. Рассчитайте константу равновесия  $K_p$  при температуре 25 °С. Вычислите температуру наступления равновесия в системе.

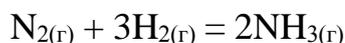
### **Вариант 18**

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции



протекающей при постоянном давлении и температуре 300 °С. При расчетах принять, что  $C_p \neq f(T)$ . Изменится ли численное значение теплового эффекта, если реакцию проводить при постоянном объеме и температуре 300 °С? Ответ подтвердите расчетом.

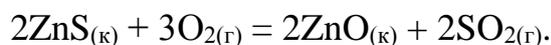
2. Для реакции синтеза аммиака



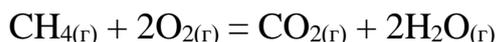
вычислите константы равновесия  $K_p$  при температурах 25 °С и 500 °С. Сделайте вывод о глубине протекания реакции при данных условиях.

### **Вариант 19**

1. Вычислите количество теплоты, которое выделяется при окислении 1 кг сульфида цинка при стандартных условиях:



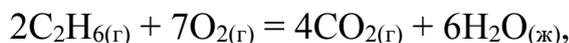
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при температуре 500 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Вычислите константу равновесия  $K_p$  при данной температуре.

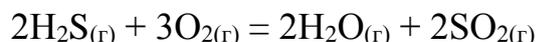
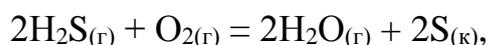
### **Вариант 20**

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 300 °С.

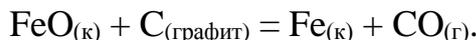
2. Вычислите изменение свободной энергии Гиббса и константу равновесия  $K_p$  для реакций



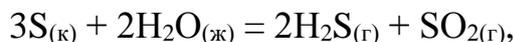
при температуре на 298 К и определите, какая из приведенных реакций термодинамически предпочтительней при данных условиях.

### Вариант 21

1. Рассчитайте количество теплоты, которое выделяется при восстановлении 10 кг оксида железа (II) графитом при стандартных условиях:



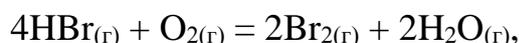
2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



при стандартных условиях и 700 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Вычислите температуру наступления равновесия в системе.

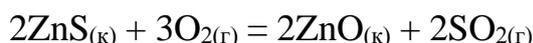
### Вариант 22

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 250 °С.

2. Вычислите изменение изобарно-изотермического потенциала и константу равновесия  $K_p$  для реакции



при  $P = 101325$  Па и температуре 600 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Сделайте вывод о направлении протекания реакции при данных условиях.

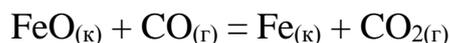
### Вариант 23

1. Определите тепловой эффект реакции окисления хлороводорода при стандартных условиях:



Рассчитайте, какое количество теплоты выделяется при окислении 1 м<sup>3</sup>(н. у.) хлороводорода по данной реакции.

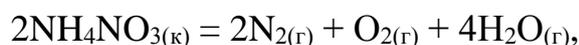
2. Вычислите изменение свободной энергии Гиббса и константу равновесия  $K_p$  для реакций



при стандартных условиях. Вычислите температуру наступления равновесия в системе.

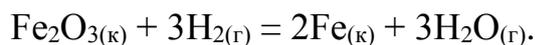
### Вариант 24

1. Рассчитайте изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 300 °С.

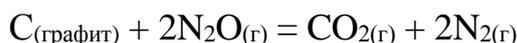
2. Определите термодинамическую возможность восстановления железа из его оксида водородом при стандартных условиях и температуре 900 К:



Вычислите температуру наступления равновесия в этой системе.

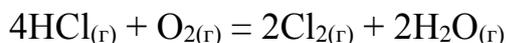
### **Вариант 25**

1. Вычислите тепловой эффект реакции



при температуре 25 °С и определите, какое количество теплоты выделяется при взаимодействии 1 кг графита с оксидом азота (I) по данной реакции.

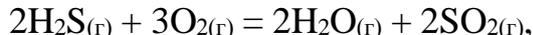
2. Рассчитайте изменение энергии Гиббса и константу равновесия  $K_p$  реакции



при температуре 200 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Сделайте вывод о направлении протекания реакции при данных условиях.

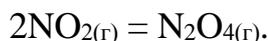
### **Вариант 26**

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции



протекающей при постоянном давлении и температуре 200 °С. При расчетах принять, что  $C_p \neq f(T)$ . Изменится ли численное значение теплового эффекта, если реакцию проводить при постоянном объеме и температуре 200 °С? Ответ подтвердите расчетом.

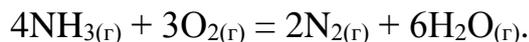
2. Рассчитайте парциальные давления  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  в системе



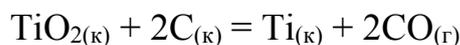
при 60 °С, если общее давление равно 1 атм.

### **Вариант 27**

1. Определите количество теплоты, которое выделяется при окислении 10 л (н. у.) газообразного аммиака при стандартных условиях:



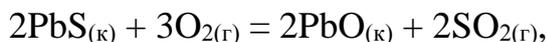
2. На основании термодинамических расчетов определите направление протекания реакции



при стандартных условиях. Рассчитайте константу равновесия  $K_p$  при температуре 25 °С. Вычислите, при какой температуре начнется реакция восстановления  $TiO_2$  до свободного титана.

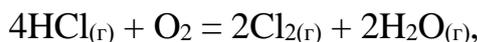
### Вариант 28

1. Вычислите изменение энтропии для химической реакции



протекающей при стандартных условиях и температуре 300 °С.

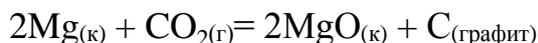
2. Определите тепловой эффект реакции



если константы равновесия  $K_p$  при температурах 960 К и 1000 К соответственно равны 0,11 и 0,05. В указанном интервале температур  $\Delta H_{x,p} = \text{const}$ . Вычислите изменение изобарно-изотермического потенциала при температуре 960 К и сделайте вывод о направлении протекания реакции при данной температуре.

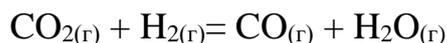
### Вариант 29

1. Вычислите тепловой эффект реакции



при температуре 25 °С и определите, какое количество теплоты выделяется при сгорании 1 кг магния в атмосфере углекислого газа.

2. Определите термодинамическую возможность протекания реакции



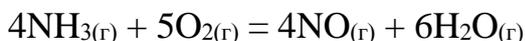
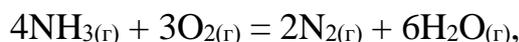
при стандартных условиях и 800 °С,  $C_p \neq f(T)$ . Вычислите температуру наступления равновесия в системе.

### Вариант 30

1. Рассчитайте количество теплоты, которое поглощается при разложении 500 г карбоната кальция при стандартных условиях:



2. Вычислите изменение свободной энергии Гиббса и константу равновесия  $K_p$  для реакций



при температуре 25 °С и определите, какая из приведенных реакций термодинамически предпочтительней при данных условиях.

**Термодинамические характеристики  
некоторых простых и сложных веществ**

Вещество (состояние)	$\Delta H_{f,298}^0$ , кДж/моль	$\Delta G_{f,298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К	$C_{P,298}^0$ , Дж/моль·К
Ag (к)	0	0	42,6	25,4
AgBr(к)	-100,4	-96,9	107,1	52,4
AgCl (к)	-127,0	-109,8	96,3	50,8
Al(к)	0	0	28,3	24,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1675,7	-1582,3	50,9	79,0
Al(OH) <sub>3</sub> (к)	-1293,5		68,4	92,0
BaCO <sub>3</sub> (к)	-1213,0	-1134,4	112,1	86,0
BaO (к)	-548,0	-520,3	72,1	47,3
Br <sub>2</sub> (г)	30,9	3,1	245,5	36,0
Br <sub>2</sub> (ж)	0	0	152,2	75,7
C (графит)	0	0	5,7	8,5
CH <sub>4</sub> (г)	-74,6	-50,5	186,3	35,7
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (г)	-84,0		229,2	52,5
CO (г)	-110,5	-137,2	197,7	29,1
CO <sub>2</sub> (г)	-393,5	-394,4	213,8	37,1
CS <sub>2</sub> (г)	116,7	67,1	237,8	45,4
CS <sub>2</sub> (ж)	89,0	64,6	151,3	76,4
Ca (к)	0	0	41,6	25,9
CaCO <sub>3</sub> (к)	-1207,0	-1127,4	88,0	82,3
CaCl <sub>2</sub> (к)	-795,4	-748,8	108,4	72,9
CaO (к)	-634,9	-603,3	38,1	42,0
Ca(OH) <sub>2</sub> (к)	-985,2	-897,5	83,4	87,5
Cl <sub>2</sub> (г)	0	0	223,1	33,9
Cu(к)	0	0	33,2	24,4
CuCl(к)	-137,2	-119,9	86,2	48,5
CuCl <sub>2</sub> (к)	-220,1	-175,7	108,1	71,9
CuO(к)	-157,3	-129,7	42,6	42,3
Fe(к)	0	0	27,3	25,1
FeCl <sub>2</sub> (к)	-341,8	-302,3	118,0	76,7
FeO(к)	-272,0		61	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-824,2	-742,2	87,4	103,9
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (к)	-1118,4	-1015,4	146,4	143,4
FeS (к)	-100,0	-100,4	60,3	50,5
FeS <sub>2</sub> (к)	-178,2	-166,9	52,9	62,2
H <sub>2</sub> (г)	0	0	130,7	28,8
HBr(г)	-36,3	-53,4	198,7	29,1
HCl (г)	-92,3	-95,3	186,9	29,1
HI (г)	26,5	1,7	206,6	29,2

Продолжение табл.

Вещество (состояние)	$\Delta H_{f, 298}^0$ , кДж/моль	$\Delta G_{f, 298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К	$C_{P, 298}^0$ , Дж/моль·К
HNO <sub>3</sub> (ж)	-174,1	-80,7	155,6	109,9
H <sub>2</sub> O(г)	-241,8	-228,6	188,8	33,6
H <sub>2</sub> O(ж)	-285,8	-237,1	70,0	75,3
H <sub>2</sub> O(к)	-291,9	-234	39,3	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (г)	-136,3	-105,6	232,7	43,1
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ж)	-187,8	-120,4	109,6	89,1
H <sub>2</sub> S (г)	-20,6	-33,4	205,8	34,2
I <sub>2</sub> (г)	62,4	19,3	260,7	36,9
I <sub>2</sub> (к)	0	0	116,1	54,4
Mg (к)	0	0	32,7	24,9
MgCO <sub>3</sub> (к)	-1095,8	-1012,1	65,7	75,5
MgO (к)	-601,6	-569,3	27,0	37,2
N <sub>2</sub> (г)	0	0	191,6	29,1
NH <sub>3</sub> (г)	-45,9	-16,4	192,8	35,1
NH <sub>4</sub> Cl(к)	-314,4	-202,9	94,6	84,1
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (к)	-365,6	-183,9	151,1	139,3
NO (г)	91,3	87,6	210,8	29,9
NO <sub>2</sub> (г)	33,2	51,3	240,1	37,2
N <sub>2</sub> O (г)	81,6	103,7	220,0	38,6
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (г)	11,1	99,8	304,4	79,2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	-1130,7	-1044,4	135,0	112,3
Na <sub>2</sub> O (к)	-414,2	-375,5	75,1	69,1
Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (к)	-510,9	-447,7	95,0	89,2
NaOH(к)	-425,8	-379,7	64,4	59,5
O <sub>2</sub> (г)	0	0	205,2	29,4
PCl <sub>3</sub> (г)	-287,0	-267,8	311,8	71,8
PCl <sub>5</sub> (г)	-374,9	-305,0	364,6	112,8
PbO (к)	-219,0	-188,9	66,5	45,8
PbO <sub>2</sub> (к)	-277,4	-217,3	68,6	64,6
PbS (к)	-100,4	-98,7	91,2	49,5
S (ромб) (к)	0	0	32,1	22,6
SO <sub>2</sub> (г)	-296,8	-300,1	248,2	39,9
SO <sub>3</sub> (г)	-395,7	-371,1	256,8	50,7
Si (к)	0	0	18,8	20,0
SiO <sub>2</sub> (кварц) (к)	-910,7	-856,3	41,5	44,4
Ti(к)	0	0	30,7	25,0
TiO <sub>2</sub> (к)	-939		49,9	55,5
Zn (к)	0	0	41,6	25,4
ZnO (к)	-350,5	-320,5	43,7	40,3
ZnS (куб) (к)	-206,0	-201,3	57,7	46,0