

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

Утверждаю  
Зам директора по УР ЮТИ ТПУ  
\_\_\_\_\_ В.Л. Бибик  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2009 г.

## **ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

методические указания для самостоятельной работы  
по курсу «физическая химия» для студентов  
по направлению 150400 «Металлургия»

Издательство  
Юргинского технологического института (филиала)  
Томского политехнического университета  
2009

УДК 541.8: 532.6

**Химическая термодинамика:** методические указания для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Физическая химия» для студентов, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия» / Сост. А.П. Родзевич. – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиал) Томского политехнического университета,, 2009. – 22 с.

Рецензент:  
канд. пед. наук

В.Ф. Торосян

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры МЧМ ЮТИ ТПУ  
«31» января 2009г.

Зав. кафедрой, к.т.н.

А.А. Сапрыкин

## ВВЕДЕНИЕ

Название "термодинамика" происходит от двух слов: термо – тепло и динамо – сила. Динамика – наука о движении тел под действием сил, поэтому под термодинамикой понимают науку и о движении теплоты. Термодинамика начала развиваться с изучения тепловых машин. Одной из первых работ в этой области была работа французского инженера Сади Карно "О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу". Это название поясняет появление термина термодинамики.

Термодинамика является учением о превращении одних видов энергии в другие. Исходными положениями термодинамики являются основные начала или законы, которые подтверждаются многочисленными опытными данными. Первый закон термодинамики представляет собой закон эквивалентности энергии, позволяющий выражать различные виды энергии эквивалентными величинами. Второй закон термодинамики является законом о направлении процесса, который позволяет определять возможность протекания и направление процесса в данных условиях.

Различают общую, техническую и химическую термодинамику. В общей термодинамике излагаются основные начала (законы) и вытекающие из них следствия. Техническая термодинамика изучает применение законов термодинамики и их следствий к тепловым машинам. В химической термодинамике применяется термодинамический метод для изучения химических процессов.

## ЦЕЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

**Целью** данного методического указания является приобретение студентами определенных навыков; наиболее важными из которых являются следующие:

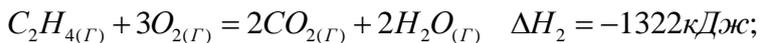
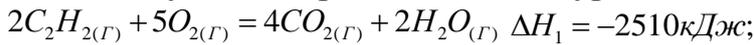
1. Нахождение правильного пути решения поставленной задачи с доведением ответа до количественного результата.
2. Умение правильно изобразить графически полученную зависимость (правильно выбрать масштаб, координаты, провести основные и вспомогательные линии).
3. Научиться пользоваться справочным материалом, т.е. знать, где искать соответствующие физико-химические характеристики реагирующих веществ.

Работы оформляются письменно в следующем порядке:

1. Титульный лист, согласно приложению А, формат А4;
2. Вариант работы соответствует сумме двух последних номеров в зачетной книжке;
3. Условие задачи;
4. Ход решения и выводы;
5. Графики строятся на миллиметровой бумаге.

### Вариант 1

1. Даны следующие термохимические уравнения:



Вычислите энтальпию реакции гидрирования ацетилена с образованием этилена.

2. При 25°C и 1 атм изменение внутренней энергии системы в результате реакции  $H_{2(g)} + 1/2 O_{2(g)} = H_2O_{(ж)}$  равно: -282,1 кДж/моль. В интервале температур от 25 до 100°C средние молярные теплоемкости  $H_{2(g)}$ ,  $O_{2(g)}$  и  $H_2O_{(ж)}$  равны 28,9; 29,4 и 75,5 Дж/(моль град) соответственно. Вычислите изменение энтальпии реакции образования воды из  $H_{2(g)}$  и  $O_{2(g)}$  при 100°C и 1 атм.
3. Что изучает предмет физической химии?
4. Определить изменение энтропии  $\Delta S$  при нагревании 30 г ледяной уксусной кислоты от температуры плавления до 60 °С. Т.пл. уксусной кислоты 16,6°C, теплота плавления 194 Дж/г. Массовая теплоемкость уксусной кислоты в пределах 0-80°C выражается формулой  $C_p = 1,96 + 0,0039T$  Дж/(г К).
5. Является ли энтропия функцией состояния? Проанализируйте определение этой величины и уравнение  $\delta Q/T \leq 0$ .
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:
- $$N_{2(g)} + O_{2(g)} = 2NO_{(g)}.$$

### Вариант 2

1. Подсчитать энтальпию 1т металлургического шлака при 1500°C, если скрытая теплота плавления шлака 190 кДж/кг, массовая теплоемкость жидкого шлака 1,2 кДж/(кг К),  $T_{пл} = 1400^\circ\text{C}$ , истинная массовая теплоемкость твердого металлургического шлака в интервале от 0 до  $T_{пл}$  изменяется с температурой:
- $$C_p = 0,777 + 2,62 \cdot 10^{-4} T.$$
2. В чем смысл закона Гесса и когда он справедлив?
3. Как узнать направление возможного протекания процесса?
4. При 25°C энтропии ромбической и моноклинной серы соответственно равны 31,88 и 32,55 Дж/(моль К), а теплоты образования равны 0,0 и 0,3 кДж/моль. Рассчитать  $\Delta G$  и  $\Delta F$  для процесса  $S_r \rightarrow S_m$  при 25°C. Пренебречь различием плотностей обеих модификаций серы.
5. Вычислить работу адиабатного расширения 1 моль одноатомного идеального газа при понижении температуры от 100 до 25°C. Начальное давление  $10,12 \cdot 10^5$  Па, конечное  $2,026 \cdot 10^5$  Па.
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:
- $$ZnS_{(т)} + H_{2(г)} = Zn_{(т)} + H_2S_{(г)}.$$

### Вариант 3

1. В резервуаре вместимостью  $0,05 \text{ м}^3$  при  $10^\circ\text{C}$  и избыточном давлении  $5065 \text{ гПа}$  содержится азот. Определить максимальное количество теплоты, которое можно сообщить газу, если стенки резервуара выдерживают давление, не превышающие  $20260 \text{ гПа}$ .
2. Атомная теплота сгорания графита при  $290 \text{ К}$  равна:  $-394,5 \text{ кДж/моль}$ , а атомная теплота сгорания алмаза при той же температуре:  $-395,4 \text{ кДж/моль}$ . Удельные теплоемкости этих веществ соответственно равны  $0,710$  и  $0,505 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$ . Рассчитать тепловой эффект аллотропного перехода графита в алмаз при  $0 \text{ C}$ .
3. Приведите примеры, когда каждый вид энергии можно характеризовать двумя факторами – интенсивностью и емкостью.
4. Что такое энтропия, ее физический смысл?
5. Вычислить  $A$ ,  $Q$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta S$  для изотермного сжатия  $1 \text{ моль}$  идеального газа от  $P_1 = 5,065 \cdot 10^5 \text{ Па}$  до  $P_2 = 10,13 \cdot 10^5 \text{ Па}$  при  $500^\circ\text{C}$ .
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298 \text{ К}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $2\text{CO}_{2(\text{г})} = 2\text{CO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$ .

### Вариант 4

1. Какое количество теплоты потребуется для нагревания  $1 \text{ куб. м.}$  воздуха от  $0$  до  $1^\circ\text{C}$  при постоянном объеме и начальном давлении  $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ? Плотность воздуха при нормальных условиях  $1,29 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоёмкость при постоянном давлении  $C_p = 1,01 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$ .

2. Стандартные теплоты образования  $\text{FeO}_{(\text{т})}$ ,  $\text{CO}_{(\text{г})}$ ,  $\text{CO}_{2(\text{г})}$ , соответственно равны:  $-263,7$ ;  $-110,5$ ;  $-393,5 \text{ кДж/моль}$ . Определить количество теплоты, которое выделится при восстановлении  $100 \text{ кг}$  оксида железа (II) оксидом углерода (II) при  $1200 \text{ К}$  и при постоянном давлении, если молярные теплоемкости реагентов равны:

$$C_p^{\text{Fe}} = 19,25 + 21,0 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

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

$$C_p^{\text{FeO}} = 52,8 + 6,24 \cdot 10^{-3} T - 3,19 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

3. Каково наименьшее возможное значение энтропии вещества?

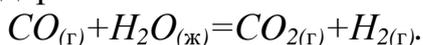
4. Какие вопросы рассматриваются в химической термодинамике?

5. Вычислить изменение энтропии при нагревании  $1 \text{ моль}$  твёрдого брома от температуры плавления:  $-7,32$  до  $100^\circ\text{C}$ , если удельная теплота плавления:  $67,78 \text{ Дж/г}$ ; удельная теплота испарения  $188,5 \text{ Дж/г}$ ,  $T_{\text{кип}} = 59^\circ\text{C}$ ;

$C_{p(\text{ж})} = 75,51 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ; молярная теплоёмкость паров брома

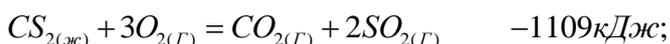
$$C_{p(\text{г})} = 37,2 + 0,71 \cdot 10^{-3} T - 1,19 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298 \text{ К}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 5

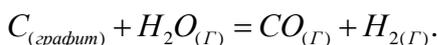
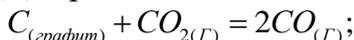
1. Что такое максимальная работа химической реакции?
2. Поясните, почему энтропия жидкого состояния одного и того же вещества выше энтропии его твёрдого состояния (при одной и той же температуре).
3. Средняя массовая теплоёмкость железа в пределах температур 0 – 200°C равна 0,486 Дж/(г·К). Определить изменение энтропии при нагревании 1 кг железа от 100°C до 150°C.
4. При 17°C 10 г. кислорода сжимаются адиабатно от 0,008 до 0,005 куб. м. Определить конечную температуру, затраченную работу, изменение внутренней энергии и энтальпии.
5. Рассчитать теплоту образования жидкого сероуглерода по следующим данным:



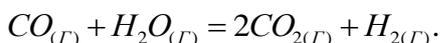
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  $2H_{(г)} = H_{2(г)} + I_{2(г)}$ .

### Вариант 6

1. Определить температуру и работу при адиабатном сжатии 0,01 куб. м азота до 1/10 его первоначального объёма, если начальная температура 26,8°C и давление 1013 гПа.
2. Для реакций:



тепловые эффекты при постоянном давлении и 500 К соответственно равны 173,6 и 133,9 кДж. Рассчитать тепловой эффект реакции



при 1000 К, если молярные теплоёмкости в диапазоне 298-1500 К равны

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

$$C_p^{CO_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж / (моль} \cdot \text{К)};$$

$$C_p^{H_2} = 30 + 10,71 \cdot 10^{-3} T - 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж / (моль} \cdot \text{К)};$$

$$C_p^{H_2O} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T - 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж / (моль} \cdot \text{К)}.$$

3. Определить  $\Delta G$ ;  $\Delta F$ ;  $\Delta S$  при испарении 1 моль воды при 100°C и 0,1013 МПа, если удельный объём 1,673 (куб. м)/моль, удельная энтропия в процессе парообразования воды 22,751 кДж/моль.
4. Что такое энтропия, ее свойства и физический смысл?
5. Какие вопросы рассматриваются в химической термодинамике?
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  $CO_{(г)} + 2H_{2(г)} = CH_3OH_{(ж)}$ .

### Вариант 7

1. При  $25^{\circ}\text{C}$  и при  $1013 \text{ гПа}$  в сосуде находится  $1 \text{ кг}$  азота. Вычислить теплоту, изменение внутренней энергии, работу при изобарном расширении до трехкратного объема и при изохорном увеличении давления до  $2026 \text{ гПа}$ .
2. Проверить правило Дюлонга и Пти для меди, цинка и кадмия при  $17^{\circ}\text{C}$ . Даны истинные удельные теплоемкости при постоянном давлении:  
 $C_{Cu} = 0,3849 + 8,891 \cdot 10^{-5} T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K});$   
 $C_{Zn} = 0,3795 + 18,58 \cdot 10^{-6} T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K});$   
 $C_{Cd} = 0,2285 + 9,904 \cdot 10^{-5} T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K}).$
3. Математическая формулировка второго закона термодинамики.
4. Вычислить изменение энтропии при нагревании  $1 \text{ кмоль}$  сульфида кадмия от:  $-100$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , если зависимость молярной теплоемкости от температуры в интервале от  $140$  до  $300 \text{ K}$  выражается уравнением  
 $C_p = 54,0 + 3,8 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).$
5. Что означает выражение "изменение внутренней энергии в химической реакции", "изменение энтальпии в химической реакции"? Чем объясняются различия между изменением внутренней энергии и энтальпией. Как изменяется тепловой эффект реакции с ростом температуры, от чего это зависит?
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298 \text{ K}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{т})}.$

### Вариант 8

1. Какое количество теплоты отдадут  $100 \text{ кг}$  водяного пара при охлаждении их от  $700$  до  $500 \text{ K}$  при нормальном давлении? Средняя молярная теплоемкость водяных паров при  $500 \text{ K}$   $34,48$ , а при  $700 \text{ K}$   $35,52 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{K})$ . Давление нормальное.
2. При охлаждении  $42 \text{ г}$  азота от  $150$  до  $20^{\circ}\text{C}$  давление повышается от  $5 \cdot 10^5$  до  $2,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Определить изменение энтропии в данном процессе, если  $C_p = 1,039 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{K})$ .
3. Определить изменение изобарно-изотермического потенциала для уравнения реакции  
 $\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} = \text{NH}_4\text{NO}_2 \quad +\Delta G^0.$   
и дать заключение о возможности ее протекания при стандартных условиях.
4. Особенности расширения идеального газа для четырех процессов: изобарного, изохорного, изотермического и адиабатного.
5. Тепловой эффект сгорания  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$  при  $25^{\circ}\text{C}$  равен  $283 \text{ кДж}/\text{моль}$ . Определить зависимость теплового эффекта этой реакции от температуры и его значение при  $2000 \text{ K}$ . Температурные зависимости молярных теплоемкостей веществ, участвующих в реакции, выражаются

следующими уравнениями:

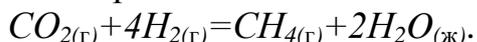
для  $O_2$ :

$$C_v = 21,39 + 0,02975T - 7,793 \cdot 10^{-6} T^{-2} \text{ Дж/моль};$$

для  $CO$  и  $CO_2$ :

$$C_v = 18,92 + 0,00419T \text{ Дж/моль}.$$

6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 9

1. При  $25^\circ C$  и 1013 гПа в сосуде находится 1 кг азота. Вычислить теплоту, изменение внутренней энергии, работу при изохорном увеличении давления до 2026 гПа и при изобарном расширении до трехкратного объема.
2. Вычислить теплоту образования оксида цинка при  $327^\circ C$ , если его теплота образования при 298 К равна  $-349,0$  кДж/моль. Молярные теплоёмкости  $ZnO_{(г)}$ ,  $Zn_{(г)}$  и  $O_{2(г)}$  выражаются уравнениями:  
$$C_p^{ZnO} = 48,99 + 5,1 \cdot 10^{-3} T - 9,12 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot K);$$
$$C_p^{Zn} = 22,38 + 10,04 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot K);$$
$$C_p^{O_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot K).$$
3. Напишите уравнение Кирхгоффа в дифференциальной форме. В чем его физический смысл.
4. Особенности понятий "свободная" и "связанная" энергия.
5. Найти изменение энтропии при нагревании 1 моль кадмия от 25 до  $727^\circ C$ , если  $T_{пл} = 321^\circ C$  и теплота плавления равна 6109 Дж/моль, молярные теплоемкости твердого кадмия  $C_p^{cd} = 22,22 + 13,3 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot K)$ , и жидкого  $C_p^{cd} = 29,83 \text{ Дж/(моль} \cdot K)$ .
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
$$N_{2(г)} + H_{2(г)} = NH_{3(г)}.$$

### Вариант 10

1. Какая работа (Дж) будет совершена, если 51 г аммиака, занимавшего при  $27^\circ C$  объем 25 л, расширяется при постоянной температуре до 75 л.
2. Определить теплоту образования сероуглерода  $C + 2S = CS_2 + Q$ , используя следующие термохимические уравнения:  
$$S + O_2 = SO_2 \quad +297,5 \text{ кДж/моль};$$
$$CS_2 + 3O_2 = CO_2 + 2SO_2 \quad +1109,9 \text{ кДж/моль};$$
$$C + O_2 = CO_2 \quad +394,0 \text{ кДж/моль}.$$
3. Зависит ли тепловой эффект от пути процесса.
4. Какие процессы, перечисленные ниже можно назвать самопроизвольными: распрямление сжатой пружины, заряд аккумулятора, нейтрализация

кислоты щелочью, переход теплоты от горячего тела к холодному, взрыв. Что можно сказать в отношении процесса, обратного самопроизвольному? Может ли такой процесс тоже быть самопроизвольным?

- Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 кг свинца от температуры его плавления ( $327,4^{\circ}\text{C}$ ) до  $800^{\circ}\text{C}$ . Теплота плавления свинца  $24,8\text{ кДж/кг}$ , а теплоемкость жидкого свинца в интервале температур  $327-1000^{\circ}\text{C}$  равна  $0,1415\text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)}$ .
- Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298\text{ K}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} = 2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$ .

### Вариант 11

- При  $0^{\circ}\text{C}$  и начальном давлении  $5065\text{ гПа}$   $0,002$  куб. м. азота расширяются изотермически до давления  $1013\text{ гПа}$ . Вычислить работу и количество поглощенной теплоты.
- Вычислить теплоту образования аммиака при  $700^{\circ}\text{C}$ , если при  $25^{\circ}\text{C}$  она равна  $46,19\text{ кДж/моль}$ , а молярные теплоемкости следующие:  
 $C_p^{\text{NH}_3} = 29,80 + 25,48 \cdot 10^{-3}T + 1,67 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж / (моль}\cdot\text{K)}$ ;  
 $C_p^{\text{H}_2} = 18,97 + 3,26 \cdot 10^{-3}T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж / (моль}\cdot\text{K)}$ ;  
 $C_p^{\text{N}_2} = 19,57 + 4,27 \cdot 10^{-3}T \quad \text{Дж / (моль}\cdot\text{K)}$ .
- Какие вопросы рассматриваются в химической термодинамике?
- Поясните круговой процесс Карно.
- Найти изменение энергии Гиббса при сжатии 1 моль бензола от  $P_1 = 1,013 \cdot 10^5$  до  $P_2 = 5,065 \cdot 10^5$  Па при  $0^{\circ}\text{C}$ . Плотность бензола равна  $0,879\text{ г/см}^3$ . Сжимаемостью жидкости в указанном интервале давлений пренебречь.
- Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298\text{ K}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $\text{CaCO}_{3(\text{т})} = \text{CaO}_{(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ .

### Вариант 12

- При  $25^{\circ}\text{C}$  и  $1013\text{ гПа}$  в сосуде находится 1 кг азота. Вычислить теплоту, изменение внутренней энергии и работу при изохорном увеличении давления до  $2026\text{ гПа}$  и при изобарном расширении до трехкратного объема.
- Определить количество теплоты, выделяющейся при гашении  $500\text{ г}$  водой, если  
 $\text{Ca} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CaO} \quad + 636,9\text{ кДж / моль}$ ;  
 $\text{Ca} + \text{O}_2 + \text{H}_2 = \text{Ca(OH)}_2 \quad + 988,0\text{ кДж / моль}$ ;  
 $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \quad + 285,0\text{ кДж / моль}$ .
- Функциями каких аргументов удобнее считать энтальпию, энергию Гельмгольца, энергию Гиббса? Напишите выражения полных

дифференциалов этих функций и получите формулы для частных производных функций  $H$ ,  $A$ ,  $G$  по разным аргументам.

4. Дайте определения понятиям энтальпии образования вещества и энергии решетки кристаллического вещества.
5. Найти изменение энтропии одного моля алюминия при нагревании его от 298 до 873 К. Истинная молярная теплоемкость кристаллического алюминия выражается уравнением  
$$C_p = 20,67 + 12,39 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж/моль} \cdot \text{К}.$$
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
$$\text{MgCO}_{3(\text{ж})} = \text{MgO}_{(\text{т})} + \text{CO}_{2(\text{г})}.$$

### Вариант 13

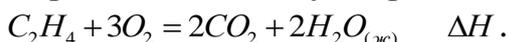
1. Объяснить смысл терминов: изотермическая система; функция состояния; потенциальная энергия; уравнение состояния; внутренняя энергия.
2. Какое наименьшее возможное значение энтропии вещества.
3. Стандартная теплота образования оксида алюминия: -1675 кДж/моль. Рассчитать теплоту образования оксида алюминия при 600 К, пользуясь следующими выражениями для молярных теплоемкостей:  
$$C_p^{\text{Al}} = 20,67 + 12,39 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$
$$C_p^{\text{O}_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^{-5} T^{-2} \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$
$$C_p^{\text{Al}_2\text{O}_3} = 114,56 + 12,89 \cdot 10^{-3} T - 34,31 \cdot 10^{-5} T^{-2} \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$
4. При 17°C 10 кг воздуха изотермически расширяются от  $1,025 \cdot 10^6$  до  $1,342 \cdot 10^5$  Па. Определить объёмы в начале и конце процесса расширения, совершённую работу (Дж) и количество подведённой теплоты.
5. Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 кмоль сульфида кадмия от -100 до 0°C, если зависимость молярной теплоемкости от температуры в интервале от 140 до 300 К выражается уравнением:  
$$C_p = 54,0 + 3,8 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
$$2\text{AgNO}_{3(\text{т})} = \text{Ag}_{(\text{т})} + \text{NO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}.$$

### Вариант 14

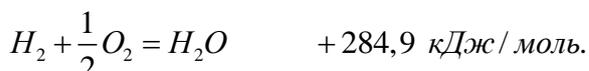
1. Объяснить смысл терминов: внутренняя энергия; теплота; энтальпия; полезная работа; сформулировать первый закон термодинамики.
2. Что такое энтропия её физический смысл?
3. Вычислить теплоту испарения воды при 120°C. Удельная теплота испарения воды при 100°C 2255 Дж/г. Удельные теплоемкости жидкой воды и пара соответственно равны 4,184 и 1,864 Дж/(г К).
4. Работа, затраченная на адиабатное сжатие 3 кг воздуха, равна 471 кДж. Начальная температура 15°C. Определить изменение внутренней энергии и конечную температуру. Среднюю теплоемкость воздуха при сжатии

принять равной  $0,732 \text{ кДж}/(\text{кг К})$ .

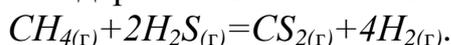
5. Определить теплоту сгорания этилена



исходя из следующих данных:

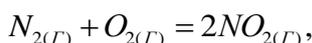


6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298 \text{ К}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 15

1. Какое количество теплоты потребуется, чтобы нагреть  $10 \text{ г}$  паров ртути на  $10^\circ\text{C}$  при постоянном давлении? (Пары ртути одноатомны).
2. Объясните смысл терминов: теплота и энтальпия. В чём заключается различие между экзотермическими и эндотермическими реакциями.
3. Энтропия, её физический смысл? Может ли энтропия быть критерием направления самопроизвольных процессов и равновесия?
4. Вычислить  $A$ ,  $Q$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta U$  для изотермического сжатия  $1 \text{ моль}$  идеального газа от  $P_1 = 5,065 \cdot 10^5$  до  $P_2 = 10,13 \cdot 10^5 \text{ Па}$  при  $500 \text{ К}$ .
5. Вывести температурную зависимость теплового эффекта реакции, если при стандартных условиях он равен  $180,74 \text{ кДж}$ , а зависимость молярных теплоёмкостей от температуры выражается уравнениями:

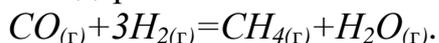


$$C_p^{NO} = 29,58 + 3,85 \cdot 10^{-3}T - 0,59 \cdot 10^{-5}T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{N_2} = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3}T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{O_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3}T - 3,77 \cdot 10^{-5}T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298 \text{ К}$  по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 16

1. Определить количество теплоты, которое необходимо для нагревания при постоянном объёме  $25 \text{ г}$  кислорода, находящегося при  $350^\circ \text{C}$ , от  $1013$  до  $5065 \text{ гПа}$ .
2. Проверить правило Дюлонга и Пти для меди, цинка и кадмия при  $17^\circ\text{C}$ . Даны истинные удельные теплоёмкости при постоянном давлении:  
 $C_{Cu} = 0,3849 + 8,891 \cdot 10^{-5}T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{К});$   
 $C_{Zn} = 0,379 + 18,58 \cdot 10^{-5}T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{К});$   
 $C_{Cd} = 0,2285 + 9,904 \cdot 10^{-5}T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$
3. Приведите примеры, когда каждый вид энергии можно характеризовать

двумя факторами - интенсивностью и ёмкостью.

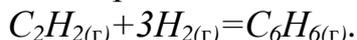
4. Какие вопросы рассматриваются в химической термодинамике?
5. Как изменится энтропия при нагревании 1 моля моноклинной серы от 25°C до 200°C, если удельная теплота плавления моноклинной серы 45,19 Дж/г,  $T_{пл}=119,3^\circ\text{C}$ , молярные теплоёмкости жидкой серы:

$$C_{p(ж)} = 35,73 + 1,17 \cdot 10^{-3} T - 3,305 \cdot 10^{-5} T^2 \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).$$

и твердой серы

$$C_{p(т)} = 23,64 \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).$$

6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 17

1. При 15°C 10 г кислорода сжимаются адиабатно от 0,008 до 0,005 куб. м. Определить конечную температуру, затраченную работу, изменение внутренней энергии и энтальпии.
2. Истинная удельная теплоёмкость жидкого цинка выражается уравнением

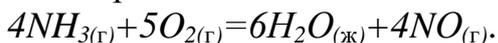
$$C_{(ж)} = 0,362 + 26,78 \cdot 10^{-5} T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K}),$$

а твёрдого цинка

$$C_{(т)} = 0,3795 + 18,58 \cdot 10^{-6} T \quad \text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K}).$$

Какое количество теплоты выделится при охлаждении 300 г этого металла от 500 до 0°C, если температура плавления цинка 419°C и удельная теплота плавления 117,2 Дж/г.

3. В чем состоит закон Гесса и когда он справедлив?
4. Каковы свойства и физический смысл энтропии?
5. Энтропия 1 моль графита равна 5,74, алмаза 2,38 Дж/град при 25°C. Теплота сгорания алмаза превышает теплоту сгорания графита на 752 Дж. Вычислить изменение энергии Гиббса при изотермном переходе графита в алмаз. Какой вывод можно сделать из найденного результата?
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 18

1. Какую работу могут совершить 12 кг водорода при повышении температуры на 12°C при постоянном давлении.
2. Сформулировать закон Гесса и дать определения:
  - а) стандартного состояния вещества;
  - б) стандартного изменения энтальпии в химической реакции.
3. Рассчитать по правилу смешения массовую теплоёмкость сплава состава (масс. доли %): Al 11; Fe 5; Ni 6; Си 78. Средняя массовая теплоёмкость металлов, образующих сплав, при комнатной температуре: меди 0,394; алюминия 0,935; железа 0,456; никеля 0,445 кДж/(кг К). Сравнить полученный результат с табличным:  $C=0,457$  кДж/(кг К).

- Найдите изменение энтропии при расширении 1 моль идеального газа. Используйте первый закон термодинамики и уравнение состояния идеального газа.
- Теплота плавления льда при 0°C равна 335 Дж/г. Удельная теплоемкость воды равна 4,184 Дж/(г К). Удельная теплоемкость льда равна 2,01 Дж/(г К). Найти  $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  для процесса превращения 1 моль переохлажденной воды при -5°C в лед.
- Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  

$$C_2H_{4(g)} + 3O_{2(g)} = 2CO_{2(g)} + 2H_2O_{(ж)}$$

### Вариант 19

- При 17°C 10 кг воздуха изотермически расширяются от  $1,025 \cdot 10^6$  до  $1,342 \cdot 10^5$  Па. Определить объемы в начале и конце процесса расширения, совершенную работу (Дж) и количество подведенной теплоты.
- Ниже представлены энтальпии образования и энтропии для некоторых неорганических веществ в стандартных условиях:

Вещество	$\Delta H_{обр}^\circ$ , кДж / моль	$S^\circ$ , Дж / (моль · К)
$C_{(тв)}$	0	5,74;
$Mg_{(тв)}$	0	32,55;
$CO_{2(г)}$	-393,51	213,6;
$Mg_{(тв)}$	-601,24	26,94.

Что можно на основе этих данных сказать о возможности взаимодействия магния с диоксидом углерода в стандартных условиях?

- Что изучает химическая термодинамика?
- Поясните различие между такими понятиями, как энтальпия химической реакции и свободная энергия химической реакции.
- Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 кг свинца от температуры его плавления (327,4°C) до 800°C. Теплота плавления свинца 24,8 кДж/кг, а теплоемкость жидкого свинца в интервале температур 327-1000°C равна 0,1415 кДж/(кг К).
- Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  

$$C_2H_{4(g)} + 3O_{2(g)} = 2CO_{2(g)} + 2H_2O_{(ж)}$$

### Вариант 20

- Работа, затраченная на адиабатное сжатие 3 кг воздуха равна 471 кДж. Начальная температура 15°C. Определить изменение внутренней энергии и конечную температуру. Среднюю теплоёмкость воздуха  $C_v$  при сжатии принять равной 0,732 кДж/(кг К).
- Рассчитать массовую теплоемкость сплава, состоящего из 80% меди и 20% олова при 25°C. Средняя массовая теплоёмкость меди в интервале 20-100°C равна 0,394 кДж/(кг К), а олова в интервале 19-99°C равна

0,231кДж/(кг·К). Сравнить полученный результат с табличным:  
 $C=0,3606кДж/(кг К)$ .

3. Поясните почему энтропия жидкого состояния одного и того же вещества выше энтропии его твёрдого состояния (при одной и той же температуре).
4. Что означает выражение "изменение внутренней энергии и энтальпии в химической реакции". Чем объясняется различие между  $\Delta U$  и  $\Delta H$ ?
5. Вычислить суммарное изменение энтропии при нагревании 1 моль воды от температуры плавления до полного испарения при температуре кипения. Теплота плавления льда 335,2 Дж/г, теплота парообразования воды 2260 Дж/г, массовая теплоёмкость воды 4,188 Дж/(г К).
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $CH_{4(г)}+2H_2S_{(г)}=CS_{2(ж)}+4H_{2(г)}$ .

### Вариант 21

1. Дайте определение понятиям энтальпии образования вещества и энергии решётки кристаллического вещества. Какими факторами определяется величина энергии решётки?
2. В цилиндре при 18°C и 1013 гПа находится гремучая смесь. При изменении объёма от  $3,77 \cdot 10^{-4}$  до  $0,302 \cdot 10^{-4}$  куб. м произошёл взрыв. Определить температуру и давление в момент взрыва, если сжатие происходит без обмена теплоты с окружающей средой.
3. Основные мартеновские шлаки имеют, примерно, состав (массовые доли в %): CaO 47; FeO 14; MnO 15; SiO<sub>2</sub> 24. Вычислить среднюю массовую теплоёмкость данного шлака в интервале 0-1000°C по правилу смешения и сравнить с величиной вычисленной с учетом температурной зависимости средней теплоёмкости (в интервале от 0°C до  $T_{пл}$ ):  
 $C=0,777+1,31 \cdot 10^{-4}T+0,0545 \cdot 10^{-6}T^{-2}$ ,  
температурные зависимости средних массовых теплоёмкостей компонентов основного мартеновского шлака выражается уравнениями:  
 $C_{CaO}=0,749+3,78 \cdot 10^{-4}T-0,1533 \cdot 10^{-6}T^{-2}$ ;  
 $C_{SiO_2}=0,768+3,23 \cdot 10^{-4}T$ ;  
 $C_{FeO}=0,7872$ ;  
 $C_{MnO}=0,7268$ .
4. Внутренняя энергия, энтальпия, работа, теплота, энтропия – дайте определение им термодинамическим понятиям. Какие из этих термодинамических функций зависят от пути процесса?
5. Рассчитать изменение энтропии в процессе смешения 5 кг воды при 80°C с 10 кг воды при 20°C. Удельную теплоёмкость воды считать постоянной и равной 4,184 Дж/г.
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $PCl_{5(г)}=PCl_{3(г)}+Cl_{2(г)}$ .

## Вариант 22

1. Истинная удельная теплоемкость алюминия выражается уравнением:  
 $C_p = 0,1830 + 1,096 \cdot 10^{-4} T$ .  
Алюминий плавится при  $658,5^\circ\text{C}$ , его скрытая удельная теплота плавления равна  $92,4$  кал/г. Вычислить, сколько тепла потребуется на расплавление  $500$  г алюминия, если начальная температура была равна  $25^\circ\text{C}$ .
2. В топке сгорает каменный уголь, содержащий  $65\%$  С. В топочных газах содержится  $13\%$ (мол)  $\text{CO}_2$  и  $1\%$   $\text{CO}$ ; остальное -азот и кислород. Определить теплоту сгорания  $1$  кг угля, если известно, что теплота образования  $\text{CO}_2$  равна  $94052$  кал/моль, а теплота образования  $\text{CO}$  равна  $26416$  кал/моль.
3. Чему равно изменение энтропии при переходе  $1$  моль азота от стандартных условий к температуре  $200^\circ\text{C}$  и объему равному  $50$  л?
4. Плотности жидкого и твердого олова при температуре плавления ( $231,9^\circ\text{C}$ ) соответственно равны  $6,988$  и  $7,184$  г/см<sup>3</sup>. Теплота плавления олова равна  $1690$  кал/моль. Определить температуру плавления олова под давлением  $100$  ат.
5. Какие вопросы рассматриваются в химической термодинамике?
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298$  К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $C_2H_{4(g)} + 3O_{2(g)} = 2CO_{2(g)} + 2H_2O_{(ж)}$ .

## Вариант 23

1. При  $17^\circ\text{C}$   $10$  кг воздуха изотермически расширяются от  $1,025 \cdot 10^6$  до  $1,342 \cdot 10^5$  Па. Определить объемы в начале и конце процесса расширения, совершенную работу (Дж) и количество подведенной теплоты.
2. Теплота диссоциации  $\text{CaCO}_3$  на  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$  при  $900^\circ\text{C}$  составляет  $178,3$  кДж/моль. Теплоемкости веществ в Дж/(моль К):  
 $C_p^{\text{CaCO}_3} = 104,5 + 21,92 \cdot 10^{-3} T - 25,94 \cdot 10^5 T^{-2}$ ;  
 $C_p^{\text{CaO}} = 49,63 + 4,52 \cdot 10^{-3} T - 6,95 \cdot 10^5 T^{-2}$ ;  
 $C_p^{\text{O}_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T + 8,53 \cdot 10^5 T^{-2}$ .  
Вывести температурную зависимость теплового эффекта термической диссоциации  $\text{CaCO}_3$  и вычислить его значение при  $1000^\circ\text{C}$ .
3. Математическая формулировка второго закона термодинамики.
4. Сформулируйте основной закон термохимии. Его практическое применение.
5. Как изменится энтропия при нагревании  $1$  моль моноклинной серы от  $25$  до  $200^\circ\text{C}$ , если удельная теплота плавления моноклинной серы,  $45,19$  Дж/г,  $T_{\text{пл}} = 119,3^\circ\text{C}$ , молярные теплоемкости жидкой серы:  
 $C_{p(\text{ж})} = 35,73 + 1,17 \cdot 10^{-3} T - 3,305 \cdot 10^5 T^{-2}$  Дж/(моль · К),  
и твердой серы  
 $C_{p(\text{т})} = 23,64$  Дж/(моль · К).
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при  $298$  К по

стандартным значениям энтальпии и энтропии:

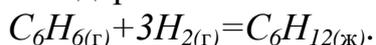


### Вариант 24

1. При изотермическом процессе к азоту, занимающему объем 500 л и находящемуся под давлением  $4,182 \cdot 10^6$  Па, подводится 2514 кДж теплоты. Определить объем и давление азота к концу процесса.
2. Определить количество теплоты, выделяющейся при гашении 500 кг извести водой, если



3. Напишите уравнение Кирхгофа в дифференциальной форме. Проанализируйте уравнение.
4. Является ли энтропия критерием направления процесса и равновесия? Поясните ответ.
5. Вычислить  $A$ ,  $Q$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta S$  для изотермического сжатия 1 моль идеального газа от  $P_1 = 5,065 \cdot 10^5$  до  $P_2 = 10,13 \cdot 10^5$  Па при  $500^\circ\text{C}$ .
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 25

1. В цилиндрическом сосуде, закрытом невесомым поршнем. 1 куб.м. водорода находится при  $0^\circ\text{C}$ . Внешнее давление  $9,72 \cdot 10^4$  Па. Какое количество теплоты потребуется на нагревание водорода до  $300^\circ\text{C}$ ?
2. Доменный шлак имеет примерно состав (масс. доли, %): CaO 45,0;  $Al_2O_3$  15,0;  $SiO_2$  40,0. Вычислить среднюю массовую теплоемкость доменного шлака в интервале температур  $0-500^\circ\text{C}$  по правилу смешения и сравнить с величиной, вычисленной с учетом температурной зависимости средней массовой теплоемкости доменного шлака (в интервале  $0-1360^\circ\text{C}$ )

$$C_p = 0,694 + 8,95 \cdot 10^{-4}T - 1,18 \cdot 10^{-6}T^2 + 0,572 \cdot 10^{-9}T^3.$$

3. Температурные зависимости средних теплоемкостей компонентов доменного шлака выражаются уравнениями:

$$CaO \quad 0 - 800^\circ\text{C};$$

$$C = 0,749 + 3,78 \cdot 10^{-4}T - 0,1533 \cdot 10^{-6}T^{-2};$$

$$Al_2O_3 \quad 0 - 500^\circ\text{C};$$

$$C = 0,786 + 5,97 \cdot 10^{-4}T - 0,289 \cdot 10^{-6}T^{-2};$$

$$SiO_2 \quad 0 - 575^\circ\text{C};$$

$$C = 0,794 + 9,44 \cdot 10^{-4}T - 0,715 \cdot 10^{-6}T^{-2}.$$

4. Какие вопросы рассматривают 1 и 2 начала термодинамики? Может ли

энтропия являться критерием направления процесса и равновесия. Обоснуйте.

5. Найти изменение энтропии при нагревании 1 моль кадмия от 25 до 727°C, если  $T_{пл}=321^\circ\text{C}$  и теплота плавления равна 6109 Дж/моль:

$$C_{P(m)}^{Cd} = 22,22 + 12,3 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}),$$

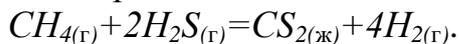
$$C_{P(ж)}^{Cd} = 29,83 \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).$$

6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 26

1. Определить работу, необходимую для изотермного сжатия 1 кг диоксида углерода от  $1,02 \cdot 10^5$  до  $35,70 \cdot 10^5$  Па при 20°C.
2. Пользуясь правилом аддитивности, рассчитать массовую теплоемкость халькопирита  $\text{CuFeS}_2$ ; при 20°C и сравнить полученный результат с табличной величиной 0,542 кДж/(кг К). Средняя массовая теплоемкость меди в интервале 20-100°C равна 0,394, серы ромбической 0,735, а железа 0,46 кДж/(кг К).
3. Особенности расширения идеального газа для четырех процессов: изобарного, изохорного, изотермического и адиабатного.
4. Что такое энтропия, ее физический смысл?
5. Определить изменение энтропии при охлаждении 5 моль алюминия от 0 до -100°C. Средняя массовая теплоемкость алюминия в указанном интервале температур 0,8129 Дж/(г К).
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 27

1. Рассчитать тепловой эффект реакции  
 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2 + Q,$   
если теплоты образования FeO и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  равны 263,7 и 1117,7 кДж/моль, а теплота сгорания оксида углерода 283,4 кДж/моль. Рассчитать тепловой эффект этой же реакции, используя величины  $\Delta H_f$  участвующих в реакции веществ.
2. Стандартная теплота образования  $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{т})}$  -1675 кДж/моль. Рассчитать теплоту образования  $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{т})}$  при 600 К, пользуясь следующими выражениями для молярных теплоемкостей:  
 $C_p^{Al} = 20,67 + 12,39 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K});$   
 $C_p^{O_2} = 31,46 + 12,89 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K});$   
 $C_p^{Al_2O_3} = 114,56 + 12,89 \cdot 10^{-3} T - 34,31 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).$
3. Напишите математическое выражение I закона термодинамики. Проведите его анализ.

4. Что такое энтропия, ее свойства и физический смысл.
5. Вычислить  $A$ ,  $Q$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta S$  для изотермного сжатия 1 моль идеального газа от  $P_1=5,065 \cdot 10^5$  до  $P_2=10,13 \cdot 10^5$  Па при  $500^\circ\text{C}$ .
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $PCl_{5(g)} + PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$ .

### Вариант 28

1. Найти изменение внутренней энергии при испарении 0,2 кг этанола при температуре его кипения под давлением  $1,013 \cdot 10^5$  Па. Теплота парообразования спирта при температуре кипения равна 857,7 Дж/г, а удельный объем пара равен 0,607 м<sup>3</sup>/кг. Объемом жидкости пренебречь.
2. Стандартные теплоты образования  $FeO_{(T)}$ ,  $CO_{(г)}$  и  $CO_{2(г)}$  соответственно равны 267,3; -110,5; -393,5 кДж/моль. Определить количество теплоты, которое выделится при восстановлении 100 кг оксида железа (II) оксидом углерода при 1200 К и  $P=\text{const}$ , если молярные теплоемкости реагентов равны:

$$C_p^{Fe} = 19,25 + 21,0 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K});$$

$$C_p^{CO_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K});$$

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

$$C_p^{FeO} = 52,8 + 6,24 \cdot 10^{-3} T - 3,19 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K}).$$

3. Сформулируйте основной закон термохимии.
4. Математическая формулировка второго закона термодинамики.
5. При  $25^\circ\text{C}$  энтропии ромбической и моноклинной серы соответственно равны 31,88 и 32,55 Дж/(моль К), а теплоты образования равны 0,00 и 0,30 кДж/моль. Рассчитать  $\Delta G$  и  $\Delta F$  для процесса  $S_{\text{ромб}} \rightarrow S_{\text{мон}}$  при  $25^\circ\text{C}$ .
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:  
 $4CO_{(г)} + 2SO_{2(г)} = S_{2(г)} + 4CO_{2(г)}$ .

### Вариант 29

1. При начальных давлениях  $1,013 \cdot 10^5$  Па, объеме 0,025 м<sup>3</sup> и постоянной температуре  $15^\circ\text{C}$  воздух расширяется до объема 0,1 м<sup>3</sup>. Определить работу, совершенную газом, и его конечное давление.
2. Теплота затвердевания кристаллогидрата  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$  при  $29^\circ\text{C}$  равна: -170,3 Дж/г, а при  $-160^\circ\text{C}$  равна нулю. Какова удельная теплоемкость этого соединения в жидком состоянии, если удельная теплоемкость в твердом состоянии 1,433 Дж/(г·К)?
3. Поясните, почему энтропия жидкого состояния одного и того же вещества выше энтропии его твердого состояния (при одной и той же температуре).
4. Напишите уравнение Кирхгофа в дифференциальной форме.
5. Энтропия 1 моль графита равна 5,74, алмаза 2,38 Дж/град при  $25^\circ\text{C}$ . Теплота сгорания алмаза превышает теплоту сгорания графита на 752 Дж.

Вычислить изменение энергии Гиббса при изотермном переходе графита в алмаз. Какой вывод можно сделать из найденного результата?

6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



### Вариант 30

1. При 0°C и начальном давлении 5065 гПа 0,002 м<sup>3</sup> азота расширяются изотермически до давления 1013 гПа. Вычислить работу и количество поглощенной теплоты.
2. Вычислить теплоту образования аммиака при 700°C, если при 25°C она равна 46,19 кДж/моль, а молярные теплоемкости следующие:

$$C_p^{NH_3} = 29,80 + 25,48 \cdot 10^{-3} T + 1,67 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{H_2} = 18,97 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{N_2} = 19,57 + 4,27 \cdot 10^{-3} T \quad \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

3. Какие вопросы рассматриваются в химической термодинамике?
4. Поясните круговой процесс Карно.
5. Найти изменение энергии Гиббса при сжатии 1 моль бензола от  $P_1 = 1,013 \cdot 10^5$  до  $P_2 = 5,065 \cdot 10^5$  Па при 0°C, плотность бензола равна 0,879 г/см<sup>3</sup>. Сжимаемостью жидкости в указанном интервале давлений пренебречь.
6. Вычислить стандартное изменение энергии Гиббса при 298 К по стандартным значениям энтальпии и энтропии:



## Список литературы

1. Бокштейн Б.С., Менделев М.И. Краткий курс физической химии. – М.: Черно, 1999. – 230 с.
2. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. – М.: Metallurgy, 1987. – 686 с.
3. Киселева Е.В., Каретников Г.С., Кудряшов И.В. Сборник примеров и задач по физической химии. – М.: Высшая школа, 1983. – 456 с. (1 шт.)
4. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 2001. – 527 с.
5. Стромберг А.Г., Лельчук Х.А. Сборник задач по химической термодинамике. – М.: Высшая школа, 1988. – 126 с.
6. Краткий справочник физико-химических величин / под редакцией Мищенко К.П. – Л.: Химия, 1983. – 231 с.
7. Физическая химия. В 2 кн. Кн. 1. Строение вещества. Термодинамика: Уч. Для вузов. / под ред. К.С. Краснова. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 2001. – 512 с.
8. Физическая химия. В 2 кн. Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: Уч. Для вузов. / под ред. К.С. Краснова. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 2001. – 319 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Механико-машиностроительный факультет  
Кафедра «Металлургия черных металлов»

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА  
Самостоятельная работа №

Исполнитель:  
студент гр. \_\_\_\_\_

(подпись) И.О.Фамилия  
(дата)

Руководитель:  
(должность, ученая степень)

(подпись) И.О.Фамилия  
(дата)

Юрга 20\_\_

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Методические указания для самостоятельной работы по курсу  
«Физическая химия» для студентов , обучающихся  
по направлению 150400 «Металлургия»

Составитель Родзевич Александр Павлович

Подписано к печати 26.02.2009 г.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная  
Плоская печать. Усл. печ. л. 1,28 Уч.-изд.л. 1,16  
Тираж 20 экз. Заказ 983. Цена свободная.  
ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.  
652050. Юрга, ул. Московская, 17.