

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Амурский государственный университет

РЕШАЕМ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ
Часть II. Молекулярная физика. Термодинамика.

**Учебно-методическое пособие для студентов инженерных
направлений подготовки**

Благовещенск
Издательство АмГУ
2022

УДК 53

ББК 22.3я73

Рекомендовано

Учебно-методическим советом университета

Рецензент:

Стукова Е.В., док. физ.-мат. наук, профессор по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», Амурский государственный университет

Решаем задачи по физике. Ч. 2: Молекулярная физика. Термодинамика: учеб.-метод. пособие для студентов инженерных направлений подготовки / сост. И.Б. Копылова, – Благовещенск: АмГУ, 2022.- 40 с.

В учебно-методическом пособии приведены решения задач на основные темы раздела молекулярная физика и термодинамика (с учетом рабочих программ изучения курса физики). В обозначенных темах приводятся основные формулы и соотношения, необходимые для решения задач. В конце пособия помещены два приложения, в которых излагаются требования к оформлению решений задач и расчетно-графических заданий, предусмотренных учебным планом.

Для студентов инженерных направлений подготовки высших учебных заведений, выполняющих задания по физике.

©Амурский государственный университет, 2022

©Копылова И. Б. , составитель

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Основы молекулярно-кинетической теории (МКТ)	5
3. Уравнение состояния идеального газа	12
4. Первое начало термодинамики	18
5. Второе начало термодинамики	25
6. Литература	35
7. ПРИЛОЖЕНИЕ А	38
8. ПРИЛОЖЕНИЕ Б	39

Введение

Одной из основных задач при изучении курса физики является выработка практических навыков применения основных законов и соотношений. В курсе физики практические навыки вырабатываются в как в ходе выполнения лабораторных работ, так и при решении задач.

Цель данного учебно-методического пособия показать на примерах решения задач применение основных понятий и законов физики в практических целях. Во многих технических задачах в той или иной степени используются элементы из решений чисто физических задач. Многие технические дисциплины используют определения физических величин и базируются на физических явлениях и законах, которые их описывают, поэтому данное пособие предназначено в основном для студентов инженерных направлений подготовки.

В пособии представлены решения типовых задач по молекулярной физике и термодинамике с подробными комментариями решения. Задачи оформлены согласно с требованиями к оформлению решений задач. Рассмотрены задачи на четыре темы: основы молекулярно-кинетической теории (МКТ), уравнение состояния идеального газа, первое начало термодинамики, второе начало термодинамики

В каждом разделе приведены определения физических величин, основные формулы и соотношения, которые используются при решении задач.

Тема 1: Основы молекулярно-кинетической теории.

Определения и основные формулы:

Молекулярная физика и термодинамика — разделы физики, в которых изучаются зависимости свойств тел от их строения, взаимодействия между частицами, из которых состоят тела, и характера движения частиц.

Для исследования физических свойств макроскопических систем, связанных с огромным числом содержащихся в них атомов и молекул, применяют два качественно различных и взаимно дополняющих друг друга метода: *статистический* (молекулярно-кинетический) и *термодинамический*.

Статистический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий *статистическими* закономерностями и *средними* (усредненными) значениями физических величин, характеризующих всю систему.

Термодинамический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий величинами, характеризующими *систему в целом* (например, давление, объем, температура) при различных превращениях энергии, происходящих в системе, *не учитывая* при этом внутреннего строения изучаемых тел и характера движения отдельных частиц.

Термодинамика имеет дело с *термодинамической системой (ТДС)* — совокупностью макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами (внешней средой). ТДС, параметры которой не изменяются с течением времени находятся в состоянии *термодинамического равновесия*.

Температура — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и определяющая направление теплообмена между телами. В настоящее время используют две температурные шкалы:

- *Международная практическая шкала (шкала Цельсия)* градуированная в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) по двум *реперным точкам* — температурам замерзания и кипения воды при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па, которые принимаются соответственно 0°C и 100°C .

- *Термодинамическая температурная шкала (шкала Кельвина)*. градуированная в градусах Кельвина (К)) определяется по одной реперной точке — *тройной точке воды* — температуре, при которой лед, вода и насыщенный пар при давлении 609 Па находятся в термодинамическом равновесии. Температура этой точки по данной шкале равна $273,16$ К. Температура $T = 0$ К называется *нулем Кельвина*.

Термодинамическая температура (Т) и температура (t) по Международной практической шкале связаны соотношением

$$T = 273,15 + t^0$$

Нормальные условия: $T_0 = 273,15 \text{ К} = 0^\circ\text{С}$, $p_0 = 101325 \text{ Па}$.

Давление газа с точки зрения МКТ. Давление газа определяется импульсом, передаваемым стенкам сосуда при ударе молекул о стенку. Давление определяется основным уравнением МКТ:

$$P = nkT,$$

n – концентрация молекул, k – постоянная Больцмана.

В МКТ действует закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул, на каждую степень свободы приходится энергия $\frac{1}{2} kT$.

$$E = \frac{i}{2} kT$$

Идеальный газ. Газовые законы.

В термодинамике *идеальными* называются газы строго подчиняющиеся закону:

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

Все прочие газы называются *реальными*. Опыт показывает, что для 1 моля любого идеального газа это отношение равно:

$$\frac{PV}{T} = R$$

где $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – универсальная газовая постоянная.

Для количества ν молей: $PV = \nu RT$, $\nu = \frac{m}{\mu}$,

m – масса газа; μ – молярная масса, т.е. масса одного моля газа.

Закон Авогадро: моли любых газов при одинаковой температуре и давлении занимают одинаковые объемы.

Количество вещества ν — физическая величина, определяемая числом специфических структурных элементов — молекул, атомов или ионов, из которых состоит вещество.

Единица количества вещества — моль — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится в 0,012 кг изотопа углерода ^{12}C .

В одном моле различных веществ содержится одно и то же число молекул N_A , называемое *числом Авогадро*: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Примеры решения задач.

Задача1. Вычислить массу m_0 атома азота.

Дано:	Система СИ	Решение:
N_2 $\mu=28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль		Согласно закону Авогадро в одном моле содержится число Авогадро молекул: $N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹ Масса одного моля известна – это молярная масса Найдем массу одной молекулы:
Найти: m_0		$m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{28 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 4,65 \cdot 10^{-23} \text{ (кг)}$ Ответ: $m_0=4,65 \cdot 10^{-23}$ кг

Задача2. Найти полную кинетическую энергию, а также кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы аммиака NH_3 при температуре $t=27^\circ \text{C}$.

Дано:	Система СИ	Решение:
$t=27^\circ \text{C}$ NH_3	300 К	Полная кинетическая энергия определяется соотношением: $E_K = \frac{i}{2} kT$, где i - число степеней свободы молекулы аммиака. $i = 6$ k – постоянная Больцмана $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ $E_K = \frac{i}{2} kT = \frac{6}{2} kT = 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 =$ $= 1,24 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ Число вращательных степеней свободы $i_{\text{вр}}=2$ Кинетическая энергия вращательного движения: $E_{K_{\text{вр}}} = \frac{i}{2} kT = \frac{2}{2} kT = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 =$ $= 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ Ответ: $E_K = 1,24 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$; $E_{K_{\text{вр}}} = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$
Найти: E_K ; $E_{K_{\text{вр}}}$		

Задача3. Найти среднее число столкновений в 1 с молекул углекислого газа при температуре 100^0 С, если средняя длина свободного пробега при этих условиях равна $8,7 \cdot 10^{-2}$ см.

Дано:	Система СИ	Решение:
$t=1\text{с}$ $T=100^0\text{С}$ $\lambda=8,7 \cdot 10^{-2}\text{см}$ $\mu=44 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}$	373 $8,7 \cdot 10^{-4}\text{м}$	<p>Среднее число столкновений можно определить по соотношению:</p> $z = \frac{\langle v \rangle}{\lambda}$ <p>$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ средняя арифметическая скорость движения молекул газа/</p>
Найти: z		<p>Подставим в формулу и получим:</p> $z = \frac{\sqrt{8RT}}{\lambda\sqrt{\pi\mu}} = \frac{\sqrt{8 \cdot 8,31 \cdot 373}}{8,7\sqrt{3,14 \cdot 44 \cdot 10^{-3}}}$ <p>Число столкновений в единицу времени равно:</p> $z = 4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ <p>Ответ: $z = 4,87 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$</p>

Задача4. При какой температуре средняя квадратичная скорость азота больше их наиболее вероятной скорости на 50 м/с ?

Дано:	Система СИ	Решение:
$\Delta v = 50 \text{ м/с}$ $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$		<p>Для характеристики движения молекул в газе используются понятия среднеквадратичной, среднеарифметической и наиболее вероятной скорости, которые соответственно определяются соотношениями:</p> $\langle v_{\text{КВ}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ $v_{\text{В}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$
<p>Найти: T</p>		<p>По условию задачи взаимосвязь между среднеквадратичной и наиболее вероятной скоростями можно записать:</p> $\sqrt{\langle v_{\text{КВ}} \rangle^2} = v_{\text{В}} + \Delta v$ <p>Или</p> $\Delta v = \sqrt{\langle v_{\text{КВ}} \rangle^2} - v_{\text{В}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} - \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} =$ $= \sqrt{\frac{RT}{\mu}} (\sqrt{3} - \sqrt{2})$ <p>Из этого соотношения выразим температуру:</p> $T = \frac{\mu(\Delta v)^2}{R(\sqrt{3} - \sqrt{2})}$ <p>Подставим числовые значения:</p> $T = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 2500}{8,31(1,73 - 1,41)} = 83,37 \text{ К}$ <p>T=83,37 К Ответ: T=83,37 К</p>

Задача 5. Найти число молекул водорода в 1 см^3 , если давление равно 200 кПа , а средняя квадратичная скорость его молекул при данных условиях равна 2400 м/с .

Дано:	Система СИ	Решение:
$V=1 \text{ см}^3$ $P=200 \text{ кПа}$ $V_{\text{кв}}=2400 \text{ м/с}$ $\mu=2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	10^{-6} м^3 10^5 Па	<p>Число молекул в единице объема – это концентрация n</p> $n = \frac{N}{V}$ <p>N-число молекул</p> $N = \frac{m}{\mu} N_A$ <p>Выразим число молей из уравнения Менделеева-Клапейрона</p> $\frac{m}{\mu} = \frac{PV}{RT}$ <p>Подставим данное выражение в формулу:</p> $N = \frac{PV}{RT} N_A$ <p>Концентрация, таким образом, выражение для концентрации примет вид:</p> $n = \frac{P}{RT} N_A$ <p>Произведение RT получим из выражения для среднеквадратичной скорости</p> $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ $RT = \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 \frac{\mu}{3}$ <p>Подставим в исходное выражение и получим рабочую формулу:</p> $n = \frac{3PN_A}{\mu \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}$ <p>Подставим численные значения:</p> $n = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 576 \cdot 10^4} = 4,2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ <p>Ответ: $n = 4,2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$</p>
Найти: n		

Тема 2: Уравнение состояния идеального газа.

Определения и основные формулы:

Уравнение состояния: Опыт показывает, что в состоянии термодинамического равновесия P, V и T находятся в функциональной зависимости не только для идеальных газов, но и для реальных газов, а также для любых физически однородных тел:

$$F(P, V, T) = 0$$

Вид этой функции зависит от свойств системы (тела):

Для идеальных газов: $PV = \nu RT$ – уравнение Менделеева-Клапейрона.

Закон Бойля-Мариотта: для данной массы газа m при постоянной температуре T произведение давления p на объем V есть величина постоянная:

$$PV = \text{const} \text{ при } T = \text{const} \text{ и } m = \text{const}$$

Кривая, изображающая зависимость между P, T и V , характеризующая свойства вещества при постоянной температуре, называется **изотермой**. Изотермы — гиперболы, расположенные на графике тем выше, чем выше температура происходящего процесса.

Закон Гей-Люссака: объем данной массы газа при постоянном давлении изменяется линейно с температурой:

$$V = V_0(1 + at), \text{ при } P = \text{const}; m = \text{const}.$$

Закон Шарля: давление данной массы газа при постоянном объеме изменяется линейно с температурой: $p = p_0(1 + at)$, при $V = \text{const}, m = \text{const}$.

Закон Дальтона: Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений p_1, p_2, \dots, p_n входящих в нее газов:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_i \quad P = \sum P_i$$

Парциальное давление — давление, которое производил бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре.

Примеры решения задач.

Задача 1. Плотность газа при давлении $P = 96 \text{ кПа}$ и температуре $t = 0^\circ \text{ С}$ равна $1,35 \text{ кг/м}^3$. Найти молярную массу μ газа.

Дано:	Система СИ	Решение:
$P = 96 \text{ кПа}$ $t = 0^\circ \text{ С}$ $\rho = 1,35 \text{ кг/м}^3$	$96 \cdot 10^3 \text{ Па}$ 273 К	Плотность – это отношение массы к объему: $\rho = \frac{m}{V}$ Для решения задачи воспользуемся уравнением состояния идеального газа, уравнением Менделеева-Клапейрона: $PV = \frac{m}{\mu} RT$ Выразим μ , учитывая определение плотности: $\mu = \frac{mRT}{PV} = \frac{\rho RT}{P}$ Подставим значения величин: $\mu = \frac{8,31 \cdot 1,35 \cdot 273}{96 \cdot 10^3} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ Ответ: $\mu = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
Найти: μ		

Задача 2. В баллоне вместимостью $V=15$ л находится смесь, содержащая $m_1=10$ г водорода, $m_2 = 54$ г водяного пара и $m_3=60$ г окиси углерода. Температура смеси $t=27^0$ С. Определить давление смеси.

Дано:	Система СИ	Решение:
$V=15$ л $m_1=10$ г $m_2 = 54$ г $m_3=60$ г $t=27^0$ С $\mu_1=2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $\mu_2=10 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $\mu_3=14 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	$15 \cdot 10^{-3}$ м ³ $10 \cdot 10^{-3}$ кг $54 \cdot 10^{-3}$ кг $60 \cdot 10^{-3}$ кг 300 К	<p>Смесь состоит из трех газов водорода, водяного пара и окиси водорода H_2, H_2O, CO.</p> <p>Т.к. смесь находится в одном сосуде, то $V_1=V_2=V_3=V$</p> <p>Согласно закону Дальтона давление в сосуде будет равно сумме парциальных давлений отдельных газов:</p> $P=P_1+P_2+P_3$ <p>Для каждого газа запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:</p> $P_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT$ $P_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT$ $P_3 V = \frac{m_3}{\mu_3} RT$ <p>Выразим давление каждого газа:</p> $P_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \frac{RT}{V}$ $P_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \frac{RT}{V}$ $P_3 = \frac{m_3}{\mu_3} \frac{RT}{V}$ <p>Определим давление смеси в сосуде:</p> $P = P_1 + P_2 + P_3 = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{m_3}{\mu_3} \right) =$ $= \frac{8,31 \cdot 300}{15 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} + \frac{54 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} + \frac{60 \cdot 10^{-3}}{14 \cdot 10^{-3}} \right) =$ $= 1,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$ <p>Ответ: $P=1,7 \cdot 10^6$ Па</p>
Найти: P		

Задача 3. В сосуде находится 14 г азота и 9 г водорода при температуре 10^0 С и давлении 10^6 Па. Найти 1) массу одного киломоля смеси; 2) объем сосуда.

Дано:	Система СИ	Решение:
$m_1=14$ г $m_2=9$ г $\mu_1=28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $\mu_2=2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $P=10^6$ Па $T=10^0$ С	$14 \cdot 10^{-3}$ кг $9 \cdot 10^{-3}$ кг 293 К	Массу одного киломоля смеси определим согласно определению количества вещества: $\mu = \frac{m}{\nu}$ Масса смеси: $m = m_1 + m_2$ Количество вещества смеси: $\nu = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}$ Найдем молярную массу смеси: $\mu = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}$ Подставим числовые значения: $\mu=4,6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль Запишем уравнение состояния для смеси: $PV = \frac{m_1+m_2}{\mu}RT$ Отсюда выразим объем: $V = \frac{m_1+m_2}{\mu P}RT$ $V = \frac{(14+9) \cdot 10^{-3}}{28 \cdot 10^{-3}} 8,31 \cdot 293 = 11,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ Численный расчет дает следующий результат: $V=11,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ Ответ: $V=11,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Найти: μ, V		

Задача 4. 12 г газа занимает объем $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ при температуре 7^0 С . После нагревания газа при постоянно давлении его плотность стала равна $6 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$. До какой температуры нагрели газ.

Дано:	Система СИ	Решение:
$m=12 \text{ г}$ $V=4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ $T=7^0 \text{ С}$ $\rho=6 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$	$12 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ 290 К $0,6 \text{ кг/м}^3$	<p>Запишем уравнение состояния до и после нагревания:</p> $PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$ $PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$ <p>Выразим объем после нагревания из определения плотности:</p> $V_2 = \frac{m}{\rho_2}$ <p>Подставим в уравнение состояния</p> $\frac{m}{\rho_2} = \frac{RT_2}{\mu}$ <p>Найдем температуру нагревания:</p> $T_2 = \frac{P\mu}{\rho_2 R}$ <p>Из первого уравнения выразим давление:</p> $P = \frac{mRT_1}{\mu V_1}$ <p>Найдем температуру нагревания:</p> $T_2 = \frac{mT_1}{V_1 \rho_2} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 290}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6} = 1400 \text{ К}$ <p>Ответ: $T_2 = 1400 \text{ К}$</p>
Найти: T_2		

Задача 5. Определить молярную массу μ смеси кислорода массой $m_1=25$ г и азота массой $m_2=75$ г.

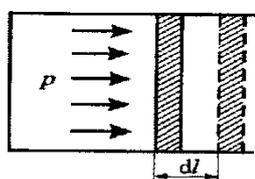
Дано:	Система СИ	Решение:
$m_1=25$ г $m_2=75$ г $\mu_1=32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $\mu_2=28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	$25 \cdot 10^{-3}$ кг $75 \cdot 10^{-3}$ кг	Молярная масса равна $\mu = \frac{m}{\nu}$ Отношению массы смеси к количеству вещества Масса смеси определяется как сумма масс газов, входящих в смесь $m = m_1 + m_2$ Количество вещества $\nu = \nu_1 + \nu_2$ Подставим в исходное соотношение, получим: $\mu = \frac{m_1 + m_2}{m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2}$ Подставим численные значения $\mu = \frac{(25 + 75)10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}/32 \cdot 10^{-3} + 75 \cdot 10^{-3}/28 \cdot 10^{-3}} =$ $= 28,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ Ответ: $\mu=28,9 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
Найти: μ		

Тема 3: Первое начало термодинамики.

Определения и основные формулы:

I начало термодинамики выражает *принцип сохранения энергии* в макроскопических явлениях, протекающих в термодинамических системах. Он был сформулирован в 40-х годах 19 в., когда было установлено, что теплота – это не вещество (теплород), а какое-то внутреннее движение. Позже оно было объяснено, как тепловое движение атомов и молекул, что позволило расширить понятие «энергия» на внутренние процессы: работа диссипативных сил приводит к образованию энергии из механической во *внутреннюю*.

Работа газа в термодинамике.



Рассмотрим газ в цилиндре под поршнем. Вычислим малую работу δA , совершаемую газом при квазистатическом расширении dV :

$$\delta A = F \cdot dl, \quad \text{где } F = P \cdot S.$$

$$\text{Тогда: } \delta A = P \cdot S \cdot dl = P \cdot dV, \quad \delta A = P \cdot dV$$

Это равенство справедливо и в общем случае квазистатического расширения любого тела, находящегося под внешним давлением.

Для любого конечного процесса:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Т.к. функции $P=P(V,T)$ различны для разных процессов, поэтому работа – функция процесса:

- Изотермический процесс: $A = \nu RT \ln(V_2/V_1)$
- Изобарный процесс: $A = P(V_2 - V_1)$
- Изохорный процесс: $A = 0$

Внутренняя энергия.

Внутренней энергией системы называется функция состояния, приращение которой во всяком процессе, совершаемом системой, в адиабатической оболочке, равно работе внешних сил над системой при переходе ее из начального равновесного состояния в конечное так же равновесное состояние.

I начало термодинамики.

Рассмотрим произвольный процесс, в котором принимает участие термодинамическая система. Первое начало термодинамики можно выразить следующим уравнением:

$$\Delta U = A + Q$$

Приращение энергии системы в термодинамическом процессе равно сумме работы и количества теплоты.

Если процесс круговой, то $U_1 = U_2$, то $A = Q$. В круговом процессе все количество теплоты, полученное системой, идет на производство внешней работы. Поэтому невозможен процесс, единственным результатом которого является производство работы без подведения тепла (каких либо изменений в других телах), т.е. невозможен вечный двигатель I рода.

Теплоемкость.

Теплоемкостью тела C называют отношение количества теплоты δQ , полученному телом, к соответствующему приращению dT его температуры:

$$C = \delta Q / dT$$

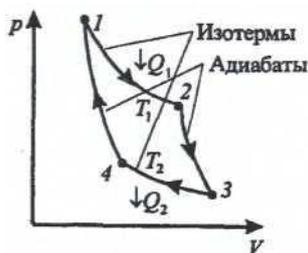
Различают удельную и молярную теплоемкости:

$$C_{\nu d} = \delta Q / (m \cdot dT); \quad C_{\nu} = \delta Q / (\nu \cdot dT)$$

Как следует из определения, C зависит от способа, каким систему переводят из одного состояния в другое. Следовательно, теплоемкость есть функция процесса.

- Изотермический процесс $dT=0, \delta Q \neq 0 \rightarrow C_T = \pm \infty$.
- Адиабатический процесс $\delta Q=0 \rightarrow C=0$.
- Изохорный процесс $C_V = (\partial U / \partial T)_V$, т.к. $dV=0$.
- Изобарный процесс $C_p = C_v + R$

Цикл Карно



Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат. Вычислим КПД цикла Карно.

$$(1-2) \text{ изотермическое расширение } Q_{12} = A_{12} = \nu RT \ln(V_2 / V_1)$$

$$(2-3) \text{ адиабатическое расширение } Q_{23} = 0$$

$$(3-4) \text{ изотермическое сжатие } Q_{34} = A_{34} = \nu RT \ln(V_4 / V_3) < 0$$

$$(4-1) \text{ адиабатическое сжатие } Q_{41} = 0$$

За весь цикл: Работа, совершаемая в результате кругового процесса,

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = Q_1 - Q_2$$

Для адиабат 2-3 и 4-1 из уравнения Пуассона находим: $T_1 V_2^{\gamma} = T_2 V_3^{\gamma}$,

$TV^\gamma = T_2V_4^\gamma$, откуда $V_1V_2 = V_3V_4$.

Тогда работа за цикл: $A = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} (T_1 - T_2)$

КПД цикла Карно: $\eta = \frac{A}{Q_1}$

$$\eta = \frac{\nu R \ln \frac{V_2}{V_1} (T_1 - T_2)}{\nu RT \ln (V_2 / V_1)}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

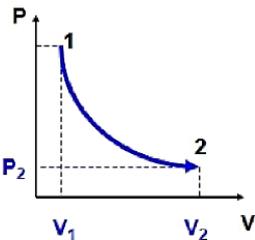
Проблема тепловой машины Карно состоит в том, что существует принципиально неконвертируемая в работу часть от Q_1 (равная Q_2), которая зависит от разности температур T_1 и T_2 .

Примеры решения задач.

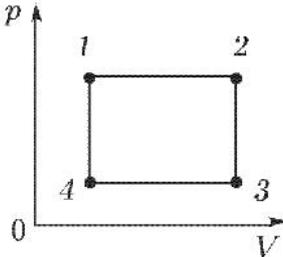
Задача1. Определить удельные теплоемкости c_p и c_v газообразного оксида углерода СО.

Дано:	Система СИ	Решение:
$\mu = 14 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $i = 5$		<p>Оксид углерода СО двухатомный газ, число степеней свободы которого $i = 5$</p> <p>Запишем формулу, связывающую удельную и молярную теплоемкости:</p> $C_p = \mu \cdot c_p, \quad C_v = \mu \cdot c_v$ <p>Молярные теплоемкости определяются соотношениями:</p> $C_p = \frac{i+2}{2}R, \quad C_v = \frac{i}{2}R$ <p>Выразим удельные теплоемкости:</p> $c_p = \frac{C_p}{\mu}, \quad c_v = \frac{C_v}{\mu}$ $c_p = \frac{5}{2} \frac{R}{\mu}, \quad c_v = \frac{7}{2} \frac{R}{\mu}$ $c_p = \frac{5}{2} \frac{8,31}{14 \cdot 10^{-3}} = 1,48 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ $c_v = \frac{7}{2} \frac{8,31}{14 \cdot 10^{-3}} = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Найти: c_p, c_v		<p>Ответ: $c_p = 1,48 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$</p> $c_v = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Задача2. В цилиндре под поршнем находится азот, имеющий массу $m = 0,6$ кг и занимающий объем $V_1 = 1,2$ м³ при температуре $T = 560$ К. В результате нагревания газ расширился и занял объем $V_2 = 4,2$ м³, причем температура осталась неизменной. Найти изменение внутренней энергии ΔU газа, совершенную им работу A и теплоту Q , сообщенную газу.

Дано:	Система СИ	Решение:
$\mu = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $m = 0,6$ кг $V_1 = 1,2$ м ³ $V_2 = 4,2$ м ³ $T = 560$ К		Запишем Первое начало термодинамики: $\delta Q = dU + \delta A$ Т.к. процесс изотермический, то изменение внутренней энергии будет равно нулю $dU = 0, \text{ тогда}$ $\delta Q = \delta A, \text{ т.е. теплота идет на совершение работы.}$ Построим график процесса: <div style="text-align: center;">  </div>
Найти: Q , A , ΔU		Согласно определению работа в термодинамике совершается при изменении объема: $\delta A = P dV$ Выразим P из уравнения Менделеева-Клапейрона: $PV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow P = \frac{m}{\mu} R \frac{T}{V}$ Проинтегрируем выражение для работы $A = \int P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{\mu} R \frac{T}{V} dV = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ Подставим данные в полученное уравнение, получим: $A = \frac{0,6}{28 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot \ln \frac{4,2}{1,2} = 126 \text{ кДж}$ Ответ: $A = 126$ кДж, $Q = 126$ кДж.

Задача4. Некоторое количество кислорода занимает объем $V_1 = 3$ л при температуре $t_1=27^0$ С и давлении $P_1= 8,2 \cdot 10^5$ Па. Во втором состоянии газ имеет параметры $V_2=4,5$ л, $P_2= 6 \cdot 10^5$ Па. Найти количество тепла, полученного газом, работу, совершенную при расширении; изменение внутренней энергии газа. Задачу решить при условии, что перевод газа из первого состояния во второе происходит 1) путем 143; 2) 123

Дано:	Система СИ	Решение:
$V_1 = 3$ л $t_1=27^0$ С $P_1= 8,2 \cdot 10^5$ Па $V_2=4,5$ л $P_2= 6 \cdot 10^5$ Па $\mu=32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль		 <p>а) путь 1-4-3 1- 4 изохорный процесс – работа не совершается: $\Delta V = 0, A = 0$ Количество теплоты равно изменению внутренней энергии.</p> $Q = \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T$ <p>Значения температуры в 1-м и 4-м состояниях найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона</p> $P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1, P_4 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_2$ <p>Вычтем из первого уравнения второе, получим:</p> $(P_1 - P_4) V_1 = \frac{m}{\mu} R \Delta T,$ <p>Подставим в выражение для количества теплоты:</p> $Q_{14} = \Delta U = \frac{i}{2} (P_1 - P_4) V_1 =$ $= \frac{5}{2} (8,2 - 6) 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 1,65 \text{ кДж}$ <p>4-3 – изобарный процесс</p> $A_{43} = P_4 (V_2 - V_1) = 6 \cdot 10^5 (4,5 - 3) 10^{-3}$ $= 0,9 \text{ кДж}$
Найти: $Q_{143},$ $A_{143}, \Delta U_{143},$ $Q_{123}, A_{123},$ $\Delta U_{123},$		

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T$$

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона

Для состояний 4 и 3

$$P_4 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1, \quad P_4 V_2 = \frac{m}{\mu} R T_2$$

Вычтем из первого уравнения второе:

$$P_4 (V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R \Delta T$$

$$\Delta U_{43} = \frac{5}{2} P_4 (V_2 - V_1)$$

$$= \frac{5}{2} 6 \cdot 10^5 (4,5 - 3) 10^{-3}$$

$$= 2,25 \text{ кДж}$$

Просуммируем полученные значения получим общее количество теплоты, затраченное в данном процессе:

$$(1,65 + 0,9 + 2,25) \text{ кДж} = 4,8 \text{ кДж} = Q_{143}$$

$$(1,65 + 0,9) \text{ кДж} = 2,55 \text{ кДж} = A_{143}$$

$$U_{143} = Q_{14} + \Delta U_{43} = 1,65 + 2,25 = 3,9 \text{ кДж}$$

б) путь 1-2-3

1- 2 изобарный процесс , 2-3 изохорный процесс

$$A_{123} = P_1 (V_2 - V_1) = 8,2 \cdot 10^5 (4,5 - 3) 10^{-3} \\ = 1,23 \text{ кДж}$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U_{123} = \Delta U_{43} - \Delta U_{14} = (2,25 - 1,65) \text{ кДж} \\ = 0,6 \text{ кДж}$$

Найдем количество теплоты

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{123} = (1,23 + 0,6) \text{ кДж} \\ = 1,83 \text{ кДж}$$

Ответ: $Q_{143} = 4,8 \text{ кДж}$, $A_{143} = 2,55 \text{ кДж}$

$$U_{143} = 3,9 \text{ кДж}, \quad Q_{123} = 1,83 \text{ кДж},$$

$$\Delta U_{123} = 0,6 \text{ кДж}, \quad A_{123} = 1,23 \text{ кДж}$$

Задача5. Газ совершает цикл Карно. Температура теплоотдатчика в три раза выше температуры теплоприемника. Теплоотдатчик передал газу $Q_1=41,9$ кДж теплоты. Какую работу A совершил газ?

Дано:	Система СИ	Решение:
$\frac{T_1}{T_2} = 3$ $Q_1=41,9$ кДж	$41,9 \cdot 10^3$ Дж	<p>По определению к.п.д. замкнутого теплового цикла определяется соотношением:</p> $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ <p>$Q_1 - Q_2 = A$ – это работа, совершаемая газом.</p>
<p>Найти: A</p>		<p>Для цикла Карно справедлива формула:</p> $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ <p>Используя формулу к.п.д. цикла Карно, найдем к.п.д. , получим соотношение:</p> $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{Q_1}$ <p>Выразим из полученного уравнения работу:</p> $A = \frac{Q_1(T_1 - T_2)}{T_1}$ <p>Рассчитаем работу:</p> $A = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = 41,9 \cdot 10^3 (1 - 1/3) = 27,9 \text{ кДж}$ <p>Ответ: $A=27,9$ кДж</p>

Тема 4: Второе начало термодинамики.

Основные формулировки II начала термодинамики.

Формулировка Клаузиуса (1850 г.):

Теплота не может самопроизвольно переходить от тела менее нагретого к телу более нагретому. Под Q подразумевается U .

Формулировка Томсона (Кельвина) (1851 г.):

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счет охлаждения теплового резервуара.

Под тепловым резервуаром понимают тело (систему тел), находящихся в состоянии термодинамического равновесия и обладающего запасом внутренней энергии.

Из I начала термодинамики: $Q_1 + Q_2 = A$ ($Q_2 < 0$).

На основании II теоремы Карно:

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Или

$$\frac{Q_2}{T_2} \leq -\frac{Q_1}{T_1}$$

Откуда находим

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} \leq 0$$

Это соотношение называется Неравенством Клаузиуса.

Обозначим $Q^* = \frac{Q}{T}$ - данное отношение называется приведенной теплотой. Ее приращение в малом процессе:

$$\delta Q^* = \frac{\delta Q}{T}$$

При суммировании приведенной теплоты по всем малым циклам в итоге получаем приведенную теплоту по внешней границе цикла. Обобщая сказанное, имеем: $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$. Это неравенство Клаузиуса для общего случая (произвольного цикла):

Суммарное приведенное количество теплоты, полученное системой в произвольном циклическом процессе всегда ≤ 0 .

Таким образом, приведенное количество тепла, полученное системой в квазистатическом процессе, не зависит от пути (процесса), а зависит только от начального и конечного состояния.

Можно записать:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Величина S называется *энтропией*. Энтропия – функция состояния системы, изменение которой равно приведенному количеству теплоты,

полученному системой в любом квазистатическом процессе. Энтропия определяется с точностью до произвольной постоянной S_0 .

$S=S(P,V,T)$ - энтропия – однозначная функция параметров, аддитивна.

В теплоизолированной системе возможны только такие процессы, при которых энтропия возрастает или остается неизменной. В теплоизолированной системе не возможны процессы с убыванием энтропии. Закон возрастания энтропии эквивалентен II началу термодинамики.

Её свойства:

- S – мера беспорядка;
- $S = \sum S_i$ – аддитивная величина;
- S – функция макросостояния;
- В статистической физике: все состояния равновероятны, поэтому если система переходит в какое-то макросостояние, то наиболее вероятным будет ее переход в состояние с большим статистическим весом, т.е. с большей энтропией S .

Третье начало термодинамики.

Теорема Нернста: при понижении температуры до абсолютного нуля энтропия любой системы стремится к некоторому пределу, не зависящему от параметров системы.

Следствие 1.

Невозможно достичь абсолютного нуля температур за конечное число процессов (циклов).

Следствие 2.

При $T=0$ все процессы происходят при $S=S_0=const$:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

При $T \rightarrow 0$ для всех тел должны стремиться к 0 температурный коэффициент объемного расширения и температурный коэффициент давления.

Примеры решения задач.

Задача1. Найти изменение энтропии при превращении 10 г льда при температуре -20°C в пар при 100°C .

Дано:	Система СИ	Решение:
$m=10\text{ г}$ $t_1=-20^{\circ}\text{C}$ $t_2=100^{\circ}\text{C}$ $c_{\text{л}}=2,1\text{ кДж/кг К}$ $\lambda=0,33\text{ МДж/кг}$ $c_{\text{в}}=4,19\text{ кДж/кг К}$ $r=2,26\text{ МДж/кг}$	$0,010\text{ кг}$ 253 К 373 К $2,1 \cdot 10^3$ $0,33 \cdot 10^6$ $4,19 \cdot 10^3$ $2,26 \cdot 10^6$	<p>Данный процесс можно разделить на следующие этапы: сначала лед должен нагреться до температуры плавления; затем происходит процесс плавления; вода, которая образовалась при плавлении, должна нагреться до температуры парообразования; процесс парообразования.</p> <p>Таким образом, на всех этапах происходит изменение энтропии. Энтропия – величина аддитивная, поэтому общее изменение энтропии:</p> $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4$ <p>Найдем изменение энтропии при нагревании льда:</p> $\Delta S_1 = \int_T^{T_0} \frac{mc_{\text{л}}dT}{T} = mc_{\text{л}} \ln \frac{T_0}{T}$ <p>Найдем изменение энтропии при плавлении льда:</p> $\Delta S_2 = \int_1^2 \frac{dQ}{T_0} = \frac{m\lambda}{T_0}$ <p>Найдем изменение энтропии при нагревании воды до парообразования:</p> $\Delta S_3 = \int_{T_0}^{T_{\text{п}}} \frac{mc_{\text{в}}dT}{T} = mc_{\text{в}} \ln \frac{T_{\text{п}}}{T_0}$ <p>Найдем изменение энтропии при парообразовании:</p>
Найти: ΔS		

$$\Delta S_4 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{mr}{T_{\text{н}}}$$

Подставим числовые значения и просуммируем все значения

$$\begin{aligned} \Delta S &= mc_{\text{л}} \ln \frac{T_0}{T} + \frac{m\lambda}{T_0} + mc_{\text{в}} \ln \frac{T_{\text{п}}}{T_0} + \frac{mr}{T_{\text{н}}} = \\ &= 0,010 \cdot 2,1 \cdot 10^3 \ln \frac{273}{252} + \frac{0,010 \cdot 0,33 \cdot 10^6}{273} \\ &\quad + 0,010 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \ln \frac{373}{273} \\ &\quad + \frac{0,010 \cdot 2,26 \cdot 10^6}{373} = 88 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \end{aligned}$$

$$\Delta S = 88 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Ответ: $88 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Задача2. Найти изменение энтропии при плавлении 1кг льда, находящегося при 0°C .

Дано:	Система СИ	Решение:
$t=0^{\circ}\text{C}$ $m=1\text{кг}$ $\lambda=0,33\text{ МДж/кг}$	273 К $0,33 \cdot 10^6$	<p>Для плавления льда нужно затратить количество теплоты:</p> $Q = m\lambda$ <p>Где λ – удельная теплота плавления:</p> <p>Изменение энтропии:</p> $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{m\lambda}{T}$ <p>Подставим данные:</p> $\Delta S = \frac{m\lambda}{T} = \frac{1 \cdot 0,33 \cdot 10^6}{273} =$ $= 1209\text{ Дж/К}$ <p>Ответ: $\Delta S = 1209\text{ Дж/К}$</p>
Найти: ΔS		

Задача3. Найти изменение энтропии при переходе 8 г кислорода от объема в 10 л при температуре 80° С к объему 40 л при температуре 300° С.

Дано:	Система СИ	Решение:
$t_1=80^{\circ}\text{C}$ $t_2=300^{\circ}\text{C}$ $m=8\text{ г}$ $\mu=32\cdot 10^{-3}$ кг/моль $V_1=10\text{ л}$ $V_2=40\text{ л}$	353 К 573 К 0,008 кг 10^{-2} м^3 $4\cdot 10^{-2}\text{ м}^3$	Изменение энтропии $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ Количество теплоты согласно первому началу термодинамики $\delta Q = dU + \delta A$ $\delta Q = \frac{m}{\mu} C_V dT + P dV$ Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим давление: $P = \frac{m RT}{\mu V}$ В результате подстановки получим формулу для расчета изменения энтропии: $\delta Q = \frac{m}{\mu} C_V dT + \frac{m RT}{\mu V} dV$ Определим изменение энтропии: $\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \int_1^2 \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \int_1^2 \frac{dV}{V}$ Результат интегрирования: $\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} =$ $= \frac{m}{\mu} R \left(\frac{i}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{V_2}{V_1} \right) =$ $= \frac{0,008}{32\cdot 10^{-3}} 8,31 \left(\frac{5}{2} \ln \frac{573}{353} + \ln \frac{4\cdot 10^{-2}}{10^{-2}} \right) =$ $= 5,4 \text{ Дж/К}$ $\Delta S = 5,4 \text{ Дж/К}$ Ответ: $\Delta S = 5,4 \text{ Дж/К}$
Найти: ΔS		

Задача4. Найти изменение энтропии при изотермическом расширении 6 г водорода от давления 10^5 Па до $0,5 \cdot 10^5$ Па.

Дано:	Система СИ	Решение:
$m=6$ г $P_1=10^5$ Па $P_2=0,5 \cdot 10^5$ Па $\mu=2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	0,006 кг	При изотермическом процессе совершается работа, но не происходит изменение внутренней энергии, поэтому изменение энтропии: $\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ Запишем уравнение Бойля-Мариотта для изотермического процесса: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$ Так как изменения температуры не происходит, первое слагаемое равно нулю, тогда: $\Delta S = \frac{m}{\mu} R \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}$ $\Delta S = \frac{0,006}{2 \cdot 10^{-3}} 8,31 \cdot \ln \frac{0,5 \cdot 10^5}{10^5} = 17,3 \text{ Дж/К}$
Найти: ΔS		Ответ: $\Delta S = 17,3 \text{ Дж/К}$

Задача 5. 10 г кислорода нагреваются от 50° С до 150° С. Найти изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорически, 2) изобарически.

Дано:	Система СИ	Решение:
$t_1=50^0 \text{ C}$ $t_2=150^0 \text{ C}$ $m=10 \text{ г}$ $\mu=32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	323 К 423 К 0,010 кг	<p>1) Изохорный процесс $V=const$</p> <p>Работа в этом процессе не совершается.</p> <p>Количество теплоты, которое идет на нагревание определяется следующим образом:</p> $dQ = c_V m dT$ <p>Изменение энтропии</p> $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} =$ $= c_V m \int_1^2 \frac{dT}{T} = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$ <p>Место для уравнения.</p> <p>Число степеней свободы кислорода $i=5$</p> $\Delta S = \frac{5}{2} \frac{0,010}{32 \cdot 10^{-3}} 8,31 \cdot \ln \frac{323}{423} = 1,75 \text{ Дж/К}$ <p>2) Изобарный процесс $P=const$</p> $dQ = c_P m dT \Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} =$ $= c_P m \int_1^2 \frac{dT}{T} = \frac{i+2}{2} \frac{m}{\mu} R \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$ <p>Подставим данные и получим:</p> $\Delta S = \frac{7}{2} \frac{0,010}{32 \cdot 10^{-3}} 8,31 \cdot \ln \frac{323}{423} = 2,45 \text{ Дж/К}$ <p>Ответ: $\Delta S_1 = 1,75 \text{ Дж/К}$ $\Delta S_2 = 2,45 \text{ Дж/К}$</p>
Найти: $\Delta S_1,$ ΔS_2		

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев, И. В. Курс общей физики : учебное пособие : в 3 томах / И. В. Савельев. — 19-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019 — Том 1 : Механика. Молекулярная физика — 2020. — 436 с. — ISBN 978-5-8114-5539-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/142380>
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3 т. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Савельев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 500 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113945>.
3. Савельев, И. В. Курс физики : учебное пособие : в 3 томах / И. В. Савельев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц — 2019. — 308 с. — ISBN 978-5-8114-4254-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117716>.
4. Трофимова Т. И. Курс физики [Текст] : учеб. пособие : рек. Мин. обр. РФ / Т. И. Трофимова. - 18-е изд. стер. - М. : Академия, 2010. - 559 с.
5. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики [Текст]: учеб. пособие для студентов техн. вузов/В. С. Волькенштейн. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб.: Книжный мир, 2005. - 328 с.
6. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : учеб. пособие / АмГУ, ИФФ ; сост. К. Г. Добросельский, А. Ю. Сетейкин. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2003 - .Ч. 2 : Электричество и магнетизм. Колебания и волны. - 2003. - 108 с.
7. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : учеб. пособие для студентов инженер. спец. / АмГУ, ИФФ ; сост. К. Г. Добросельский, А. Ю. Сетейкин, В. Я. Подцюк. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. Ун-та, 2002 - Ч. 3 : Оптика, квантовая физика, атомная и ядерная физика. - 2002. - 118 с.
8. Физический практикум. Механика, молекулярная физика : учеб.-метод. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ; сост. А. А. Согр, В. Ф. Ульянычева, О. В. Козачкова. —Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007.—91 с.
9. Лабораторный практикум по физике : учебн-метод. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ, сост. А.А. Согр, В.Ф. Ульянычева, И.Б. Копылова: под. ред. А.А. Согра. Т.2. : Электричество и магнетизм, Вып. 2 – 2007.—130 с.
10. Лабораторный практикум по физике [Электронный ресурс]. Ч. 3. Волновая и квантовая оптика. Элементы физики атома и атомного ядра / АмГУ, ИФФ ; сост.: О. В. Зотова, И. А. Голубева. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2018. - 148 с. -Режим доступа : http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/11087.pdf.
11. Физика [Электронный ресурс]: сб. метод. рекомендаций по изучению дисциплины/ АмГУ, ФМиИ; сост. И. В. Верхотурова, О. В. Зотова, О. А. Агапотова, В. Ф. Ульянычева, И. Б. Копылова, О. В. Козачкова. -

Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 55 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7694.pdf.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://e.lanbook.com	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
2	http://www.iprbookshop.ru/	Электронно-библиотечная система IPRbooks — научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования.
3	http://elibrary.ru	Научная электронная библиотека журналов

	Перечень программного обеспечения (обеспеченного лицензией)	Реквизиты подтверждающих документов (при наличии), тип и количество
	Операционная система MS Windows 7 Pro	DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) Renewal по договору - Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 года

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

	Наименование ресурса	Описание
	http://dxdy.ru/fizika-f2.html	Научный форум. Физика, Математика, Химия, Механика и Техника. Обсуждение теоретических вопросов, входящих в стандартные учебные курсы. Дискуссионные темы физики: попытки опровержения классических теорий и т.п. Обсуждение нетривиальных и нестандартных учебных задач. Полезные ресурсы сети, содержащие материалы по физике.
	https://uisrussia.msu.ru/	<u>Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ).</u>
	https://www.runnet.ru	RUNNet (Russian UNiversity Network) - крупнейшая в России научно-образовательная телекоммуникационная сеть, обладающая протяженной высокоскоростной магистральной инфраструктурой и международными каналами, обеспечивающими интеграцию с зарубежными научно-образовательными сетями (National Research and Education Networks, NREN) и с Интернет.
	https://minobrnauki.gov.ru/	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Требования к оформлению расчетно-графических заданий (РГЗ)

1. Домашнее задание (ДЗ) выдается студентам по темам, указанным в плане освоения дисциплины.
2. На выполнение РГЗ дается 14 дней. Как правило РГЗ включает 5 задач. Каждая задача выполняется на отдельном листе согласно требованиям к оформлению задач. Решение задачи оценивается в 5 баллов (решение правильное, правильное оформление). При нарушении правил оформления балл понижается. Таким образом, максимальный балл за РГЗ составляет 25 баллов.
3. **РГЗ, поступившие на проверки позже указанной даты проверяться не будут!**
4. **РГЗ, выполненные не по требованиям проверяться не будут!**
5. В течение семестра студент **обязан** выполнить определенное число РГЗ.

Требования к оформлению решений задач

1. Условие задачи записать полностью.
2. Записать краткое условие задачи. **Все данные перевести в систему СИ.**
Выполнить чертеж, поясняющий решение задачи. **Обязательно!**
Чертеж выполняется с помощью линейки и карандаша!
3. Записать исходные соотношения (законы). **Обратить внимание на правильную запись законов!** Обосновать выбор соотношений (законов), т.е. дать краткие пояснения к решению.
4. Сделать подробный вывод рабочей формулы.
5. Рассчитать результат. Представить результат в системе СИ. Если задача решалась в общем виде, то ответ представляет собой аналитическое выражение.
6. Записать ответ.
7. Каждая задача выполняется на отдельном листе.

Копылова Ирина Борисовна,

доцент кафедры физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук

**Решаем задачи по физике. Часть II: Молекулярная физика.
Термодинамика.**