

Практическое занятие 1.

Задание для студентов

- 1. Прочитать лекции по первому и второму законам термодинамики.
- 2. Внимательно разобрать примеры задач с решением.
- 3. Ответить на тестовые вопросы письменно, кроме ответов записать расчет или обоснование своего ответа.
- 4. Фото ответов загрузить в личный кабинет на сайте ЗабГУ.

Основные понятия термодинамики

- Термодинамика представляет собой **науку о взаимных превращениях различных видов энергии**. Она не рассматривает вопросов, связанных с микрофизическим механизмом изучаемых явлений, а потому относится к так называемым феноменологическим наукам. Основу термодинамики составляют фундаментальные законы природы.
- Сформулированные в термодинамических понятиях, они называются законами или **началами термодинамики**. Благодаря высокой достоверности и независимости этих законов от свойств конкретных тел термодинамика успешно решает разнообразные задачи технического характера.
- **На основе термодинамики** разрабатывают новые и совершенствуют существующие тепловые машины и установки и создают высокоэффективные технологии, обеспечивающие экономное расходование энергетических и материальных ресурсов.
- Совокупность инженерных приложений термодинамики образует ее раздел, называемый технической термодинамикой.

Параметры состояния

- Параметры состояния однородной газообразной закрытой термомеханической системы: абсолютное давление p , Па; абсолютная температура T , К; удельный объем V , м³/кг.
- Абсолютное давление** — интенсивная величина, характеризующая среднюю по времени силу, с которой частицы системы действуют на единицу площади стенки сосуда, в котором заключена система. В общем случае абсолютное давление определяют по показаниям двух приборов — барометра и манометра (или вакуумметра). Если абсолютное давление в сосуде больше барометрического B , то $p = B + p_{\text{ман}}$. Если же в сосуде разрежение, то $p = B - p_{\text{вак}}$. Пересчет показаний приборов, используемых на практике, в паскали производится по следующим соотношениям:

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \times 10^4 \text{ Па}; 1 \text{ фунт/дюйм}^2 = 6,89 \times 10^3 \text{ Па}; 1 \text{ мм рт. ст.} = 133,32 \text{ Па};$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,81 \text{ Па}; 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 100 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}.$$

- Абсолютная температура** — интенсивная величина, пропорциональная средней кинетической энергии частиц (молекул газа), из которых состоит система. Переводной коэффициент от энергетических единиц к градусу Кельвина называют постоянной Больцмана (1844-1906) $k_B = 1,380658 \times 10^{-23}$ Дж/К.

- **Термодинамическая температурная шкала** установлена по температуре, при которой лед, вода и пар находятся в равновесии друг с другом (так называемая тройная точка).
- Температуре тройной точки химической чистой воды присвоено значение абсолютной температуры 273,16 (рис. 1.1). Так как эта температура одновременно составляет 0,01 °C, а один Кельвин равен градусу Цельсия, то начало отсчета по термодинамической температурной шкале соответствует -273,15 °C. Таким образом температура T , выраженная в Кельвинах, связана с t , °C, соотношением $T=t+273,15$ K.
- В ряде стран используют температурные шкалы Фаренгейта и Ренкина. Пересчет температуры, заданной в градусах Фаренгейта (°F), в градусы Цельсия производят по соотношению $t=(t^{\circ}\text{F}+32)/1,8$.
- Шкала Ренкина (°R) имеет началом отсчета абсолютный нуль температур, а цена ее деления одинакова со шкалой Фаренгейта, поэтому $T^{\circ}\text{R}=1,8T$.
- **Температура тела характеризует его способность к теплообмену** с окружающей средой или другими телами, включенными в рассматриваемую систему. Теплообмен между телами возможен только при наличии хотя бы бесконечно малой разности их температур. Это означает, что температура является параметром, позволяющим судить о наличии или отсутствии теплового равновесия между телами, находящимися в тепловом контакте друг с другом.

- **Удельный объем** — интенсивная величина, представляющая собой отношение объема системы V , м³, к заключенной в нем массе M , кг,

$$v = V/M$$

- В случае замкнутой системы изменение удельного объема обусловлено только изменением ее объема. При этом если удельный объем уменьшается, то система подвергается сжатию (давление при этом может оставаться неизменным). Если удельный объем увеличивается, то система расширяется (даже если при этом давление увеличивается).
- Величину, обратную удельному объему, называют **плотностью**

$$\rho = 1/v = M/V$$
- Плотность, как и удельный объем, является интенсивной величиной, т. е. если находящуюся в состоянии термодинамического равновесия систему разделить на несколько подсистем, то плотность (и удельный объем) каждой из подсистем будет такой же, как плотность (удельный объем) всей системы в целом.
- Параметры состояния равновесной термодинамической системы связаны между собой зависимостью, называемой уравнением состояния. В термодинамике пользуются уравнениями состояния, полученными из опыта или найденными методами статистической физики. Применительно к газообразным термомеханическим системам уравнение состояния можно представить в виде функциональной зависимости **$F(p, V, T) = 0$** .

- Это уравнение дает возможность выразить каждый из параметров состояния как функцию двух других
- $P = p(V, T), \quad V = V(p, T), \quad T = T(V, p).$
- Независимость параметров состояния от истории системы в математическом смысле означает, что они являются функциями точки. Дифференциал такой функции есть полный дифференциал.

$$dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x dy,$$

- Введем обозначения:

$$\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \beta \text{ — коэффициент термического расширения;}$$

$$-\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T = \beta_T \text{ — коэффициент изотермной сжимаемости;}$$

$$\frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = \gamma \text{ — коэффициент термической упругости.}$$

Задача 1.

- Определить энтропию 1 кг кислорода при $p = 0,82$ МПа и $t = 250$ °С. Теплоемкость считать постоянной.
- **Решение.**
- Расчет проводим по формуле:

$$s = c_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{p}{p_{\text{н}}}.$$

Так как для двухатомных газов $\mu c_p = 29,3$ кДж/(кмоль · К), а $R = 8,314$ кДж/(кмоль · К), то

$$s = \frac{29,3}{32} 2,303 \lg \frac{523}{273} - \frac{8,314}{32} 2,303 \lg \frac{8}{1,013};$$
$$s = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ кДж/(кг · К)}.$$

- Ответ: 0,0605 кДж/(кг·К).

Задача 2

- Газ находился в цилиндре с поршнем площадью поперечного сечения 200 см^2 . После того, как газ нагрели, сообщив ему количество теплоты в $1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$, поршень сдвинулся на расстояние $h=30 \text{ см}$. Как изменилась внутренняя энергия газа, если его давление осталось равным $2 \cdot 10^7 \text{ Па}$.
- **Решение**
- Запишем первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A$
- Работу против внешних сил, которую совершил газ, можно найти по формуле из механики: $A = pSh$.
- Отсюда
- $\Delta U = Q - A = Q - pSh = 1,5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-1} = 30 \text{ кДж}$.
- **Ответ:** 30 кДж.

Задача 3.

- 1 кмоль гелия, изобарически расширяясь, увеличил объем в 4 раза. Найти изменение энтропии при этом расширении.

- Решение**

- Изменение энтропии: $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$

- При постоянном давлении (в изобарном процессе) элементарное количество теплоты, полученное газом при температуре T и молярная теплоемкость, запишутся так:

$$dQ = \nu C_p dT$$

$$C_p = \frac{i+2}{2} R$$

- где ν - число молей газа, i – число степеней свободы молекулы газа (для молекулы инертного газа He $i=3$). С учетом этого можно записать выражение для изменения энтропии:

$$\Delta S = \nu \cdot \frac{i+2}{2} R \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \nu \cdot \frac{i+2}{2} R \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = \nu \cdot \frac{i+2}{2} R \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- При изобарном процессе справедлив закон Гей-Люссака:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

- По условию задачи:

$$\frac{V_2}{V_1} = n$$

- Решая уравнения, получаем ответ:

$$\Delta S = \nu \cdot \frac{i+2}{2} R \ln n$$

$$[\Delta S] = \text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\Delta S = 1 \cdot 10^3 \cdot \frac{3+2}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln 4 = 29 \cdot 10^3$$

- Ответ: 29 Дж/К.

Тестовые вопросы по законам термодинамики

- **1.** За один цикл тепловой двигатель с КПД 50 % отдает холодильнику 56 кДж теплоты. Какая работа им (кДж) совершается за один цикл?
а) 28; б) 21; в) 40; г) 56.
- **2.** Какому количеству теплоты (МДж) эквивалентна работа, совершаемая за 1 ч двигателем мощностью 2 кВт?
а) 2; б) 0,2; в) 7,2; г) 3,6.
- **3.** Найдите работу, совершаемую одним молем идеального газа при его изобарном нагревании на 100°C (Дж). $R=8,3\text{Дж/моль}\cdot\text{K}$.
а) 83; б) 830; в) 415; г) 41,5.
- **4.** При изохорном нагревании на 50 К идеальный газ получил 2 кДж теплоты. Какую работу совершил идеальный газ (Дж)?
а) 0; б) 0,8; в) 1; г) 2.
- **5.** Один моль одноатомного идеального газа находится при температуре -73°C . Чему равна его внутренняя энергия (Дж)?
а) 830; б) 1246; в) 1660; г) 2490.

- **6.** Имеется по одному молю гелия, неона и аргона при одинаковой температуре. У какого газа внутренняя энергия самая большая?
- а) у всех газов одинаковая; б) у аргона; в) у неона; г) у гелия.

- **7.** При изотермическом расширении от V_1 до V_2 один моль кислорода совершил работу 3 кДж. Какое количество теплоты при этом получил?
- а) 0; б) 1; в) 2; г) 3.

- **8.** Температура холодильника равна $+27^\circ\text{C}$, а КПД идеального теплового двигателя – 35 %, . Определите температуру нагревателя ($^\circ\text{C}$).
- а) 189; б) 259; в) 462; г) 522.

- **9.** Найдите работу (Дж), совершаемую при нагревании 2 молей идеального одноатомного газа на 100°C при постоянном давлении. $R=8,3 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$
- а) 104; б) 207; в) 415; г) 1660.

- **10.** Чему равен КПД (%) теплового двигателя за один цикл, если он получает от нагревателя 100 кДж теплоты и отдает холодильнику 60 кДж?
- а) 25; б) 40; в) 60; г) 67.

- **11.** Уравнением состояния равновесной термодинамической системы называется функциональная связь между...
 - а) вязкостью и температурой вещества;
 - б) теплоемкостью и давлением вещества;
 - в) параметрами состояния;
 - г) функциями состояния.
- **12.** Метод технической термодинамики является...
 - а) дедуктивным;
 - б) индуктивным;
 - в) статистическим;
 - г) феноменологическим.
- **13.** «Вечный двигатель второго рода невозможен» - формулировка ... закона термодинамики.
 - а) нулевого;
 - б) первого;
 - в) второго;
 - г) третьего.
- **14.** Чему равен абсолютный ноль температуры, выраженный по шкале Цельсия ?
 - а) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - б) $100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - в) $273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - г) $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$