

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра физики

А.М. Кириллов

**ФИЗИКА
В ОПОРНЫХ КОНСПЕКТАХ И ПРИМЕРАХ**

Часть 2

ДИНИМИКА. ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

Учебно-методическое пособие для поступающих в ТУСУР

2006

СОДЕРЖАНИЕ

1. Динамика

- Основные понятия и определения
- Силы в механике
- Принцип суперпозиции сил. Равнодействующая сил
- Законы Ньютона
- Вес тела
- Импульс
- Закон сохранения импульса
- Механическая работа. Мощность
- Энергия
- Закон сохранения энергии в механике
- Ударные взаимодействия тел
- Коэффициент полезного действия
- Момент силы
- Основные законы и формулы динамики
- Примеры решения задач
- Контрольная работа

2. Жидкости и газы

2.1. Механика жидкостей и газов

- Основные понятия и определения
- Закон Паскаля. Гидравлическая машина
- Давление столба жидкости (газа). Гидростатическое давление
- Закон Архимеда. Плавание тел
- Поверхностное натяжение жидкостей. Капиллярные явления
- Основные законы и формулы механики жидкостей и газов
- Примеры решения задач

2.2. Основы молекулярно-кинетической теории (МКТ) газов

- Основные понятия и определения. Постулаты МКТ
- Средняя кинетическая энергия. Среднеквадратичная скорость
- Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа
- Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона)
- Газовые законы
- Влажность воздуха
- Основные законы и формулы МКТ
- Примеры решения задач

Контрольная работа

3. Тепловые явления

- Внутренняя энергия. Количество теплоты
- Первое начало термодинамики
- Работа газа
- Теплоёмкость. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам
- Адиабатический процесс
- Фазовые переходы. Горение
- Уравнение теплового баланса
- Круговые процессы (циклы). Тепловые машины
- Цикл Карно
- Изменение линейных размеров тела при изменении его температуры
- Основные законы и формулы термодинамики
- Примеры решения задач
- Контрольная работа

3. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Теория тепловых явлений, в которой не учитывается молекулярное строение тел, называется *термодинамикой*.

Внутренняя энергия. Количество теплоты

Тело, как система молекул, с соответствующими потенциальной и кинетической энергиами, обладает *внутренней энергией*.

Внутренняя энергия – это суммарная энергия молекул, составляющих тело. Для идеального газа пренебрегается потенциальной энергией взаимодействия частиц, и его внутренняя энергия состоит только из кинетической энергии хаотического (теплового) поступательного и вращательного движений его молекул:

$$U = N \cdot \langle \varepsilon \rangle = N \frac{i}{2} kT = N_A \nu \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \nu (N_A k) T = \frac{i}{2} \nu R T,$$

где N – число молекул газа. Таким образом, внутренняя энергия идеального газа с числом степеней свободы i :

$$U = \frac{i}{2} \nu R T = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R T \quad (3.1)$$

прямо пропорциональна его температуре и является *функцией состояния* системы.

Единица измерения внутренней энергии – джоуль: $[U] = \text{Дж}$.

Внутренняя энергия системы может изменяться в результате совершения механической работы и теплопередачи.

Приращение внутренней энергии системы

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (3.2)$$

зависит только от начального (1) и конечного (2) состояний системы.

При совершении системой (над системой) работы или в результате теплообмена с внешними телами изменяется температура системы. Из выражений (3.1) и (3.2) следует, что

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T, \quad (3.3)$$

где $\Delta T = T_2 - T_1$ – изменение температуры системы при переходе из состояния 1 в состояние 2.

При осуществлении теплопередачи от одного тела к другому, мерой переданной энергии является количество теплоты Q ($[Q] = \text{Дж}$).

Количество теплоты (теплота) Q – энергия, передаваемая системе (отдаваемая системой) внешними телами (внешним телам) в результате теплообмена.

Если система получает тепло, то $Q > 0$. Если отдаёт, то $-Q < 0$.

Отметим, что понятие теплоты имеет смысл только в связи с процессом изменения состояния системы. Таким образом, *теплота – есть функция процесса*.

Первое начало термодинамики

Первый закон (первое начало) термодинамики: теплота Q , сообщаемая системе, расходуется на изменение внутренней энергии ΔU системы и на совершение системой работы A :

$$Q = \Delta U + A. \quad (3.4)$$

Другими словами, изменение внутренней энергии ΔU равно сумме количества теплоты Q , переданного системе, и работы A' внешних сил над системой:

$$\Delta U = Q + A'. \quad (3.5)$$

Выражения (3.4) и (3.5) отражают закон сохранения (превращения) энергии в тепловых явлениях.

Работа газа

Одним из основных термодинамических процессов является процесс расширения (сжатия) газа с совершением работы.

Определим работу, совершающую газом при его изобарном расширении.

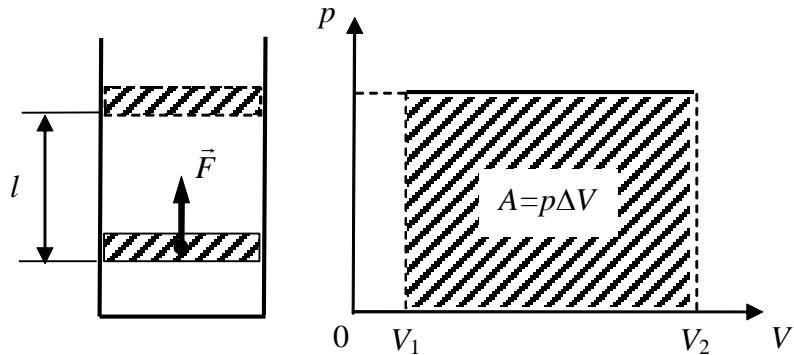


Рисунок 3.1 – Работа газа при изобарном расширении.

При изобарном расширении газа в сосуде (см. рис.3.1) поршень с площадью поверхности S под действием силы $F = pS$ проходит расстояние l . В этом случае совершается работа

$$A = Fl = pSl = p\Delta V,$$

где $\Delta V = Sl$ - изменение объема газа при его расширении.

Итак, работа газа при изобарном процессе

$$A = p\Delta V. \quad (3.6)$$

Из рисунка 3.1 можно видеть, что при изображении изобарного процесса ($p=\text{const}$) на pV -диаграмме, площадь фигуры под прямой процесса численно равна работе газа A . Этот вывод справедлив для любого произвольного процесса. *Работа при произвольном процессе расширения (сжатия) газа численно равна площади фигуры под соответствующим участком графика процесса на pV -диаграмме.*

При расширении газа направление вектора силы давления газа совпадает с направлением вектора перемещения, поэтому работа A , совершенная газом, положительна ($A>0$), а работа внешних сил отрицательна ($A'<0$):

$$A = -A'. \quad (3.7)$$

При сжатии газа направление вектора внешней силы совпадает с направлением вектора перемещения, поэтому работа внешних сил A' положительна ($A'>0$), а работа A , совершенная газом, отрицательна ($A<0$).

Теплоёмкость. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам. Адиабатический процесс

Очевидно, что количество теплоты, переданное системе в результате теплообмена, пропорционально изменению температуры ΔT ($Q \sim \Delta T$) и массе системе ($Q \sim m$):

$$Q = c_y m \Delta T. \quad (3.8)$$

Коэффициент пропорциональности в уравнении (3.8) называется *удельной теплоёмкостью вещества*:

$$c_y = \frac{Q}{m\Delta T}. \quad (3.9)$$

Удельная теплоемкость c_y - физическая величина, определяющая количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 кг вещества на 1 К.

$$\text{Единица удельной теплоёмкости } [c_y] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Молярная теплоемкость c_m - физическая величина, определяющая количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 моля вещества на 1 К:

$$c_m = \frac{Q}{v\Delta T}. \quad (3.10)$$

$$\text{Единица молярной теплоёмкости } [c_m] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Из отношения (3.10) следует, что

$$Q = c_m m \Delta T. \quad (3.11)$$

Полная теплоемкость C - физическая величина, определяющая количество теплоты, необходимое для изменения температуры вещества на 1 К:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}. \quad (3.12)$$

$$\text{Единица полной теплоёмкости } [C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Из выражения (3.12) можно видеть, что

$$Q = C \Delta T. \quad (3.13)$$

Из формул (3.8), (3.11) и (3.13) следует связь между полной, удельной и молярной теплоёмкостями:

$$C = c_y m = c_m v. \quad (3.14)$$

Теплоёмкость зависит от вида процесса, происходящего с газом. Определим вид первого начала термодинамики и теплоёмкость газа при изо- и адиабатном процессах.

1) Изотермический процесс ($T=\text{const}$).

В изотермическом процессе $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$. Тогда, согласно, первому началу термодинамики (3.4)

$$Q = A. \quad (3.15)$$

При изотермическом процессе вся подводимая к системе теплота преобразуется в эквивалентную механическую работу.

Т.к. $\Delta T = 0$, то, например, удельная теплоёмкость при изотермическом процессе

$$c_y = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{Q}{0} = \pm\infty.$$

Таким образом, теплоёмкость в изотермическом процессе равна бесконечности. Это означает, что в изотермическом процессе при подводе к системе какого угодно количества теплоты температура системы не изменяется.

2) Изохорный процесс ($V=\text{const}$).

В изохорном процессе $\Delta V = 0 \Rightarrow A = 0$. Тогда, согласно, первому началу термодинамики (3.4)

$$Q = \Delta U = \frac{i}{2} v R \Delta T. \quad (3.16)$$

При изохорном процессе вся подводимая к системе теплота преобразуется в эквивалентную внутреннюю энергию.

Из выражений (3.10) и (3.16) следует, что молярная теплоёмкость при изохорном процессе:

$$c_{\text{m}}^v = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \frac{\frac{i}{2} \nu R \Delta T}{\nu \Delta T} = \frac{i}{2} R. \quad (3.17)$$

С учетом соотношения (3.14) из выражения (3.17) получим выражение для удельной теплоёмкости при изохорном процессе:

$$c_y^v = c_{\text{m}}^v \nu / (\nu M) = c_{\text{m}}^v / M = \frac{i}{2} \frac{R}{M}. \quad (3.18)$$

3) Изобарный процесс ($p=\text{const}$).

Согласно, первому началу термодинамики (3.4) и уравнению Менделеева-Клапейрона (2.2.14)

$$Q = \Delta U + A = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T. \quad (3.19)$$

При изобарном процессе изменяется как внутренняя энергия системы, так и производится работа.

Из выражений (3.10) и (3.19) следует, что молярная теплоёмкость при изобарном процессе:

$$c_{\text{m}}^p = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \frac{\frac{i+2}{2} \nu R \Delta T}{\nu \Delta T} = \frac{i+2}{2} R. \quad (3.20)$$

Удельная теплоёмкость при изобарном процессе:

$$c_y^p = c_{\text{m}}^p / M = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M}. \quad (3.21)$$

4) Адиабатический процесс ($Q=0$) – процесс, происходящий в системе при отсутствии теплообмена с окружающими телами (окружающей средой), т.е. при выполнении условия $Q=0$.

Отсутствие теплообмена с окружающей средой обеспечивается теплоизоляцией сосуда с газом. Быстрые процессы расширения или сжатия газа могут быть близки к адиабатному процессу, если время изменения объёма значительно меньше времени, необходимого для установления теплового равновесия газа с окружающей средой.

В соответствии с первым началом термодинамики (3.4) для адиабатного процесса изменение внутренней энергии

$$A = -\Delta U. \quad (3.22)$$

При адиабатном расширении газ совершает работу за счёт уменьшения своей внутренней энергии, поэтому температура газа при адиабатном расширении понижается.

При адиабатическом сжатии внешние силы совершают положительную работу ($\Delta U = -A = A' > 0$). Поэтому внутренняя энергия и температура газа увеличиваются.

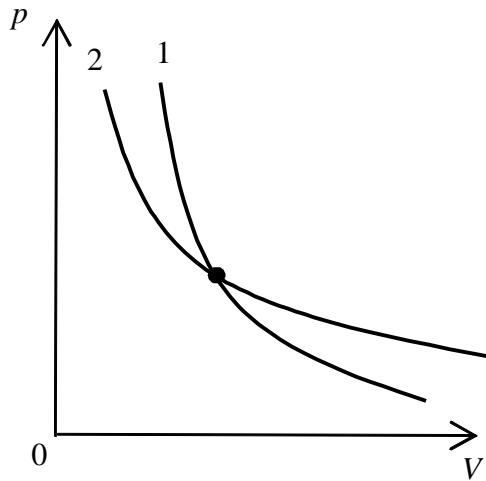


Рисунок 3.2 – Адиабата (1) и изотерма (2).

Линия, изображающая адиабатный процесс, называется адиабатой. На pV -диаграмме адиабата изображается кривой, идущей более круто, чем изотерма. Дело в том, что при адиабатном сжатии увеличение давления происходит не только за счёт уменьшения объема, как при изотермическом сжатии, но также связано с возрастанием температуры. При адиабатном расширении газа его температура уменьшается, и давление газа падает быстрее, чем при соответствующем изотермическом расширении.

Из выражений (3.9), (3.10) и (3.12) следует, что *при адиабатическом процессе теплопроводность равна нулю*:

$$C = c_y = c_m = 0.$$

Это означает, что *в адиабатном процессе для изменения температуры системы не требуется теплоты извне*.

Фазовые переходы. Горение

Фаза – термодинамически равновесное состояние вещества, отличающееся по физическим свойствам от других возможных равновесных состояний того же вещества.

Если, например, в закрытом сосуде находится вода, то эта система является двухфазной: жидккая фаза – вода; газообразная форма – пары воды. Если в воду добавить лёд, то система станет трёхфазной, в которой лёд является твёрдой фазой.

Не надо отождествлять понятия «фаза» и «агрегатное состояние». В пределах одного агрегатного состояния вещество может находиться в нескольких фазах, отличающихся по своим свойствам. Например, графит и алмаз – это две фазы углерода, находящегося в твёрдом агрегатном состоянии

Фазовый переход – переход вещества из одной фазы в другую.

Фазовые переходы (например, плавление-кристаллизация, парообразование-конденсация) сопровождаются поглощением-выделением теплоты, называемой теплотой фазового перехода.

Температура фазового перехода $T_{\text{фп}}$ – определенная температура, при которой происходит соответствующий фазовый переход.

Опыт показывает, что для изменения фазы вещества при постоянной температуре $T_{\text{фп}}$ необходимо передать веществу (забрать у вещества) количество теплоты Q , пропорциональное массе вещества m :

$$Q_{\phi n} = q_{\phi n} m, \quad (3.23)$$

где $q_{\phi n}$ – удельная теплота фазового перехода ($[q_{\phi n}] = \text{Дж} / \text{К}$).

Удельная теплота фазового перехода $q_{\phi n}$ определяет количество теплоты, необходимое для фазового перехода при постоянной температуре $T_{\phi n}$.

Плавление – фазовый переход из твёрдого состояния в жидкое.

Плавление происходит при определенной температуре $T_{\text{пл}}$, называемой температурой плавления. Плавление сопровождается поглощением теплоты:

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m, \quad (3.24)$$

где λ - удельная теплота плавления ($[\lambda] = \text{Дж/К}$).

Отвердевание (кристаллизация) – превращение жидкости в твёрдое тело (процесс обратный плавлению).

Отвердевание (кристаллизация) сопровождается поглощением такого же количества теплоты, какое поглотилось при его плавлении:

$$Q_{\text{кп}} = -\lambda m. \quad (3.25)$$

Парообразование – фазовый переход из жидкого состояния в газообразное.

Парообразование происходит при определенной температуре $T_{\text{п}}$, называемой температурой парообразования. Парообразование сопровождается поглощением теплоты:

$$Q_{\text{п}} = rm, \quad (3.26)$$

где r - удельная теплота парообразования ($[r] = \text{Дж/К}$).

Конденсация – превращение пара (газа) в жидкость (процесс обратный парообразованию).

Конденсация сопровождается поглощением такого же количества теплоты, какое поглотилось при его парообразовании:

$$Q_{\text{к}} = -rm. \quad (3.27)$$

Горение – химическое превращение, которое сопровождается интенсивным выделением тепла и массообменом с окружающей средой.

При сгорании топлива выделяется теплота:

$$Q = qm, \quad (3.28)$$

где q – удельная теплота сгорания топлива ($[q] = \text{Дж/К}$), m – масса полностью сгоревшего топлива.

Уравнение теплового баланса

При осуществлении процесса теплообмена между N телами в условиях равенства нулю работы внешних сил $A' = 0$ и в тепловой изоляции от других тел согласно закону сохранения энергии алгебраическая сумма изменений внутренней энергии тел равна нулю:

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_N = \sum_{i=1}^N \Delta U_i = 0.$$

Если изменения внутренней энергии происходили только в результате теплообмена, то на основании первого закона термодинамики, эти изменения равны количеству теплоты, полученной (отданной) телами: $\Delta U_i = Q_i$. Отсюда

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = \sum_{i=1}^N Q_i = 0. \quad (3.29)$$

Из соотношения (3.29) следует, что

$$c_1 m_1 \Delta T_1 + c_2 m_2 \Delta T_2 + \dots + c_N m_N \Delta T_N = \sum_{i=1}^N c_i m_i \Delta T_i = 0, \quad (3.30)$$

где C_i - удельная теплоёмкость i -го тела, m_i - масса i -го тела, $\Delta T_i = T - T_i$ - изменение температуры i -го тела, T – температура системы из N тел после установления теплового равновесия, T_i – температура i -го тела до взаимодействия.

Уравнение (3.29) называется *уравнением теплового баланса*.

Круговые процессы (циклы). Термодинамические машины

Принципиальная схема *термодинамической машины* приведена на рисунке 3.3. От нагревателя с температурой T_H берется некоторое количество теплоты Q_H и частично преобразуется рабочим телом (газом) в механическую работу A , а частично Q_X передаётся холодильнику с температурой $T_X < T_H$.

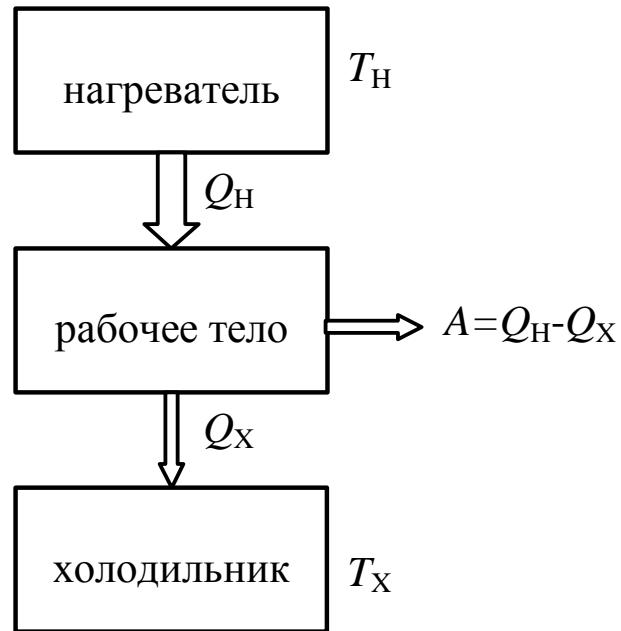


Рисунок 3.3 – Термодинамическая машина.

Полезная работа, совершенная тепловой машиной:

$$A = Q_H - Q_X. \quad (3.31)$$

Коэффициентом полезного действия (КПД) тепловой машины называется отношение (см. (1.34))

$$\eta = \frac{E_{\text{полезн}}}{E} = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}. \quad (3.32a)$$

В выражении (3.32a) КПД выражено в относительных единицах. Если же КПД выразить в процентах, то

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\% = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} \cdot 100\%. \quad (3.32b)$$

Работа всех тепловых машин основана на использовании многократно повторяющихся *круговых процессов (циклов)*. Совершаемая тепловой машиной за один цикл работа определяется площадью, ограниченной на pV -диаграмме графиками идущих процессов (рис.3.4).

Круговым процессом (циклом) называется процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное. На диаграмме процессов цикл изображается замкнутой кривой (см. рис.3.4).

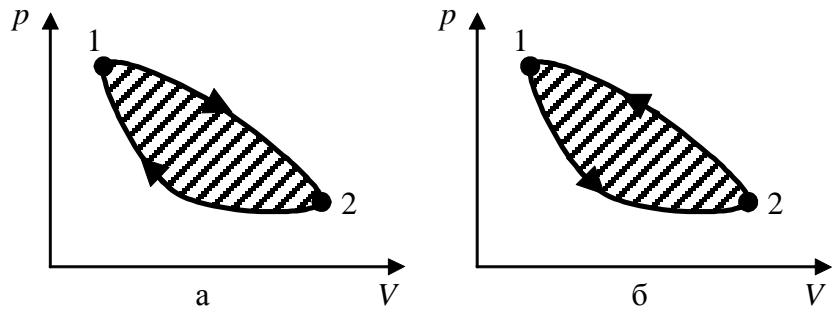


Рисунок 3.4 – Работа в циклическом процессе.

Цикл, совершающийся идеальным газом, можно представить в виде суммы процессов расширения (1-2) и сжатия (2-1) газа. Работа расширения положительна, работа сжатия отрицательна. Если за цикл совершается положительная работа $A > 0$ (цикл протекает по часовой стрелке), то он называется *прямым* (см. рис.3.4а), если за цикл совершается отрицательная работа $A < 0$ (цикл протекает против часовой стрелки), то он называется *обратным* (см. рис.3.4б).

Прямой цикл используется в *тепловых машинах* – периодически действующих машинах, совершающих работу за счет полученной извне теплоты. Обратный цикл используется в *холодильных машинах* – периодически действующих установках, в которых за счет работы внешних сил теплота переносится к телу с более высокой температурой.

Цикл Карно

Наиболее экономичным является *цикл, состоящий из двух изотерм (1-2 и 3-4) и двух адиабат (2-3 и 4-1)* (см. рис.3.5). Его называют в честь автора *циклом Карно*.

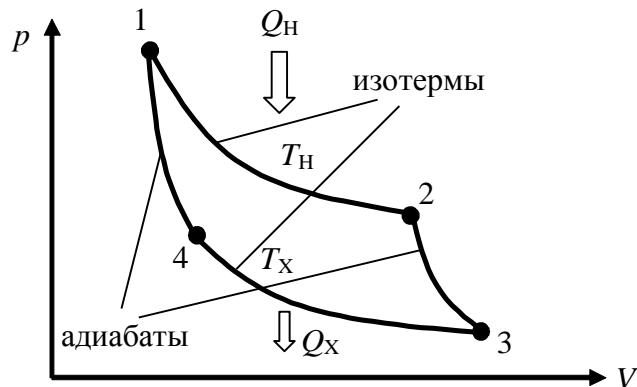


Рисунок 3.5 – Цикл Карно.

Термический КПД цикла Карно не зависит от природы рабочего тела и определяется только температурой нагревателя T_H и холодильника T_X :

$$\eta_{\max} = \frac{T_H - T_X}{T_H}, \quad (3.33)$$

и является максимально возможным при заданных температурах нагревателя T_H и холодильника T_X .

Идеальная тепловая машина – тепловая машина, работающая по циклу Карно

КПД любой тепловой машины не может превосходить КПД идеальной тепловой машины ($\eta \leq \eta_{\max}$).

Для любой тепловой машины КПД всегда меньше единицы ($\eta < 1$ или $\eta < 100\%$).

Изменение линейных размеров тела при изменении его температуры

При увеличении температуры системы расширяются не только газовые системы, но и твёрдые тела. Если при температуре $T_0=273$ К тело имеет длину l_0 , то при температуре T его длина

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta T), \quad (3.34)$$

где α - температурный коэффициент линейного расширения ($[\alpha] = K^{-1}$), $\Delta T = T - T_0$ - изменение температуры тела.

Основные законы и формулы термодинамики

Таблица 3.1 Основные законы и формулы термодинамики

Название закона (формулы)	Математическая запись закона, формула
Внутренняя энергия	$U = \frac{i}{2}vRT = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$
Изменение внутренней энергии	$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{i}{2}vR\Delta T = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R\Delta T$
Первый закон (первое начало) термодинамики	$Q = \Delta U + A$
Работа при расширении газа	$\Delta V > 0 \Rightarrow A > 0$
Работа при сжатии газа	$\Delta V < 0 \Rightarrow A < 0$
Работа внешних сил A' и работа газа A	$A' = -A$
Работа газа в изобарном процессе ($p=\text{const}$)	$A = p\Delta V$
Теплота	$Q = c_y m \Delta T,$ $Q = c_m m \Delta T,$ $Q = C \Delta T$
Удельная теплоёмкость	$c_y = \frac{Q}{m \Delta T}$
Молярная теплоёмкость	$c_m = \frac{Q}{v \Delta T}$
Полная теплоёмкость	$C = \frac{Q}{\Delta T}$
Связь между теплоёмкостями	$C = c_y m = c_m V$
Первое начало термодинамики в изотермическом процессе ($T=\text{const}$)	$Q = \Delta U + A$ $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$
Первое начало термодинамики в изохорном процессе ($V=\text{const}$)	$Q = \Delta U + A$ $\Delta V = 0 \Rightarrow A = 0 \Rightarrow Q = \Delta U = \frac{i}{2}vR\Delta T$

Первое начало термодинамики в изобарном процессе ($p=\text{const}$)	$Q = \Delta U + A$ $\Delta U \neq 0 \Rightarrow Q = \Delta U + A = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T$ $A \neq 0$
Первое начало термодинамики в адиабатном процессе ($Q=0$)	$Q = \Delta U + A \Rightarrow A = -\Delta U$ $Q = 0$
Молярная теплоёмкость при изохорном процессе ($V=\text{const}$)	$c_{\text{m}}^V = \frac{i}{2} \nu R$
Удельная теплоёмкость при изохорном процессе ($V=\text{const}$)	$c_y^V = \frac{c_{\text{m}}^V}{M} = \frac{i}{2} \frac{R}{M}$
Молярная теплоёмкость при изобарном процессе ($p=\text{const}$)	$c_{\text{m}}^p = \frac{i+2}{2} R$
Удельная теплоёмкость при изобарном процессе ($p=\text{const}$)	$c_y^p = c_{\text{m}}^p / M = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M}$
Теплота фазового перехода	$Q_{\phi n} = q_{\phi n} m$
Теплота плавления	$Q_{n\downarrow} = \lambda m$
Теплота кристаллизации	$Q_{\kappa p} = -\lambda m$
Теплота парообразования	$Q_n = rm$
Теплота конденсации	$Q_{\kappa} = -rm$
Горение	$Q = qm$
Уравнение теплового баланса	$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = \sum_{i=1}^N Q_i = 0 \Rightarrow$ $c_1 m_1 \Delta T_1 + c_2 m_2 \Delta T_2 + \dots + c_N m_N \Delta T_N =$ $= \sum_{i=1}^N c_i m_i \Delta T_i = 0$
Полезная работа, совершаемая тепловой машиной	$A = Q_H - Q_X$
Коэффициент полезного действия тепловой машины	$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H},$ $\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\% = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} \cdot 100\%$
КПД идеальной тепловой машины	$\eta_{\text{max}} = \frac{T_H - T_X}{T_H},$ $\eta_{\text{max}} = \frac{T_H - T_X}{T_H} \cdot 100\%$
Изменение линейных размеров тела при изменении его температуры	$l = l_0 (1 + \alpha \Delta T)$

Задачи

Теплота. Теплоёмкость

1. К.п.д. плавильной печи равен 20%. Определить в СИ массу угля, который надо сжечь, чтобы нагреть 3 тонны чугуна от 50°C до температуры плавления 1150°C? Удельная теплоёмкость чугуна 600 Дж/(кг·К), удельная теплота сгорания угля $3 \cdot 10^7$ Дж/кг. [330]
2. 2 л воды с начальной температурой 20°C превратили в пар, нагревая её на газовой горелке и израсходовав 200 л газа. Определить в процентах к.п.д. горелки. Удельная теплота сгорания газа 40 МДж/м³. Удельная теплоёмкость воды 4,2 кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования 2,3 МДж/кг. [65,9]
3. Определить в СИ молярную теплоёмкость одноатомного идеального газа при изобарическом процессе. [20,775]

Первое начало термодинамики

4. Идеальному одноатомному газу массой 0,4 кг при изохорическом процессе сообщается количество теплоты 2493 Дж. На сколько градусов Цельсия увеличится при этом температура газа? Молярная масса газа 0,04 кг/моль. [20]
5. Одноатомный газ изотермически расширяется при температуре 200 К, затем изохорически нагревается до 300 К. Во всём этом процессе газ получает 5 кДж теплоты и совершает работу A. Масса газа 80 г, молярная масса 40 г/моль. Определить в СИ величину A. [2507]
6. В цилиндре под поршнем находится 1,4 кг азота при температуре 20°C. Поршень может перемещаться без трения. При изобарическом нагревании газ совершает работу 16,62 кДж. До какой температуры нагрели газ? Ответ дать в СИ. [333]
7. При адиабатическом расширении 2 киломолей одноатомного газа его температура понизилась на 100°C. Определить в кДж работу, совершенную газом. [2493]
8. В некотором процессе идеальный газ расширяется от 2 л до 5 л по закону $p=aV$, где p – давления, $a=5 \cdot 10^7$ Па/м³. Затем газ изохорно остывает до первоначального давления. Во всем процессе газу сообщено 1000 Дж теплоты. Определить в СИ изменение внутренней энергии газа. [475]

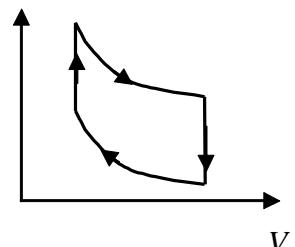
Уравнение теплового баланса

9. В калориметре, теплоёмкость которого 25 Дж/К, находится 0,25 кг масла при температуре 10°C. В масло опустили медный шарик массой 0,05 кг, нагретый до 114°C, после чего в калориметре установилась температура 14°C. Удельная теплоёмкость меди 380 Дж/(кг·К). Определить в СИ удельную теплоёмкость масла. [1800]
10. После опускания в воду с температурой 10°C, тела, нагретого до 100°C, температура воды поднялась до 40°C. Какой станет температура воды, если, не вынимая первого тела, опустить в неё ещё одно такое же тело, нагретое до 100°C? Ответ дать в градусах Цельсия. [55]

Круговые процессы (циклы). Термодинамические машины

11. Идеальная тепловая машина совершает за цикл работу, равную половине тепла, отдаваемого холодильнику. Во сколько раз температура нагревателя превышает температуру холодильника? [1,5]

12. Один моль одноатомного идеального газа участвует в циклическом процессе, состоящем из двух изохор и двух адиабат. Изменение температуры на участке расширения составляет 50 К, а на участке сжатия 30 К. Определить в СИ работу, совершаемую газом за цикл. [249,3]



13. Идеальная тепловая машина использует в качестве нагревателя воду океана с температурой 27°C, а в качестве холодильника – глыбу льда массой 273 кг с температурой 0°C. Определить в кДж работу, которую совершил машина к моменту, когда весь лёд растает. Удельная теплота плавления льда 335 кДж/кг. [9045]