

3 сессия: Основы термодинамики

Тема 1: Внутренняя энергия.

Тепловые явления можно описать с помощью макроскопических величин (P, T, V), которые можно регистрировать такими приборами как манометр и термометр. Эти приборы не реагируют на воздействие отдельных молекул.

Теория тепловых процессов, в которой не учитывается молекулярное строение тел, называется термодинамикой. В ее основе лежит понятие внутренней энергии.

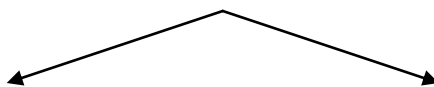
Внутренняя энергия макроскопического тела равна сумме кинетических энергий беспорядочного движения всех молекул (или атомов) тела и потенциальных энергий взаимодействия всех молекул друг с другом (но не с молекулами других тел).

Наиболее просто вычислить внутреннюю энергию идеального одноатомного газа: $U = \frac{1}{2} \frac{m}{M} RT$, где m – масса газа (кг), R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура (К), M – молярная масса газа (кг/моль).

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре.

Внутренняя энергия реального газа в общем случае зависит и от температуры, и от объема.

Внутреннюю энергию можно изменить:



совершая механическую работу

без совершения работы (путем теплопередачи)

Работа, совершаемая над системой, в термодинамике равна $A = - P \Delta V$, где P – давление газа, а ΔV – изменение объема.

Сама система при этом совершает работу $A' = - A = P \Delta V$.

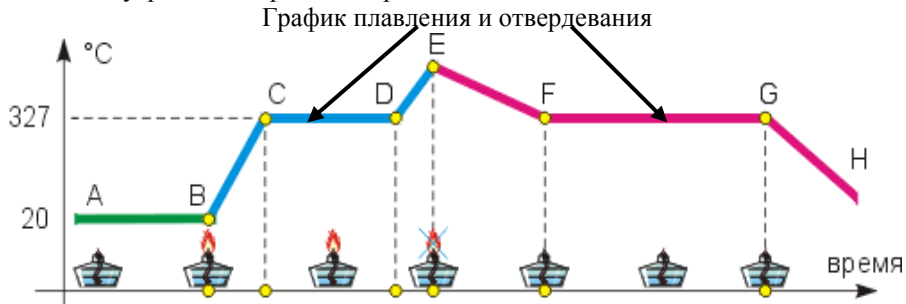
Количественную меру изменения внутренней энергии при теплопередаче (или теплообмене) называют количеством теплоты.

Внутренняя энергия тела меняется при нагревании и охлаждении, при парообразовании и конденсации, при плавлении и кристаллизации. Во всех случаях телу передается или от него отнимается некоторое количество теплоты.

Плавление и кристаллизация:

- При нагревании твёрдого тела кинетическая энергия его молекул, а значит, и их скорость увеличиваются. Растёт размах колебаний молекул относительно узлов кристаллической решетки.
- В течение всего времени плавления температура вещества не изменяется. Энергия тратится на разрушение кристаллической структуры

- Внутренняя энергия тела растёт

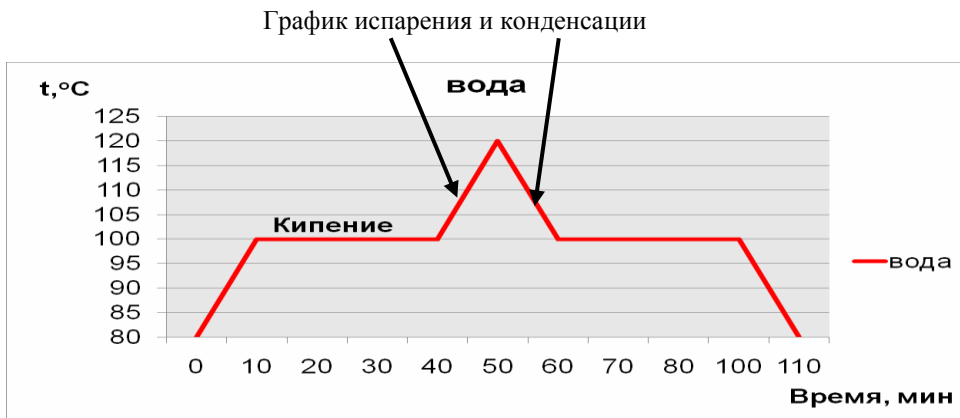


$Q = \pm \lambda m$ – при плавлении и кристаллизации; λ – удельная теплота плавления (Дж/кг)

Испарение и конденсация: (испарение – парообразование с поверхности жидкости)

Скорость парообразования зависит от:

- Температуры тела;
- Площади поверхности испарения;
- Рода вещества;
- Наличие ветра.



$Q = \pm r m$ – при испарении и конденсации; r – удельная теплота парообразования (Дж/кг);

Для того, чтобы вещество расплавилось или испарилось, его необходимо нагреть:

$Q = \pm c m \Delta t$ – формула для расчета количества теплоты при нагревании и охлаждении тела массой m ; c – удельная теплоёмкость тела (Дж/кг $^{\circ}\text{C}$);

Тема 2: Первый закон термодинамики.

Применение первого закона термодинамики к различным процессам.

Тепловые двигатели.

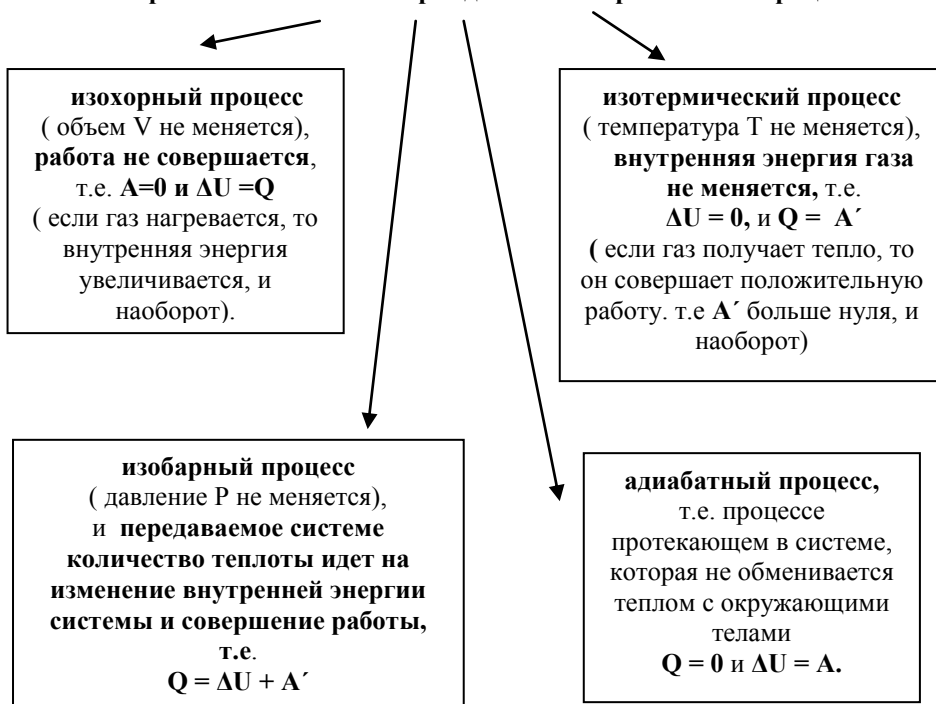
Работа и количество теплоты – характеристики процессов, при которых меняется внутренняя энергия системы.

Согласно первому закону термодинамики изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного при этом системе:

$$\Delta U = A + Q$$

(или $Q = \Delta U + A'$).

Применение 1 закона термодинамики к различным процессам:



Второй закон термодинамики говорит: невозможно перевести теплоту от более холодной системы к более горячей при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах, т.е., если замкнутая система, состоящая из макроскопических тел, переходит в другое состояние, то этот переход необратим, так как он всегда происходит из менее вероятного состояния в более вероятное.

Из законов термодинамики вытекает, что тепловые двигатели могут совершать работу только в результате передачи тепла от нагревателя к холодильнику.

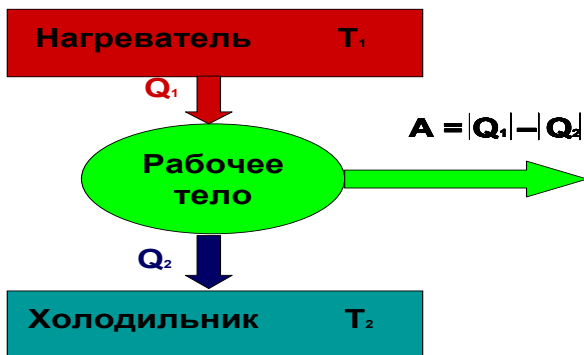
Тепловые машины - устройства, которые превращают внутреннюю энергию топлива в механическую. Тепловые машины (двигатели) имеют различное устройство, но у всех есть нагреватель, рабочее тело которое совершает работу, холодильник. Рабочим телом в тепловых машинах является газ или водяной пар.

КПД теплового двигателя равен отношению работы газа к количеству теплоты, полученного от нагревателя.

$$\eta = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|}$$

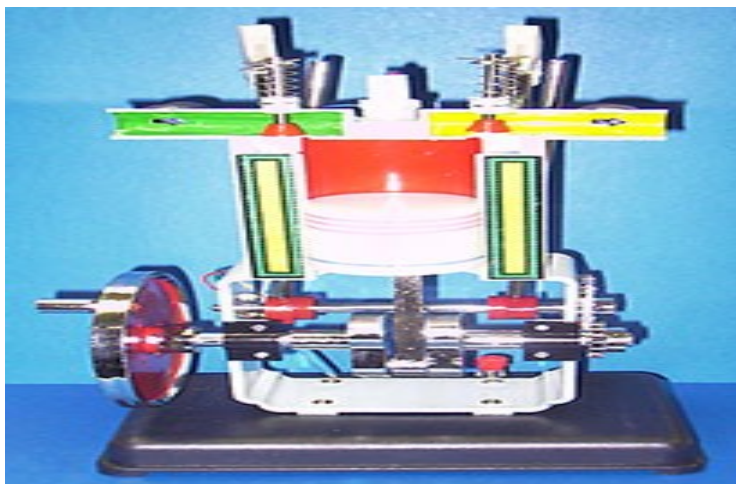
Максимально возможный КПД пропорционален разности температур нагревателя и холодильника и обратно пропорционален абсолютной температуре нагревателя.

Основные части тепловой машины.

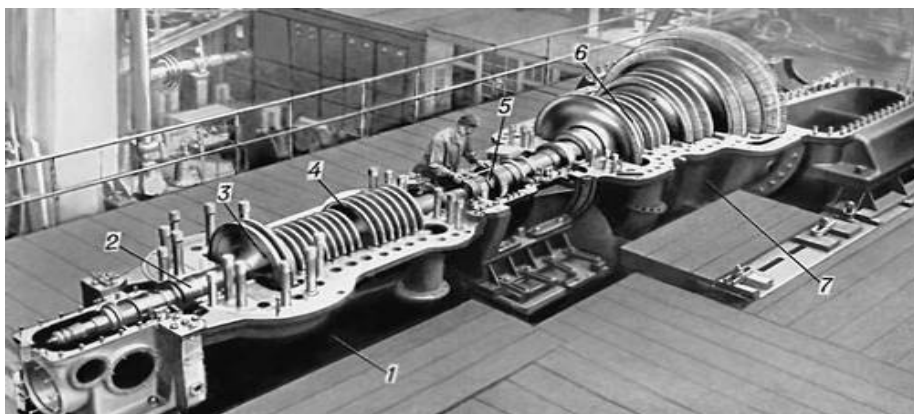


Примеры тепловых двигателей:

Двигатель внутреннего сгорания: тепловой двигатель, в котором химическая энергия топлива, сгорающего в рабочей полости, преобразуется в механическую работу.



Паровая турбина — первичный паровой двигатель с вращательным движением рабочего органа — ротора и непрерывным рабочим процессом; служит для преобразования тепловой энергии водяного пара в механическую работу.



Двухкорпусная паровая турбина (со снятыми крышками):
 1 — корпус высокого давления; 2 — лабиринтовое уплотнение; 3 — колесо Кертиса; 4 — ротор высокого давления; 5 — соединительная муфта; 6 — ротор низкого давления; 7 — корпус низкого давления.

Реактивные двигатели:

- В жидкостно-реактивных двигателях (ЖРД) в качестве горючего можно использовать керосин, бензин, спирт, анилин, жидкий водород и др.
- В качестве окислителя, необходимого для горения, – жидкий кислород, азотную кислоту, жидкий фтор, оксид водорода и др.
- Горючее и окислитель хранятся отдельно в специальных баках и с помощью насосов подаются в камеру, где при сгорании топлива развивается температура до 3000С и давление до 50 атм



Влияние тепловых двигателей на экологию:

- Парниковый эффект
- Повышение температуры на планете
- Тепловое загрязнение водоёмов
- Загрязнение воздуха.

Примеры решения задач:

Задача 1. Аэростат объемом $V = 500 \text{ м}^3$ наполнен гелием под давлением $P = 10^5 \text{ Па}$. В результате солнечного нагрева температура газа в аэростате поднялась от $t_1 = 10^0 \text{ С}$ до $t_2 = 25^0 \text{ С}$. Насколько изменилась внутренняя энергия газа?

Решение:

Гелий является одноатомным газом, поэтому его внутренняя энергия определяется формулой $U = \frac{1}{2} \frac{m}{M} RT$. При температуре T_1 эта энергия равна $U_1 = 3mRT_1 / 2 M$, а при температуре T_2 равна $U_2 = 3mRT_2 / 2 M$. Изменение энергии равно: $\Delta U = 3mR(T_2 - T_1) / 2 M$. Масса газа неизвестна, но ее можно выразить с помощью уравнения Менделеева – Клапейрона через начальную температуру, давление и объем газа: $mR/M = pV / T_1$. Подставляя значение mR/M в уравнение для изменения энергии, получаем

$$\Delta U = \frac{3pV(T_2 - T_1)}{T_1} \approx 4 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta U \approx 4 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$

Задача 2. В цилиндре под тяжелым поршнем находится углекислый газ ($M = 0,044 \text{ кг/моль}$) массой $m = 0,2 \text{ кг}$. Газ нагревается на $\Delta T = 88 \text{ К}$. Какую работу он при этом совершает?

Решение:

Газ расширяется при некотором постоянном давлении P , которое создается атмосферой и поршнем. В этом случае работа газа равна $A' = P\Delta V = P(V_2 - V_1)$, где V_2 - конечный объем, V_1 - начальный объем газа. Используя уравнение Менделеева – Клапейрона, выразим произведения PV_2 и PV_1 через mRT_2/M и mRT_1/M . Тогда

$$A' = mR(T_2 - T_1) / M \approx 3,3 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A' \approx 3,3 \text{ Дж.}$

Задача 3. Во время расширения газа, вызванного его нагреванием, в цилиндре с площадью поперечного сечения $S = 200 \text{ см}^2$ газу было передано количество теплоты $Q = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$, причем давление газа оставалось постоянным и равным $P = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$. Насколько изменилась внутренняя энергия газа, если поршень передвинулся на расстояние $\Delta h = 30 \text{ см}$?

Решение:

Согласно первому закону термодинамики в форме $Q = \Delta U + A'$, где $Q = \Delta U + A'$, где $A' = P\Delta V = PS\Delta h$ - работа, совершенная газом. Отсюда $\Delta U = Q - PS\Delta h = 30 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 30 \text{ кДж}$.

Ответ: $\Delta U = 30 \text{ кДж}$

Задача 4. В котле паровой машины температура пара 150°C . Температура охладителя (окружающей среды) 10°C . Какую теоретически максимальную работу может выполнить машина, если в топке, КПД которой 80%, сожжено 200 кг угля с удельной теплотой сгорания 31 МДж/кг ?

Решение:

Работу можно найти с помощью общей формулы $A = \eta_1 Q_1$, где η_1 – КПД идеальной машины, т.к. по условию можно найти теоретически максимальную работу; Q_1 – количество теплоты, переданное в этой машине от топки: $Q_1 = \eta_2 Q_2$, где $Q_2 = qm$. Для идеальной машины $\eta_1 = (T_1 - T_2) / T_1$. Получаем: $A = \eta_2 qm(T_1 - T_2) / T_1$. Подставим данные и получим $A = 1,6 \cdot 10^9 \text{ Дж}$.

Ответ: $A = 1,6 \cdot 10^9 \text{ Дж}$

**Практические исследования: по теме «Термодинамика»
Статистическое истолкование необратимости процессов в природе.**

Цель работы: демонстрация того, что упорядоченный набор из нескольких монет гораздо менее вероятен, чем неупорядоченный.

Оборудование: 7 монет.

Ход работы:

Второй закон термодинамики утверждает, что более упорядоченные состояния замкнутых систем всегда переходят в менее упорядоченные. Чтобы продемонстрировать справедливость этого закона, положите на стол 7 монет решкой кверху, упорядочив таким образом их состояние. Затем возьмите одну монету, подбросьте ее щелчком вверх так, чтобы она перевернулась в воздухе несколько раз. Поймайте и положите ее на место той стороной, которой она упала. Повторите эту операцию и с остальными монетами. **Убедитесь в том, что новое состояние набора из монет уже нельзя назвать упорядоченным, так как одна часть монет обращена вверх орлом, а другая – решкой.** Расчеты показывают, что упорядоченное состояние (7 монет вверх орлом или все они вверх решкой) можно получить в среднем в одном случае из 64 аналогичных экспериментов.

Зачет по теме «Термодинамика»

1. Термодинамика изучает
 - а) движение молекул
 - б) тепловые процессы
 - в) состояние теплового равновесия
 - г) процессы измерения температуры
2. Основным понятием термодинамики является
 - а) тепловое движение
 - б) внутренняя энергия
 - в) работа
 - г) количеством теплоты

3. Об изменении внутренней энергии идеального газа можно судить по изменению

- а) давления б) объема в) температуры г) скорости

4. При увеличении температуры идеального газа в 2 раза, внутренняя энергия

- а) уменьшается в 2 раза б) увеличивается в 2 раза
в) уменьшается в 4 раза г) увеличивается в 4 раза

5. Сумма кинетических энергий беспорядочного движения молекул и потенциальных энергий взаимодействия молекул друг с другом называется...

- а) механической энергией б) внутренней энергией
в) теплопередачей г) количеством теплоты

6. Внутренняя энергия обозначается буквой ...

- а) U б) R в) Q г) T

7. Внутреннюю энергию можно рассчитать по формуле...

- а) $U = \frac{1}{2} \frac{m}{M} RT$ б) $Q = \Delta U + A'$ в) $\Delta U = A + Q$ г) $A' = p\Delta V$

8. Работу, совершенную газом (системой) определяют по формуле...

- а) $U = \frac{1}{2} \frac{m}{M} RT$ б) $Q = \Delta U + A'$ в) $\Delta U = A + Q$ г) $A' = p\Delta V$

9. Работа внешних сил и работа газа связаны равенством

- а) $A = - A'$ б) $A = \kappa A'$ в) $A = A'$ г) $- A = - A'$

10. Количественную меру изменения внутренней энергии при теплопередаче называют...

- а) механической работой б) количеством теплоты
в) теплообменом г) теплопроводностью

11. Первый закон термодинамики говорит о том, что

а) изменение внутренней энергии системы при переходе её из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе

б) изменение внутренней энергии системы при переходе её из одного состояния в другое равно работе внешних сил

в) если газ нагревается, то внутренняя энергия увеличивается

г) изменение внутренней энергии системы при переходе её из одного состояния в другое равно количеству теплоты, переданного системе.

12. Одноатомный идеальный газ в количестве ν молей поглощает количество теплоты 2 кДж. При этом температура газа повышается на 20 К. Работа, совершаемая газом в этом процессе, равна 1 кДж. Чему равно число молей газа?

13. Газ в сосуде сжали, совершив работу 30 Дж. Внутренняя энергия газа при этом увеличилась на 25 Дж. Следовательно, газ

- 1) получил извне количество теплоты, равное 5 Дж
2) отдал окружающей среде количество теплоты, равное 5 Дж
3) получил извне количество теплоты, равное 55 Дж
4) отдал окружающей среде количество теплоты, равное 55 Дж

14. В процессе эксперимента внутренняя энергия газа уменьшилась на 60 кДж, и он совершил работу 45 кДж. Какое количество теплоты в результате теплообмена газ отдал окружающей среде?

15. Одноатомный идеальный газ в изотермическом процессе совершает работу $A > 0$. Как меняются в этом процессе объем, давление и внутренняя энергия газа, если его масса остается неизменной?

16. В одном цикле работы теплового двигателя его рабочее тело получает от нагревателя количество теплоты 1,5 МДж. Какое количество теплоты оно отдает за цикл холодильнику, если КПД двигателя 0,2?

17. Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 в процессе, представленном на диаграмме $p - V$. Какая работа совершена в этом процессе?

