

2.2 Термодинамика

2.2.1 Тепловое равновесие и температура

Тепловое равновесие с течением времени устанавливается между любыми телами, имеющими различную температуру.

тепловым равновесием называют такое состояние тел, при котором все макроскопические параметры сколь угодно долго остаются неизменными. Это означает, что в системе не меняются объем и давление, не происходит теплообмен, отсутствуют взаимные превращения газов, жидкостей, твердых тел и т. д. В частности, не меняется объем столбика ртути в термометре, т. е. температура системы остается постоянной.

2.2.2 Внутренняя энергия

Суммарную кинетическую энергию хаотического движения всех молекул тела относительно его центра масс и суммарную потенциальную энергию взаимодействия этих молекул друг с другом называют внутренней энергией.

$$U = \frac{3m}{2M}RT = \frac{3}{2}pV - \text{внутренняя энергия одноатомного газа}$$

$$U = \frac{5m}{2M}RT = \frac{5}{2}pV - \text{внутренняя энергия двухатомного газа}$$

Изменение внутренней энергии определяется для идеального газа так:

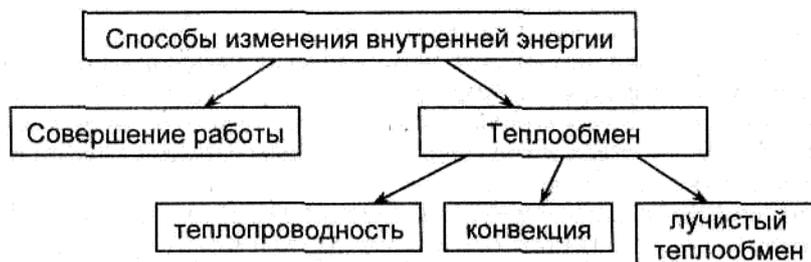
$$\Delta U = \frac{3m}{2M}R\Delta T - \text{для постоянной массы газа}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{\Delta m}{M} RT - \text{для постоянной температуры}$$

2.2.3 Теплопередача как способ изменения внутренней энергии без совершения работы. Конвекция, теплопроводность, излучение.

Внутреннюю энергию можно изменить двумя способами: путем совершения работы и путем теплообмена. Изменение внутренней энергии посредством теплообмена может производиться по-разному.

Различают три вида теплообмена:



Теплопроводность – явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте.

Перенос энергии требует определенного времени

Молекулы, передавая кинетическую энергию, при этом не меняют свое местоположение, то есть само вещество не перемещается.

Теплопроводностью обладают все вещества: и твердые, и жидкие, и газообразные.

Однако, теплопроводность различных веществ неодинакова. *Лучшими проводниками тепла являются металлы. Хуже всех проводят тепло газы. Самым плохим проводником тепла являются вакуум.*

Конвекция – явление передачи внутренней энергии с помощью струй жидкости или газа.

Конвекция связана с переносом вещества, поэтому она может осуществляться только в жидкостях и газах. В твердых телах конвекция не происходит.

Конвекция бывает естественной и вынужденной.

Излучение - перенос энергии в виде электромагнитных волн. Любое нагретое тело является источником излучения.

Как известно в вакууме перенос энергии путем теплопроводности и конвекции практически невозможен. Теплообмен с помощью излучения отличается тем, что может происходить и в вакууме.

2.2.4 Количество теплоты. Удельная теплоемкость вещества

Количество теплоты обозначается буквой Q [Дж]. Если система (тело) получает тепло, то $Q > 0$, если система отдает тепло, то $Q < 0$.

К тепловым явлениям относятся:

1. Нагревание, охлаждение.
2. Испарение, конденсация.
3. Кипение.
4. Плавление, кристаллизация.

Процесс	формула	
Нагревание или охлаждение	$Q = mc\Delta t$	c - удельная теплоемкость вещества $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}\right]$ m - масса [кг] Δt — изменение температуры [K]

2.2.5 Удельная теплота парообразования

Удельная теплота плавления

Удельная теплота сгорания топлива

Процесс	формула	
Кипение или конденсация	$Q = Lm$	L - удельная теплота парообразования [Дж/кг]
Плавление или кристаллизация	$Q = \lambda m$	λ - удельная теплота плавления вещества [Дж/кг]
Сгорание топлива	$Q = qm$	q - удельная теплота сгорания топлива [Дж/кг]

2.2.6 Элементарная работа в термодинамике. Вычисление работы по графику процесса на PV -диаграмме

Работу газа можно записать в виде формулы:

$$A = \pm p\Delta V$$

При расширении $\Delta V > 0$ газ совершает положительную работу, отдает энергию окружающим телам.

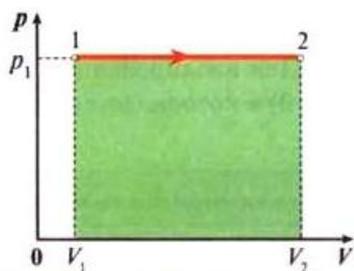
При сжатии $\Delta V < 0$, работа, совершаемая газом, отрицательная. Внутренняя энергия газа при сжатии увеличивается.

Работа газа при изопроцессах:

Изобарный процесс

$$(p = \text{const}, m = \text{const})$$

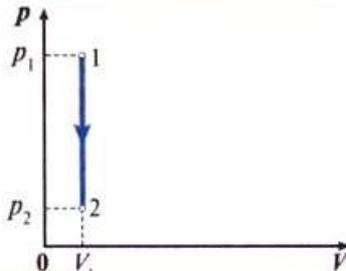
$$A = p(V_2 - V_1)$$



Изохорный процесс

$$(V = \text{const}, m = \text{const})$$

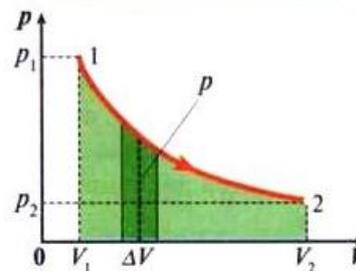
$$A = 0$$



Изотермический процесс

$$(T = \text{const}, m = \text{const})$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$



2.2.7 Первый закон термодинамики

$$\Delta U = Q + A'$$

Изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданной системе.



Изохорное нагревание

$$\Delta V = 0 \Rightarrow A = 0$$

$$\text{I закон термодинамики } \Delta U = Q = c_V \cdot m \cdot \Delta T$$

c_V – удельная теплоемкость при постоянном объеме

Изобарное нагревание

$$A' = p\Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\text{I закон термодинамики } Q = \Delta U + A' = c_V \cdot m \cdot \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T = \left(c_V + \frac{R}{M}\right) m \Delta T = c_p m \Delta T$$

c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении

$$c_p = c_V + \frac{R}{M}$$

Изотермическое расширение

$$\Delta U = 0 \Rightarrow A = \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\text{I закон термодинамики } A = Q$$

Адиабатный процесс

$$Q = 0$$

$$\text{I закон термодинамики } \Delta U + A = 0$$

Процесс протекает быстро, нет теплообмена

2.2.8 Второй закон термодинамики, необратимость

Если имеются два тела, нагретое и холодное, то тепло будет передаваться от первого тела до второго, до тех пор, пока температуры не уравниваются, тогда теплопередача прекратится, состояние тел перестанет изменяться, установится тепловое равновесие.

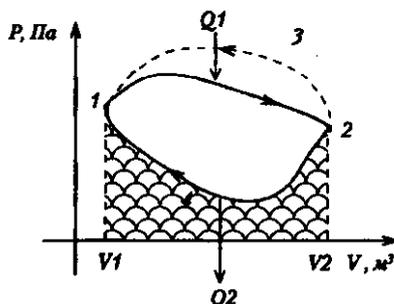
Второй закон или второе начало термодинамики: **невозможен процесс, единственным результатом которого стала передача тепла от более холодного тела к более горячему в замкнутой системе тел.**

Второй закон термодинамики подчеркивает направление тепловых процессов, протекающих в природе, отражая необратимость таких процессов, т. е. они могут самопроизвольно протекать только в одном направлении.

2.2.9 Принципы действия тепловых машин, КПД

Принцип работы теплового двигателя

От плитки получаем тепло Q_1 (нагреватель) и передаем «холодильнику» Q_2 за счет того, что $Q_1 > Q_2$ и совершается работа. Холодильником служит, как правило, атмосфера или специальное устройство.



Тепловая машина работает циклично. Любая тепловая машина состоит из нагрева тела, рабочего тела и холодильника.

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

2.2.10 Максимальное значение КПД. Цикл Карно

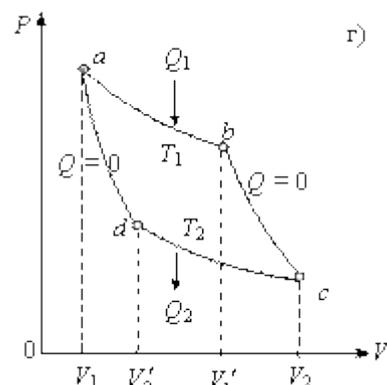
Представляет большой интерес нахождение максимально возможного КПД теплового двигателя. Впервые это сделал французский инженер и ученый Сади Карно.

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

где T_1 - температура нагревателя; T_2 - температура холодильника.

КПД - не зависит от Q , p , V топлива.

КПД - является функцией только двух температур.



2.2.11 Уравнение теплового баланса

Если мы рассмотрим изолированную систему тел, в которой теплообмен может совершаться только между телами, входящими в эту систему, то в результате этого процесса в системе установится тепловое равновесие. Температуры всех тел станут одинаковыми и равными некоторому значению Θ .

В процессе теплообмена тела, начальные температуры которых больше Θ («горячие» тела), будут отдавать свою энергию, а тела, у которых начальные температуры меньше Θ , - получать энергию.

Из закона сохранения энергии (т. к. система изолированная) следует, что количество теплоты, потерянное телами с более высокой температурой, будет равно количеству теплоты, приобретенному телами с более низкими температурами.

Уравнение теплового баланса: $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{получ}}$, где

$Q_{\text{отд}}$ - количество теплоты, отданное «горячими» телами,

$Q_{\text{получ}}$ - количество теплоты, полученное «холодными» телами.

Факт того, что количество теплоты, потерянное «горячими» телами, равно количеству теплоты, приобретенному «холодными телами», называется **законом теплообмена**.

В приведенном выше подходе при составлении уравнения теплового баланса мы везде из большего значения температуры должны вычитать меньшее, чтобы значения количеств теплоты всегда были положительными.