

Лекция 10.

Статистический и термодинамический метод описания макроскопических тел. Термодинамическая система. Термодинамические состояния, обратимые и необратимые термодинамические процессы. Внутренняя энергия и температура термодинамической системы. Теплота и работа. Адиабатически изолированная система. Первое начало термодинамики.

Термодинамика рассматривает методы описания физических систем, состоящих из очень большого числа частиц. Как правило, это *макросистемы*, состоящие из *микрочастиц*.

Макросистема – это система частиц, имеющая массу, сравнимую с массой окружающих тел. *Микрочастица* – частица, масса которой сравнима с массой атомов. Например, 1 моль вещества содержит число микрочастиц, определяемое числом Авогадро $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23}$. Поэтому для описания таких систем необходимо применять методы, позволяющие учитывать такое большое количество частиц.

Для описания макросистем применяются законы классической механики, методы статистической физики и начала термодинамики.

Описание систем с большим количеством частиц с точки зрения *механики* требует решения большого числа уравнений движения с учетом взаимодействия частиц между собой. Этот подход осложняют как математические проблемы, так и недостаточные сведения о взаимодействии частиц.

Статистический метод описания основывается на применении законов теории вероятностей. При этом вводится функция распределения, с помощью которой находят нас средние значения. В этом подходе не надо знать характер взаимодействия частиц и точные уравнения их движения. Статистическими методами можно описывать изменения состояний системы посредством введения кинетических уравнений изменения функции распределения.

Гидродинамический подход описывает изменение состояния системы путём определения изменения средних значений и т.д.

Наиболее общим является *термодинамический метод*, который заключается в описании поведения систем с помощью основных постулатов (законов), называемых *началами термодинамики*. Их справедливость подтверждается *опытным путём*.

Термодинамическая система – система, описываемая с позиций термодинамики. Термодинамика описывает макроскопические движения (изменение состояний) систем с помощью параметров, которые принято (весьма условно) разделять на внутренние и внешние. Обычно в большинстве задач достаточно задать три параметра (координат состояния).

Равновесным состоянием (состоянием термодинамического равновесия) называется такое состояние, в котором отсутствуют *любые потоки* (энергии, вещества и т.д.), а макроскопические параметры являются установившимися и не изменяются во времени.

Теплопередача – передача энергии от одного тела к другому без переноса вещества и совершения механической работы.

Нулевое начало термодинамики.

Изолированная термодинамическая система, предоставленная себе самой, стремится к состоянию термодинамического равновесия и после его достижения не может самопроизвольно из него выйти. Такой процесс перехода в равновесное состояние называется *релаксацией*. Время, в течение которого система приходит в равновесное состояние, называется *временем релаксации*.

Если две термодинамические системы, имеющие тепловой контакт, находятся в состоянии термодинамического равновесия, то и совокупность этих систем находится в термодинамическом равновесии.

Если термодинамическая система находится в термодинамическом равновесии с двумя другими системами, то и эти две находятся в термодинамическом равновесии друг с другом.

Переход из одного термодинамического состояния в другое называется термодинамическим процессом.

В *равновесной термодинамике* рассматриваются только *квазистатические* или *квазиравновесные* процессы – бесконечно медленные процессы, состоящие из непрерывно следующих друг за другом равновесных состояний. Реально такие процессы не существуют, однако, при достаточно медленном протекании изменений в системе можно аппроксимировать реальный процесс квазистатическим процессом.

Равновесные процессы считаются *обратимыми* – при изменении параметров состояния в первоначальные окружающие тела тоже переходят в первоначальное состояние.

Круговой (или *циклический*) процесс – это процесс, при котором система возвращается в исходное состояние.

Температура

Внешняя энергия системы связана с движением системы и положением системы в поле внешних сил.

Внутренняя энергия системы включает в себя энергию микроскопического движения и взаимодействия частиц термодинамической системы, а также их внутримолекулярную и внутриядерную энергии. Внутренняя энергия термодинамической системы определяется с точностью до постоянной величины.

Температура – это величина, характеризующая состояние термодинамической системы и зависящая от параметров состояния (например, давления и объема). Она является *однозначной* функцией внутренней энергии системы. В СИ термодинамическая температура измеряется в Кельвинах (К).

Свойства температуры.

- 1) Если в системе между телами, находящимися в тепловом контакте теплопередача отсутствует, то эти тела имеют одинаковую температуру и находятся в термодинамическом равновесии друг с другом.
- 2) Если две равновесные термодинамические системы находятся в тепловом контакте и имеют одинаковую температуру, то вся совокупность находится в равновесии при той же температуре.
- 3) Если в теплоизолированной системе, состоящей из двух тел, одно тело находится при меньшей температуре, то теплопередача осуществляется от более нагретого тела к менее нагретому телу. Этот процесс осуществляется до тех пор, пока не наступит равенство температур и система не придет в состояние термодинамического равновесия.

В качестве эталонной температуры выбирают температуру тела, которая зависит от известных параметров. Для этого вводят понятие *реперной* точки и *температурной* шкалы. В настоящее время в качестве реперной точки принята «тройная точка» воды – при давлении 609 Па и температуре 273,16 К вода может одновременно существовать в твердом, жидком и газообразном состояниях. При таком определении температура плавления льда равна 273,15 К.

Первое начало термодинамики

Адиабатически изолированная система – система, изменение состояния которой происходит только за счет механических перемещений частей системы или окружающих тел и не может происходить путем теплообмена с окружающими телами.

Изменение состояния адиабатической системы называется адиабатическим процессом, а оболочку, окружающую систему – адиабатической оболочкой.

При совершении механической работы внешними телами над адиабатической системой меняется внутренняя энергия системы, о чём свидетельствует изменение температуры

$$A_{\text{ВНЕШ}} = U_2 - U_1.$$

Если система не является адиабатически изолированной, то изменение внутренней энергии системы может быть осуществлено путём совершения работы внешними телами и теплопередачей количества теплоты Q :

$$\Delta U = A_{\text{ВНЕШ}} + Q.$$

Т.к. в каждый момент времени для квазистатического процесса ускорение любой части системы равно нулю, то сумма внешних и внутренних сил действующая на эту часть тоже равна нулю. Поэтому работа системы над внешними телами $A = -A_{\text{ВНЕШ}}$ равна работе внешних сил с обратным знаком. Тогда

$$Q = \Delta U + A$$

Это утверждение носит название *первого начала термодинамики*: Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии и на совершение этой системой работы над внешними телами.

По своей сути это выражение является законом сохранения энергии.

Для элементарных (очень малых) количеств

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Так как внутренняя энергия – это однозначная функция состояния, то dU - полный дифференциал. Поэтому при круговом процессе, когда система вернется в исходное состояние, конечное значение внутренней энергии будет равно начальному значению $U_K = U_H$. Изменение внутренней энергии равно нулю $\Delta U = U_K - U_H$. Этот факт принято записывать в виде

$$\Delta U = \oint dU = 0.$$

Количество теплоты и работа не являются функциями состояния системы, поэтому вообще говоря, $\oint \delta Q = \oint \delta A \neq 0$. Соответственно для малых величин этих параметров выбирается другое обозначение δQ и δA .

Работа газа.

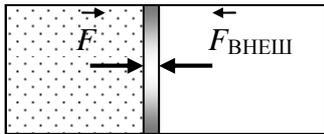
Работа газа против внешних тел $\delta A = F \cdot dr \cdot \cos \alpha$.

С учетом выражения $F = p \cdot S$ и изменения объема

$$dV = S \cdot dr \cdot \cos \alpha$$

$$\delta A = p \cdot S \cdot dr \cdot \cos \alpha = p \cdot dV.$$

При конечных изменениях объема $A = \int_{\Delta V} p dV$



Замечание. Первое начало термодинамики запрещает создание вечных двигателей первого рода - бесконечно совершающих работу без подвода внешней энергии. Действительно, если $Q=0$, то $A = -\Delta U$. Система совершает работу за счет уменьшения внутренней энергии. В конце концов, вся внутренняя энергия будет исчерпана и двигатель остановится.