

Некоторые наиболее употребляемые буквы греческого алфавита

$A \alpha$ - альфа	$K \chi$ - каппа	$P \rho$ - ро
$B \beta$ - бета	$H \eta$ - эта	$\Sigma \sigma$ - сигма
$\Gamma \gamma$ - гамма	$\Lambda \lambda$ - ламбда	$\Xi \xi$ - кси
$\Delta \delta$ - дельта	$M \mu$ - ми (мю)	$Z \zeta$ - дзета
$E \varepsilon$ - э псилон	$\Psi \psi$ - пси	$\Theta \theta$ - тета
	$\Phi \phi$ - фи	

ЛЕКЦИЯ 6

Термодинамика

План лекции

1. Работа, теплота в термодинамике
2. Первое начало термодинамики
3. Работа идеального газа при изопроцессах

ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамика – это *наука о теплоте и о превращениях теплоты.*

Одно из практически полезных превращений теплоты – это *превращение в механическую работу.*

Машины, превращающие тепло в работу - *тепловые машины.*

Основные понятия термодинамики, рассмотренные в лекции 5:

- *изолированная и неизолированная термодинамические системы,*
- *термодинамическое состояние,*
- *термодинамический процесс,*
- *теплоемкость идеального газа.*

Работа и теплота в термодинамике.

Взаимодействие термодинамических систем с окружающей средой сопровождается обменом энергией.

В термодинамике все способы энергообмена подразделяются на две обобщенные формы: работу и теплоту.

Внешние параметры системы - это величины, определяющие положение и состояние внешних тел, с которыми взаимодействует система.

Внутренние параметры системы - это величины, являющиеся функциями координат и импульсов молекул, образующих систему.

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа в термодинамике

Работа -это обобщенная форма обмена энергией между системой и окружающей средой, в основе которой лежит изменение внешних параметров системы.

Элементарная работа δA - это работа, совершённая системой в ходе *элементарного* процесса.

$$\delta A = p \cdot dV$$

p – давление газа, dV – бесконечно малое изменение объёма системы.

Если газ расширяется, то $dV > 0$. Элементарная работа газа $\delta A > 0$. Газ совершает работу. Если газ сжимается, то $dV < 0$ и $\delta A' < 0$. Над газом совершается работа.

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа в термодинамике

dV - бесконечно малое изменение объёма системы.

δA - элементарная работа, бесконечно малая величина.

Символ d означает бесконечно малое *изменение*, а символ δ – бесконечно малую *порцию*.

Работа системы в ходе произвольного процесса:

$$A = \int \delta A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Работа над системой:

$$A' = \int \delta A' = - \int \delta A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Связь: $A = -A'$

ТЕРМОДИНАМИКА

Тепло (теплота) в термодинамике

Пусть A и B - две замкнутые равновесные системы с температурами T_a и T_b . Пусть $T_a > T_b$. Приведем A и B в контакт. Новая замкнутая система AB - не является равновесной. В системе начнётся процесс выравнивания температур. Установится температура T , причем $T > T_b$ и $T < T_a$.

В итоге внутренняя энергия системы A понизится ($\Delta U_a < 0$), а системы B повысится ($\Delta U_b > 0$). Система AB - замкнутая, следовательно

$$\Delta U_b = -\Delta U_a$$

Внутренняя энергия системы B прирастает за счёт убыли внутренней энергии системы A . Системы обмениваются энергией. Этот обмен называется *теплообменом*.

ТЕРМОДИНАМИКА

Тепло (теплота) в термодинамике

Энергия, которую получает система при теплообмене с окружающей средой, называется *теплом (количеством теплоты)*.

Если $Q > 0$, то система *получает* энергию из окружающей среды, если $Q < 0$, то система *отдаёт* энергию в окружающую среду.

Система в каждом своём состоянии не обладает теплом, у неё есть функция состояния - *внутренняя энергия U* . Система лишь имеет возможность передать тепло.

Работа и теплота – не виды энергии, а формы ее обмена.

ТЕРМОДИНАМИКА

Первый принцип (первое начало) термодинамики

Если система получает тепло δQ из окружающей среды, увеличивается внутренняя энергия системы dU . $dU = \delta Q$ при $V = \text{const}$. Если система расширяется, то она совершает работу δA . Тогда δQ идёт на увеличение внутренней энергии dU , и на совершение работы системой.

Первое начало термодинамики:

В каждом элементарном процессе *тепло* δQ , приобретённое системой, расходуется на *увеличение внутренней энергии* системы dU и *работу* δA , совершаемую системой в этом процессе.

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

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

Примеры вычисления работы и тепла при изопроцессах.

Рассмотрим идеальный газ, способный производить работу расширения.

1. *Изохорический процесс.* $V = \text{const.}$

Работа. $A = 0.$

Тепло. $\delta A = 0$  $\delta Q = dU.$

Сообщаемое системе тепло превращается в её внутреннюю энергию.

Внутренняя энергия идеального газа, удалённого от силовых полей, есть средняя суммарная *кинетическая* энергия всех его молекул.

$$U = \langle W_k \rangle = \frac{i}{2} NkT \quad \Rightarrow \quad dU = \frac{i}{2} NkdT$$

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

$$dU = \frac{i}{2} N k dT$$

1. *Изохорический процесс. $V = \text{const}$.*

Число молекул N выразим через число молей ν (ни) газа:

$$\nu = N / N_A, \quad N k = N_A \nu k = \nu R$$

k – постоянная Больцмана;

R – универсальная газовая постоянная;

N_A – число Авогадро (число молекул в одном моле любого вещества).

$$dU = \frac{i}{2} N k dT = \frac{i}{2} \nu R dT$$

В изохорном процессе единственным способом изменения внутренней энергии системы является теплообмен.

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

1. Изохорный процесс. $V = \text{const.}$

Тогда из первого начала термодинамики при изохорном процессе $\delta Q = dU$ следует, что

$$\delta Q = \frac{i}{2} \nu R dT$$

Полное тепло, которое получает газ в изохорическом процессе:

$$Q = \int_1^2 \delta Q = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$$

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

2. Изобарный процесс. $P = \text{const}$.

Работа. Из определения работы - $A = \int \delta A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$

В изобарном процессе $p = \text{const}$, тогда

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

При изобарном расширении $\Delta V > 0$, и газ совершает положительную работу, *тратя* на это свою внутреннюю энергию.

При изобарном сжатии $\Delta V < 0$, и работа газа отрицательна, то есть работа совершается внешним объектом над газом, и газ при этом *получает извне* добавку к своей внутренней энергии.

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

2. Изобарный процесс . $P = \text{const}$.

Тепло.

При расширении газ совершает работу. Источник энергии - *внутренняя энергия* газа. Так как расширение идет *при повышении температуры*, внутренняя энергия *увеличивается*, одновременно расходуясь на совершение работы. Получаемого тепла хватает на совершение работы и *на увеличение внутренней энергии*. Прирост dU связан с приростом температуры dT :

$$dU = \frac{i}{2} \nu R dT$$

Из первого начала термодинамики порция тепла, вызвавшая этот прирост dU

$$\delta Q = dU + \delta A = \frac{i}{2} \nu R dT + p dV$$

Работа идеального газа при изопроцессах

2. Изобарный процесс . $P=const$.

Увеличение объёма dV и температуры dT в изобарном процессе связаны уравнением состояния $pV = \nu RT$. Дифференцируя, получим

$$pdV = \nu R dT$$

Тогда полученное выше равенство преобразуется к виду:

$$\delta Q = \frac{i}{2} \nu R dT + \nu R dT = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \nu R dT = C_p dT$$

В изобарном процессе *теплоёмкость* газа *не зависит* от температуры -

$$C_p = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \nu R$$

Полное тепло, которое получает газ в изобарном процессе, равно:

$$Q = \int_1^2 \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = C_p \Delta T = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \nu R \Delta T$$

ТЕРМОДИНАМИКА

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

Работа идеального газа при изопроцессах

3. Изотермический процесс. $T = \text{const.}$

Работа. Согласно определению

$$A = \int \delta A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Для вычисления интеграла необходимо знать выражение для функции $p(V)$. Из уравнения состояния $pV = \nu RT$ получим

$$p = \nu RT \cdot \frac{1}{V}$$

$$A = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT (\ln V_2 - \ln V_1) = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Итак,

$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

3. Изотермический процесс. $T = \text{const}$.

Тепло. Источником работы A , как следует из *первого начала термодинамики*, является внутренняя энергия U и подводимое к газу тепло Q . В изотермическом процессе *внутренняя энергия не меняется* - $dU = 0$. Тогда $\delta Q = \delta A$.

В изотермическом процессе только тепло является источником работы; в работу превращается всё подводимое к газу тепло.

$$Q = A = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

4. Адиабатический процесс.

Работа. Для определения работы требуется вычислить интеграл

$$A = \int \delta A = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV$$

Зависимость $p(V)$ следует из уравнения Пуассона $pV^\gamma = \text{const}$

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right)$$

При адиабатном *расширении* работа *положительна* (её совершает газ), при *сжатии* – *отрицательна* (её совершает над газом *внешняя сила*).

ТЕРМОДИНАМИКА

Работа идеального газа при изопроцессах

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

4. Адиабатический процесс.

Используя уравнение Пуассона, можно связать работу с *относительным изменением давления* в виде p_2/p_1 :

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

Тепло. По определению адиабатического процесса система в этом процессе *не получает и не отдаёт* тепло, так что $\delta Q = 0$ и $Q = 0$.