

**Вопрос 5**  
**Термодинамическая система и её параметры. Постулаты термодинамики. Внутренняя энергия. Распределение энергии по степеням свободы. Количество теплоты. Работа в термодинамике. Первое начало термодинамики.**

**Термодинамика** — раздел физики, в котором изучаются свойства тел без учета молекулярного строения тел.

**Термодинамическая система** — одно или несколько макроскопических тел.

**Макроскопическое тело** — тело, состоящее из довольно большого числа атомов или молекул. Макроскопическое тело обладает макроскопическими (термодинамическими) параметрами.

**Макроскопические параметры** — величины, характеризующие состояние ТС без учета молекулярного строения тел.

**Основные макропараметры** — объем, давление, температура.

Состояние системы тел может быть неравновесным (т. е. не во всех точках системы макропараметры равны) и равновесным (т. е. во всех точках макропараметры равны). Если система находится в неравновесном состоянии, то при изоляции системы наступит равновесное состояние. Процесс перехода из одного равновесного состояния в другое равновесное состояние есть последовательность неравновесных состояний, а, следовательно, является неравновесным. Если же переход очень медленный, то он состоит из последовательности равновесных состояний, то есть является равновесным (квазистатическим).

**Классификация ТДС:**

- 1. Открытая — может обмениваться с внешней средой энергией и веществом
- 2. Закрытая
  - 1) Адиабатная — может обмениваться с внешней средой только энергией за счет совершения работы
  - 2) Замкнутая — не может обмениваться с внешней средой веществом
- 3. Изолированная — не может обмениваться с внешней средой энергией и веществом.

**Постулаты термодинамики:**

- 1. Любая ТДС, представленная сама себе с течением времени, обязательно придет в состояние ТД равновесия.
- 2. Любая ТДС, лишенная адиабатических перегородок и находящаяся в ТД равновесии, имеет общую для всей системы характеристику состояния — температуру.
- 3. Все внутренние параметры любой ТДС, находящейся в ТД равновесии, есть функции от внешних параметров и температуры.

**Полная энергия системы** состоит из полных энергий ее элементов, **внутренняя энергия** — сумма кинетической энергии хаотичного движения микрочастиц и потенциальной энергии их взаимодействия. Микрочастицы: молекулы, атомы, ионы. **Потенциальная энергия** взаимодействия кварков, атомов, ядер, электронов, протонов, нейтронов.

Внутренняя энергия зависит только от начального и конечного состояния, не зависит от процесса перехода из одного состояния в другое. Из этого следует, что изменение внутренней энергии при циклическом процессе равно нулю.

Вычислить внутреннюю энергию нет практической возможности из-за огромного числа взаимодействующих и непрерывного изменения. Простое решение такая задача имеет для случая ИГ.

**Идеальный газ** — физическая модель, включающая в себя:

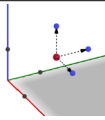
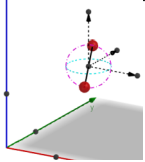
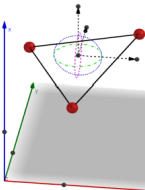
- 1) молекулы газа — материальные точки
- 2) молекулы хаотично и непрерывно движутся, причем между столкновениями скорости не меняются
- 3) столкновения носят упругий характер без потерь механической энергии
- 4) силы взаимодействия между молекулами проявляются лишь при столкновении

Движение молекул такого газа подчиняется законам Ньютона.

**Внутренняя энергия ИГ** — сумма кинетической энергии хаотичных движений микрочастиц.

Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы — на каждую степень свободы молекулы в среднем приходится кинетическая энергия, равная  $\frac{KT}{2}$ .

**Число степеней свободы тела (i)** — число независимых координат, с помощью которых можно однозначно задать положение тела. Тогда  $\bar{E}_k = \frac{i}{2}KT$ .

Газ		Средняя кинетическая энергия молекулы	Полная внутренняя энергия газа	
Одноатомный	Может перемещаться в пространстве по трем направлениям, следовательно три координаты. Вращение не учитывается, так как это материальная точка.	$\bar{W}_k = \frac{3}{2}KT$	$U = \frac{3}{2}NKT$	
Двухатомный	Может перемещаться в пространстве по трем координатам. Может вращаться в двух направлениях. Вращения вдоль оси нет.	$\bar{W}_k = \frac{5}{2}KT$	$U = \frac{5}{2}NKT$	
Трехатомный	Может перемещаться в пространстве по трем координатам. Может вращаться в трех направлениях.	$\bar{W}_k = \frac{6}{2}KT$	$U = \frac{6}{2}NKT$	

Преобразование формулы энергии  $U = \frac{i}{2} NKT \cdot \frac{N_A}{N_A} = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} PV$  .

Тогда ~~изменение внутренней энергии газа~~  $\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$

Способы изменения внутренней энергии

- 1. Совершение механической работы
- 2. Теплопередача (излучение, конвенция, теплопроводность)

Работа газа

Процесс		
Изохорный	$A_{\text{внеш. сил}} = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = 0; \quad A'_{\text{газа}} = \vec{F}_{\text{упр}} \cdot \Delta \vec{r} = 0$ Работа в изохорном процессе равна нулю.	
Изобарный	$A_{\text{внеш. сил}} = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} =  F  \cdot  \Delta r  \cdot \cos 2\pi = -F \Delta r \cdot \frac{S}{S} = -p \Delta V$ $A'_{\text{газа}} = \vec{F}_{\text{упр}} \cdot \Delta \vec{r} =  F  \cdot  \Delta r  \cdot \cos 0 = F \Delta r = p \Delta V = \nu R \Delta T$ Работа в изобарном процессе равна произведению давления на изменение объема. Модуль работы равен площади подграфика давления от объема.	
Изотермический	Разобьем работу на малые участки, где давление постоянно. Тогда малая работа на одном участке равна $\Delta A' = p \Delta V = \nu RT \frac{\Delta V}{V}$ . $A' = \sum_i \Delta A_i \underset{\Delta V \rightarrow 0}{=} \int_{V_1}^{V_2} \nu RT \frac{dV}{V} = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$	

Величина работы зависит не только от начального и конечного состояния, но и от процесса.

**Количество теплоты** — количественная мера изменения энергии при теплопередаче.

**Теплопередача** — процесс изменения внутренней энергии тел.

Горячее тело передает прикасающемуся к нему холодному телу часть своей внутренней энергии, часть энергии хаотического движения частиц горячего тела переходит в энергию хаотического движения холодного тела. В результате температуры тел выравниваются.

$Q = [Дж]$ $Q_{\text{нагр}} = c m \Delta t$ $Q_{\text{плав}} = \lambda m$ $Q_{\text{гор}} = q m$ $Q_{\text{пар}} = L m$	<b>Уравнение теплового баланса</b> – количество теплоты, отданное телами, равно количеству теплоты, полученное телами. $\sum Q_i = 0$ <b>Удельная теплоемкость</b> — скалярная физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое нужно сообщить единице массы вещества, чтобы изменить его температуру на 1 градус. <b>Молярная теплоемкость</b> — скалярная физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое нужно сообщить 1 молю вещества, чтобы изменить его температуру на 1 градус.
---	--

Первый закон термодинамики

Количество теплоты, переданное системе при переходе из одного состояния в другое, равно сумме работы системы и изменения внутренней энергии.

$Q = \Delta U + A'_{\text{газа}} = \Delta U - A_{\text{внеш. сил}}$

Применение первого закона термодинамики

$T = \text{const}$	$Q = \Delta U + A'; \quad \Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = 0 \Rightarrow Q = A'$
$P = \text{const}$	$Q_p = \Delta U + A'; \quad \Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad A' = \nu R \Delta \Rightarrow Q_p = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T = \frac{i+2}{2} p \Delta V$
$V = \text{const}$	$Q_v = \Delta U + A'; \quad \Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad A' = 0 \Rightarrow Q_v = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$
$Q = 0$ Адиабатный	$Q = \Delta U + A' \Rightarrow \Delta U = -A'$