

## Билет 2

### 1. Распределение энергии по степеням свободы молекул. Внутренняя энергия идеального газа.

Любая молекула совершает не только поступательное движение, но и вращательное и колебательное движение. Для этих видов движение вычислить среднюю энергию не удастся. Поэтому классическая физика принимает следующий путь определения Е.п.п.

Поступательное движение молекул хаотично, поэтому распределение энергии по всем направлениям одинаково.

П.к. положение точки в пространстве определяется тремя координатами, значит на одну точку приходится энергия, равная

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

$$\frac{mv_x^2}{2} = \frac{1}{2} kT$$

энергия на одну степень свободы

$$W = \frac{i}{2} kT$$

- на  $i$  степеней свободы

$i$  - сумма числа поступательных, вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы молекулы:

$$i = n_{\text{пост}} + n_{\text{вращ}} + 2n_{\text{колеб}}$$

Для всего газа:

$$U = W \cdot N$$

$$U = \frac{i}{2} kT N$$

где  $N$  - кол-во молекул,  $N = V \cdot N_A$   
 $U$  - внутренняя энергия газа

$$U = \frac{i}{2} kT V N_A \Rightarrow U = \frac{i}{2} V R T$$

$$U = C_V V T, \quad C_V = \frac{i}{2} R$$

мол. теплоемкость



1. одноатомный газ  $i=3$
2. двухатомный  $i=5$
3. трехатомный и более  $i=6$

Если атомы в молекуле меняют своё положение друг относительно друга, т.е. совершают колебательное движение, то  $i = \underbrace{2+2}_{\text{колеб}} = 4$  или  $i = \underbrace{3+2}_{\text{колеб}} = 5$

Внутренняя энергия идеального газа ( $U$ ) определяется как сумма кинетических энергий молекул ( $W$ ). Между молекулами идеального газа отсутствуют силы притяжения и потенциальная энергия взаимодействия равна нулю.

$$U = W \cdot N, \quad N - \text{кол-во молекул}$$

## 2. Динамика материальной точки. Силы в механике.

Основное уравнение динамики мат. точки

$$m\bar{a} = \sum_{i=1}^n \bar{F}_i$$

$$\frac{d\bar{p}}{dt} = \bar{F}, \quad \text{Если } m = \text{const}, \text{ то } m \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F}$$

Динамика изучает движение материальной точки в зависимости от приложенных к ней сил. Основное законом динамики материальной точки сформулировано Ньютоном.

Мат. точка - это модель матер. тела любой формы, размерами которого в конкретной задаче можно пренебречь.

13-й Закон Динамики (закон инерции): материальная точка при отсутствии внешних воздействий сохраняет своё состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока приложенное к ней силы не изменит этого



состояние, в которой свободная материальная точка либо неподвижна, либо движется с постоянной скоростью; СО в которой справедлив закон инерции.

II 3-й закон динамики: В инерциальной системе отсчёта (ИСО) произведение массы материальной точки на вектор её ускорения равно действующей на точку силе.

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

Если на точку действует одновременно несколько сил, то они образуют эквивалентно равнодействующую, равную геометрической сумме приложенных сил:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}_i$$

$$a = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

III 3-й закон Ньютона: две матер. точки действуют друг на друга с силами одинаковыми по величине и противоположными по направлению

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \quad \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$$

## Силы в механике

Сила — мера механического действия на данное материальное тело других тел. Это действие вызывает изменение импульсов точек тела или его деформацию.

Сила — векторная величина, характеризующаяся величиной, направлением и точкой приложения.

Частицы создают поле, поле действует на другие частицы и взаимодействует с ними, возникает сила.

Примеры сил в механике



## 1. Сила всемирного тяготения

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Гравитационное поле - поле, действующее на частицы, имеющие массу. Сила притяжения действует независимо от расстояния.

## 2. Сила Кулона

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Электростатическое поле - действует на частицы, или заряды.

## 3. Ядерная сила - действует внутри ядер атомов между нуклонами.

Параметры: 1) сила притяжения  
2) короткодействующая ( $10^{-15}$  м)  
3) зарядозависимая

## 4. Притягательные силы:

### 1) Сила тяжести $F = mG \frac{M_{\text{Земли}}}{(R_{\text{Земли}} + h)^2}$

$G$  - грав. пост. =  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

$h$  - высота, на кот. наход. тело над Землей

$M_{\text{З}}$  - масса Земли,  $R_{\text{З}}$  - радиус Земли

$$g = G \frac{M_{\text{Земли}}}{(R_{\text{Земли}} + h)^2}$$

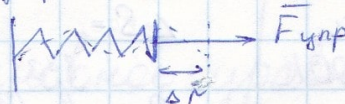
Итого  $\boxed{F_{\text{тяж}} = m \bar{g}}$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

### 2) Сила упругости

$$F_{\text{упр}} = -k \Delta r \quad (\text{Закон Гука})$$

$k$  - коэф. упр-ти,  $\Delta r$  - деформация.



### 3) Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

$N$  - сила реакции опоры

$\mu$  - коэф. трения



### 4) Сила сопротивления

$$\bar{F} = -k \bar{v}$$

$$F = \alpha \cdot S \cdot v^N$$

$\alpha$  - коэф. зав. от св-в тел и формы тела  
 $N$  - порядок зависимости

$$k = f(v)$$

$S$  - площ. попер. сечения  
 $v$  - скорость тела



3. Вычислить работу  $A$ , совершаемую при равноускоренном опускании груза массой  $m = 300 \text{ кг}$  с высоты  $h = 20 \text{ м}$  за время  $t = 12 \text{ с}$ .

Дано:  
 $m = 300 \text{ кг}$   
 $h = 20 \text{ м}$   
 $t = 12 \text{ с}$   
 $A = ?$

Решение:

$$A = \bar{F} \cdot \bar{h}$$

$$\bar{F} + m\bar{g} = m\bar{a}$$

Ох:  $F + mg = ma$

$$F = m(a - g)$$

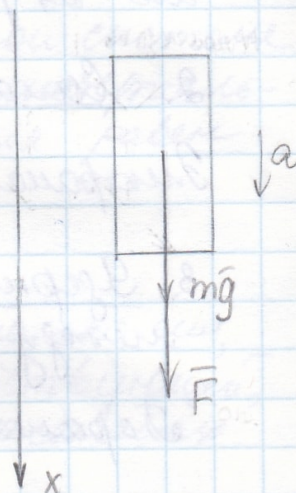
$$F = m\left(\frac{2h}{t^2} - g\right)$$

$$A = -m\left(\frac{2h}{t^2} - g\right)h = -300 \cdot \left(\frac{2 \cdot 20}{12^2} - 9,8\right) \cdot 20 = 57,133 \text{ кДж}$$

Ответ:  $\approx 57 \text{ кДж}$ .

$$h = \frac{at^2}{2}$$

$$a = \frac{2h}{t^2}$$



4. Найти изменение энтропии при нагревании воды массой  $m = 800 \text{ г}$  от температуры  $t_1 = 24^\circ \text{C}$  до температуры  $T_2 = 373 \text{ К}$  и последующее превращение воды в пар при температуре  $T_2$ .

Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$   
 Удельная теплота парообразования  $\lambda = 334 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Дано:  
 $m = 800 \text{ г} = 0,8 \text{ кг}$   
 $t_1 = 24^\circ \text{C} = 300 \text{ К}$   
 $T_2 = 373 \text{ К}$   
 $c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$   
 $\lambda = 334 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$   
 $\Delta S = ?$

Решение:

$$\Delta S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q_1}{T}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$\Delta S_1 = \int_{300}^{373} \frac{cm dT}{T} = cm(\ln 373 - \ln 300) \approx 731,8 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\Delta S_2 = \int_1^2 \frac{\delta Q_2}{T_{\text{пар}}} = \frac{\lambda m}{T_2} = \frac{334000 \cdot 0,8}{373} \approx 716,35 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 1448,15 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Ответ:  $1448,15 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$