

# Содержание

<b>1 Механика.</b>	<b>3</b>
1.1 Кинематика. . . . .	3
1.1.1 Равномерное прямолинейное движение. . . . .	3
1.1.2 Движение под углом горизонта. . . . .	4
1.1.3 Векторный подход к задачам с броском под углом горизонта (баллистическим задачам). . . . .	5
1.1.4 Движение по окружности. . . . .	6
1.1.5 Относительность движение. Преобразование Галилея. . . . .	6
1.2 Динамика. . . . .	7
1.2.1 Сила трения. . . . .	7
1.2.2 Сила упругости. . . . .	7
1.2.3 Гравитация. . . . .	8
1.2.4 Не инерциальные системы отсчета. . . . .	10
1.3 Законы сохранения. . . . .	10
1.3.1 Закон сохранения импульса. . . . .	10
1.4 Реактивное движение. . . . .	10
1.5 Механическая работа. . . . .	11
1.6 Механическая энергия. . . . .	11
1.7 Потенциальная энергия силы тяготения. . . . .	11
1.8 Статика абсолютно упругого тела. . . . .	11
1.9 Основное уравнение динамики вращательного движения. . . . .	12
1.10 Энергия вращательного движения тела. . . . .	12
1.11 Теорема Гюйгенса-Штейнера. . . . .	13
1.12 Закон сохранения момента импульса. . . . .	13
1.13 Колебания. . . . .	13
1.14 Механические волны. . . . .	14
1.14.1 Звук. . . . .	14
1.15 Электромагнитные волны. . . . .	14
1.16 Гидростатика. . . . .	14
1.17 Гидродинамика. . . . .	14
1.18 Вязкое трение. . . . .	14
<b>2 Молекулярно-кинетическая теория.</b>	<b>15</b>
2.1 Тепловые явления. . . . .	15
2.2 Идеальный газ. Основное уравнение МКТ. . . . .	15
2.3 Температура. . . . .	16
2.4 Уравнение Менделеева-Клапейрон. Изопроцессы	16
2.5 Распределение Maxwell'a. . . . .	16
2.6 Реальные газы. . . . .	16
2.7 Агрегатные состояния и фазовые переходы. . . . .	17
2.8 Изотермы реального газа. . . . .	17
2.8.1 Зависимость скорости испарения. . . . .	17
2.8.2 Виды пара. . . . .	18
2.8.3 Изотермы Эндрюса. . . . .	18
2.8.4 Абсолютная плотность воздуха и относительная влажность. . . . .	18

<b>3 Термодинамика.</b>	<b>18</b>
3.1 Теплопередача. . . . .	19
3.2 Первое начало термодинамики. . . . .	19
3.3 Теплоемкость. . . . .	20
3.4 Адиабатный процесс. . . . .	20
3.5 Необратимость процессов. . . . .	20
3.5.1 Второе начало термодинамики. . . . .	20
3.6 Тепловые машины. . . . .	20
3.6.1 Теорема Карно. . . . .	21
3.6.2 Холодильный коэффициент. . . . .	21
<b>4 Поверхностное натяжение.</b>	<b>21</b>
4.1 Капиллярные явления. . . . .	21
4.1.1 Виды смачиваний. . . . .	21
<b>5 Тепловое расширение.</b>	<b>21</b>
<b>6 Электромагнетизм.</b>	<b>22</b>
6.1 Электричество. . . . .	22
6.1.1 Электростатика. . . . .	22
6.1.2 Теорема Гаусса. . . . .	22
6.1.3 Поля статичного распределения заряда. . . . .	23
6.1.4 Работа сил электрического поля. . . . .	23

# 1 Механика.

**Определение 1.1.** Механическое движение — изменение пространственного положения тела относительно других тел с течением времени.

**Определение 1.2.** При поступательном движении прямая проведенная через любые две точки внутри тела остается параллельна сама себе.

**Определение 1.3.** При вращательном движении каждая точка тела вращается по своей окружности, центры этих окружностей лежат на одной прямой, прямая называется осью вращения.

**Утверждение 1.1.** Любое движение — сумма этих двух движений.

**Определение 1.4.** Колебательное движение — движение, повторяющееся с той или иной точностью во времени.

## 1.1 Кинематика.

**Определение 1.5.** Кинематика — раздел механики, изучающий способы описания движения и связь величин характеризующих это движение.

**Утверждение 1.2.** Для описания движения нужны:

- Система отсчета.
- Тело отсчета.
- Система координат.
- Часы.

**Утверждение 1.3.** Способы анализа:

- Табличный.
- Графический.
- Аналитический.

### 1.1.1 Равномерное прямолинейное движение.

**Определение 1.6.** Равномерное прямолинейное движение — за любые равные промежутки времени тело проходит одинаковые участки пути, траектория при этом прямая линия.

**Определение 1.7.** Траектория — кривая, по которой движется тело.

**Определение 1.8.** Путь — длина траектории.

**Определение 1.9.** Перемещение — вектор из начальной точки в конечную.

**Определение 1.10.** Расстояние — модуль перемещения.

**Определение 1.11.** Скорость — физическая векторная величина, характеризующая быстроту изменения положения тела в пространстве.  $V = \frac{S}{t}$ .

## Формулы.

Величина	РПД	РУД
Скорость	$V = \frac{s}{t}$	$V_x = V_{0x} + at$
Расстояние	$S = V \cdot t$	$S = V_{0x}t + \frac{at^2}{2}$
Координата	$x = x_0 + V_{0x}t$	$x = x_0 + V_{0x}t + \frac{at^2}{2}$

**Утверждение 1.4** (Золотая формула механики.).  $S = \frac{V_\kappa^2 - V_0^2}{2a}$ .

### 1.1.2 Движение под углом горизонта.

Тело брошено с высоты  $h$  под углом  $\alpha$  со скоростью  $V_0$ .

1.  $V_x = V_0 \cos \alpha$
2.  $x = V_0 \cos \alpha t$
3.  $V_y = V_0 \sin \alpha - gt$
4.  $y = h_0 + V_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$

I. Траектория.

$$\begin{aligned} t &= \frac{x}{V_0 \cos \alpha}. \\ y &= h_0 + V_0 \sin \alpha \frac{x}{V_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha}. \\ y &= h_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha}. \end{aligned}$$

II.  $H_{max}$ :  $V_y = 0$ .

$$\begin{aligned} 0 &= V_0 \sin \alpha - gt_{\text{падения}}. \\ t_{\text{падения}} &= \frac{V_0 \sin \alpha}{g}. \\ H_{max} &= h_0 + V_0 \sin \alpha \cdot \frac{V_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2}. \\ H_{max} &= h_0 + \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}. \end{aligned}$$

III.  $t_{\text{полета}}$ :  $y = 0$ .

$$\begin{aligned} 0 &= h_0 + V_0 \sin \alpha t_{\text{полета}} - \frac{gt_{\text{полета}}^2}{2}. \\ \frac{gt_{\text{полета}}^2}{2} - V_0 \sin \alpha t_{\text{полета}} - h_0 &= 0. \\ t_{\text{полета}} &= \frac{V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh_0}}{g}. \end{aligned}$$

IV. Дальность полета:  $L$ .

$$\begin{aligned} L &= x(t_{\text{полета}}) = V_0 \cos \alpha t_{\text{полета}}. \\ L &= \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}. \end{aligned}$$

## V. Конечная скорость.

$$V_{y\text{ к}} = V_0 \sin \alpha - gt_{\text{полета}} = V_0 \sin \alpha - g \cdot \frac{V_0 \sin \alpha}{g} - g \cdot \frac{\sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh_0}}{g}.$$

$$V_{x\text{ к}} = V_0 \cos \alpha.$$

$$V_{y\text{ к}} = -\sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh_0}.$$

$$V_{\text{к}} = \sqrt{V_{x\text{ к}}^2 + V_{y\text{ к}}^2} = \sqrt{V_0^2 \cos^2 \alpha + V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh_0}.$$

$$V_{\text{к}} = \sqrt{V_0^2 + 2gh_0}.$$

## VI. Угол падения ( $\beta$ ).

$$\cos \beta = \frac{V_x}{V_{\text{к}}} = \frac{V_0 \cos \alpha}{\sqrt{2gh_0 + V_0^2}}.$$

### 1.1.3 Векторный подход к задачам с броском под углом горизонта (баллистическим задачам).

Тело брошено под углом  $\alpha$  со скоростью  $V_0$ .

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + gt.$$

$$\vec{r} = \vec{V}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}.$$

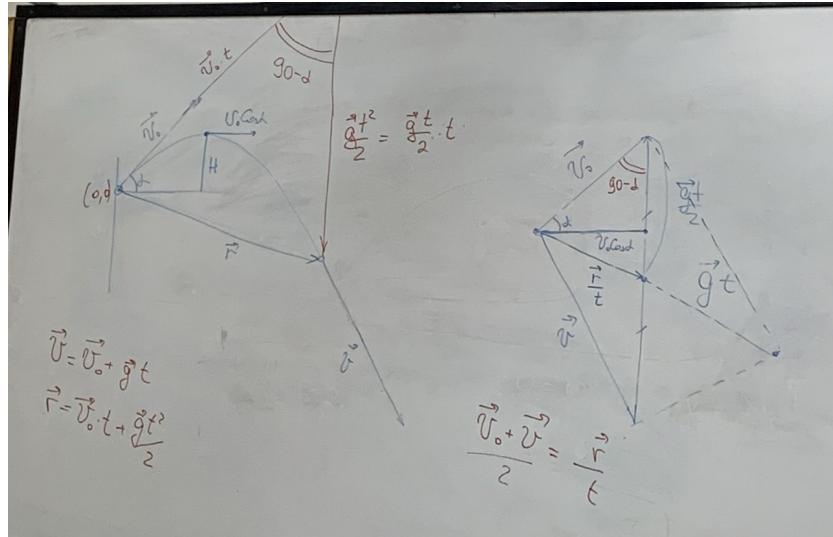


Рис. 1: Треугольник скоростей и путь.

$$S_{\Delta V} = \frac{V_0 \cdot \cos \alpha \cdot gt}{2} = \frac{V \cdot V_0 \cdot \sin(\alpha + \beta)}{2}.$$



Рис. 2: Треугольник скоростей 2.

#### 1.1.4 Движение по окружности.

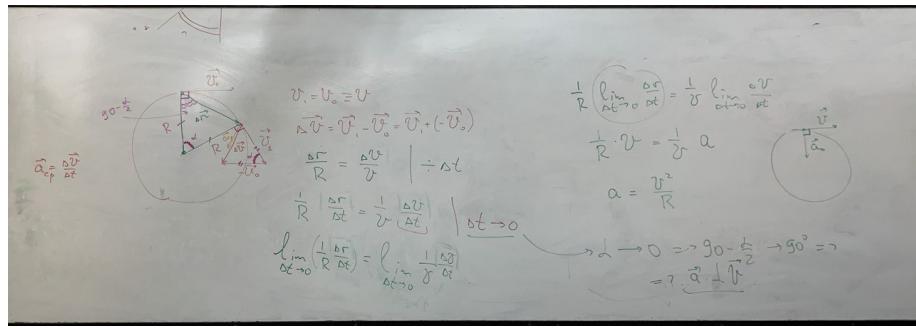


Рис. 3: Движение по окружности.

**Определение 1.12.**  $\omega$  — угловая скорость.  $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ .

**Определение 1.13.** Период — время, за которое тело проходит полный оборот по окружности.  $T = \frac{2\pi R}{V} = \frac{2\pi}{\omega}$ .

**Утверждение 1.5** (Формула связи линейной скорости с угловой.).  $V = \omega R$ .

**Определение 1.14.** Частота — количество оборотов в секунду.  $\nu = \frac{1}{T}$ .  $[\nu] = Гц$ .

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = const.$$

$$\beta = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega(t) - \omega_0}{t - t_0}.$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \beta t.$$

$$\varphi = \varphi_0 \pm \omega_0 t \pm \frac{\beta t^2}{2}.$$

$$a_\tau = \beta R.$$

#### 1.1.5 Относительность движения. Преобразование Галилея.

**Определение 1.15.** Принцип относительности классической механики — во всех инерциальных системах отсчета механические явления протекают одинаково.

$$\vec{V}_{abc} = \vec{V}_{\text{относ}} + \vec{V}_{\text{пер}}$$

## 1.2 Динамика.

**Определение 1.16.** *Динамика — отвечает на вопрос, почему тело движется именно так.*

$$\vec{F}, [F] = \text{Н.}$$

**Определение 1.17.** *Инерция — способность тела сохранять скорость при отсутствие внешнего воздействия.*

**Определение 1.18.** *Три закона Ньютона:*

1. *Существуют инерциальные системы отсчета (ИСО). ИСО — те системы отсчета, в которых если на тело не действуют силы или их действие скомпенсировано, то тело движется равномерно и прямолинейно или покоятся.*
2.  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ .  
*Инертность — свойство тела, которое заключается в том, что для изменения скорости тела необходимо время.*
3. *При взаимодействие двух тел возникает две силы. Эти две силы приложены к двум разным телам, равным по модулю, противоположны по направлению, лежат на одной прямой, имеют одну природу (гравитационная, электромагнитная, сильная, слабая).*

**Утверждение 1.6** (Ограничения на законы). *Работают только для скоростей много меньших скоростей света, в инерциальных системах счисления и с ненулевыми массами.*

**Утверждение 1.7.** *Полезная информация:*

1. *Тело стоит на платформе, платформа движется вверх с ускорением  $\vec{a}$ , у тела масса  $m$ , то  $P = m \cdot (g + a)$ .*
2. *Тело стоит на платформе, платформа движется вниз с ускорением  $\vec{a}$ , у тела масса  $m$ , то  $P = m \cdot (g - a)$ .*

### 1.2.1 Сила трения.

**Определение 1.19.** *Сила трения имеет электромагнитную природу. Направлена вдоль поверхности противодействующих поверхностей, против относительной скорости взаимодействия двух тел.*

**Определение 1.20.**  $F_{mp} = N\mu$ ;  $\mu$  — коэффициент трения.

**Утверждение 1.8.** *Не существует силы вязкого трения покоя.*

### 1.2.2 Сила упругости.

**Определение 1.21.** *Сила упругости — сила электромагнитной природы, возникающая при деформации, направленная против деформации.  $F_{upr} = -k\Delta x$ .*

**Определение 1.22.** *Виды деформаций:*

- Упругие (обратимая деформация):

1. Растяжение-сжатие
2. Сдвиг
3. Изгиб

#### 4. Кручение

- Пластическая (необратимая деформация).

**Определение 1.23** (Механическое напряжение).  $\sigma = \frac{F}{S} = \varepsilon \cdot \frac{kl_0}{S} = E \cdot |\varepsilon|$ .  $[\sigma] = \frac{H}{m^2} = Pa$ .

**Определение 1.24.**  $|\varepsilon| = \frac{|\Delta l|}{l_0}$ .

**Определение 1.25** (Модуль Юнга).  $E = \frac{kl_0}{S}$ .  $[E] = Pa$ .

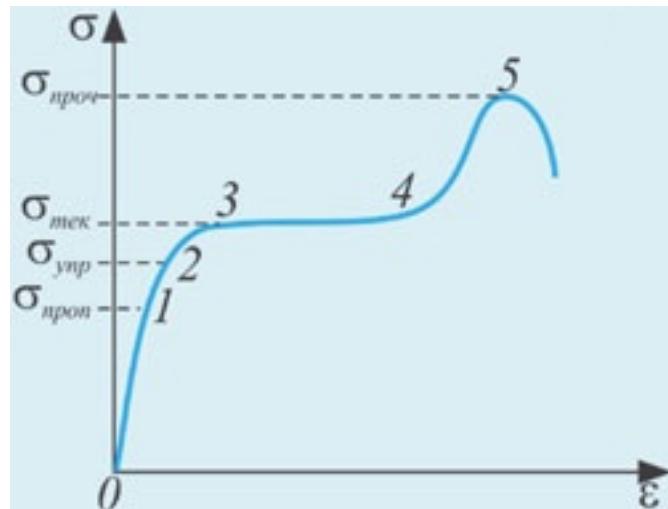


Рис. 4: Диаграмма растяжения

#### Коэффициент жесткости.

**Определение 1.26** (Коэффициент жесткости). Два вида соединений:

- Параллельное соединение.

$$k = \frac{ES}{l_0} = \frac{E(\sum_{i=0} S_i)}{l_0} = \sum_{i=0} k_i.$$

- Последовательное соединение.

$$\frac{1}{k} = \frac{l_0}{ES} = \frac{\sum_{i=0} l_{0i}}{ES} = \sum_{i=0} \frac{1}{k_i}.$$

#### 1.2.3 Гравитация.

**Определение 1.27.** Исаак Ньютона (1643 – 1727 г.). Учился в Кембридже. Когда он был на 4 курсе, произошла эпидемия чумы и он получил бакалавриат без защиты диплома.

**Определение 1.28.** Законы Кеплера (1609 – 1619):

1. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.
2. Радиус-вектор планеты за одинаковые промежутки времени замечает равные площади.



Рис. 5: Второй закон Кеплера.

$$3. \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{b_1^3}{b_2^3} = \frac{R_1^3}{R_2^3}.$$

**Определение 1.29** (Закон всемирного тяготения (1666 г.)).  $F \sim \frac{m_1 m_2}{R^2}$ .  $F_{\text{грав}} = \frac{GM_1 M_2}{R^2}$ .

**Утверждение 1.9** (Границы применения). • Точечные тела.

- Сферические тела, плотность которых зависит только от расстояний до их центров.

**Определение 1.30.** Гравитационная масса — масса, входящая в закон всемирного тяготения.

**Определение 1.31.** Инертная масса — масса, входящая во второй закон Ньютона.

**Утверждение 1.10.** Могло быть такое, что они не равны. То, что они равны, стечеие обстоятельств в нашей вселенной.

**Определение 1.32.** Опыт Кавендиша.

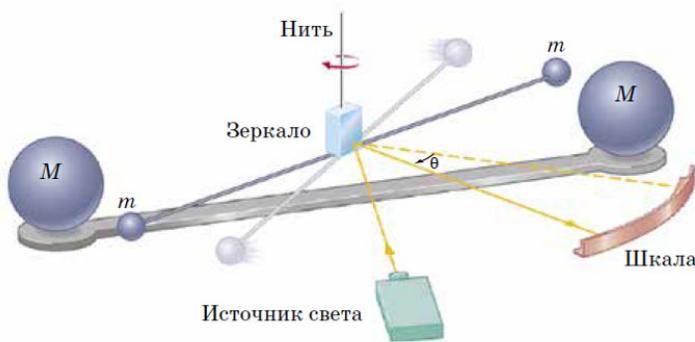


Рис. 6: Опыт Кавендиша\*.

\*На самом деле он увеличил точность не с помощью зеркала, а с помощью шкалы Нониуса.  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}$ . Но на самом деле он хотел найти  $\rho_{\text{земли}} = 5437 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Это очень близко, тк на данный момент принято, что  $\rho_{\text{земли}} = 5515 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

**Определение 1.33** (Ускорение свободного падения).  $F = G \frac{Mm}{R^2} \rightarrow G \frac{M}{R^2} = g = 9.8$ .

**Определение 1.34** (Первая космическая скорость). Это минимальная (для данной высоты над поверхностью планеты) горизонтальная скорость, которую необходимо придать объекту, чтобы он совершил движение по круговой орбите вокруг планеты.

$$F_{\text{грав}} = \frac{GMm}{R^2}; F_{\text{норм}} = \frac{mv^2}{R}.$$

$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}.$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{(6.674 \cdot 10^{-11}) \cdot (5.972 \cdot 10^{24})}{6.371 \cdot 10^6}} \approx 7.91 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**Что видит лунный человечек.** Он всегда видит землю в одной и той же точке на небе, так как луна вращается вокруг своей оси с такой же скоростью, с какой вращается вокруг земли. Это явление называется "Приливный захват".

**Открытие Нептуна.** В 19 веке ученые заметили, что орбита Урана отклоняется от расчетной, что указывало на влияние неизвестной планеты. Французский математик Урбен Леверье в 1846 году предсказал расположение Нептуна, рассчитав его орбиту на основе этих отклонений. Немецкий астроном Иоганн Галле с помощью телескопа обнаружил Нептун в указанном месте. Нептун стал первой планетой, открытой с помощью математических расчетов, а не прямых наблюдений.

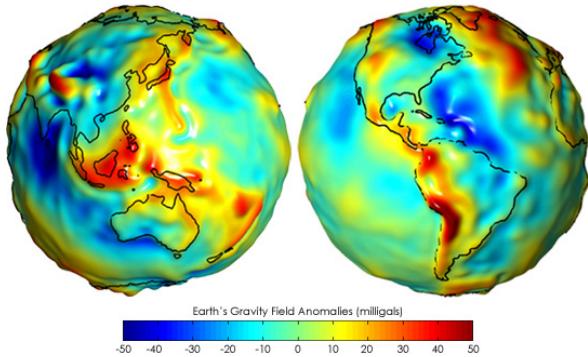


Рис. 7: Геоид с увеличенными искажениями и с раскраской, соответствующей гравитационным аномалиям (одна и та же гиря, взвешенная на одних и тех же пружинных весах, будет в «красных местах» тяжелее, а в «синих местах» — легче).

#### 1.2.4 Не инерциальные системы отсчета.

**Определение 1.35** (Сила инерции).  $\vec{F}_u = -m \cdot \vec{a}_{\text{инер}}.$  Для нее нет пары, тк на самом деле этой силы не существует.

### 1.3 Законы сохранения.

#### 1.3.1 Закон сохранения импульса.

**Определение 1.36** (Импульс).  $p = m \cdot V; [p] = \frac{\kappa \cdot m}{c}.$

**Определение 1.37** (Второй закон Ньютона в импульсной форме).  $\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p} \rightarrow \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}.$

**Определение 1.38** (Закон изменения импульса системы).  $\Delta \vec{p}_{\text{сис}} = \vec{F}_{\text{внеш}} \cdot \Delta t.$

**Определение 1.39** (Закон сохранения импульса). Если на систему не действуют внешние силы или их действие скомпенсировано, то импульс системы сохраняется.

### 1.4 Реактивное движение.

$[\mu] = \frac{\kappa r}{c}$  — скорость расхода топлива,  $\vec{u}$  — скорость топлива в системе отсчета ракеты.

ЗСИ:  $M \vec{V} = (M - \mu \Delta t)(\vec{V} + \Delta \vec{V}) + \mu \Delta t(\vec{V} + \vec{u}).$

$$0 = M \Delta \vec{V} - \mu \Delta t \Delta \vec{V} + \mu \vec{u} \Delta t.$$

$$M \Delta \vec{V} = -\mu \vec{u} \Delta t.$$

$$M \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = -\mu \vec{u}.$$

$$M \vec{a} = -\mu \vec{u} = \vec{F}_p.$$

$$\vec{F}_p = -\mu \vec{u} — \text{уравнение Мещерского.}$$

## 1.5 Механическая работа.

**Определение 1.40** (Механическая работа).  $A = Fl \cdot \cos \alpha = (\vec{F}, \vec{l})$ .  $\alpha$  — угол между силой и вектором перемещения.  $[A] = \text{Дж}$ .

**Определение 1.41** (Мощность).  $P = \frac{A}{t} = FV \cdot \cos \alpha = (\vec{F}, \vec{V})$ .  $[P] = \text{Вт}$ .

**Определение 1.42** (Работа силы упругости).  $A = -\Delta E_n = -\frac{k(\Delta x)^2}{2}$ .

## 1.6 Механическая энергия.

**Определение 1.43** (Кинетическая энергия).  $E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}$ .  $A = \Delta E_k$ .

**Определение 1.44** (Потенциальная энергия).  $E_n = mgh$ .  $A_{mg} = -\Delta E_n$ .

**Определение 1.45** (Консервативные силы). Силы, работа которых зависит от начального и конечного положения и не зависит от пройденного пути называются консервативными.

**Определение 1.46** (Закон сохранения энергии).  $\frac{m \cdot V^2}{2} + mgh = \text{const}$ . В замкнутой системе, в которой отсутствуют не консервативные силы, энергия сохраняется. Если внешние силы действуют, то изменение механической энергии равно работе внешних сил.

## 1.7 Потенциальная энергия силы тяготения.

$$E_{\text{н}} = \frac{GM_1 M_2}{R}$$

## 1.8 Статика абсолютно упругого тела.

**Определение 1.47.** Плечо — кратчайшее расстояние от оси вращения тела до линии действия силы.

**Определение 1.48.** Момент силы — произведение силы на плечо.  $M \text{Нм} = FH \cdot d \text{м}$ .

**Определение 1.49.** Условия покоя абсолютно упругого тела:

$$1. \sum \vec{F} = 0$$

2. Сумма всех моментов с учетом знака равна 0  $\Leftrightarrow$  сумма всех моментов, которые врачают по часовой стрелке, равна сумме всех моментов, врачающих по часовой стрелке.

**Определение 1.50** (Формула координаты центра масс).  $x_c = \frac{\sum_i m_i x_i}{m} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$ .  $y_c = \frac{\sum_i m_i y_i}{m} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}$ .  
 $z_c = \frac{\sum_i m_i z_i}{m} = \frac{\sum_i m_i z_i}{\sum_i m_i}$ .  $\vec{r}_c = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{m} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$ .

**Определение 1.51.** Виды равновесий.

- Устойчивое — положение равновесия, при выводе из которого возникает "возвращающая" сила, которая возвращает его в изначальное положение. Равнодействующая сила возвращает.
- Неустойчивое — положение равновесия, при выводе из которого тело не возвращается в изначальное положение. Равнодействующая сила не возвращает.
- Безразличное — равнодействующая сила равна 0.

**Определение 1.52** (КПД).  $\eta = \frac{A_{нов}}{A_{зам}} \cdot 100\%$ .

**Теорема 1.1** (О движении центра масс). Центр масс тела движется таким образом, как будто он точка массой  $m_{общ}$  и все силы приложены к этой точке.

$$\text{Доказательство. } \frac{\Delta(\Delta m_i \vec{V}_i)}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}_i}{\Delta t} = \sum_{i+k} \vec{F}_{ik} + \sum_i \vec{F}_{внеш}$$

$$\frac{\sum_i \Delta \Delta m_i \vec{V}_i}{\Delta t} = \vec{F}_{внеш}$$

$$\frac{\Delta \sum_i \Delta m_i \vec{V}_i}{\Delta t} = \vec{F}_{внеш}$$

$$r'_c = V_c = \frac{\sum_i \Delta m_i V_i}{m}$$

$$\Delta \frac{m \vec{V}_c}{\Delta t} = \vec{F}_{внеш}$$

$$m \vec{a}_c = \vec{F}_{внеш}$$

⇒ Если внешних сил не действует, то центр масс покоятся, если покоился, или движется по инерции, если двигался по инерции. □

## 1.9 Основное уравнение динамики вращательного движения.

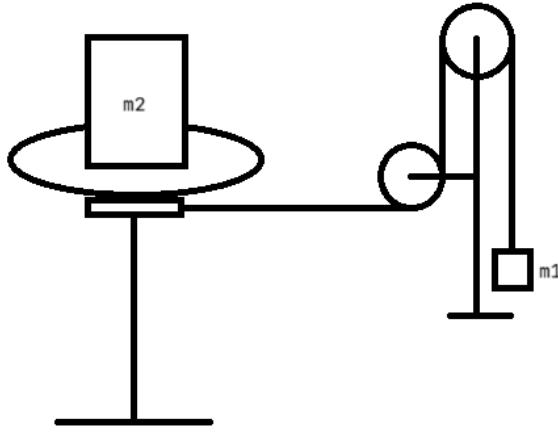


Рис. 8: Опыт уравнение вращательного движения.

Угловое ускорение  $\beta$  пропорционально моменту сил  $M$ .

**Определение 1.53** (Момент инерции).  $I\beta = \sum M$ . Для точечного тела  $I = mR^2$ , для других тел находится интегрированием.  $[I] = \text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

## 1.10 Энергия вращательного движения тела.

$$E = \sum_i \frac{m_i V_i^2}{2} = \sum_i \frac{m_i (\omega \cdot r_i)^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum_i m_i r_i^2 = \frac{I\omega^2}{2}$$

## 1.11 Теорема Гюйгенса-Штейнера.

**Теорема 1.2** (Гюйгенса-Штейнера). *Момент инерции  $I$  тела относительно произвольной неподвижной точки оси равен сумме момента инерции этого тела  $I_c$  относительно параллельной ей оси, проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела  $m$  на квадрат расстояния  $d$  между осями.  $I = I_c + md^2$ .*

## 1.12 Закон сохранения момента импульса.

$$M = I\beta = I\frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

$$M\Delta t = I\omega - I\omega_0$$

$$L = I\omega \text{ — момент импульса. } [L] = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$L = I\omega = mr^2\frac{V}{r} = p \cdot r$$

$$M\Delta t = \Delta L$$

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} \Rightarrow \text{если } M = 0, \text{ то } L = \text{const.}$$

## 1.13 Колебания.

**Определение 1.54.** Колебания — движения, которые с той или иной точностью повторяющиеся во времени.

Колебания бывают:

- Свободные. Происходят под действием только первоначального запаса энергии.

Условия свободных колебаний:

1. Могут быть только в колебательных системах.
2. Силы трения малы.

- Вынужденные. Колебания при которых мы помогаем системе колебаться.

- Автоколебания. Система, у которой есть собственная энергия, которую она может расходовать на восполнение потраченной энергии.

**Определение 1.55.** Величины, характеризующие колебание:

**Определение 1.56.** Период — промежуток времени, через который движение повторяется.  $T, [T] = \text{секунды}$ .

**Определение 1.57.** Частота — обратна величина к периоду, измеряется в Гц, обозначается  $\nu$ .

**Определение 1.58.** максимальное отклонение от положения равновесия. Обозначается  $A/X_{max}/a_{max}$ . За период тело проходит 4 амплитуды.

**Определение 1.59.** Фаза колебания — где колебания в данный момент, что с ними происходит. Синфазные колебания — одинаковые, противофазные — разные.

**Определение 1.60.** Гармонические колебания — колебания, где возвращающая сила пропорциональна смещению от положения равновесия, взятого с обратным знаком.

График колебательного движения — синусоида.

Формула гармонических колебаний. Толкнули:  $x = A \sin(\frac{2\pi}{T}t)$ ; отпустили:  $x = A \cos(\frac{2\pi}{T}t)$ .

Формула периода для математического маятника:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ .

Формула периода для пружинного маятника:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ .

**Резонанс** — частота установившихся вынужденных колебаний, равна частоте вынужденной силе.

## 1.14 Механические волны.

**Бегущая волна** — возмущение, распространяющееся в пространстве, удаляясь от своего начального положения.

Будем проходить только упругие бегущие волны, в частности — звук.

Типы волн:

- **Продольные** — линия колебания совпадает с линией распространения волны. Пример: звук.
- **Поперечные** — линия колебания перпендикулярна линии распространения волны.

**Длина волны** — расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися синфазно. Определение номер 2: расстояние на которое распространилась волна за один период.  $\lambda = VT$ .

### 1.14.1 Звук.

**Звуковая волна** — это передающиеся в пространстве механические колебания молекул вещества (например, воздух).

Человеческое ухо воспринимает частоты от 16 до 20000 Гц. Колебания в этом диапазоне называются звуковыми. Мы можем говорить примерно от 50 до 7000+ Гц (рекорды).

**Ультразвук** — звуковая волна с частотой больше 20000 Гц.

**Инфразвук** — звуковая волна с частотой меньше 16 Гц.

Звуку для распространения нужна среда. В вакууме звука нет.

**Тембор** — совокупность обертонов.

## 1.15 Электромагнитные волны.

Цепь из заряженного конденсатора и катушки является колебательной системой и называется простейшим колебательным контуром.

**Электромагнитная волна** — чередование электрического и магнитного поля.

## 1.16 Гидростатика.

**Давление.**  $p = \frac{F}{S}$ . [p] = Па.

**Давление столба жидкости.**  $p = \rho gh$ .

Давления на все стороны равны.

**Сила Архимеда.** Суммарная сила действия всех сил давления.  $F_{\text{апx}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{пог}}$ .

## 1.17 Гидродинамика.

Течение:

- Ламинарное.
- Турбулентное (не умеем его описывать).

**Уравнение неразрывности струи (для несжимаемой жидкости).**  $S_1 V_1 = S_2 V_2$ .

**Закон Бернулли.**  $p_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 = p_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 = \text{const}$ .

**Скорость воды с помощью двух сапожков.**  $V = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}$ .

## 1.18 Вязкое трение.

$$F = \frac{\eta VS}{h}, [\eta] = \frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}}.$$

## 2 Молекулярно-кинетическая теория.

**Определение 2.1.** Точечное тело — тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с другими размерами в задаче.

**Определение 2.2.** Молекула — мельчайшая частица вещества, сохраняющая химические свойства вещества.

**Определение 2.3.** Молекулярно-кинетическая теория — раздел физики, объясняющий свойства макроскопических тел и тепловых процессов, протекающих в них, на основе представления о том, что тела состоят из отдельных беспорядочно движущихся частиц.

**Определение 2.4.** Три основных положения МКТ.

- Все вещества состоят из молекул и атомов.
- Эти частицы находятся в непрерывно хаотичном движении.
- Между молекулами и атомами существуют силы притяжения и отталкивания.

### 2.1 Тепловые явления.

**Определение 2.5.** Тепловые явления — явления, которые связанные с изменениями температуры.

**Определение 2.6.** Тепловое движение — беспорядочное движение молекул.

**Определение 2.7.** Термодинамика — теория тепловых явлений, в которых не учитывается молекулярное строение тел.

**Определение 2.8** (Масса частиц). Относительная молекулярная масса:  $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0C}} = a\text{ем.}$

**Определение 2.9.** Один моль ( $\nu$ ) — количество вещества в котором содержится столько же молекул или атомов, сколько атомов содержится в углероде массой 12 г.

**Определение 2.10** (Число Авогадро). Количество атомов в одном моле вещества.  $N_a = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .  $\nu = \frac{N}{N_a}$ .

**Определение 2.11.** Молярная масса — масса одного моля вещества.

### 2.2 Идеальный газ. Основное уравнение МКТ.

**Определение 2.12.** Идеальный газ — газ, взаимодействием молекул которого можно пренебречь.

- Суммарный объем всех молекул пренебрежимо мало по сравнению с объемом сосуда.
- Удары об сосуд абсолютно упругие, без диффузии.
- Время удара много меньше времени свободного пробега.
- Нет дальнодействующего взаимодействия.

**Определение 2.13** (Основное уравнение МКТ.).  $p = \frac{1}{3}m_0n\overline{V^2}$ .

**Следствие 2.1** (Основное уравнение МКТ в энергетической форме).  $p = \frac{2}{3}n\overline{E}$ .

## 2.3 Температура.

**Определение 2.14** (Формула связи средней кинетической энергии молекулы с температурой).  $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$ ,  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ .

**Определение 2.15** (Формула среднеквадратичной скорости молекул).  $\bar{V^2} = \frac{3kT}{m}$ .

## 2.4 Уравнение Менделеева-Клапейрон. Изопроцессы

$$p = nkT = \frac{N}{V}kT = \frac{N_a \nu kT}{V}. N_a \cdot k = 6.02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \Leftrightarrow R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} — \text{универсальная газовая постоянная.}$$

**Определение 2.16** (Уравнение Менделеева-Клапейрон).  $pV = \nu RT$ .

Изопроцесс	Const	Закон	График
Изотермический	$T$	$p_1V_1 = p_2V_2$ ; Закон Бойля-Мариотта	Гипербола ( $P$ от $V$ ); Вертикальная палка ( $P$ от $T$ ); Вертикальная палка ( $V$ от $T$ )
Изохорный	$V$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ ; Закон Шарля	Вертикальная палка ( $P$ от $V$ ); Прямая ( $P$ от $T$ ); Горизонтальная палка ( $V$ от $T$ )
Изобарный	$p$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	Горизонтальная палка ( $P$ от $V$ ); Горизонтальная палка ( $P$ от $T$ ); Прямая ( $V$ от $T$ )

## 2.5 Распределение Maxwell'a.

**Определение 2.17** (Функция распределения Maxwell'a).  $\Delta N = N \cdot f(\mathcal{V}_x, \mathcal{V}_y, \mathcal{V}_z) \cdot \Delta \mathcal{V}_x \Delta \mathcal{V}_y \Delta \mathcal{V}_z$ .

**Определение 2.18** (Функция распределения по вектору скорости).  $f(\mathcal{V}_x, \mathcal{V}_y, \mathcal{V}_z) =$

$$= \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{m_0(\mathcal{V}_x^2 + \mathcal{V}_y^2 + \mathcal{V}_z^2)}{2kT}} — \text{плотность вероятности.}$$

**Определение 2.19** (Распределение по модулю скорости).  $\Delta N = N \cdot 4\pi \mathcal{V}^2 \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{m_0 \mathcal{V}^2}{2kT}} \cdot \Delta \mathcal{V}$ .

**Определение 2.20** (Наиболее вероятная скорость).  $\mathcal{V} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$ .

## 2.6 Реальные газы.

**Определение 2.21** (Приближение Van der Waals). *Van der Waals в 1873 году сказал, что нужно дописать что-то в уравнение Менделеева-Клапейрона, чтобы приблизить ситуацию к реальным газам. Сейчас его приближение уже не используют. Он заметил, что молекулы движутся не по всему объему, так как есть другие молекулы, а точнее по объему сосуда без объема других молекул и запрещенного объема других молекул. Далее он решил учесть, что молекулы притягиваются друг к другу. И получилось уравнение Van der Waals:  $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = \nu RT$ ,  $b = 4NV_0$ .*

## 2.7 Агрегатные состояния и фазовые переходы.

**Определение 2.22.** *Фаза — равновесное состояние, которое по своим свойствам отличается от других равновесных состояний. Газообразная фаза у тела всего одна.*

**Определение 2.23.** *Критическое состояние — точка, в которой две фазы, находящиеся в термодинамическом равновесии, становятся тождественными по своим свойствам.*

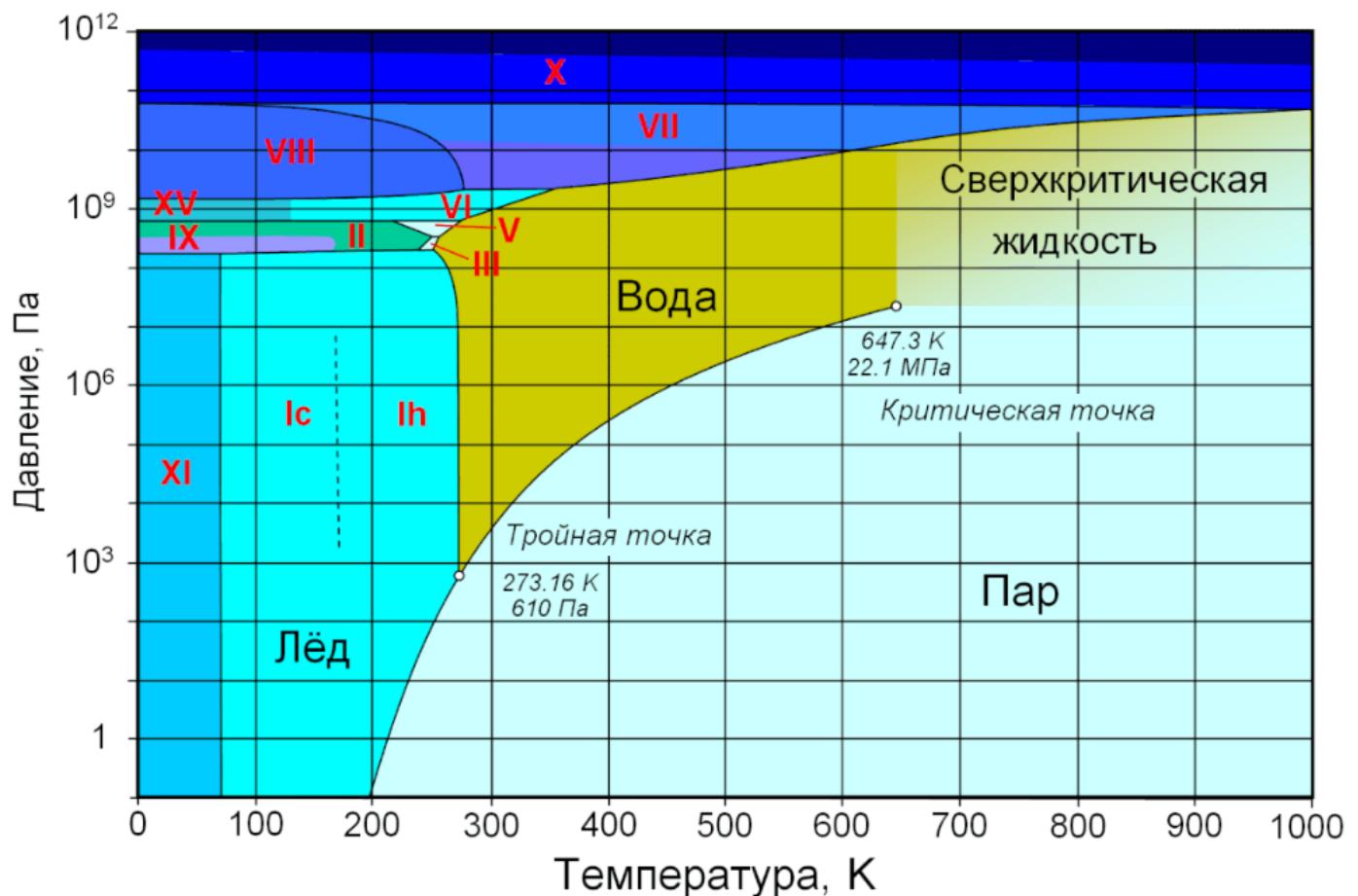


Рис. 9: Фазовая диаграмма воды.

## 2.8 Изотермы реального газа.

### 2.8.1 Зависимость скорости испарения.

Скорость испарения зависит от:

- Рода жидкости.
- Температуры.
- Площади поверхности.
- Давления.
- Влажности воздуха.

## 2.8.2 Виды пара.

**Определение 2.24** (Насыщенный пар). *Состояние, когда скорость испарения равна скорости конденсации. Концентрация, плотность и давление не зависят от объема.*

**Определение 2.25** (Ненасыщенный пар). *Скорость испарения больше скорости конденсации.*

**Определение 2.26** (Перенасыщенный пар). *Скорость испарения меньше скорости конденсации.*

## 2.8.3 Изотермы Эндрюса.

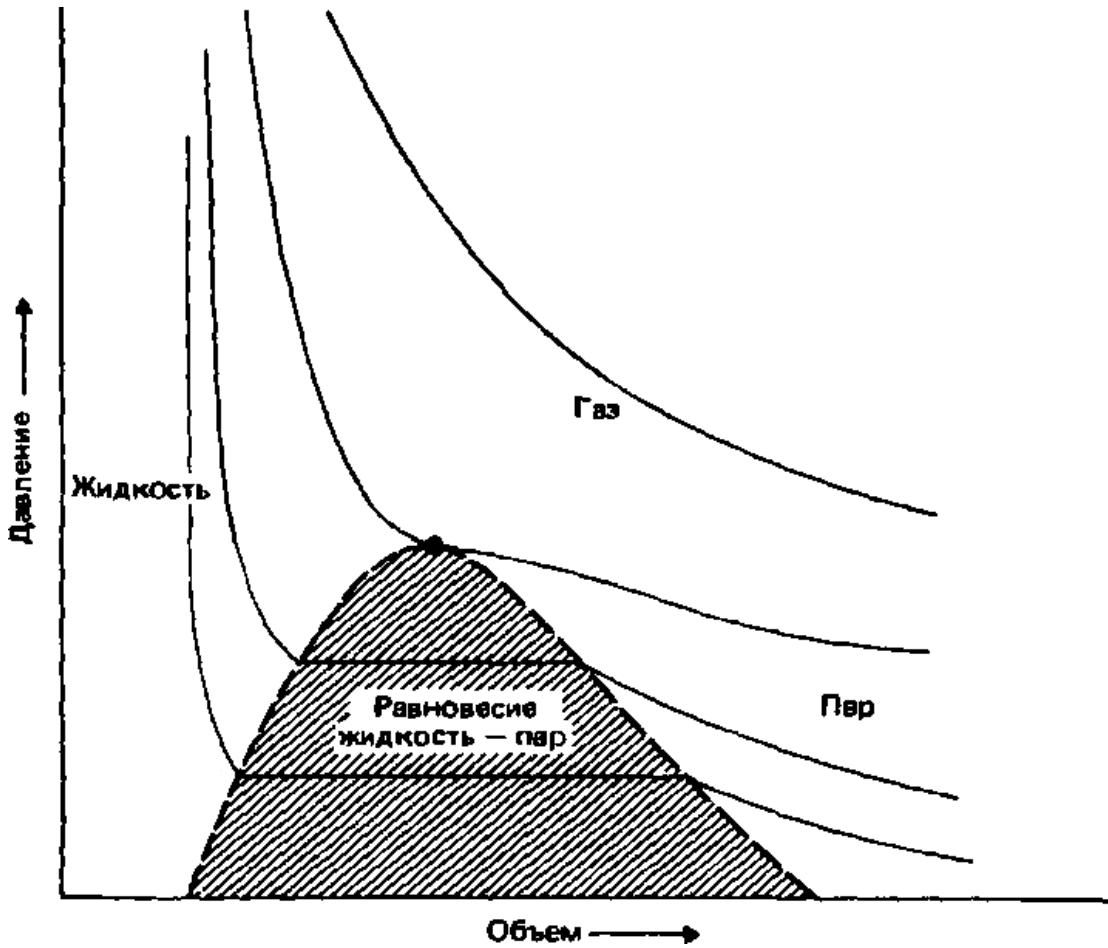


Рис. 10: Изотермы Эндрюса.

## 2.8.4 Абсолютная плотность воздуха и относительная влажность.

**Определение 2.27** (Абсолютная плотность воздуха).  $\rho_{abc} = \frac{m_{H_2O}}{V}$ .

**Определение 2.28** (Относительная влажность).  $\varphi = \frac{\rho_{abc}}{\rho_{hn(t)}} \cdot 100\% = \frac{p_{H_2O}}{p_{hn(t)}} \cdot 100\%$ .

## 3 Термодинамика.

**Определение 3.1** (Внутренняя энергия,  $U$  Дж). *Суммарная кинетическая энергия молекул + потенциальная энергия их взаимодействия. В идеальном газе только суммарная кинетическая энергия.  $U = N \cdot \bar{E} = N_A \nu \cdot \frac{3}{2} K T = \frac{3}{2} \nu R T$  – внутренняя энергия одноатомного идеального газа.*

**Определение 3.2** (Степень свободы газа,  $i$ ). Степени свободы газов — характеристики движения механической системы. Число степеней свободы определяет минимальное количество независимых переменных (обобщённых координат), необходимых для полного описания состояния механической системы.

- Одноатомный газ:  $i = 3$ .
- Двухатомный газ:  $i = 5$ .
- Многоатомный газ:  $i = 6$ .

Формула выглядит вот так:  $U = \frac{i}{2}\nu RT$ .

**Определение 3.3** (Работа газа).  $A = p \cdot \Delta V$ . Численно равна площади под графиком в  $p(\Delta V)$  координатах.

### 3.1 Теплопередача.

**Определение 3.4** (Теплопередача). Передача энергии без совершения работы.

Три способа теплопередачи:

- Конвекция — перемещение и перемешивание теплых слоев жидкостей и газов.
- Теплопроводность — проводимость энергии от более нагретой части тела к менее нагретой путем хаотичного колебания частиц тела.
- Излучение — поток фотов/электромагнитная волна. Также происходит в вакууме, в отличии от других способов.

### 3.2 Первое начало термодинамики.

$$U_1 + Q + A_{\text{над телом}} = U_2 \Leftrightarrow Q = -A_{\text{над телом}} + \Delta U \Leftrightarrow Q = A_{\text{тела}} + \Delta U.$$

Процесс	Первое начало	Комментарий
Изохорный, $V = const$	$Q = \Delta U = \frac{i}{2}\nu R \Delta T$	$A_{\text{тела}} = 0; \uparrow T \rightarrow \uparrow U \Rightarrow \Delta U > 0$
Изотермический, $T = const$	$Q = A_{\text{тела}}$	$T = const, T_1 = T_2 \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0. \uparrow V \Rightarrow A_{\text{тела}} > 0 \Rightarrow Q > 0$
Изобарный, $p = const$	$Q = A_{\text{тела}} + \Delta U = p \Delta V + \frac{i}{2}\nu R \Delta T = p \Delta V + \frac{i}{2}p \Delta V = (1 + \frac{i}{2})p \Delta V = (1 + \frac{i}{2})\nu R \Delta T$	$T \uparrow, \Delta U = \frac{i}{2}\nu R T = \frac{i}{2}\Delta(pV) = \frac{i}{2}p \Delta V$
Адиабатный	$0 = A_{\text{тела}} + \Delta U$	Либо в термосе, либо очень быстро. $Q = 0. A_{\text{тела}} > 0, V \uparrow; \Delta U < 0, T \downarrow$

### 3.3 Теплоемкость.

**Определение 3.5** (Теплоемкость).  $c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{A + \Delta U}{m\Delta T}$

1. Изохорный процесс.

$$V = \text{const} \Rightarrow A = 0$$

$$c = \frac{\Delta U}{m\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}\nu R\Delta T}{\nu M\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}R}{M}$$

$$c_{M_V} = c \cdot M = \frac{iR}{2}$$

2. Изобарный процесс.

$$p = \text{const}$$

$$c = \frac{\Delta U + A}{m\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}R\Delta T\nu + p\Delta V}{m\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}R\Delta T\nu + \nu R\Delta T}{m\Delta T} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \frac{R}{M}$$

$$c_{M_p} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R = c_{M_V} + R - \text{соотношение Майера.}$$

$$\gamma = \frac{c_{M_p}}{c_{M_V}} = \frac{i+2}{i} - \text{коэффициент Пуассона.}$$

3. Изотермический процесс.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{A}{m\Delta T}$$

$$T = \text{const} \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow c \rightarrow \infty$$

4. Адиабатный процесс.

$$Q = 0$$

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = 0$$

### 3.4 Адиабатный процесс.

**Определение 3.6.** Адиабатный процесс — процесс, при котором не подводится тепло.

**Утверждение 3.1.**  $pV^\gamma = \text{const.}$

### 3.5 Необратимость процессов.

**Определение 3.7.** Тепловая машина — устройство, которое превращает тепло в работу.

#### 3.5.1 Второе начало термодинамики.

**Определение 3.8** (Формулировка Клаузиуса). Невозможен процесс единственным результатом которого будет переход тепла от холодного тела к горячему.

**Определение 3.9** (Формулировка Кельвина). Невозможен циклический процесс, единственным результатом которого будет полное преобразование тепла в работу.

### 3.6 Тепловые машины.

**Определение 3.10** (КПД).  $\eta = \frac{A}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_x}{Q_h} = 1 - \frac{Q_x}{Q_h}$ .

### 3.6.1 Теорема Карно.

**Определение 3.11.**  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ .

### 3.6.2 Холодильный коэффициент.

**Определение 3.12.**  $\xi = \frac{Q_x}{A} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ .

## 4 Поверхностное натяжение.

**Определение 4.1** (Энергия поверхностного натяжения).  $W_{\text{пов}}$ ,  $\mathcal{Дж}$ .

**Определение 4.2** (Коэффициент поверхностного натяжения).  $\sigma = \frac{W_{\text{пов}}}{S}, \frac{\mathcal{Дж}}{м^2}$ .

**Определение 4.3** (Сила поверхностного натяжения).  $F = \sigma P$ ,  $P$  — периметр соприкосновения жидкости.

### 4.1 Капиллярные явления.

**Определение 4.4** (Мениск). Искривленная, за счет поверхностных явлений, поверхность жидкости.

#### 4.1.1 Виды смачиваний.

1. Полное смачивание (угол между жидкостью и поверхностью  $0^\circ$ ).
2. Неполное (угол не  $0^\circ$ ).

**Утверждение 4.1.**  $h = \frac{2\sigma}{\rho gr}$ .

**Определение 4.5** (Избыточное давление Лапласа под искривленной поверхностью).  $p = \frac{2\sigma}{r}$ .

## 5 Тепловое расширение.

**Определение 5.1.** Изотропность — сохранение свойств, в независимости от направления. Анизотропность — изменение свойств, в зависимости от направления.

**Определение 5.2.**  $l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$ ;  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения,  $[\alpha] = \frac{1}{^\circ C}$ .

**Определение 5.3.**  $\beta$  — коэффициент объемного расширения;  $\beta = 3\alpha$ .

**Определение 5.4.**  $\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta \Delta t} \approx \rho_0(1 - \beta \Delta t)$ .

**Определение 5.5** (Механическое напряжение).  $\sigma = \frac{F}{S} = \varepsilon \cdot \frac{k l_0}{S} = E \cdot |\varepsilon|$ .  $[\sigma] = \frac{H}{м^2} = Pa$ .

**Определение 5.6.**  $|\varepsilon| = \frac{|\Delta l|}{l_0}$ .

**Определение 5.7** (Модуль Юнга).  $E = \frac{k l_0}{S}$ .  $[E] = Pa$ .

# 6 Электромагнетизм.

## 6.1 Электричество.

### 6.1.1 Электростатика.

**Определение 6.1** (Заряд,  $q$  Кл). *Отрицательно заряженное тело — избыток электронов, положительно — недостаток. Заряд электрона:  $-1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл; протона аналогичный, но с плюсом.*

**Определение 6.2** (Проводники и диэлектрики). *В проводниках в узлах кристаллической решетки — ионы; в диэлектриках — атомы, без свободных электронов.*

**Закон Кулона.** Кулон открыл, что  $F \sim q_1$ ,  $F \sim q_2$ ,  $F \sim \frac{1}{r^2}$ . Позднее была получена формула:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}, k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2},$$

$k$  — электрическая постоянная,  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость.

Условия для соблюдения закона:

- тела — точечные,
- тела не двигаются.

**Принцип суперпозиции.** Суть принципа суперпозиции не в том, что “можно складывать вектора”, а в том, что наличие других сил не влияет на данную.

### Электрическое поле.

**Определение 6.3** (Электрическое поле). *Особая форма материи, которая окружает электрические заряды и оказывает силовое воздействие на другие заряды, притягивая или отталкивая их, являясь проявлением электромагнитного взаимодействия, описываемого через такие характеристики, как напряженность (векторная величина), потенциал и напряжение, а силовые линии помогают визуализировать его структуру.*

**Определение 6.4** (Напряженность,  $E \frac{\text{В}}{\text{м}}$ ).  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ . Для точечного заряда напряженность равна  $\frac{kQ}{\varepsilon r^2}$ .

**Определение 6.5** (Однородное поле). *Поле, в любой точке которого одинаковы сила и направление этой силы.*

### 6.1.2 Теорема Гаусса.

**Определение 6.6** (Поток вектора напряженности электрического поля,  $\Phi_E \text{ В}\cdot\text{м}$ ).  $\Delta\Phi_E = E \cdot \Delta S \cdot \cos \theta$ , где  $\theta$  — угол между  $\vec{E}$  и  $\vec{n}$ .

**Определение 6.7** (Телесный угол,  $\Omega$  стерадианы (ср)).  $\Omega = \frac{S}{R^2}$ .

**Теорема 6.1.** *Поток вектора напряженности электрического поля для выбранного контура равен  $\Phi_E = 4\pi k \sum q_{внутри}$ .*

### 6.1.3 Поля статичного распределения заряда.

**Определение 6.8** (Поверхностная плотность заряда,  $\sigma \frac{K_L}{M}$ ).  $\sigma = \frac{q}{S}$ .

**Определение 6.9.**  $E = 2\pi k\sigma = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ .

### 6.1.4 Работа сил электрического поля.

**Определение 6.10** (Работа,  $A$  Дж).  $A = Fl \cos \alpha = qEl \cos \alpha$ .

**Утверждение 6.1.**  $E = \frac{F}{q}$ .

**Определение 6.11** (Потенциал,  $\varphi$  В).  $\varphi = \frac{W}{q}$ .

**Утверждение 6.2.**  $\underbrace{\varphi_1 - \varphi_2}_U = El$ .

**Утверждение 6.3.**  $\varphi = \frac{kQ}{r}$ .

**Определение 6.12** (Энергия взаимодействия,  $W$  Дж).  $W = \frac{kQq}{r}$ .