

# Содержание

<b>1</b>	<b>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</b>	<b>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 Максвелла.	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</b>	<b>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

# 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.

$$t = \frac{x}{V_0 \cos \alpha}.$$

$$y = h_0 + V_0 \sin \alpha \frac{x}{V_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha}.$$

$$y = h_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha}.$$

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

$$0 = V_0 \sin \alpha - gt_{\text{падения}}.$$

$$t_{\text{падения}} = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}.$$

$$H_{\max} = h_0 + V_0 \sin \alpha \cdot \frac{V_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2}.$$

$$H_{\max} = h_0 + \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

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

$$0 = h_0 + V_0 \sin \alpha t_{\text{полета}} - \frac{gt_{\text{полета}}^2}{2}.$$

$$\frac{gt_{\text{полета}}^2}{2} - V_0 \sin \alpha t_{\text{полета}} - h_0 = 0.$$

$$t_{\text{полета}} = \frac{V_0 \sin \alpha + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh_0}}{g}.$$

IV. Дальность полета:  $L$ .

$$L = x(t_{\text{полета}}) = V_0 \cos \alpha t_{\text{полета}}.$$

$$L = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

V. Конечная скорость.

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

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  $V_0$ .

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + g\vec{t}.$$

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

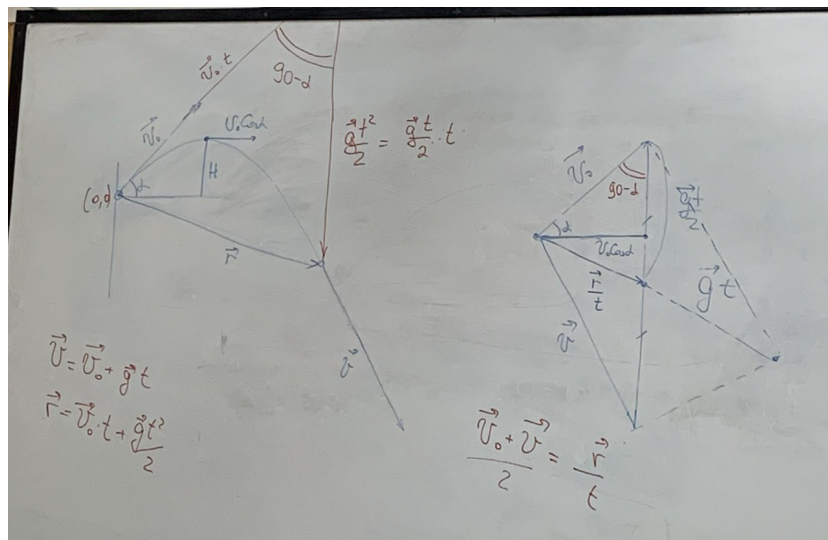


Рис. 1: Треугольник скоростей и путей.

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

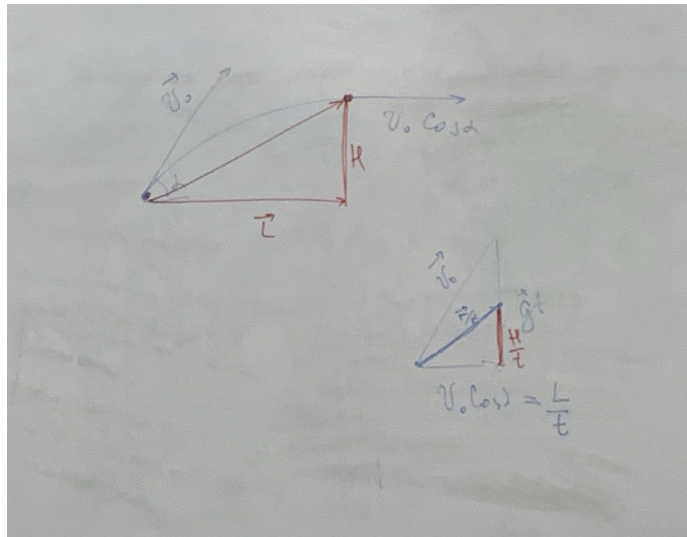


Рис. 2: Треугольник скоростей 2.

#### 1.1.4 Движение по окружности.

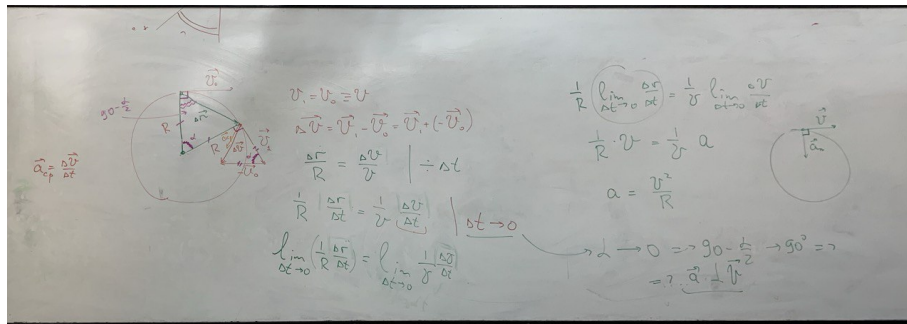


Рис. 3: Движение по окружности.

**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.  $\nu = \frac{1}{T}$ .  $[\nu] = \text{Гц}$ .

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

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

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

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

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

#### 1.1.5 Относительность движение. Преобразование Галилея.

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

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

## 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 покоится.

2.  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ .

Инертность — свойство тела, которое заключается в том, что для изменения скорости тела необходимо время.

3. При взаимодействии 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 электро-магнитную природу. Направленна вдоль поверхности противодействующих поверхностей, против относительной скорости взаимодействия двух тел.

**Определение 1.20.**  $F_{\text{тр}} = N\mu$ ;  $\mu$  — 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.  $F_{\text{упр}} = -k\Delta x$ .

**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).  $\sigma = \frac{F}{S} = \varepsilon \cdot \frac{kl_0}{S} = E \cdot |\varepsilon|$ .  $[\sigma] = \frac{H}{м^2} = Па$ .

**Определение 1.24** (Модуль Юнга).  $E = \frac{kl_0}{S}$ .  $[E] = Па$ .

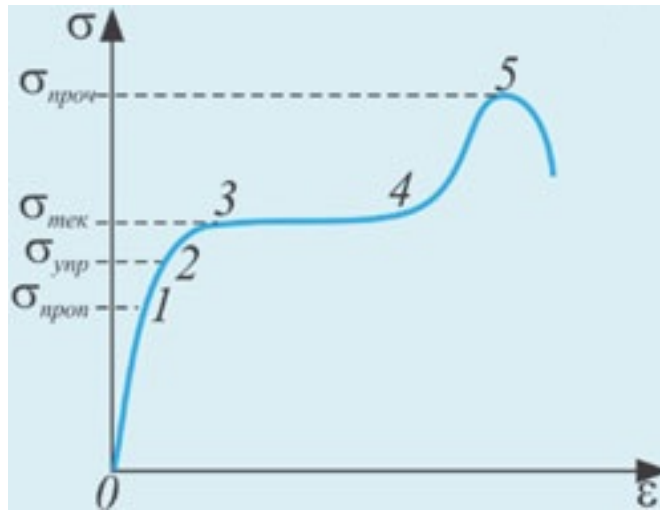


Рис. 4: Диаграмма растяжения

**Коэффициент жесткости.**

**Определение 1.25** (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 1.26.** Исаак Ньютон (1643–1727 г.). Учился в Кэмбридже. Когда он был на 4 курсе, произошла эпидемия чумы и он получил бакалавриат без защиты диплома.

**Определение 1.27.** 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 заметает равные площади.



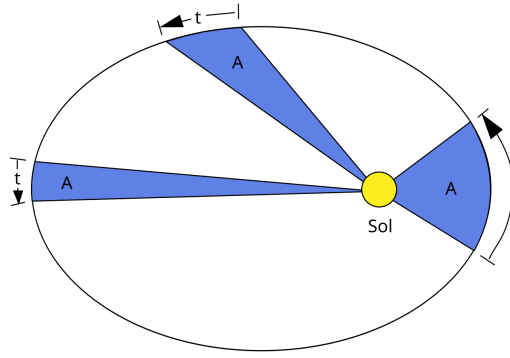


Рис. 5: Второй закон Кеплера.

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

**Определение 1.28** (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 1.29.** Гравитационная масса — масса, входящая в закон всемирного тяготения.

**Определение 1.30.** Инертная масса — масса, входящая во второй закон Ньютона.

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

**Определение 1.31.** Опыт Кавендиша.

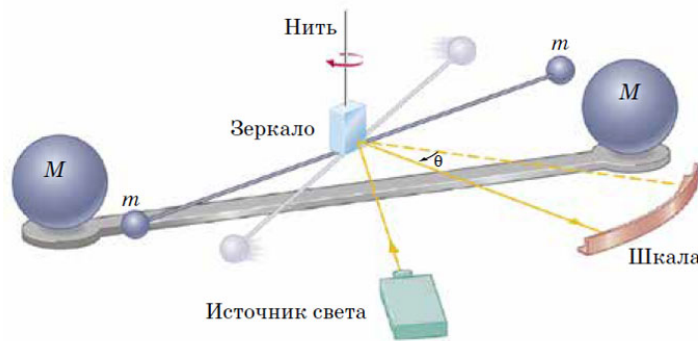


Рис. 6: Опыт Кавендиша\*.

\*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 1.32** (Ускорение свободного падения).  $F = G \frac{Mm}{R^2} \rightarrow G \frac{M}{R^2} = g = 9.8$ .

**Определение 1.33** (Первая космическая скорость). Это минимальная (для данной высоты над поверхностью планеты) горизонтальная скорость, которую необходимо придать объекту, чтобы он совершал 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.

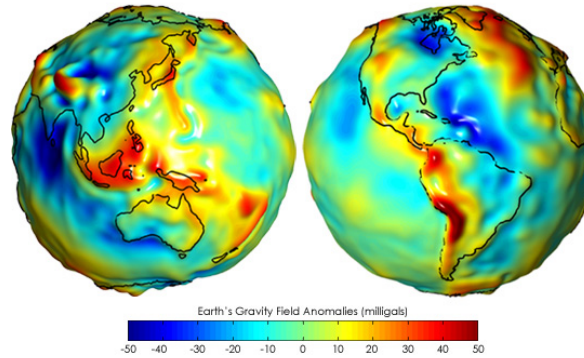


Рис. 7: Геоид с увеличенными искажениями и с раскраской, соответствующей гравитационным аномалиям (одна и та же гиря, взвешенная на одних и тех же пружинных весах, будет в «красных местах» тяжелее, а в «синих местах» — легче).

#### 1.2.4 Не инерциальные системы отсчета.

**Определение 1.34** (Сила инерции).  $\vec{F}_u = -m \cdot \vec{a}_{\text{нер}}$ . Для нее нет пары, тк на самом деле этой силы не существует.

### 1.3 Законы сохранения.

#### 1.3.1 Закон сохранения импульса.

**Определение 1.35** (Импульс).  $p = m \cdot V$ ;  $[p] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ .

**Определение 1.36** (Второй закон Ньютона в импульсной форме).  $\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p} \rightarrow \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ .

**Определение 1.37** (Закон изменения импульса системы).  $\Delta p_{\text{сис}} = F_{\text{внеш}} \cdot \Delta t$ .

**Определение 1.38** (Закон сохранения импульса). Если на систему не действуют внешние силы или их действие скомпенсировано, то импульс системы сохраняется.

### 1.4 Реактивное движение.

$[\mu] = \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  — скорость расхода топлива,  $\vec{u}$  — скорость топлива в системе отсчета ракеты.

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

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

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

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

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

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

## 1.5 Механическая работа.

**Определение 1.39** (Механическая работа).  $A = Fl \cdot \cos \alpha = (\vec{F}, \vec{l})$ .  $\alpha$  — угол между силой и вектором перемещения.  $[A] = \text{Дж}$ .

**Определение 1.40** (Мощность).  $P = \frac{A}{t} = FV \cdot \cos \alpha = (\vec{F}, \vec{V})$ .  $[P] = \text{Вт}$ .

**Определение 1.41** (Работа силы упругости).  $A = -\Delta E_n = -\frac{k(\Delta x)^2}{2}$ .

## 1.6 Механическая энергия.

**Определение 1.42** (Кинетическая энергия).  $E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}$ .  $A = \Delta E_k$ .

**Определение 1.43** (Потенциальная энергия).  $E_n = mgh$ .  $A_{mg} = -\Delta E_n$ .

**Определение 1.44** (Консервативные силы). Силы, работа которых зависит от начального и конечного положения и не зависит от пройденного пути называется консервативными.

**Определение 1.45** (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.

$$E_n = \frac{GM_1 M_2}{R}$$

## 1.8 Статика абсолютно упругого тела.

**Определение 1.46.** Плечо — кратчайшее расстояние от оси вращения тела до линии действия силы.

**Определение 1.47.** Момент силы — произведение силы на плечо.  $M_{Hm} = FH \cdot d_m$ .

**Определение 1.48.** Условия покоя абсолютно упругого тела:

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

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

**Определение 1.49** (Формула координаты центра масс).  $x_c = \frac{\sum_i m_i x_i}{m} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$ .  $y_c = \frac{\sum_i m_i y_i}{m} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}$ .

$$z_c = \frac{\sum_i m_i z_i}{m} = \frac{\sum_i m_i z_i}{\sum_i m_i}, \quad \vec{r}_c = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{m} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}.$$

**Определение 1.50.** 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 1.51** (КПД).  $\eta = \frac{A_{пол}}{A_{зам}} \cdot 100\%$ .

**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.*

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

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

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

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

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

$$m \vec{a}_c = \vec{F}_{внеш}$$

$\Rightarrow$  Если внешних сил не действует, то центр масс покоится, если покоился, или движется по инерции, если двигался по инерции.  $\square$

## 1.9 Основное уравнение динамики вращательного движения.

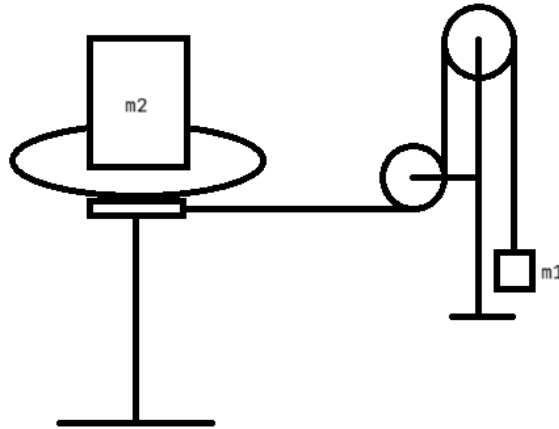


Рис. 8: Опыт уравнение вращательного движения.

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

**Определение 1.52** (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 1.53.** 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 1.54.** Величины, характеризующие колебание:

**Определение 1.55.** Период — промежуток времени, через который движение повторяется.  $T$ ,  $[T] = \text{секунды}$ .

**Определение 1.56.** Частота — обратна величина к периоду, измеряется в Гц, обозначается  $\nu$ .

**Определение 1.57.** максимальное отклонение от положения равновесия. Обозначается  $A/X_{\max}/a_{\max}$ . За период тело проходит 4 амплитуды.

**Определение 1.58.** Фаза колебания — где колебания в данный момент, что с ними происходит. Синфазные колебания — одинаковые, противофазные — разные.

**Определение 1.59.** 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 силы.

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

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

Давления на все стороны равны.

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

## 1.17 Гидродинамика.

Течение:

- Ламинарное.
- Турбулентное (не умем 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.

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

## 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 связаны с изменениями температуры.

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

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

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

**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 мал по сравнению с объемом сосуда.
- Удары об сосуд абсолютно упругие, без диффузии.
- Время удара много меньше времени свободного пробега.
- Нет дальнего действующего 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

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

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

Изопроцесс	Const	Закон	График
Изотермический	$T$	$p_1 V_1 = p_2 V_2$ ; 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 Максвелла.

**Определение 2.17** (Функция распределения Максвелла).  $\Delta N = N \cdot f(v_x, v_y, v_z) \cdot \Delta v_x \Delta v_y \Delta v_z$ .

**Определение 2.18** (Функция распределения по вектору скорости).  $f(v_x, v_y, v_z) = \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{m_0(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}}$  — плотность вероятности.

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

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

## 2.6 Реальные газы.

**Определение 2.21** (Приближение Ван дер Вальса). Ван дер Вальс 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 Ван дер Вальса:  $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = \nu RT$ ,  $b = 4NV_0$ .



## 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.

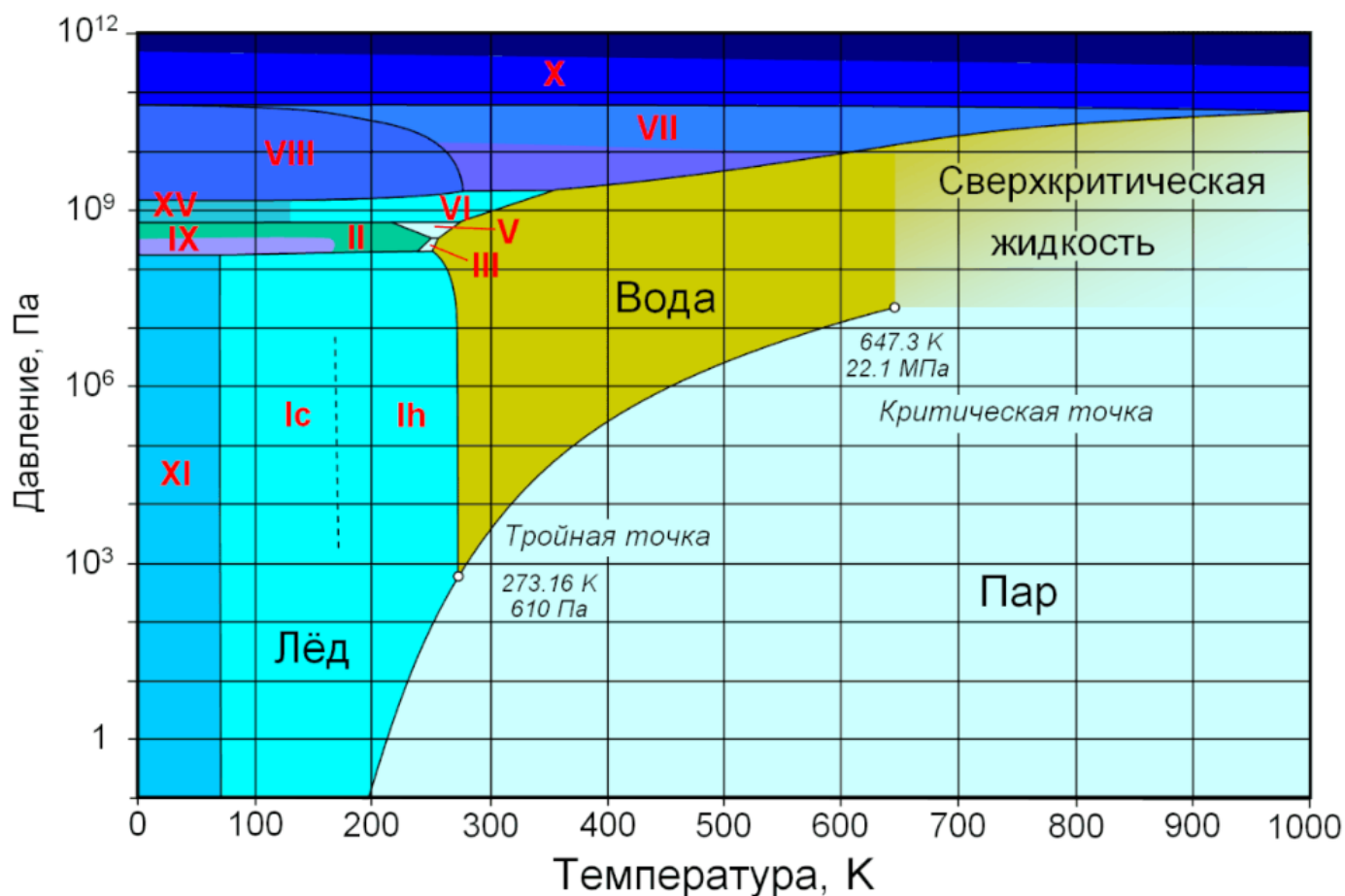


Рис. 9: Фазовая диаграмма воды.

## 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.

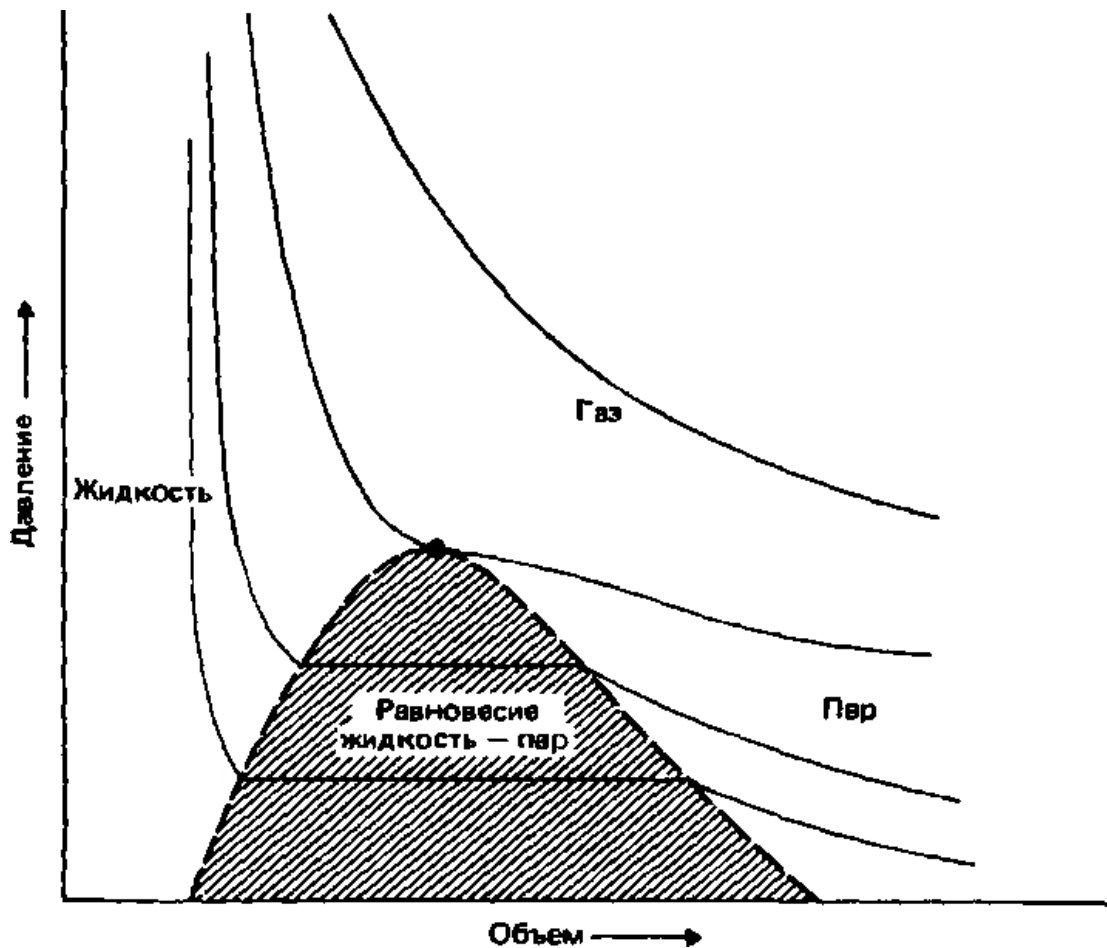


Рис. 10: Изотермы Эндрюса.

### 2.8.4 Абсолютная плотность воздуха и относительная влажность.

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

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

## 3 Термодинамика.

**Определение 3.1** (Внутренняя энергия,  $U$  Дж). *Суммарная кинетическая энергия молекул + потенциальная энергия их взаимодействия. В идеальном газе только суммарная кинетическая энергия.  $U = N \cdot \bar{E} = N_A \nu \cdot \frac{3}{2} KT = \frac{3}{2} \nu RT$  — 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 фотонов/электромагнитная волна. Также происходит в вакууме, в отличие 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, $V = \text{const}$	$Q = \Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T$	$A_{\text{тела}} = 0$ ; $\uparrow T \rightarrow \uparrow U \Rightarrow \Delta U > 0$
Изотермический, $T = \text{const}$	$Q = A_{\text{тела}}$	$T = \text{const}, T_1 = T_2 \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$ . $\uparrow V \Rightarrow A_{\text{тела}} > 0 \Rightarrow Q > 0$
Изобарный, $p = \text{const}$	$Q = A_{\text{тела}} + \Delta U = p\Delta V + \frac{i}{2}\nu R\Delta T = p\Delta V + \frac{i}{2}p\Delta V = (1 + \frac{i}{2})p\Delta V = (1 + \frac{i}{2})\nu R\Delta T$	$T \uparrow, \Delta U = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{i}{2}\Delta(pV) = \frac{i}{2}p\Delta V$
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.

$$V = const \Rightarrow A = 0$$
$$c = \frac{\Delta U}{m\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}\nu R\Delta T}{\nu M\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}R}{M}$$
$$c_{M_V} = c \cdot M = \frac{iR}{2}$$

2. Изобарный процесс.

$$p = const$$
$$c = \frac{\Delta U + A}{m\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}R\Delta T\nu + p\Delta V}{m\Delta T} = \frac{\frac{i}{2}R\Delta T\nu + \nu R\Delta T}{m\Delta T} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \frac{R}{M}$$
$$c_{M_p} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R = c_{M_V} + R - \text{соотношение Майера.}$$
$$\gamma = \frac{c_{M_p}}{c_{M_V}} = \frac{i+2}{i} - \text{коэффициент Пуассона.}$$

3. Изотермический процесс.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{A}{m\Delta T}$$
$$T = const \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow c \rightarrow \infty$$

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.**  $pV^\gamma = const$ .

### 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).  $\eta = \frac{A}{Q_n} = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}$ .

### 3.6.1 Теорема Карно.

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

### 3.6.2 Холодильный коэффициент.

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