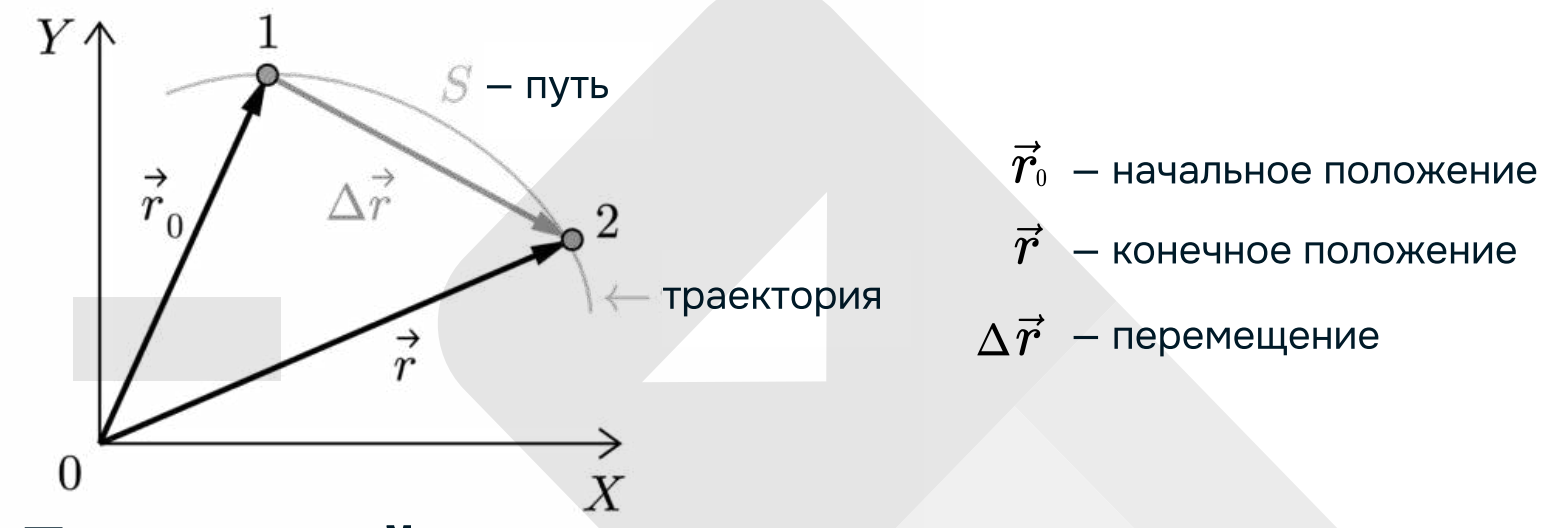


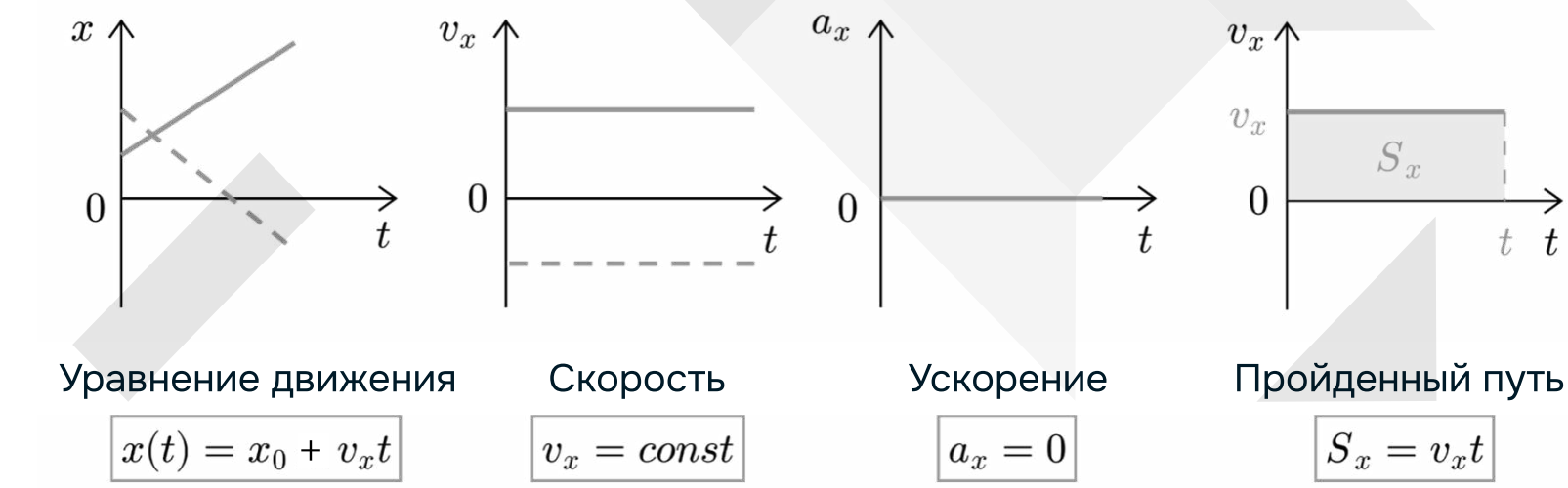
**Кинематика**

**Материальная точка** – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи

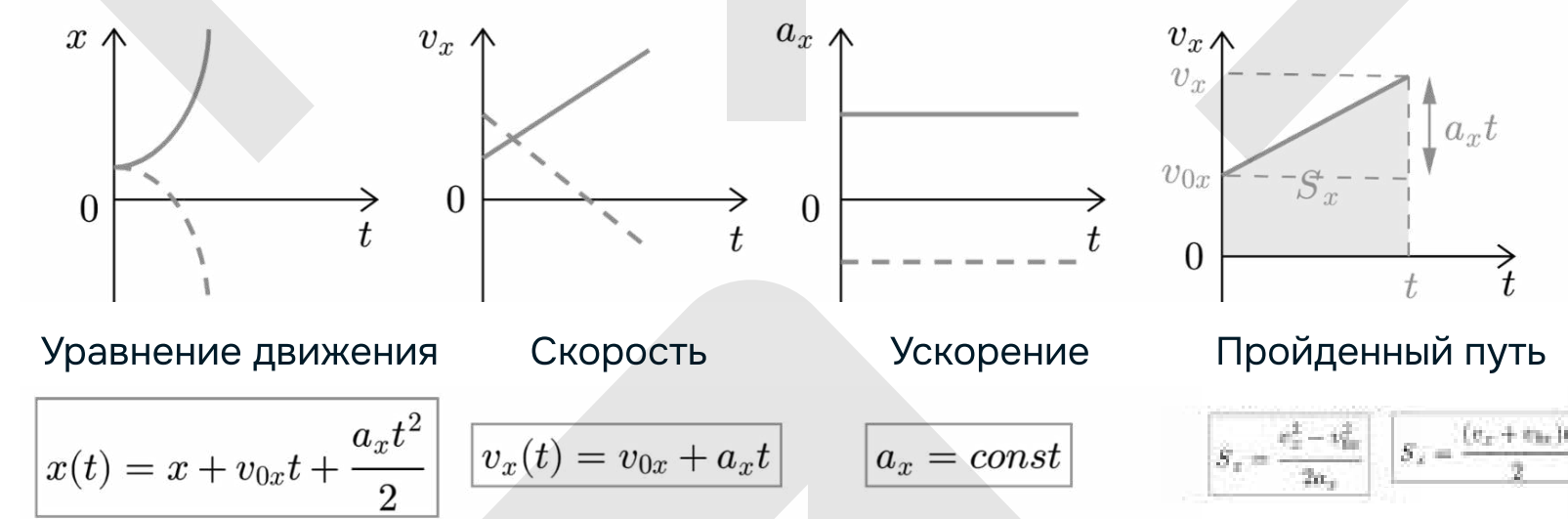
**Система отсчета** – тело отсчета вместе с жестко связанной с ним системой координат и часами



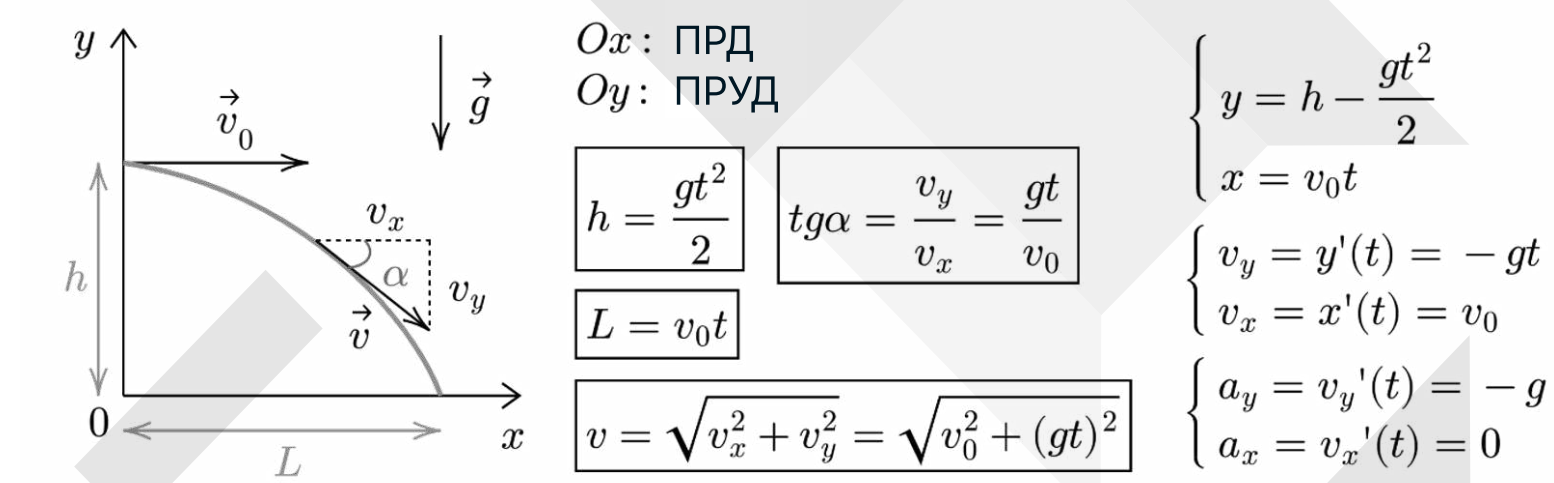
**Прямолинейное равномерное движение**



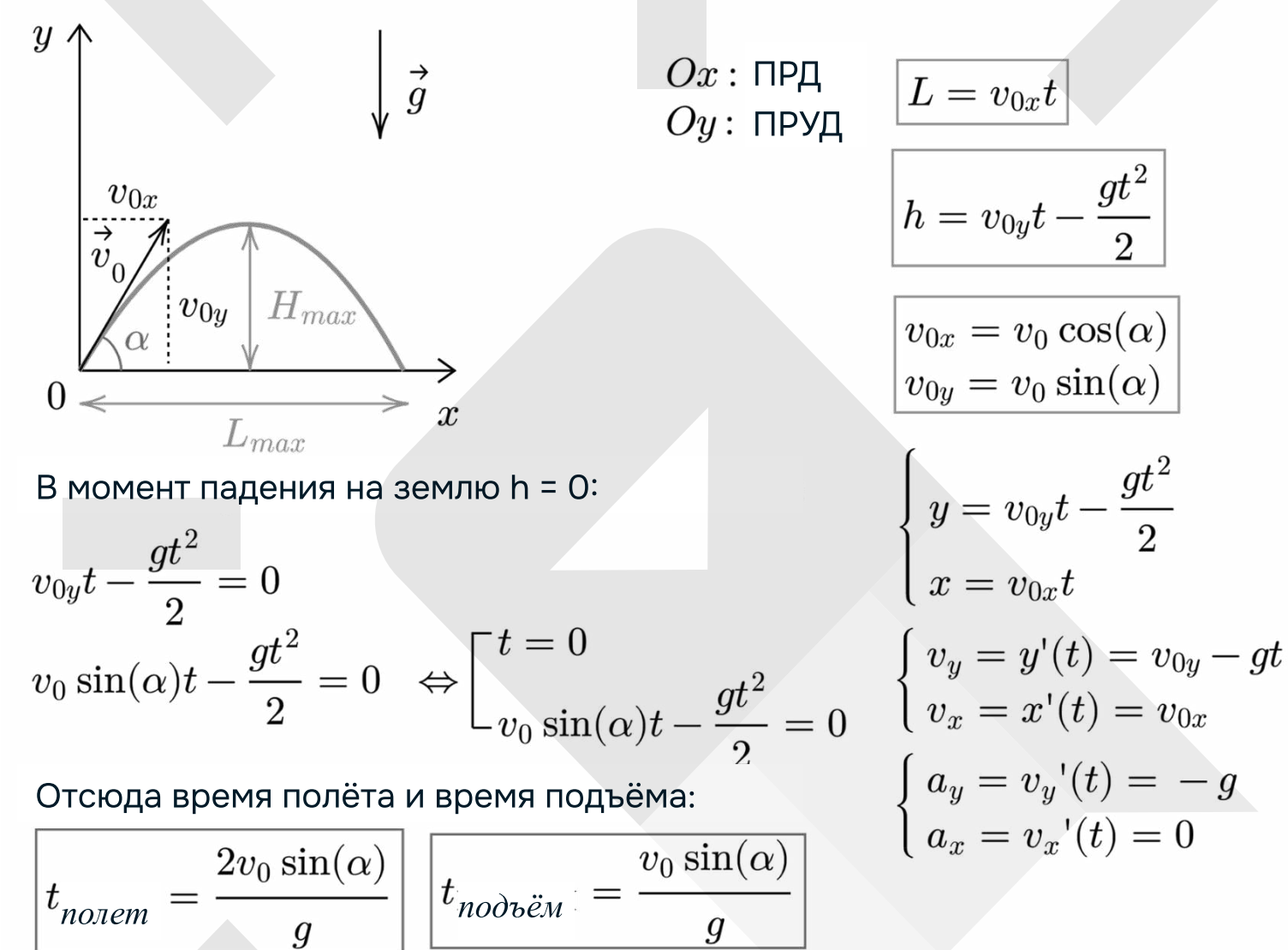
**Прямолинейное равноускоренное движение**



**Баллистика Горизонтальное движение**



**Баллистика Движение под углом к горизонту**



Дальность полёта:

$$L_{max} = v_{0x} \cdot t_{полет} = v_0 \cos(\alpha) \cdot \frac{2v_0 \sin(\alpha)}{g}$$

Высота подъёма:

$$H_{max} = v_{0y} \cdot t_{подъём} - \frac{gt^2_{подъём}}{2} = v_0 \sin(\alpha) \cdot \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha)}{g^2}$$

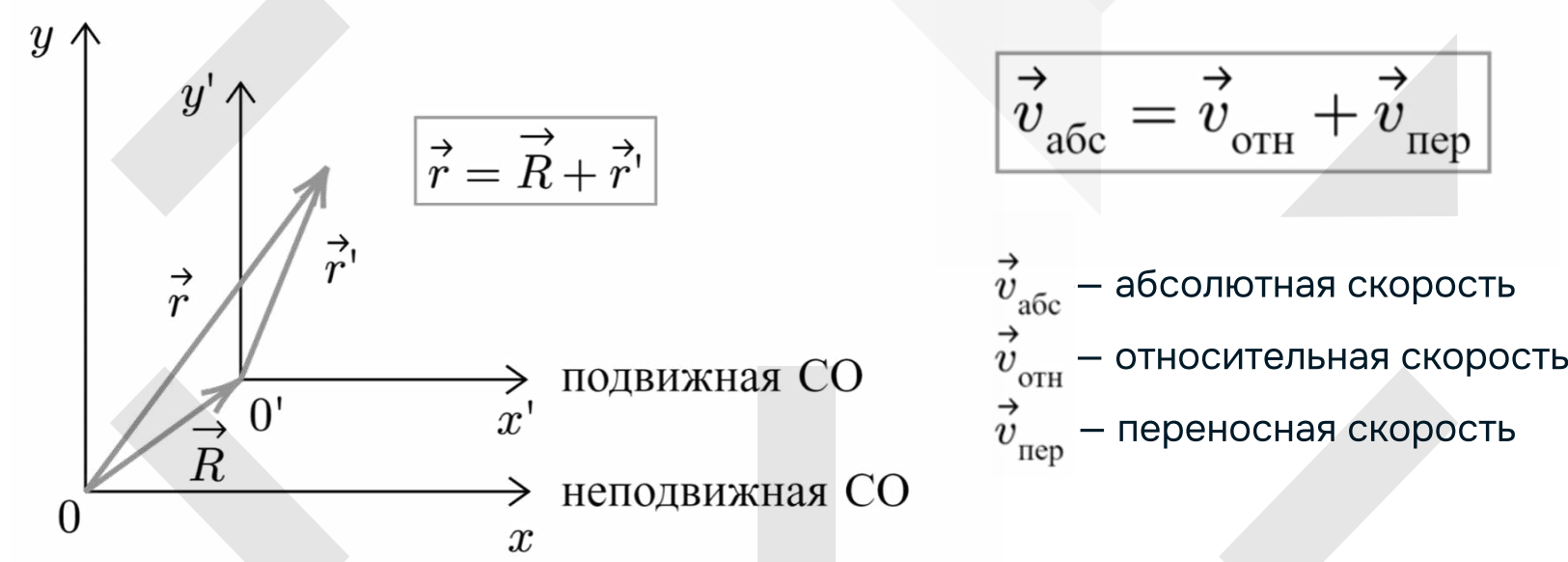
$$H_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad L_{max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

**Относительность движения**

**Абсолютная** – скорость тела в неподвижной системе отсчета (СО)

**Переносная** – скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной

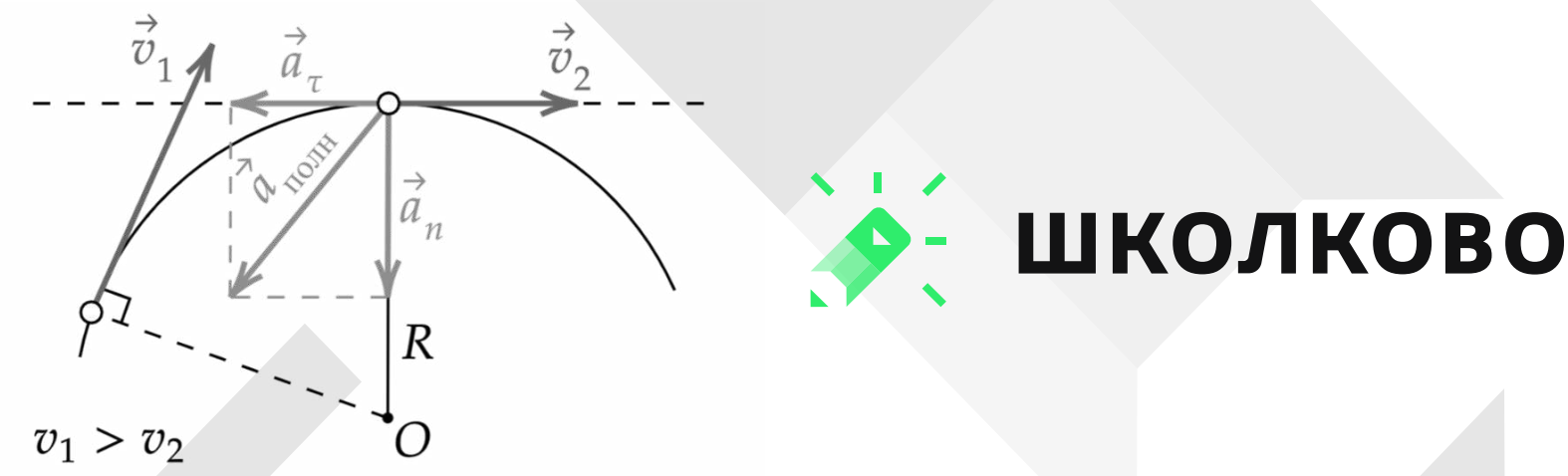
**Относительная** – скорость тела в подвижной системе отсчета



**Правила перехода в подвижную СО**

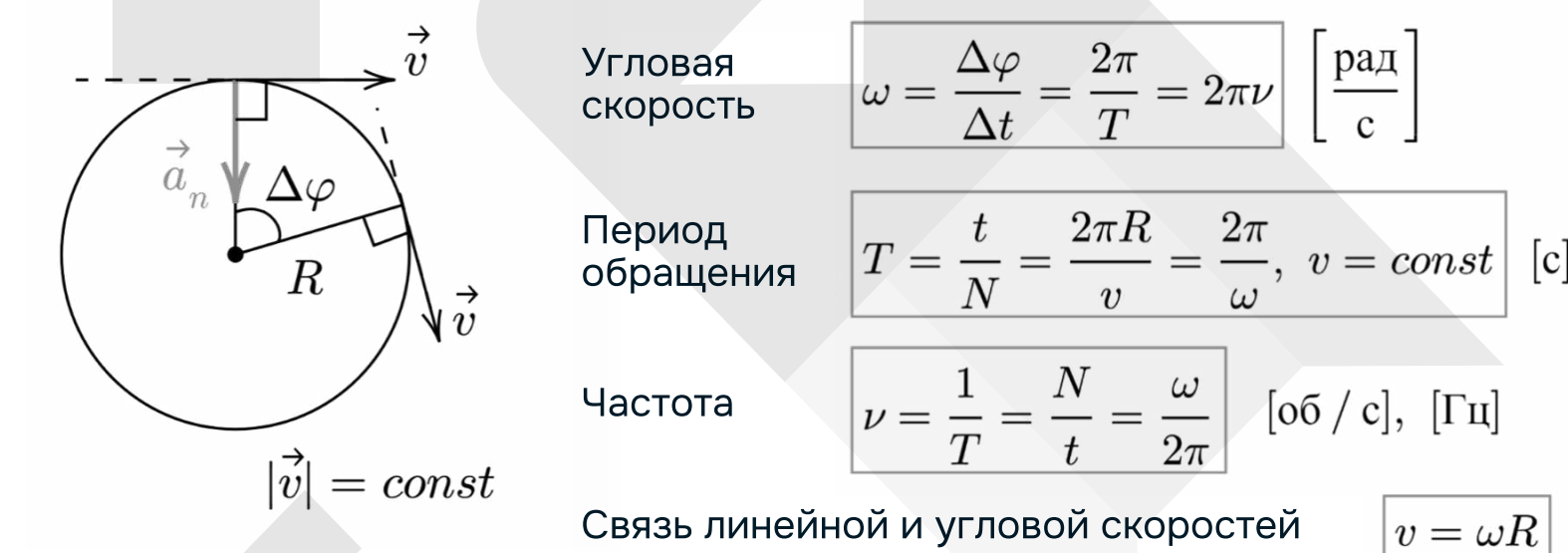
- Находим относительную скорость, то есть к вектору  $\vec{v}_{abc}$  прибавляем перевернутый вектор скорости того тела, в чью систему отсчета мы хотим перейти
- В системе отсчета подвижного тела данное тело не движется

**Криволинейное движение**



| Название                      | Формула   | Направление   | Когда появляется  |
|-------------------------------|---|---|---|
| Нормальное $a_n$ ( $a_{uc}$ ) | $a_n = \frac{v^2}{R}$<br>$a_n = \omega^2 R$   | $\vec{a}_n \perp \vec{v}$ , к центру окружности   | Меняется направление вектора скорости $\vec{v}$                       |
| Тангенциальное $a_\tau$       | $a_\tau = v'(t)$<br>Если $a_\tau = const$ :<br>$a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ | По касательной к траектории, $\vec{a}_\tau \parallel \vec{v}$<br>Если $v \uparrow$ : $\vec{a}_\tau \uparrow \parallel \vec{v}$<br>Если $v \downarrow$ : $\vec{a}_\tau \downarrow \parallel \vec{v}$ | Меняется модуль вектора скорости $ \vec{v} $ (меняется значение $v$ ) |
| Полное $a_{полн}$             | $\vec{a}_{полн} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$<br>$a_{полн} = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$ | Внутрь траектории   | –   |

**Равномерное движение по окружности**



**Динамика**

**Законы Ньютона**

1. Существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными (ИСО), относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

2. В ИСО ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе.

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

3. Два тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Эти силы имеют одну и ту же физическую природу и направлены вдоль прямой, соединяющей их точки приложения.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$$

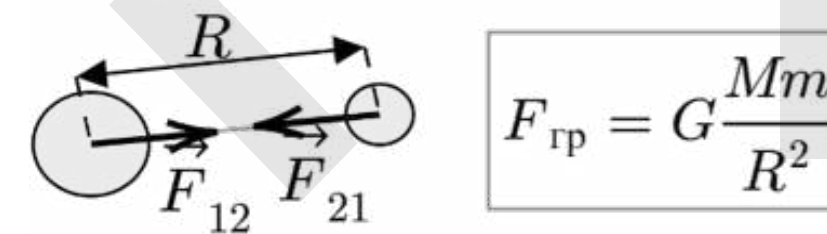


**Силы в механике**

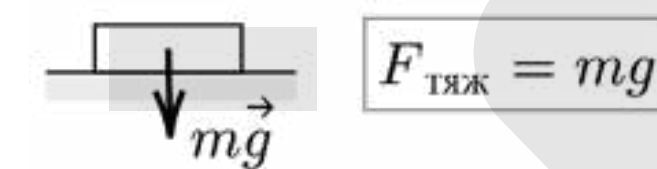
**Гравитационная сила** действует со стороны массивного тела (планета, спутник, звезда) по прямой. Точка приложения – центр масс данного тела.

Закон всемирного тяготения справедлив, если:

- тела являются однородными шарами
- одно из тел – однородный шар, а другое – материальная точка, находящаяся вне шара



**Сила тяжести** действует со стороны планеты Земля вертикально вниз, точка приложения – центр масс данного тела.



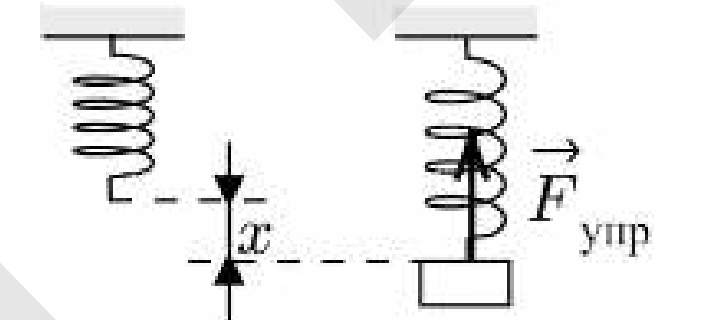
Если тело на высоте h над поверхностью планеты, то для силы тяжести:

$$mg(h) = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$



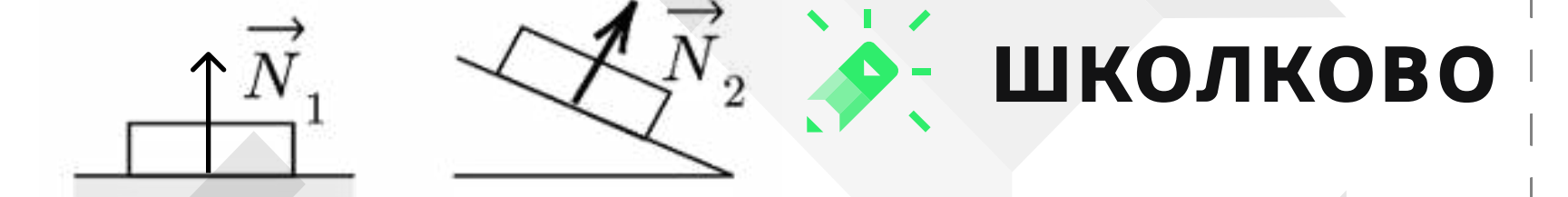
**Сила упругости** действует со стороны деформированного упругого тела (пружины) противоположно деформации тела. Точка приложения – точка соприкосновения пружины и тела.

$$F_{упр} = -k\Delta x$$
 – закон Гука

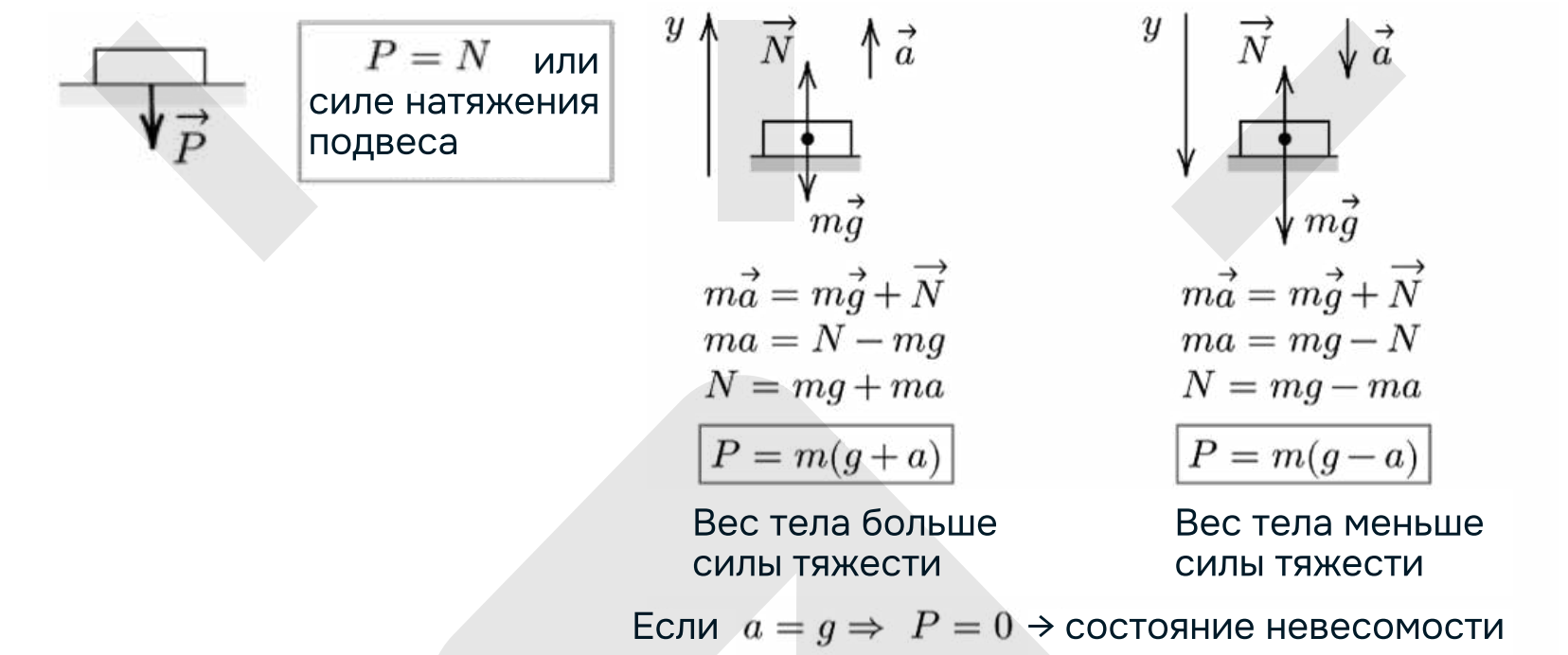


$|F_{упр}|$  – модуль силы упругости. Знак минуса часто опускается при решении задач

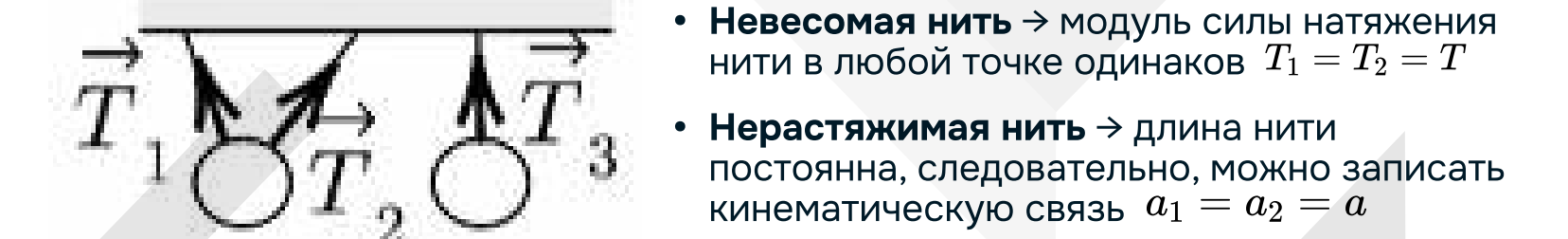
**Сила нормальной реакции опоры** действует со стороны деформированного тела (опоры), вдоль подвеса перпендикулярно поверхности опоры, в сторону уменьшения её деформации. Точка приложения – точка соприкосновения поверхностей.



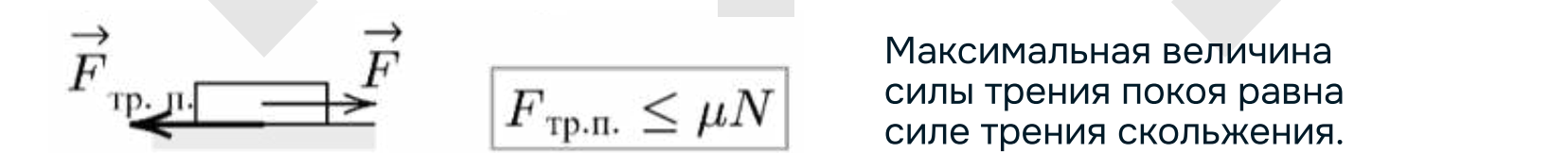
**Вес** действует со стороны тела, которое лежит или висит на опоре противоположно силе реакции опоры. Точка приложения – к опоре.



**Сила натяжения** действует со стороны деформированного тела (нити) вдоль подвеса в сторону уменьшения его деформации. Точка приложения – точка соприкосновения нити и тела.

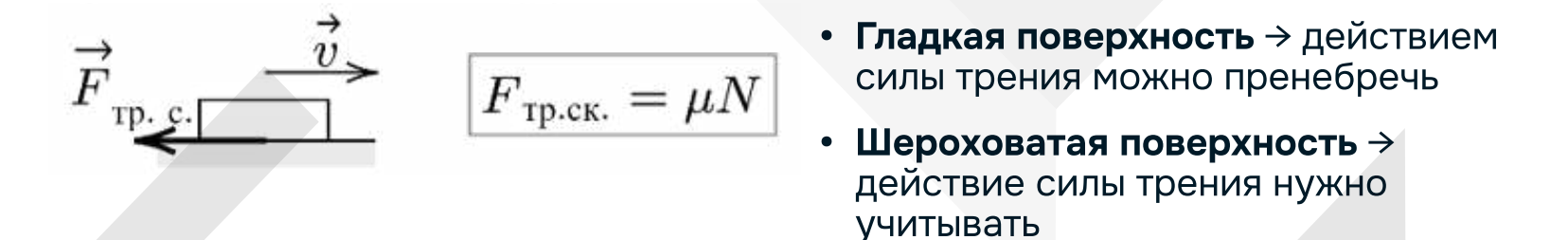


**Сила трения покоя** действует со стороны деформированного тела (опоры) при попытке его сдвинуть параллельно поверхности, противоположно действующей силе. Точка приложения – к телу, в точках соприкосновения.



Коэффициент трения не зависит от площади соприкосновения поверхностей и скорости движения тел.

**Сила трения скольжения** действует со стороны деформированного тела (опоры) при движении, противоположно скорости движения тела относительно поверхности, противоположно действующей силе. Точка приложения – к телу, в точках соприкосновения



Сила трения скольжения направлена противоположно относительной скорости.



## Законы сохранения импульса

**Материальная точка** – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи

**Система отсчета** – тело отсчета вместе с жестко связанной с ним системой координат и часами

Импульс материальной точки  $\vec{p} = m\vec{v}$   $\left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right]$

Импульс системы материальных точек  $\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$

Второй закон Ньютона в импульсной форме: изменение импульса системы равно векторной сумме импульсов внешних сил

$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{F}_{\text{внеш}} \Delta t$$

**Импульс силы** – векторная физическая величина, равная произведению силы на время её действия, мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени

**Закон сохранения импульса:** импульс замкнутой системы тел остаётся постоянным с течением времени при любых взаимодействиях тел внутри данной системы

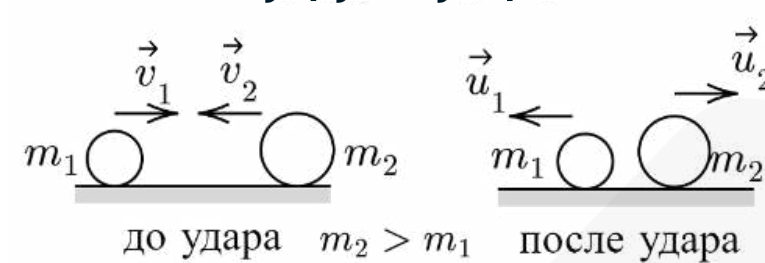
$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{0} \quad \vec{p}_{\text{сист}} = \text{const}$$



**ЗСИ выполняется в случаях, если:**

- Векторная сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю
- Сумма проекций векторов внешних сил, действующих на систему тел, на некоторую ось равна нулю. Тогда импульс системы остаётся неизменным вдоль этой оси
- Промежуток времени взаимодействия пренебрежительно мал, то есть стремится к нулю (например, при взрывах, ударах, столкновениях)

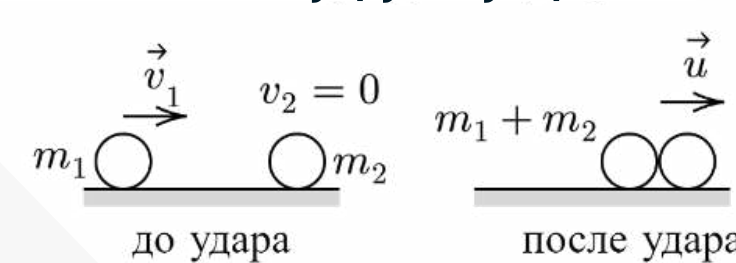
**Абсолютно упругий удар**



Закон сохранения импульса  $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$

Закон сохранения энергии  $\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$

**Абсолютно неупругий удар**



Закон сохранения импульса  $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$

Закон сохранения энергии не выполняется. Кинетическая энергия после удара меньше, чем до удара.

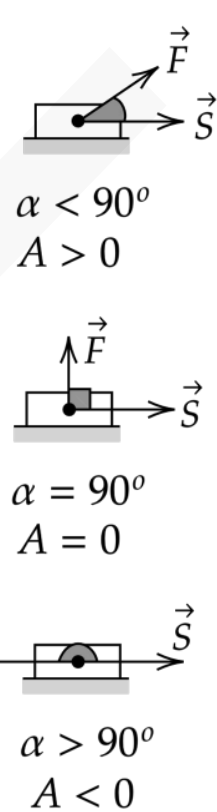


Работа силы  $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = |\vec{F}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \alpha$  [Дж]

Мощность  $N = \frac{A}{t}$  [Вт]

Мгновенная мощность  $N = Fv \cos \alpha$  [Вт]

КПД  $\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затрач}}} = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{затрач}}}$



## Законы сохранения механической энергии

**Консервативные (потенциальные) силы** – силы, сохраняющие механическую энергию замкнутой системы тел. Работы не зависят от траектории. Работа по замкнутой траектории равна нулю. (Сила тяжести, сила упругости, сила гравитации, сила Кулона)

**Диссипативные (не потенциальные) силы** – силы, которые рассеивают механическую энергию. Работа зависит от траектории движения тела и по замкнутой траектории не равна нулю. (Сила трения, сила сопротивления, сила натяжения)

Кинетическая энергия:  $E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$

**Теория о кинетической энергии:** изменение кинетической энергии тела равно работе всех сил, действующих на тело

$$\Delta E_{\text{кин}} = A_{F1} + A_{F2} + \dots + A_{Fi} = \sum A_{Fi}$$

**Потенциальная энергия** зависит от взаимного положения тел в системе, которое изменяют консервативные силы

| Консервативная сила | Формула  | Потенциальная энергия                                    |
|---------------------|--|--|
| Сила тяжести        | $F_{\text{тяж}} = mg$  | $E_{\text{пот}} = mgh$                                   |
| Сила упругости      | $F_{\text{упр}} = -k\Delta x$                                  | $E_{\text{пот}} = \frac{kx^2}{2}$                        |
| Гравитационная сила | $F_{\text{грав}} = G \frac{Mm}{R^2}$                           | $E_{\text{пот}} = -G \frac{Mm}{R}$                       |
| Сила Кулона         | $F_{\text{кул}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q  q }{r^2}$ | $E_{\text{пот}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r}$ |

**Теорема о потенциальной энергии:** работа потенциальной силы определяется как разность потенциальных энергий («было» минус «стало»)

$$A_{\text{пот}} = E_{\text{пот. нач}} - E_{\text{пот. кон}}$$

**Закон сохранения механической энергии:** сумма кинетической и потенциальной энергии в конце равна сумме кин. и пот. энергии в начале и есть величина неизменная в том случае, если работа всех непотенциальных сил равна нулю

$$E_{\text{кин. кон}} + \sum E_{\text{пот. кон } i} = E_{\text{кин. нач}} + \sum E_{\text{пот. нач } i} = \text{const}$$

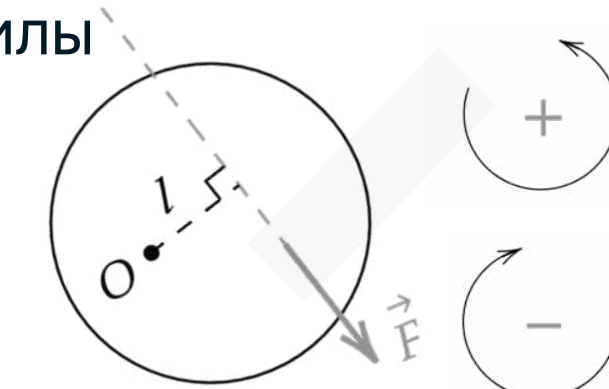
## Статика

**Момент силы относительно оси вращения** – произведение силы на плечо

$$M = Fl$$

**Плечо силы** – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы

**Линия действия силы** – прямая, проходящая через вектор силы



Момент силы считается **положительным**, если сила стремится поворачивать тело против часовой стрелки, и **отрицательным**, если по часовой стрелке

**Правило моментов:** тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил равна нулю

**Условия равновесия тела**

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0 \\ M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0 \end{cases}$$

## Механика жидкостей и газов

**Сила давления** – сила, под действием которой тело деформируется

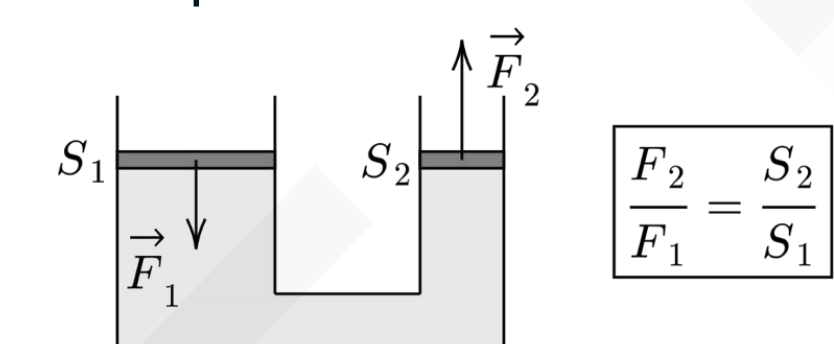
**Давление** – скалярная физическая величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности

$$F = p \cdot S$$

Давление, оказываемое на жидкость или газ, передаётся в любую точку этой среды без изменения по всем направлениям.

**Применение закона Паскаля:**

Гидравлический пресс – устройство, дающее выигрыш в силе.



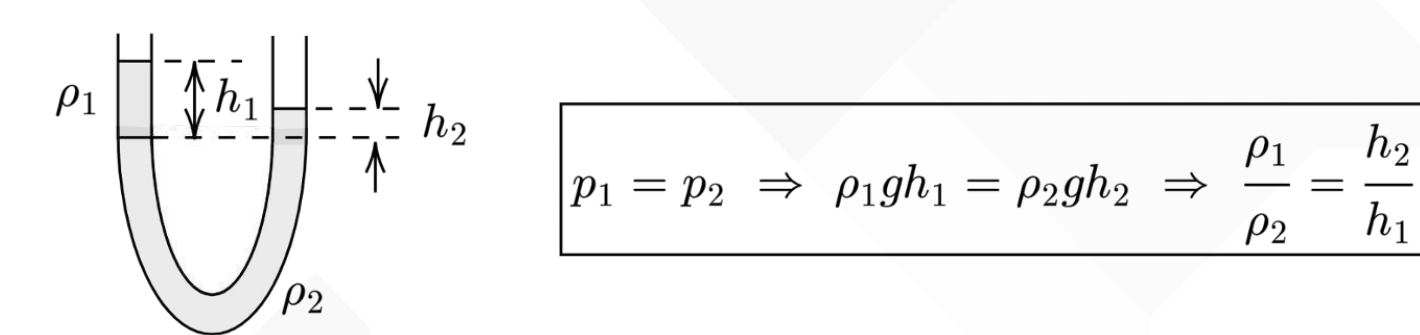
Сообщающиеся сосуды – сосуды, имеющие общий канал внизу.

Однородная жидкость устанавливается на одном уровне независимо от формы сосуда (при условии, что давление над жидкостью в сосудах одинаково)

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_{\text{ж}} g h_1 = \rho_{\text{ж}} g h_2 \Rightarrow h_1 = h_2$$

Сообщающиеся сосуды – сосуды, имеющие общий канал внизу.

Неоднородная жидкость устанавливается на разных уровнях. Высоты столбов жидкостей обратно пропорциональны их плотностям



$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$



## Закон Архимеда

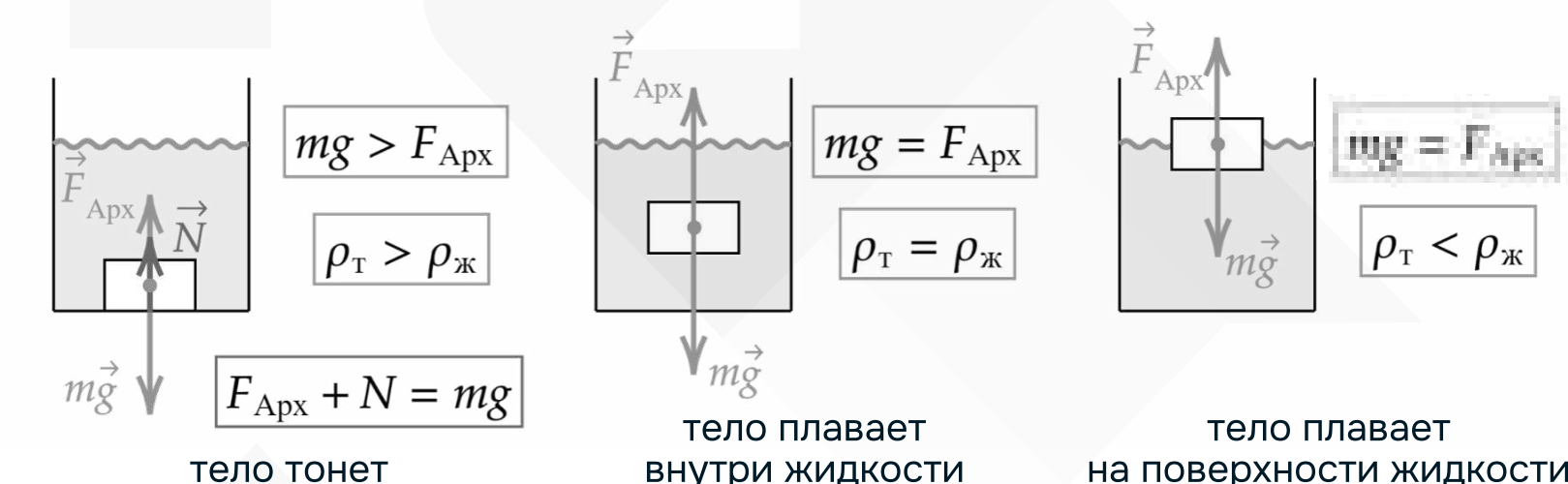
**Для инерциальной и неинерциальной СО:** на погруженное в жидкость или газ тело действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу среды, объем которой равен объему тела

$$F_{\text{Арх}} = P_{\text{ж}}$$

**Для инерциальной СО:**

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{п.ч.}}$$

**Условия плавания тел**



## Механические колебания

**Период колебаний** – время одного полного колебания

**Частота колебаний** показывает, сколько полных колебаний совершается за одну секунду

$$T = \frac{t}{N} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$$

Единицы измерения частоты: [Гц] – Герц

**Гармонические колебания** – колебания, при которых координата зависит от времени по гармоническому закону:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad [\text{м}]$$

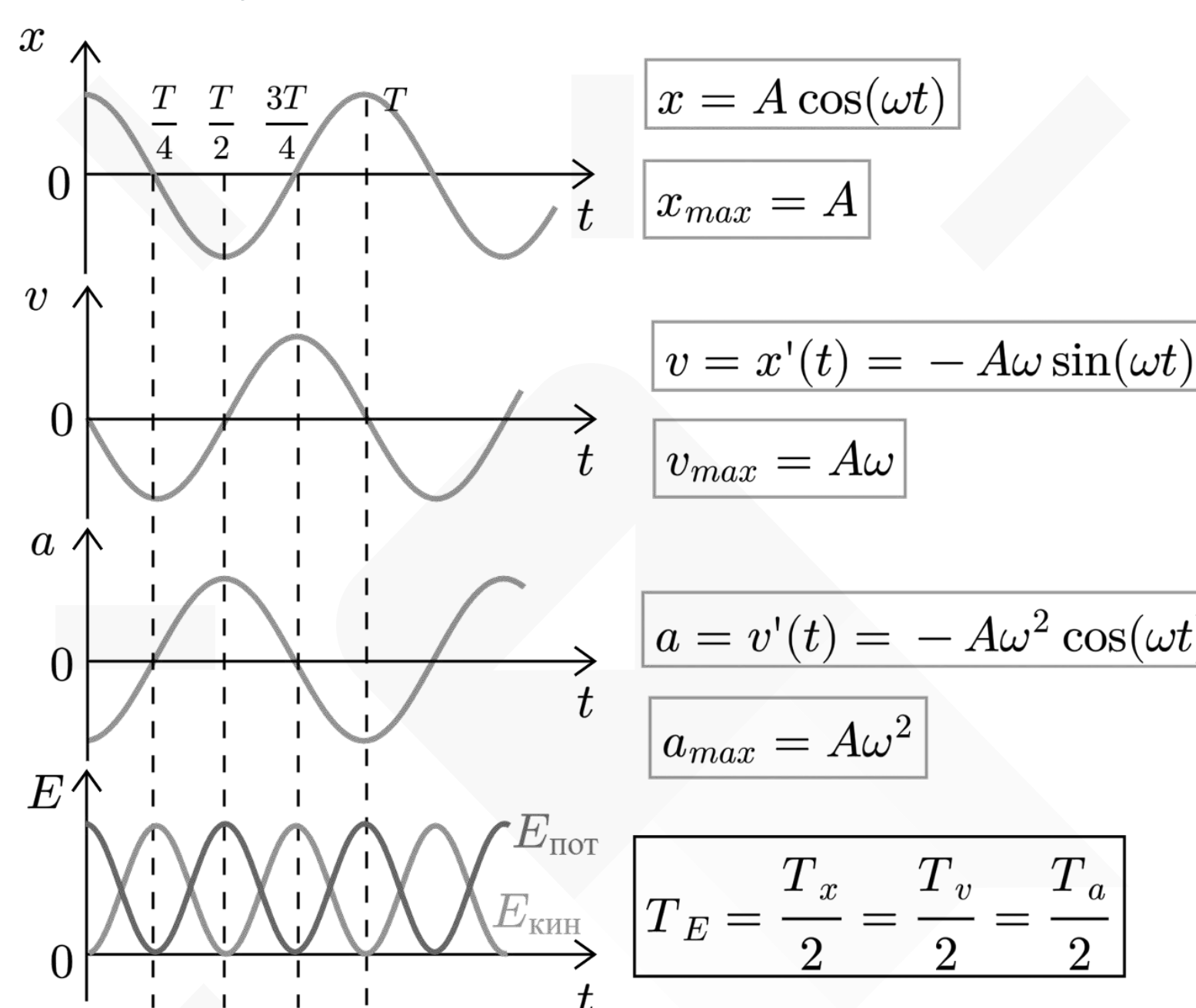
A – амплитуда  
( $\omega t + \varphi_0$ ) – фаза  
 $\varphi_0$  – начальная фаза

**Амплитуда колебаний** – величина наибольшего отклонения от положения равновесия

**Циклическая частота**

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad \left[ \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

**Свободные колебания** – колебания системы, предоставленной самой себя (при постоянных внешних условиях)



Период колебаний энергии в 2 раза меньше периода колебаний  $x$ ,  $v$ ,  $a$ .

Колебания кин. и пот. энергии меняются в противофазе, а полная – постоянна.

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$v(t) = x'(t) = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$a(t) = x''(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x(t)$$

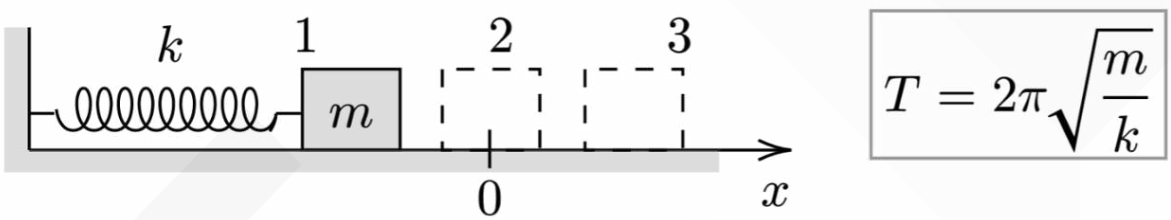
### Уравнения динамики гармонических колебаний

$$x''(t) + \omega^2 x(t) = 0$$

Решение данного уравнения всегда имеет вид

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

**Пружинный маятник** – закреплённый на пружине груз, способный совершать колебания в горизонтальном или вертикальном направлении



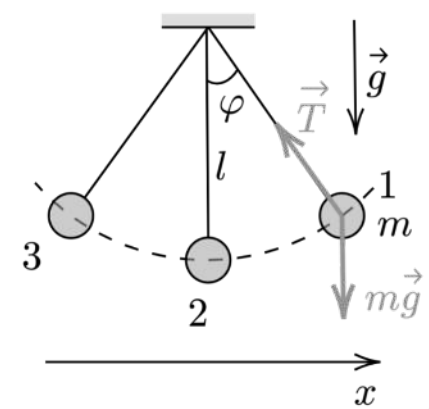
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

| Пол. | $v$ | $a$ | $E_{кин}$ | $E_{пот}$ |
|------|-----|-----|-----------|-----------|
| 1    | 0   | max | 0         | max       |
| 2    | max | 0   | max       | 0         |
| 3    | 0   | max | 0         | max       |

### Закон сохранения мех. энергии

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = const$$

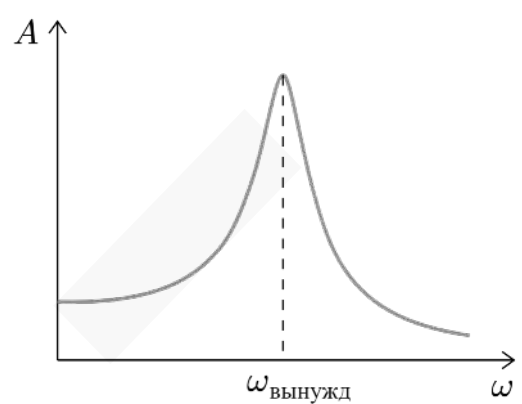
**Математический маятник** – небольшое тело, подвешенное на невесомой нерастяжимой нити



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

| Пол. | $v$ | $a$ | $E_{кин}$ | $E_{пот}$ |
|------|-----|-----|-----------|-----------|
| 1    | 0   | max | 0         | max       |
| 2    | max | 0   | max       | 0         |
| 3    | 0   | max | 0         | max       |

**Резонанс** – увеличение амплитуды колебаний некоторой системы при совпадении частоты внешнего воздействия с собственными значениями, характерными для данной системы



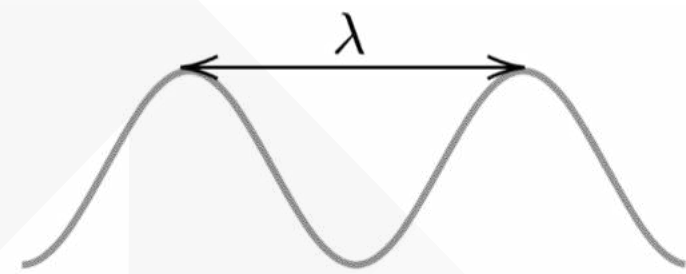
$$\omega_{вынужд} \approx \omega_{собств}$$

### Механические волны

**Волновой процесс** – любое изменение состояния сплошной среды, распространяющееся со скоростью и несущее энергию

**Длина волны** – расстояние между двумя ближайшими друг другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$



**Продольная волна** – волна, при распространении которой смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны. Распространяются во всех средах (звуковая волна)

**Поперечная волна** – волны, при распространении которых смещение частиц среды происходит в направлении, перпендикулярном распространению волны. Распространяются только в твёрдых средах (э-м волна)

### Обоснование в №26

#### Если задача на динамику:

1. Введена инерциальная система отсчёта
2. Применена модель материальной точки для тел, движущихся поступательно. Движение этих тел описывается законами Ньютона
3. Если в задаче есть подвижные и неподвижные блоки, то необходимо указать, что трением в их осях, а также о воздух пренебрегаем, также пренебрегаем массой блоков
4. Сказано, что ускорения связанных тел равны, поскольку нить нерастяжима
5. Сказано, что модули сил натяжения нитей, действующие на связанные тела равны, поскольку блок и нити невесомые
6. Если в задаче есть пружина, то из-за того, что она лёгкая равны силы упругости, действующие на связанные тела



**ШКОЛКОВО**

#### Если задача на статику:

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землей.
2. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО)
3. Описываем тело (стержень) моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остается неизменным)
4. Тело находится в равновесии относительно вращательного движения, поэтому сумма моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку (например - A), равна нулю
5. Тело находится в равновесии относительно поступательного движения, поэтому векторная сумма сил в ИСО равна нулю

#### Если задача на законы сохранения:

1. Введена инерциальная система отсчёта
2. Применена модель материальной точки
3. Для применения ЗСИ необходимо указать, что время взаимодействия мало (взрывы, соударения, броски и т.д.), либо же в направлении определенной оси проекции внешних сил равны нулю и именно на эту ось выполняется ЗСИ
4. Для применения закона сохранения механической энергии необходимо указать, что либо все силы потенциальны, либо же указать, что работы сил равны нулю
5. Если в задаче есть движение под углом к горизонту, то необходимо указывать, что сопротивление воздуха мало и на тело действует лишь сила тяжести, а значит можно использовать формулы кинематики равноускоренного движения



**ШКОЛКОВО**



## Молекулярно-кинетическая теория

### Основные положения МКТ

- Любое вещество состоит из мельчайших частиц - молекул и атомов. Они расположены в пространстве дискретно, то есть на некоторых расстояниях друг от друга
- Атомы или молекулы вещества находятся в состоянии беспорядочного движения, которое никогда не прекращается
- Атомы или молекулы вещества взаимодействуют друг с другом силами притяжения и отталкивания, которые зависят от расстояний между частицами

**Идеальный газ** – газ, частицы которого являются не взаимодействующими на расстоянии материальными точками и испытывают абсолютно упругие соударения друг с другом и со стенками сосуда

### Основное уравнение МКТ

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 \quad p = \frac{2}{3} n E_k \quad p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 \quad p = nkT$$

Единицы измерения: [Па] – Паскаль

Средняя скорость теплового движения молекул:

$$\bar{v}_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$m_0$  – масса одной молекулы  
 $k$  – постоянная Больцмана  
 $R$  – универсальная газовая постоянная

Средняя кин. энергия поступательного движения молекул:

$$E_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

### Закон Дальтона

$$p_{\text{смеси}} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

### Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона)

$$pV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT \quad p = \frac{\rho}{\mu} RT$$

$\mu$  – молярная масса вещества  
 $\rho$  – плотность газа  
 $m$  – масса вещества

### Температурная шкала Кельвина

У шкалы Кельвина существует абсолютный ноль, ниже которого ничего нет ( $-273^\circ\text{C} = 0\text{K}$ )

Перевод из шкалы Цельсия в школу Кельвина:

$$T = t + 273$$

### Количество вещества

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}$$

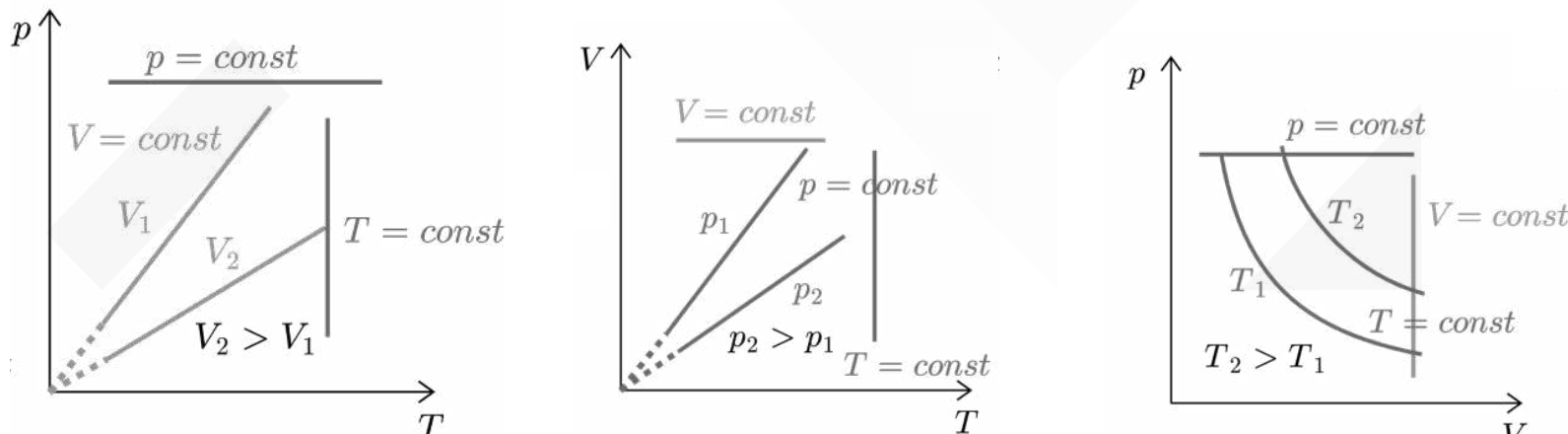
$N_A$  – число Авогадро  
 $N$  – число молекул  
 Единицы измерения: [ $\nu$ ] = моль

### Концентрация

$$n = \frac{N}{V}$$

Число молекул в объёме  
 Единицы измерения: [ $n$ ] =  $1/\text{м}^3$

Во всех газовых законах количество вещества постоянно



**Изохорный** ( $V = \text{const}$ ) – закон Шарля

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

**Изобарный** ( $p = \text{const}$ ) – закон Гей-Люссака

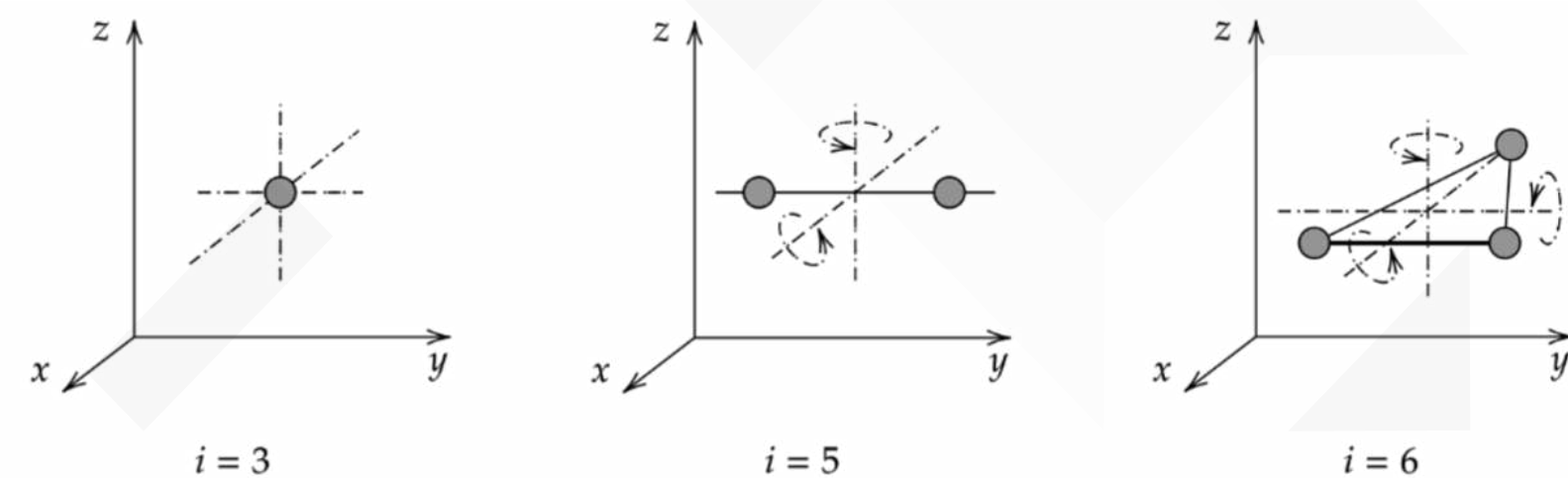
$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

**Изотермический** ( $T = \text{const}$ ) – закон Бойля-Мариотта

$$pV = \text{const}$$

### Термодинамика

**Число степеней свободы  $i$**  – количество независимых переменных однозначно определяющих положение тела в пространстве



Одноатомные газы  $i = 3$ : аргон, неон, гелий и др. инертные газы  
 Двухатомные газы  $i = 5$ : водород, кислород, азот  
 Трёхатомные газы  $i = 6$ : водяной пар, озон

Внутренняя энергия в общем виде и для  $i = 3$ :

$$U = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} pV \quad U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV$$

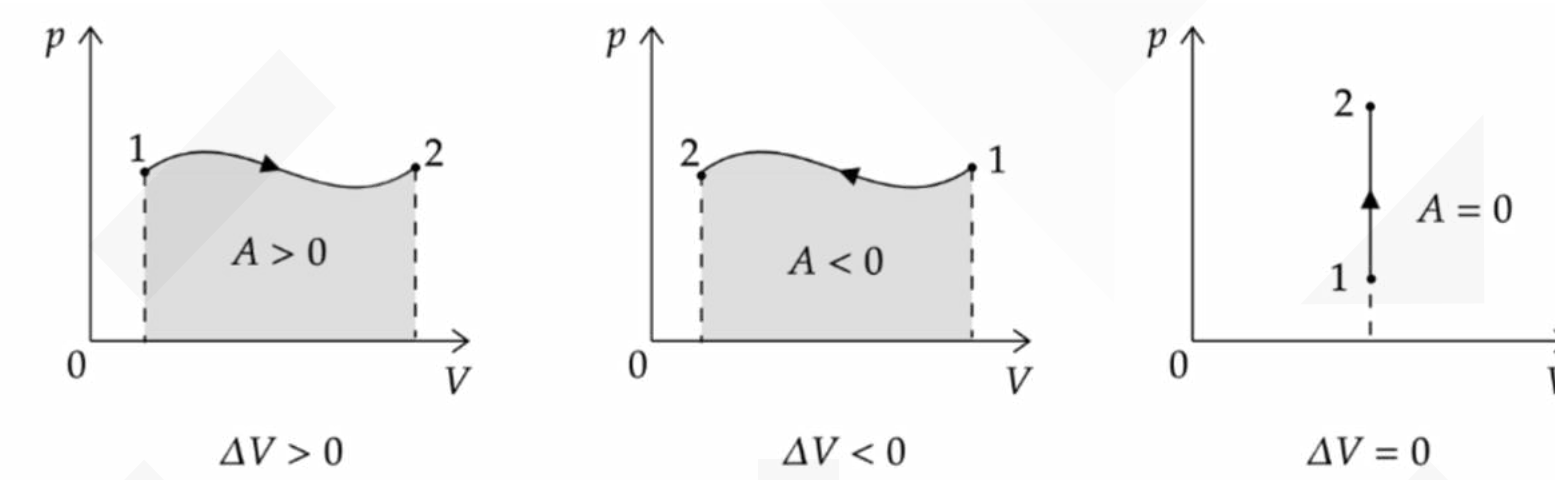
Изменение внутренней энергии в общем виде для  $i = 3$ :

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T \quad \Delta U = \frac{i}{2} \Delta(pV) \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta(pV)$$

### Работа газа при изобарном процессе

$$A = p \Delta V$$

Работа газа численно равна площади под графиком процесса в координатах  $pV$



### Работа внешних сил над газом при изобарном процессе

$$A_{\text{внеш.сил}} = -A_{\text{газ}}$$

### Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

| Знак величины | Количество теплоты $Q$          | Изменение внутр. энергии $\Delta U$                                  | Работа газа $A$   |
|---------------|---------------------------------|--|---|
| +             | газ получает количество теплоты | $T \uparrow \Rightarrow \Delta T > 0$<br>$\Delta U > 0$              | $V \uparrow \Rightarrow \Delta V > 0$<br>$A > 0$                                    |
| -             | газ отдает количество теплоты   | $T \downarrow \Rightarrow \Delta T < 0$<br>$\Delta U < 0$            | $V \downarrow \Rightarrow \Delta V < 0$<br>$A < 0$                                  |
| 0             | теплообмена нет<br>$Q = 0$      | $T = \text{const} \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$ | $V = \text{const} \Rightarrow \Delta V = 0 \Rightarrow A = 0$<br>адиабатный процесс |



### Применение первого закона термодинамики

**Изотермический** ( $T = \text{const}$ )  $\Delta U = 0$ ,  $Q = A$

Всё подведённое к газу тепло идёт на совершение газом работы

**Изохорный** ( $V = \text{const}$ )  $A = 0$ ,  $Q = \Delta U$

Всё тепло, переданное газу, идёт на изменение его внутренней энергии

**Изобарный** ( $p = \text{const}$ )  $Q = \Delta U + p \Delta V$

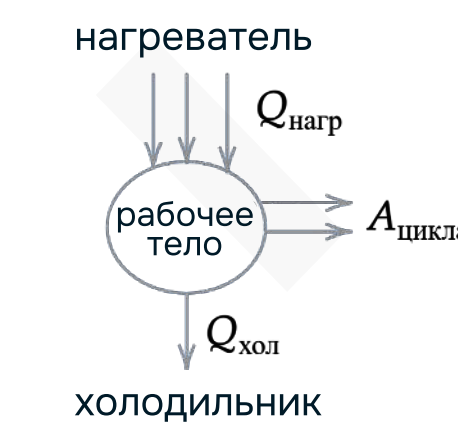
**Адиабатный процесс** идёт без теплообмена с окружающей средой  $Q = 0$

I закон термодинамики для адиабатного процесса:

$$\Delta U = -A$$

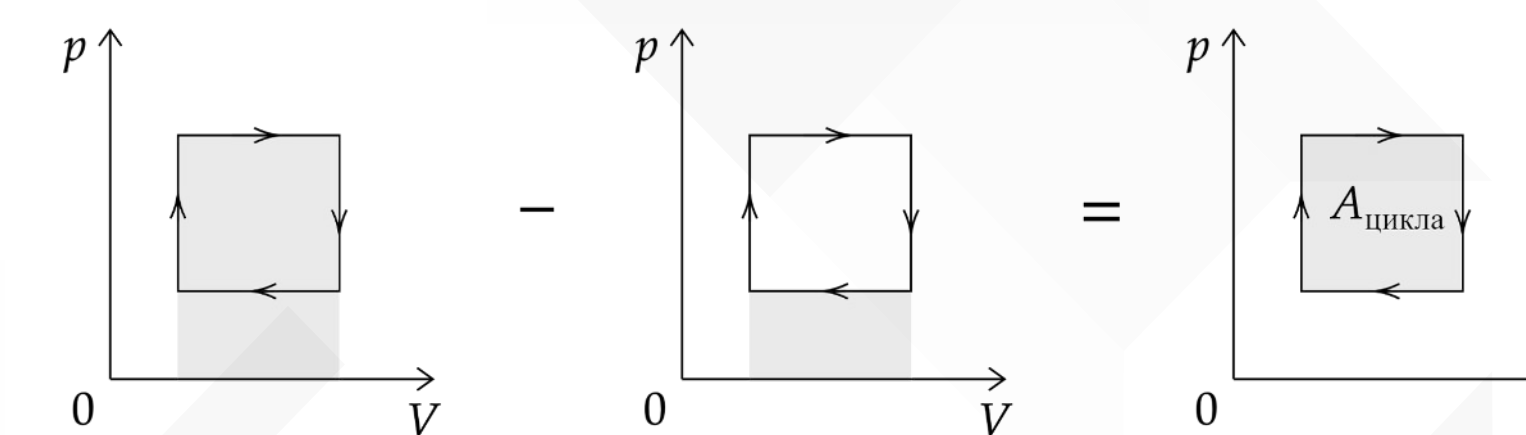


### Тепловая машина



**Тепловая машина (двигатель)** – это циклически действующее устройство, превращающее теплоту в работу

Работа цикла:  $A_{\text{цикла}} = Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}$



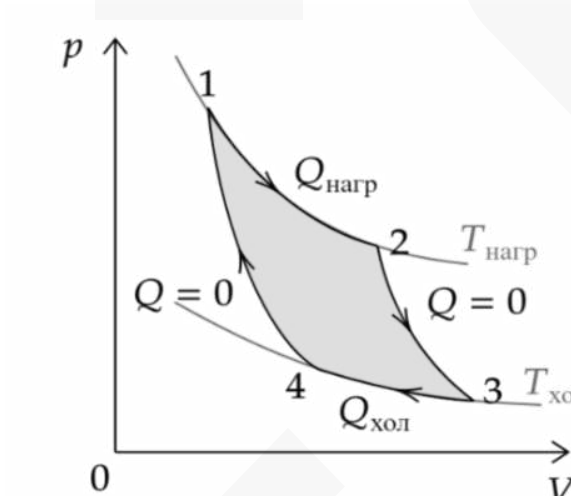
**КПД** – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии.

КПД определяется отношением полезной работы, совершенной механизмом, ко всей затраченной работе (подведённой энергии) за то же время:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затрач}}}$$

КПД для тепловой машины:  $\eta = \frac{A_{\text{цикла}}}{Q_{\text{нагр}}} = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}} = 1 - \frac{Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}}$

### Цикл Карно



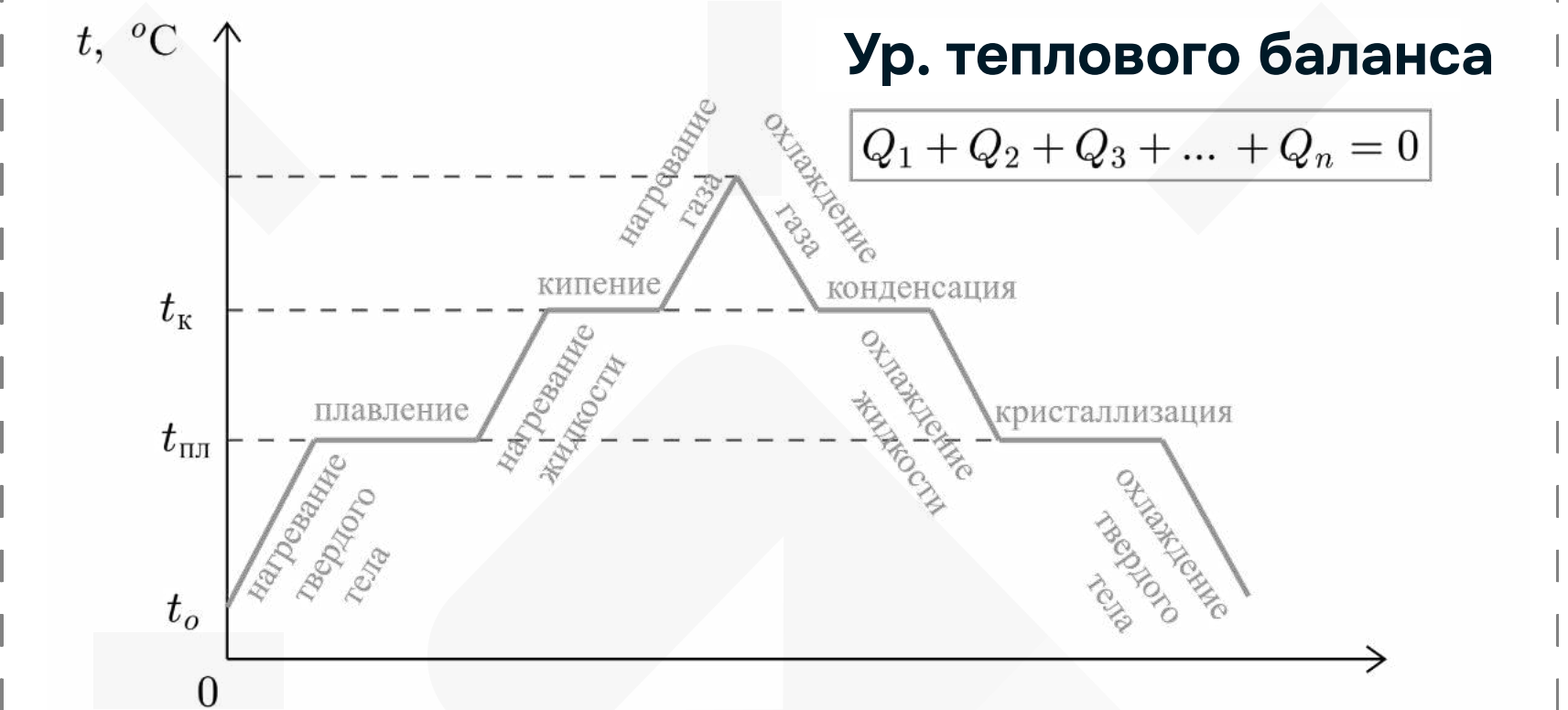
**Идеальная тепловая машина** – тепловая машина, работающая по циклу Карно

$$\eta = \frac{T_{\text{нагр}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{нагр}}}$$

1-2 изотерм. расширение  
 2-3 адиабат. расширение  
 3-4 изотерм. сжатие  
 4-1 адиабат. сжатие



## Тепловые явления



Процессы плавления, кипения, конденсации и кристаллизации происходят при **постоянной температуре**

Кол-во теплоты для нагрева и охлаждения  
 $Q = cm \Delta t$

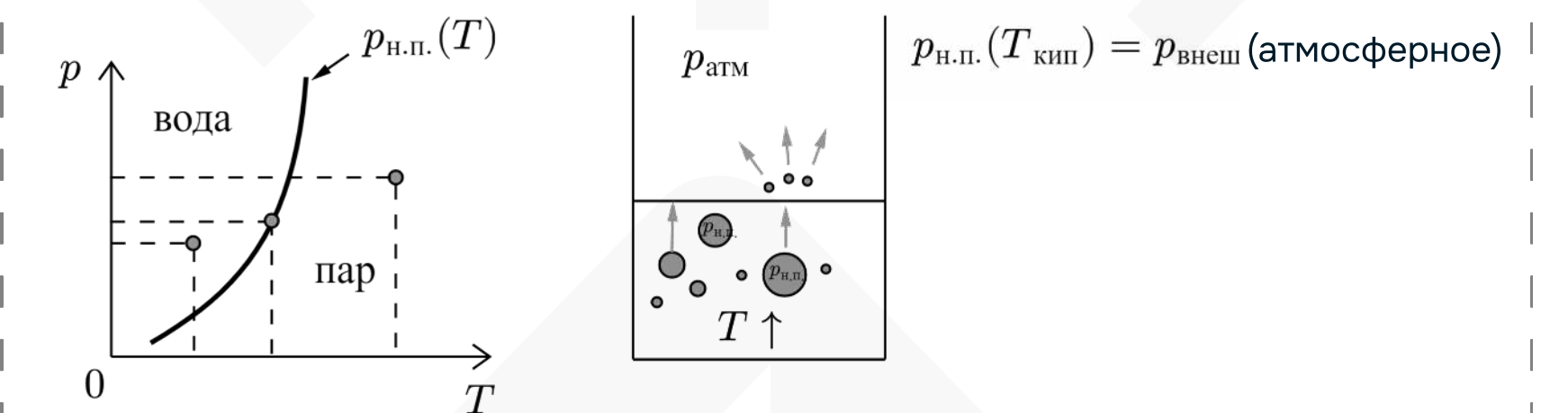
Кол-во теплоты для парообразования и конденсации  
 $Q = Lm$

Кол-во теплоты для плавления и кристаллизации  
 $Q = \lambda m$

Кол-во теплоты для горения  
 $Q = qm$

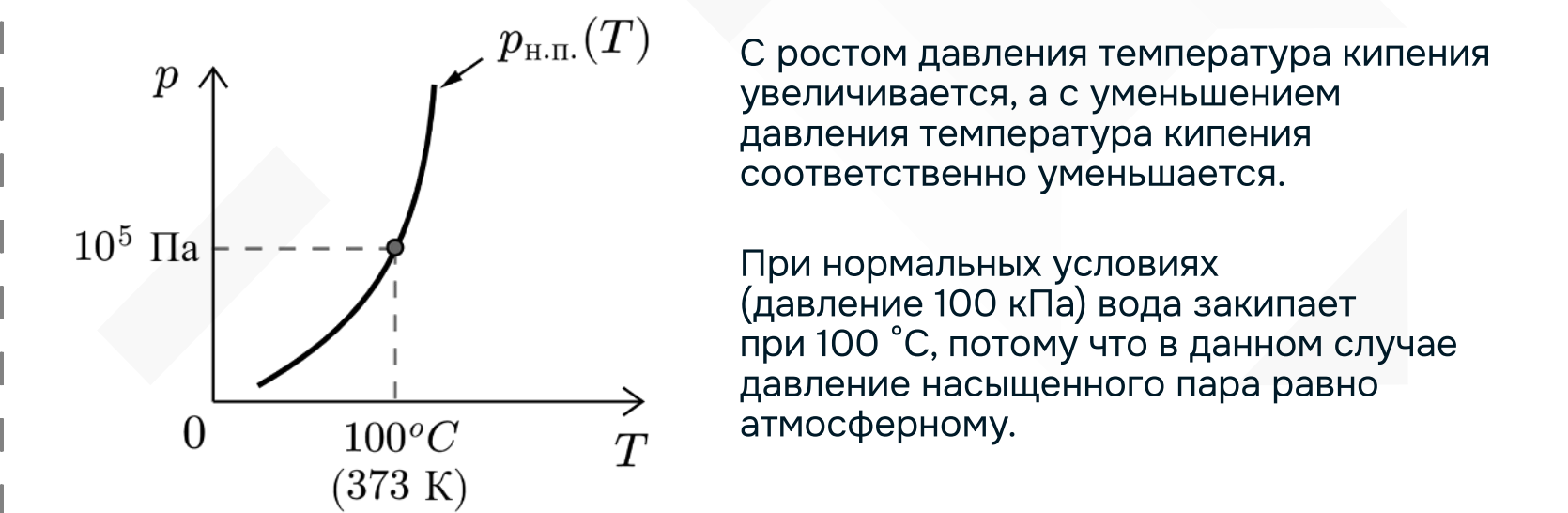
### Влажность и водяной пар

Зависимость концентрации насыщенного пара от температуры



**Кипение** – парообразование, происходящее по всему объёму жидкости

Зависимость температуры кипения от давления:



**Влажность (абсолютная)** – физическая величина, показывающая массу водяных паров, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха. Другими словами, это плотность водяного пара в воздухе

**Относительная влажность воздуха** – отношение парциального давления водяного пара в нем к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре

Если в закрытом сосуде долгое время находится вода и пар, то пар **насыщен**

$$\varphi = \frac{p_{\text{вод.пара}}}{p_{\text{нас.пара}}} = \frac{\rho_{\text{вод.пара}}}{\rho_{\text{нас.пара}}}$$

- $\varphi \leq 1 \Rightarrow$  ненасыщенный водяной пар
- $\varphi = 1 \Rightarrow$  пар насыщенный
- $\varphi > 1 \Rightarrow$  пар перенасыщенный будет происходить конденсация до тех пор, пока влажность не станет равной 1



## Электростатика

**Электрический заряд** — это физическая величина, определяющая силу электромагнитного воздействия между объектами природы

**Элементарный электрический заряд** — заряд электрона (по модулю)



**Закон сохранения электрического заряда:**

в замкнутой системе тел алгебраическая сумма зарядов остается неизменной при любых процессах, происходящих с этими телами

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = const$$

**Точечный заряд** — это заряженное тело, размеры которого много меньше других размеров, характерных для данной задачи

**Закон Кулона:** сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению абсолютных величин зарядов 1 и 2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними

$$F_{Кул} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$\epsilon_0$  — электрическая постоянная

$$F_{Кул} = k \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды

**Электрическое поле** — векторное поле, существующее вокруг тел или частиц, обладающих электрическим зарядом, а также возникающее при изменении магнитного поля

**Однородное электрическое поле** — такое поле в данной области пространства, в котором вектор напряженности поля одинаков в каждой точке области

**Напряженность электрического поля** — силовая характеристика электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{эл}}{q}$$

$F_{эл}$  — сила с которой поле действует на пробный заряд (берётся с учётом знака)

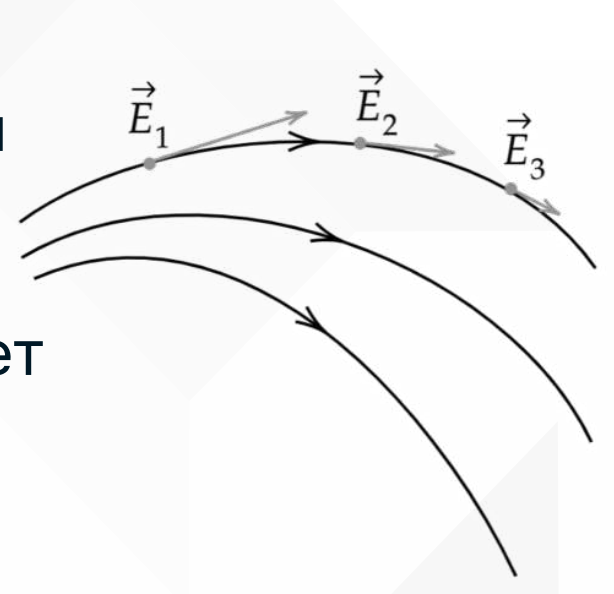
$$\left[ \frac{В}{М} \right]$$

Напряженность электростатического поля точечного заряда  $q_{созд}$  в точке, удаленной на расстояние  $r$  от заряда  $q_{созд}$ :

$$E = \frac{k|q_{созд}|}{r^2}$$

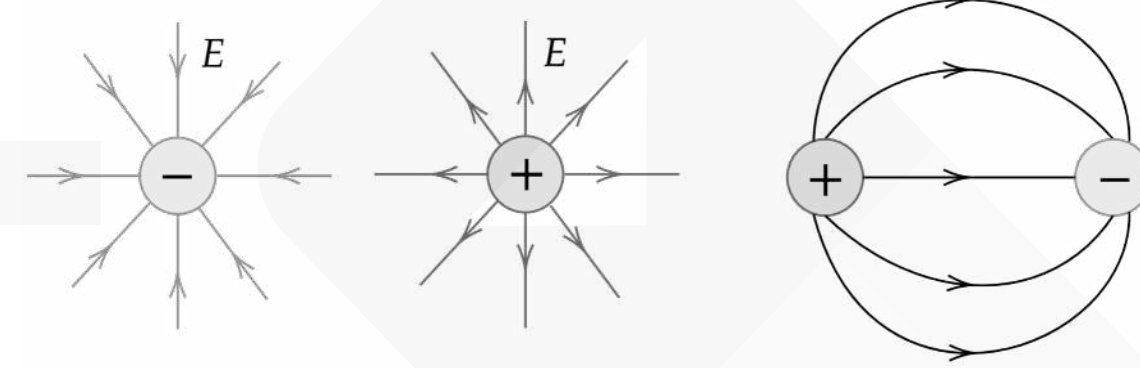
Сила электрическая:  $\vec{F}_{эл} = q\vec{E}$

**Силовые линии:** в каждой точке вектор напряженности направлен по касательной к силовой линии. Густота силовых линий характеризует напряженность электрического поля: чем гуще силовые линии, тем больше напряженность



Линии напряженности всегда начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

Если частица положительна, электрическая сила сонаправлена с вектором напряженности. Если частица отрицательна, электрическая сила противоположно направлена вектору напряженности



**Принцип суперпозиции полей**

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

**Потенциал электрического поля** численно равен работе поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки электрического поля в бесконечность; является энергетической характеристикой электростатического поля

$$\varphi = \frac{W_{пот}}{q} \quad [В]$$

$W_{пот}$  — потенциальная энергия электрического заряда

$q$  — величина заряда

За точку отсчета потенциала выбирают в зависимости от задачи: потенциал Земли; потенциал бесконечно удаленной точки поля; потенциал отрицательной пластины конденсатора

**Суперпозиция потенциалов**

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

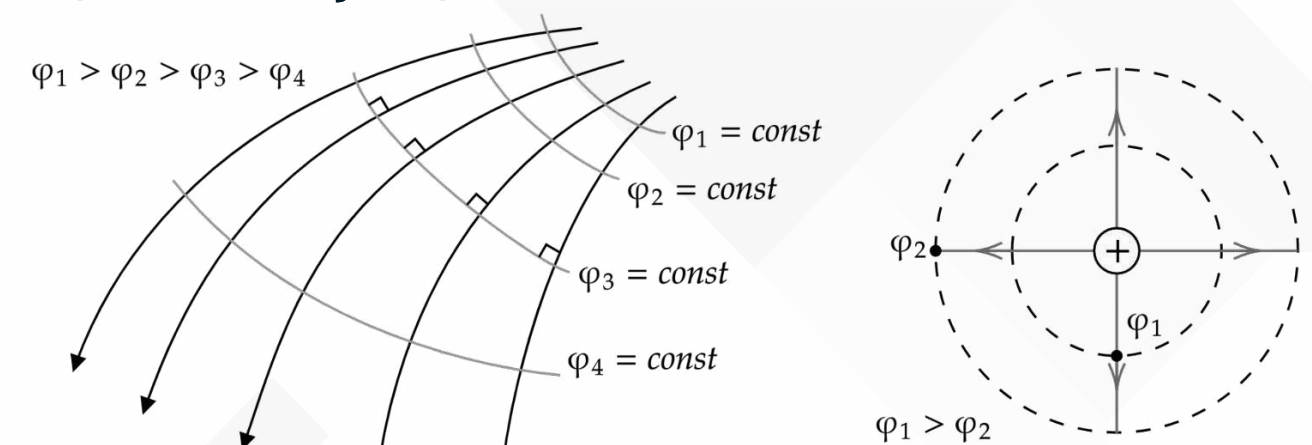
Работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую не зависит от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой замкнутой траектории равна нулю

**Работа поля по перемещению электрического заряда**

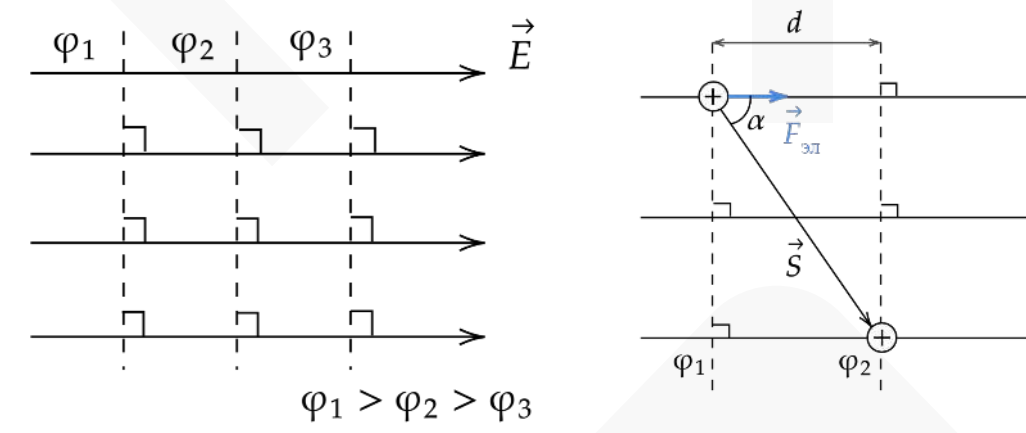
$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$$

**Эквипотенциальная поверхность** — поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения. Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны силовым линиям



- работа при перемещении заряда вдоль эквипотенциальной поверхности не совершается;
- вектор напряженности перпендикулярен к эквипотенциальной поверхности в каждой ее точке.

**Эквипотенциальные поверхности для однородного электр. поля**



Силовые линии направлены в сторону уменьшений потенциала

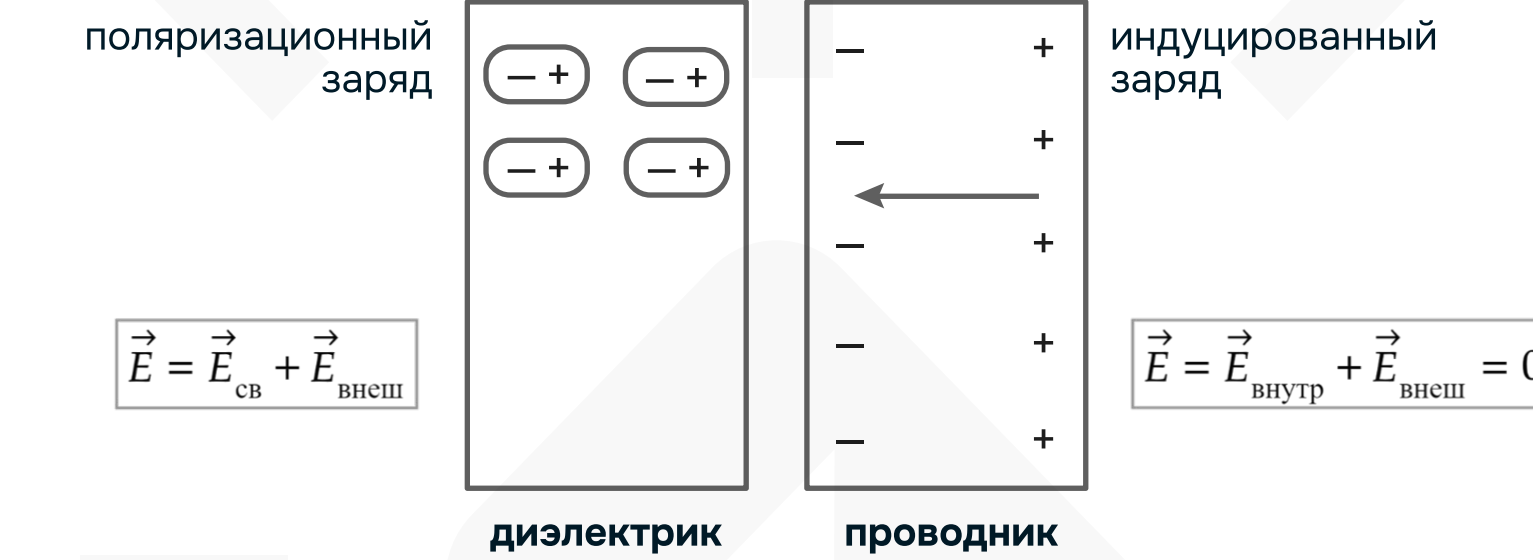
**Связь напряжения и напряженности электр. поля**

$$U = Ed$$

**Диэлектрики** — тела, в которых практически отсутствуют свободные заряды, но содержатся связанные заряды. Диэлектрик уменьшает электрическое поле

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = \frac{E_{вак}}{E_{диэл}}$

**Проводники** — тела, имеющие свободные заряды, которые способны под действием внешнего электрического поля  $E$  перемещаться по всему объему



**Электричество**

Связь ёмкости, заряда, напряжённости:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U} \quad [Ф] - \text{фарад}$$

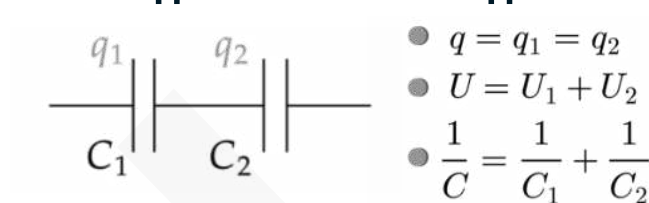
**Ёмкость конденсатора:**

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

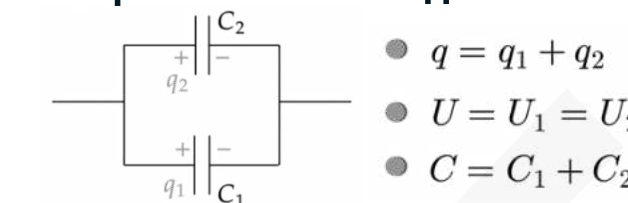
$d$  — расстояние между пластинами

$S$  — площадь пластины

**Последовательное соединение**



**Параллельное соединение**



**Энергия заряженного конденсатора**

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}$$

**Электрический ток** — это направленное движение заряженных частиц, при котором происходит перенос заряда из одних областей пространства в другие

**Сила тока**

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$[I] = А$  (ампер)

**Сопротивление**

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

$[R] = Ом$

**Напряжение**

$$U = \frac{A_{эл}}{q}$$

$[U] = В$  (вольт)

$\rho$  — удельное сопротивление

$S$  — площадь поперечного сечения проводника

$l$  — длина проводника

**Измерение силы тока и напряжения:**

Для измерения силы тока используется **амперметр**. Подключается в цепь последовательно

Для измерения напряжения используется **вольтметр**. Подключается в цепь параллельно

**Закон Ома для однородного участка цепи**

$$I = \frac{U}{R}$$

**Электродвижущая сила (ЭДС)** — работа сторонних сил по перемещению заряда

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

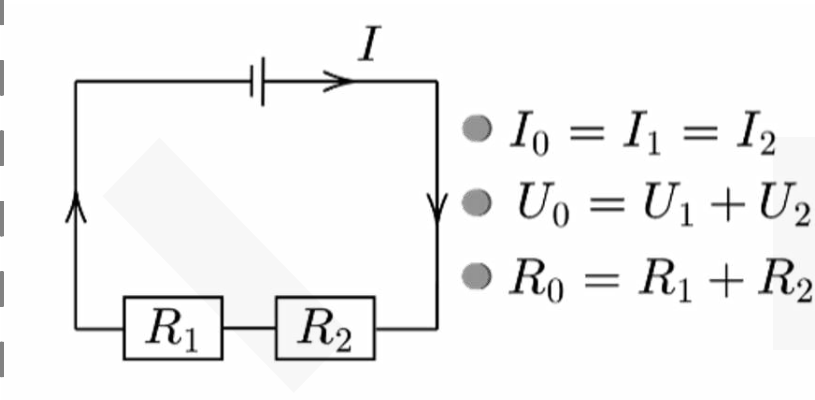
**Закон Ома для полной цепи**

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

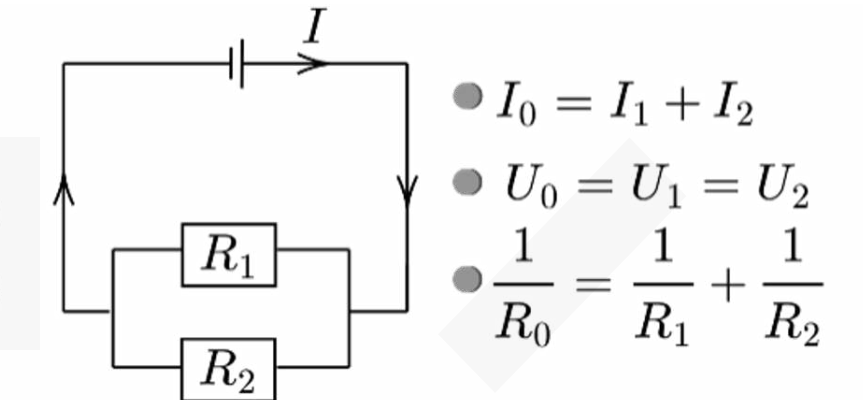
**Напряжение на источнике**

$$U_{ист} = \mathcal{E} - Ir$$

**Последовательное соединение**



**Параллельное соединение**



**Мощность тока**

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

$[P] = Вт$

**Работа тока**

$$A = U\Delta q = UI\Delta t$$

$[A] = Дж$

**Закон Джоуля-Ленца:** при протекании заряда через участок эл. цепи электрическим полем совершается работа, которая в свою очередь превращается в количество теплоты, выделяемое на резисторе

$$Q = A$$

$$Q = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t = UI t$$

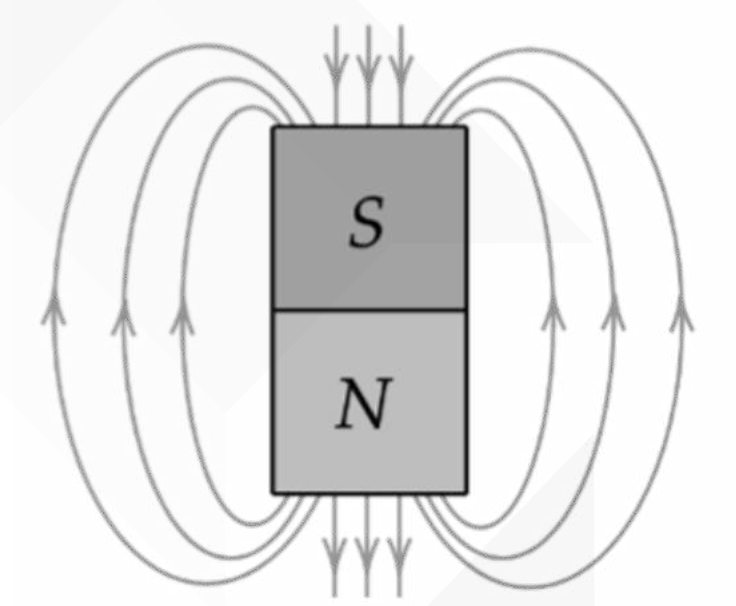
**Магнитное поле**

- магнитное поле взаимодействует с движущимися зарядами: если заряд один — силой Лоренца, если проводник с током — силой Ампера
- силовые линии магнитного поля всегда замкнуты и не имеют ни начала, ни конца

**Источники и индикаторы магнитного поля:**

- движущиеся заряженные частицы (положительные и отрицательные);
- проводник с током (т.к. ток — это упорядоченное движение заряженных частиц);
- постоянный магнит.

**ШКОЛКОВО**



### Правила буравчика (винта)

Если направление поступательного движения буравчика (винта) совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции поля, создаваемого этим током

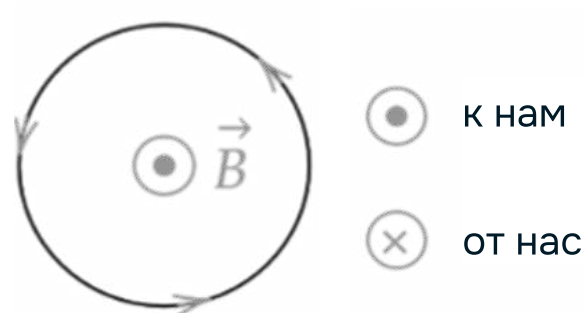
### Правила правой руки

Если направление поступательного движения буравчика (винта) совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции поля, создаваемого этим током

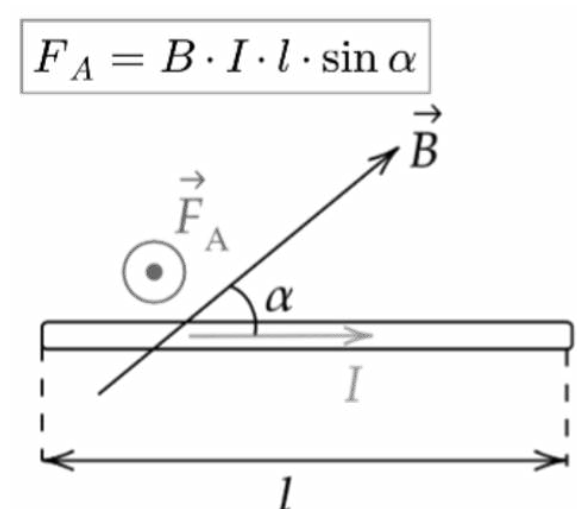


### Для замкнутого проводника с током

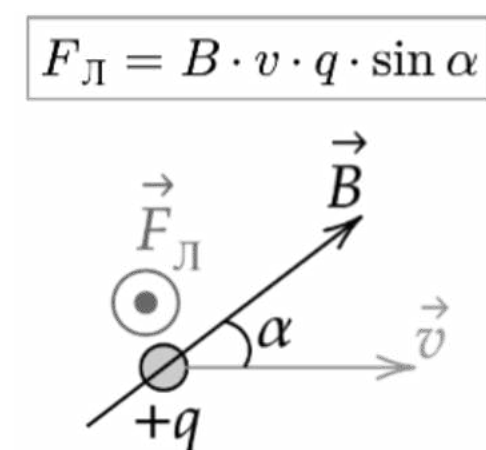
Если обхватить правой рукой контур, то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление вектора магнитной индукции



**Сила Ампера** действует на проводник с током **Правило левой руки**



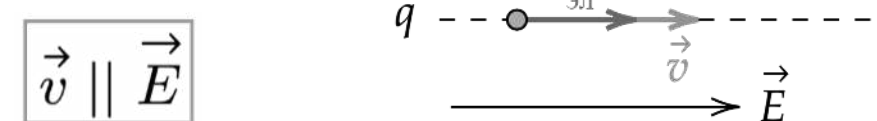
**Сила Лоренца** действует на заряд



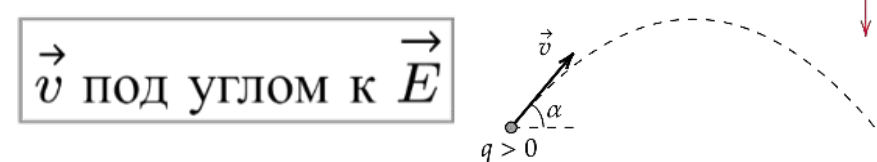
### Правило левой руки



Если частица влетает параллельно вектору напряжённости, будет двигаться равноускоренно по прямой



Если частица влетает под углом к вектору напряжённости, будет двигаться равноускоренно по параболе.



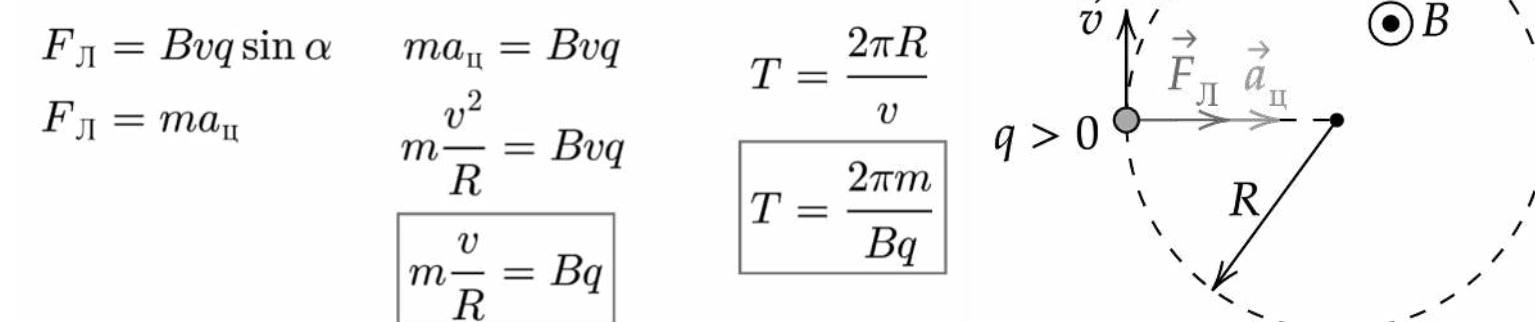
Если частица влетает параллельно вектору магнитной индукции, будет двигаться равноускоренно по прямой



**ШКОЛКОВО**

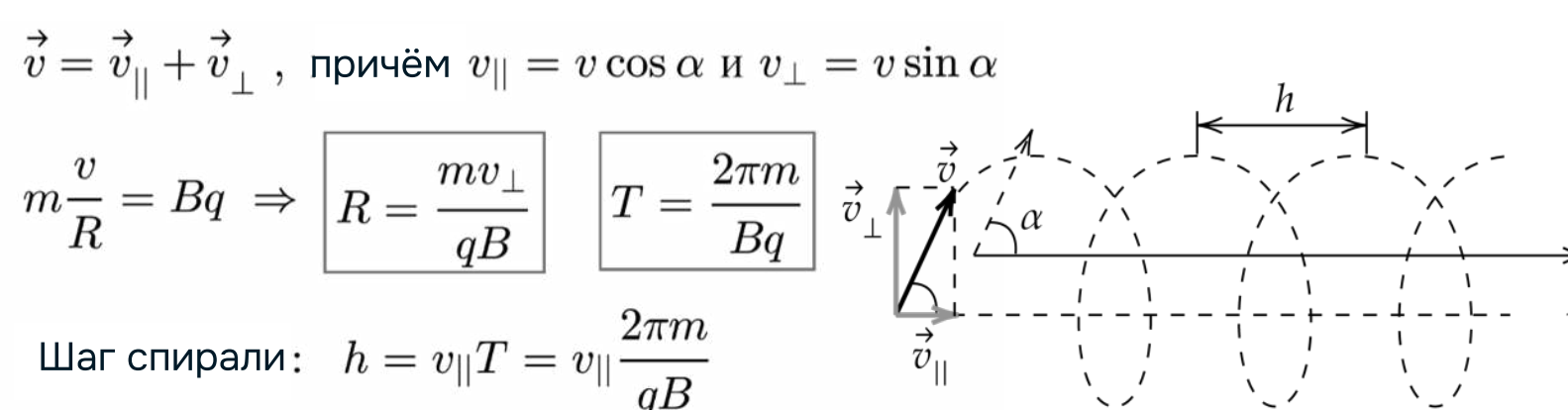
$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

Если частица влетает перпендикулярно вектору магнитной индукции, будет двигаться равномерно по окружности



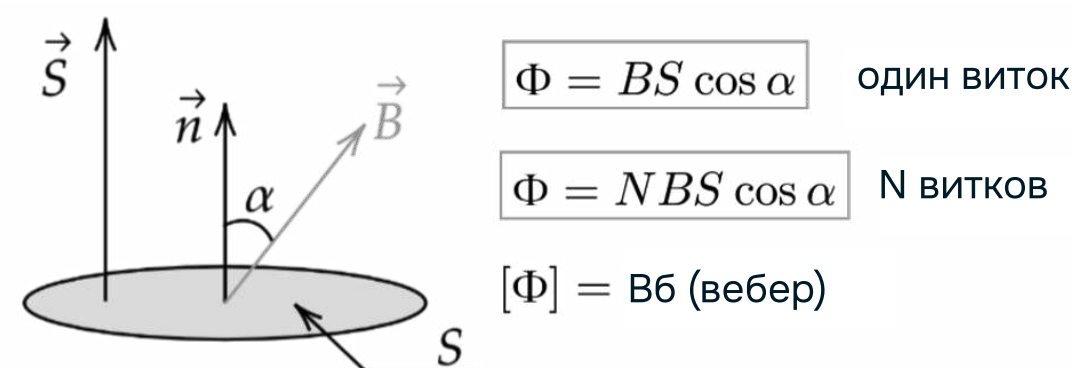
$$\vec{v} \text{ под углом к } \vec{B}$$

Если частица влетает под углом к вектору магнитной индукции, будет двигаться по спирали



### Электромагнитная индукция

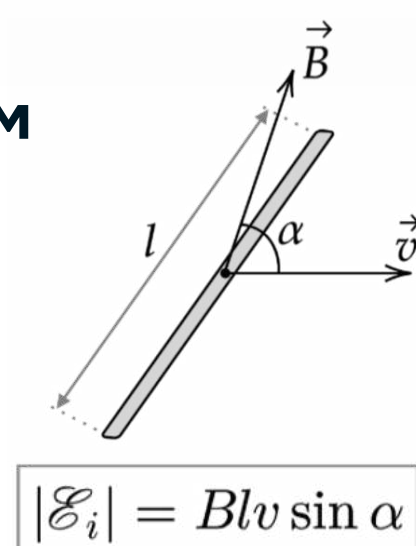
Магнитный поток через замкнутый контур



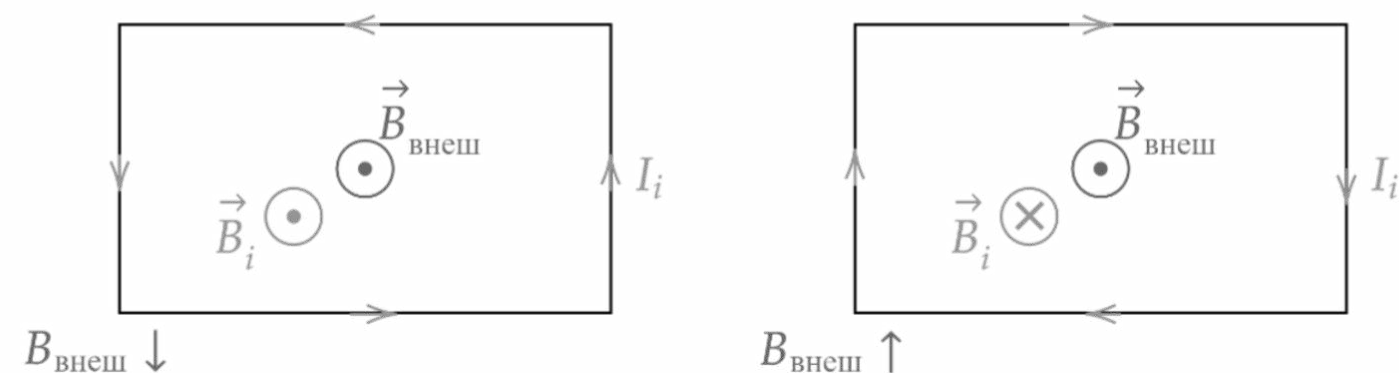
**Закон Фарадея (закон э-м индукции):** ЭДС индукции в замкнутом контуре равно по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad [\text{В}] \quad \mathcal{E}_i = -\Phi'(t) \quad [\text{В}]$$

**Движение проводника в магнитном поле:** ЭДС индукции в прямом проводнике длиной l, движущимся со скоростью, перпендикулярной к проводнику, в однородном магнитном поле



**Правило Ленца:** индукционный ток имеет такое направление, при котором его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызвавшему этот индукционный ток



**ШКОЛКОВО**

### Самоиндукция и катушка индуктивности

- ток не меняется скачком
- при установившемся режиме сила тока в катушке постоянна, то есть при данном режиме катушку можно рассматривать как провод



$$\text{Индуктивность: } L = \frac{\Phi}{I}, \text{ или } \Phi = LI$$

ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_{Si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \Delta t \rightarrow 0 \quad \mathcal{E}_{Si} = -LI'(t)$$

Напряжение в катушке индуктивности:

$$U_L = -\mathcal{E}_{Si}$$

Энергия, запасенная в катушке индуктивности:

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

**ШКОЛКОВО**

**Идеальный колебательный контур** – электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности и конденсатор

**Свободные э-м колебания в идеальном колебательном контуре:**

$$q = q_{max} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad I = q_{max} \omega \cos(\omega t + \varphi_0) = I_{max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$



**Формула Томсона для периода и собственная частота колебаний контура**

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

**Связь амплитуды заряда конденсатора при свободных э-м колебаниях и в идеальном колебательном контуре:**

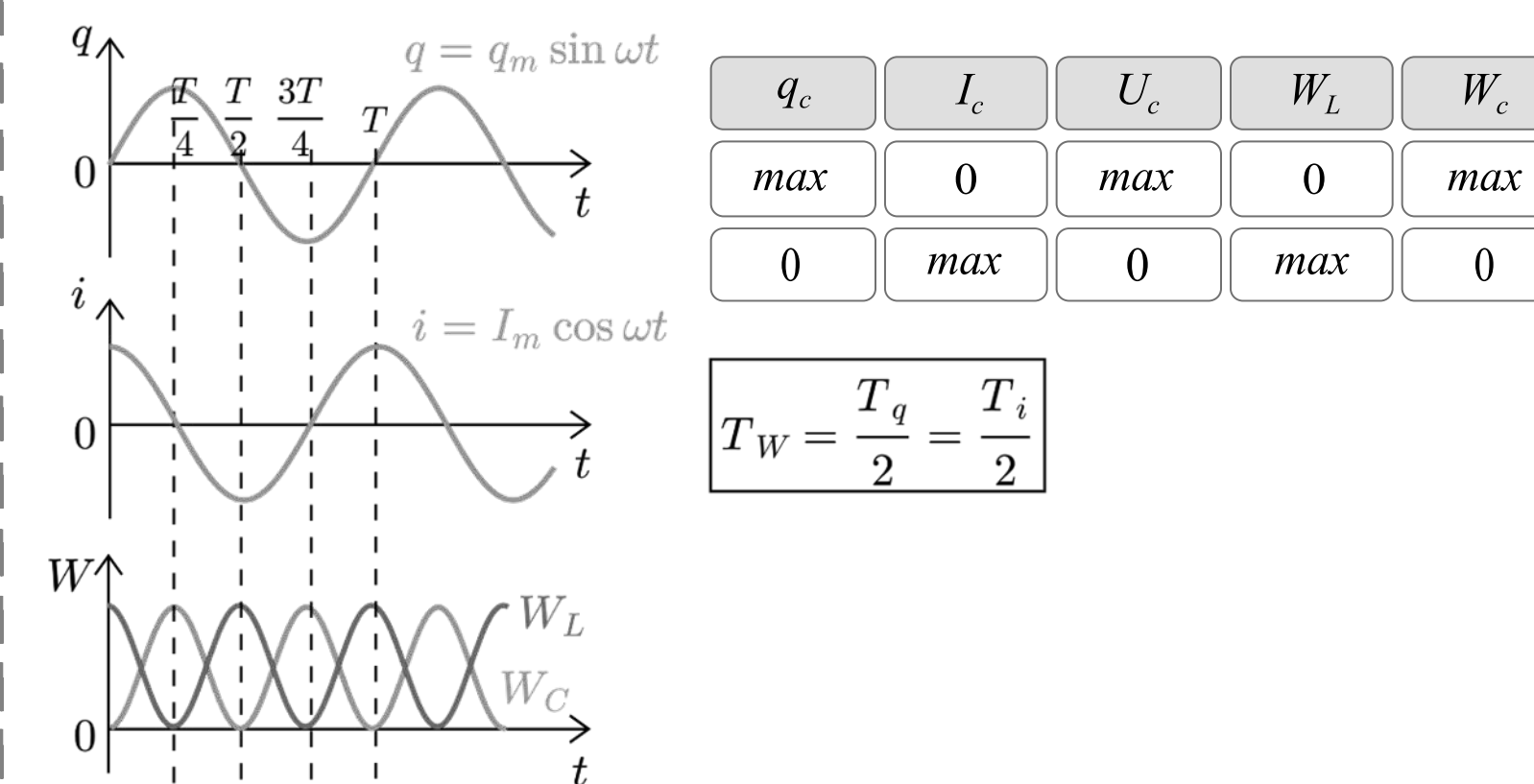
$$q_{max} = \frac{I_{max}}{\omega}$$

**ШКОЛКОВО**

### Энергия в электрической цепи

**Закон сохранения энергии в идеальном к.к**

$$W_C + W_L = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_{max}^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} = const$$



**Закон сохранения энергии в электрической цепи**

Сумма работ источника тока и механических сил равна сумме изменения энергии в цепи и количества теплоты, выделяемого в цепи

$$A_{ист} + A_{мех} = \Delta W + Q$$

**Энергия эл. цепи** – суммарная энергия всех конденсаторов и катушек индуктивности.

$$W = W_C + W_L$$

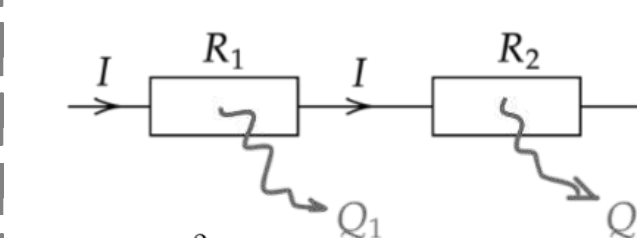
**Работа источника:**  $A_{ист} = \mathcal{E} \Delta q_{ист}$

Если **положительный** заряд протекал по направлению действия сторонних сил этого источника, то источник совершил положительную работу.

Если **положительный** заряд протекал по направлению противоположному действию сторонних сил этого источника, то источник совершил отрицательную работу.

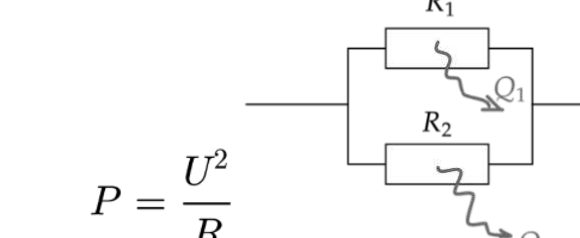
### Тепловая мощность

Последовательное соединение



$$P = I^2 R \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Параллельное соединение



$$P = \frac{U^2}{R} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

**Общее количество теплоты**

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2$$

**ШКОЛКОВО**

## Законы преломления и отражения

### Закон прямолинейного распространения света:

в прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно.

### Закон отражения света:

1. Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр к отражающей поверхности, проведённый в точке падения, лежат в одной плоскости
2. Угол падения равен углу отражения

### Законы преломления света:

1. Падающий луч, преломленный луч и нормаль к поверхности, проведённая в точке падения, лежат в одной плоскости
2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению показателю преломления среды

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{отн}$   
 $n_{абс} = \frac{c}{v}$

$c$  – скорость света в вакууме  
 $v$  – скорость света в среде  
 $\alpha$  – угол падения  
 $\beta$  – угол преломления  
 $n_1$  – абсолютный показатель преломления 1 среды  
 $n_2$  – абсолютный показатель преломления 2 среды  
 $n_{отн}$  – относительный показатель преломления



**Полное внутреннее отражение** – явление отражения света на поверхности раздела двух прозрачных веществ, не сопровождаемое преломлением

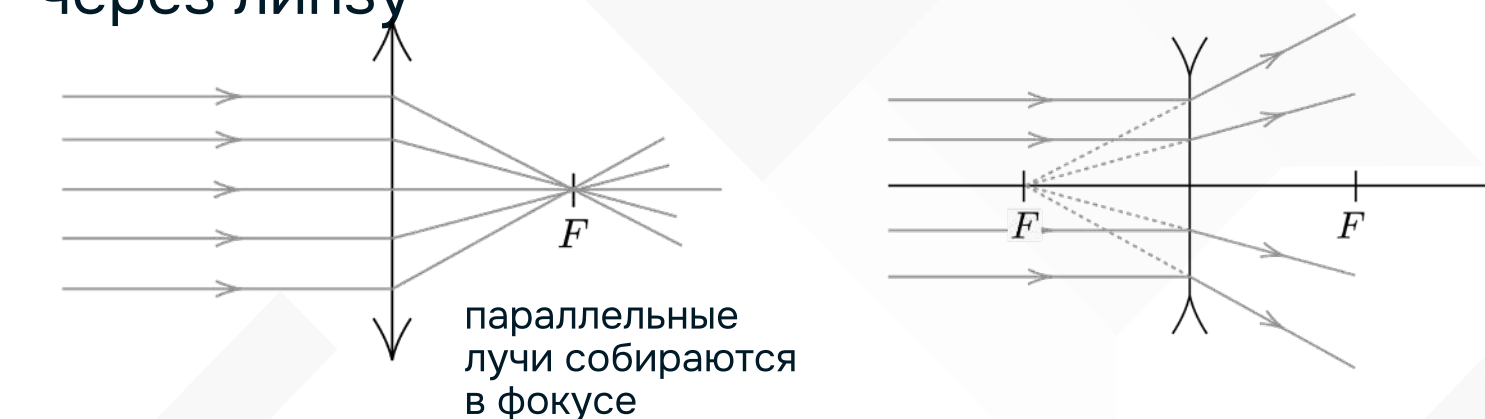
$\sin \alpha_{кр} = \frac{n_2}{n_1}$      $\alpha_{кр} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$

### Построение в линзах

**Свойство оптического центра:** луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется



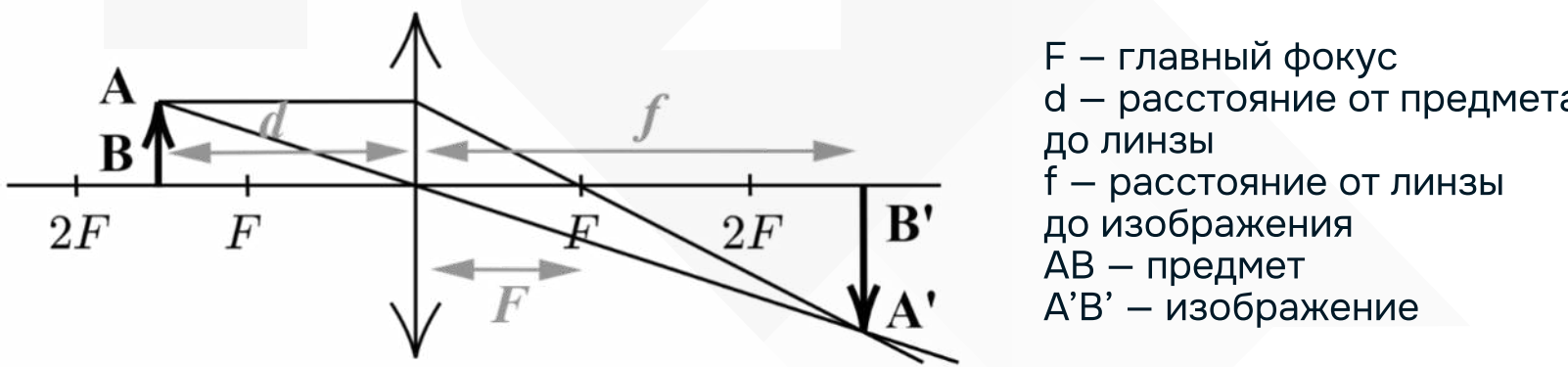
**Главный фокус F линзы** – точка, в которой собирается пучок параллельных главной оптической оси лучей после прохождения через линзу



## Ход лучей, не параллельных главной оптической оси



### Элементы построения



### Построение изображения в линзах

**Изображение**  
 • мнимое  
 • увеличенное  
 • прямое

**Изображение**  
 • действительное  
 • равное по размерам  
 • перевернутое

**Изображения нет**

**Изображение**  
 • действительное  
 • уменьшенное  
 • перевернутое

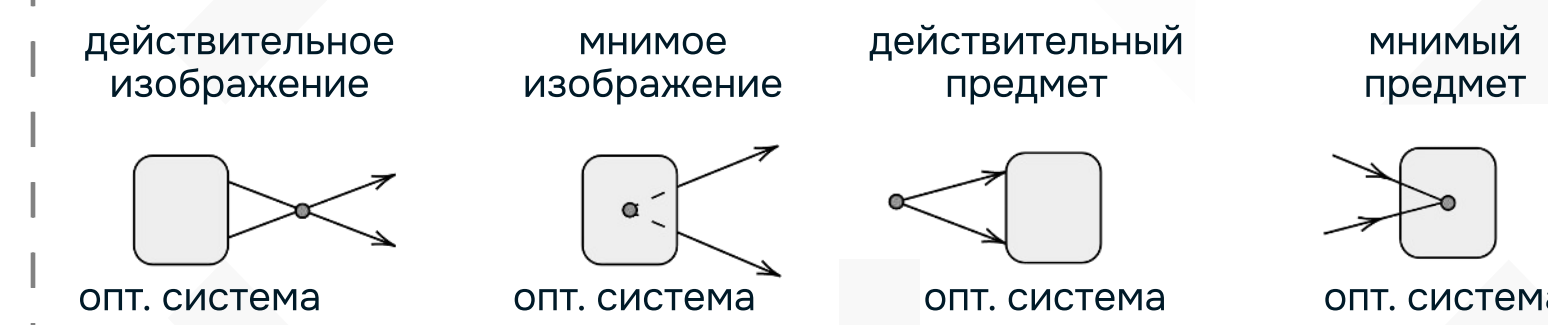
**Изображение**  
 • мнимое  
 • уменьшенное  
 • прямое

## Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

(1) "+" собирающая линза, "-" рассеивающая линза  
 (2) "+" действительный предмет, "-" мнимый предмет  
 (3) "+" действительное изображение, "-" мнимое изображение

1. Если на оптическую систему попадают расходящиеся лучи, то точка, которая их испускает действительный предмет.
2. Если на оптическую систему попадают продолжения сходящихся лучей, то точка, в которой они собираются, называется мнимым предметом.
3. Если лучи, выходящие после оптической системы, пересекаются (образуют сходящийся пучок), то изображение действительное.
4. Если лучи расходятся после прохождения оптической системы, то есть пересекаются продолжения лучей, то изображение называется мнимым.



### Параметры тонкой линзы

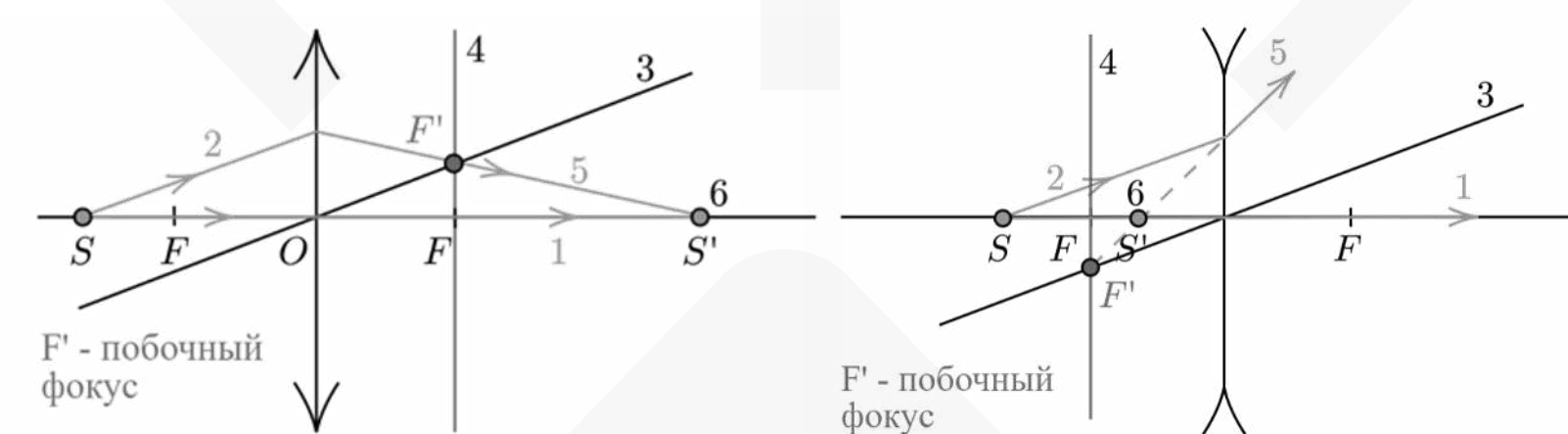
1. Оптическая сила линзы  $D$ , [дптр]
2. Поперечное увеличение  $\Gamma$ , даваемое линзой

$$D = \frac{1}{F} \quad \Gamma = \frac{f}{d} = \frac{H}{h}$$

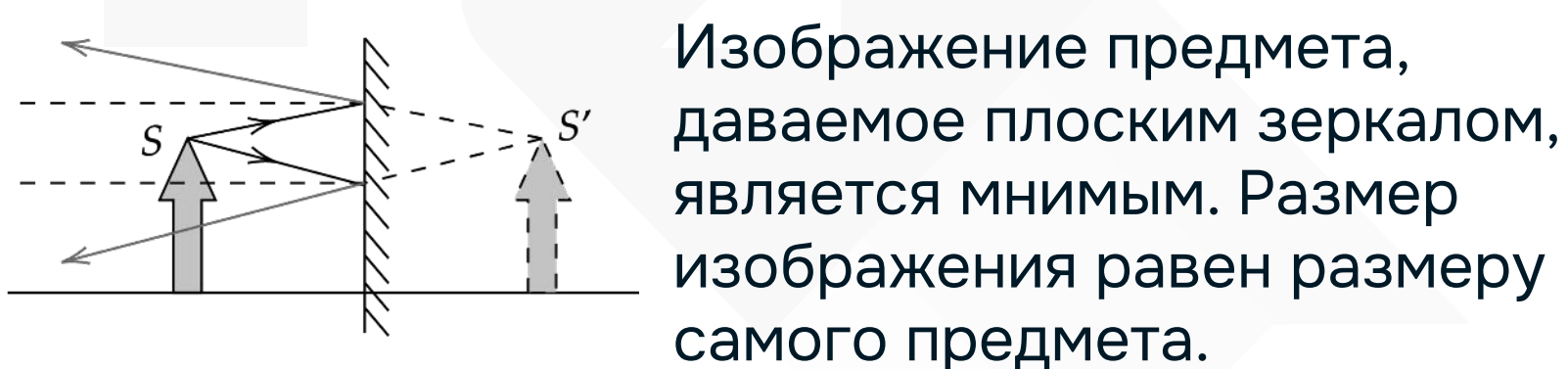
$H$  – высота изображения  
 $h$  – высота предмета

## Построение изображения точки, лежащей на глав. оптической оси

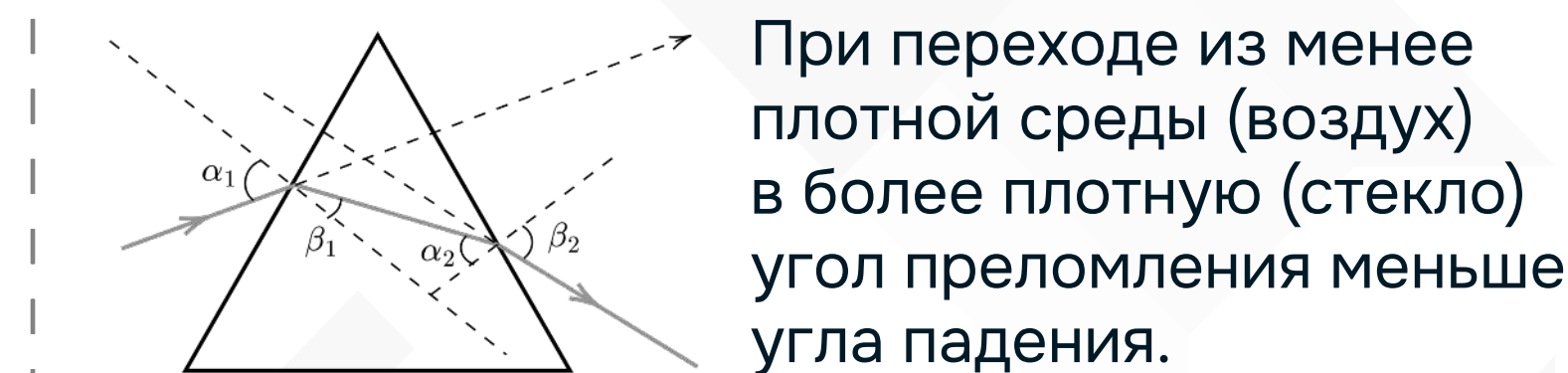
1. строим луч 1, параллельный главной оптической оси
2. произвольный луч 2, падающий от точки на линзу
3. побочную оптическую ось 3, параллельную лучу 2
4. фокальную плоскость 4
5. ход 5 преломленного луча 2 через побочный фокус
6. изображение  $S'$  точки  $S$



### Построение в зеркале



## Ход лучей в призме



$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = n \quad \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = \frac{1}{n}$$

### Волновая оптика

В любой среде скорость света и длина его волны уменьшаются, при этом **частота света не меняется**

$$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$$

Отношение скорости света в вакууме к скорости света в оптической среде:

$$\frac{c}{v_1} = \frac{\lambda \nu}{\lambda_1 \nu} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{c}{v} = n$$

В оптической среде длина волны уменьшается:

$$\lambda = n \lambda_1$$

**Интерференция** – сложение в пространстве двух или более волн и наблюдение интерференционной картины

**Условие интерференции** – волны когерентны:

1. частоты источников одинаковы
2. разность фаз источников постоянна

**Условие максимума:** разность хода волн равна целому числу длин волн (или четному числу длин полуволн)

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

**Условие минимума:** разность хода волн равна нечетному числу длин полуволн

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$



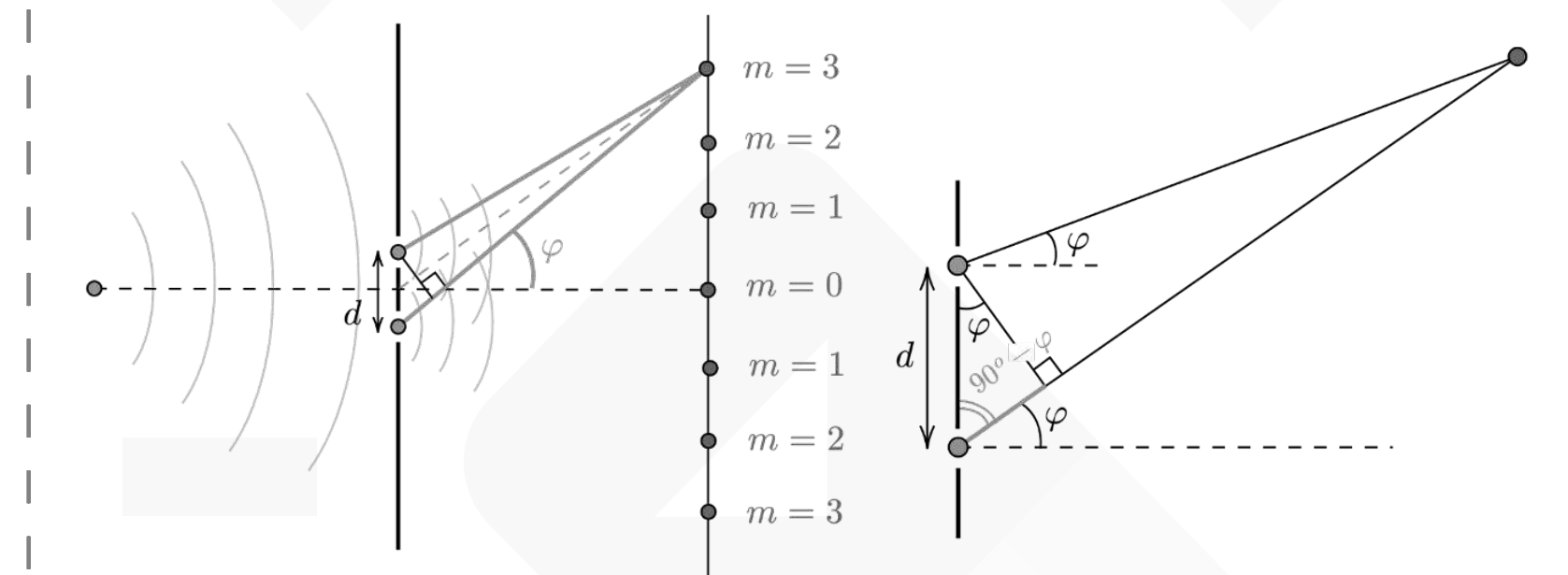
## Дифракционная решетка

**Принцип Гюйенса-Френеля:** каждая точка, до которой доходит волна, является источником вторичных волн; вторичные волны при наложении интерferируют друг с другом.

**Дифракция** – способность волн огибать встречающиеся на их пути препятствия, отклоняться от прямолинейного распространения.

Дифракционная решетка разлагает свет в спектр и позволяет точно определить длину волны.

Период решетки  $d$  – расстояние между штрихами.



### Формула дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda$$

$$d = \frac{\Delta l}{N}$$

$m$  – порядок дифракционного макс  
 $\varphi$  – угол наблюдения макс  
 $\lambda$  – длина волны  
 $d$  – период решетки  
 $\Delta l$  – общее расстояние  
 $N$  – количество штрихов



## Корпускулярно-волновой дуализм

**Гипотеза Планка:** при тепловом излучении энергия испускается и поглощается не непрерывно, а отдельными квантами

### Энергия фотона

### Импульс фотона

$$E_{\phi} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = pc$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

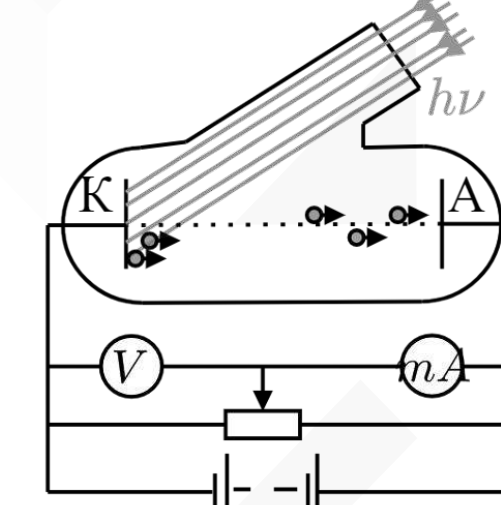
**Свету свойственен корпускулярно-волновой дуализм**

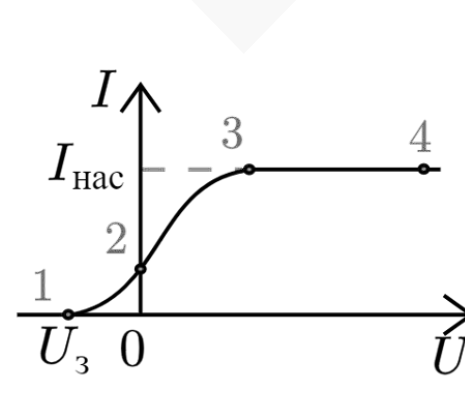
**Гипотеза де Бройля:** корпускулярно-волновой дуализм имеет универсальный характер

## Уравнение Эйнштейна для внеш. фотоэффекта

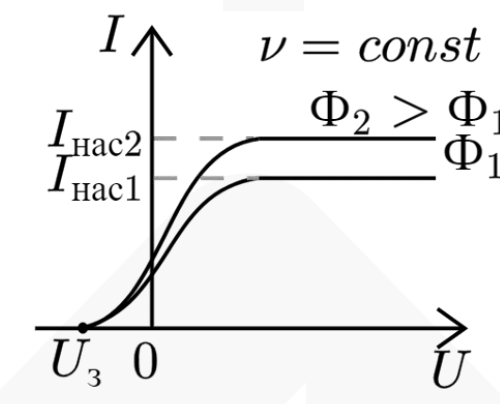
$$E_{\phi} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин. max}}$$

- $E_{\phi} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$
- $A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{кр}} = h \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}}$
- $E_{\text{кин. max}} = eU_{\text{зап}}$

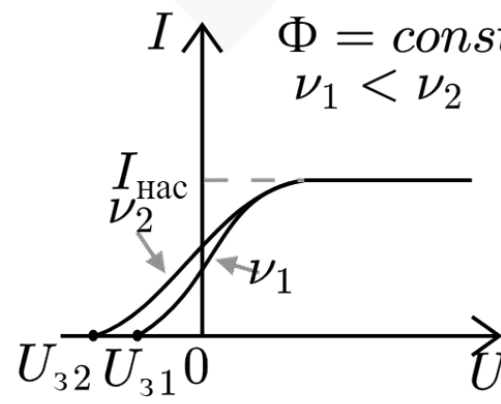




ВАХ



1 закон Столетова



2 закон Столетова

## Законы Столетова для внешнего фотоэффекта

**Первый закон.** При фиксированной частоте ток насыщения  $I_{\text{нас}}$  строго пропорционален световому потоку  $\Phi$  (интенсивности падающего излучения).

**Второй закон.** Задерживающее напряжение  $U_3$  не зависит от светового потока (интенсивности). Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света.

**Третий закон.** Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть существует наименьшая частота  $\nu = \nu_{\text{min}}$ , при которой еще возможен фотоэффект.

## Физика атома

### Постулаты Бора

- Атом может находиться в стационарных состояниях, каждому из которых соответствует энергия  $E_n$
- При переходе атома из одного стационарного состояния с энергией  $E_n$  в другое стационарное состояние с энергией  $E_m$  излучается или поглощается квант с энергией

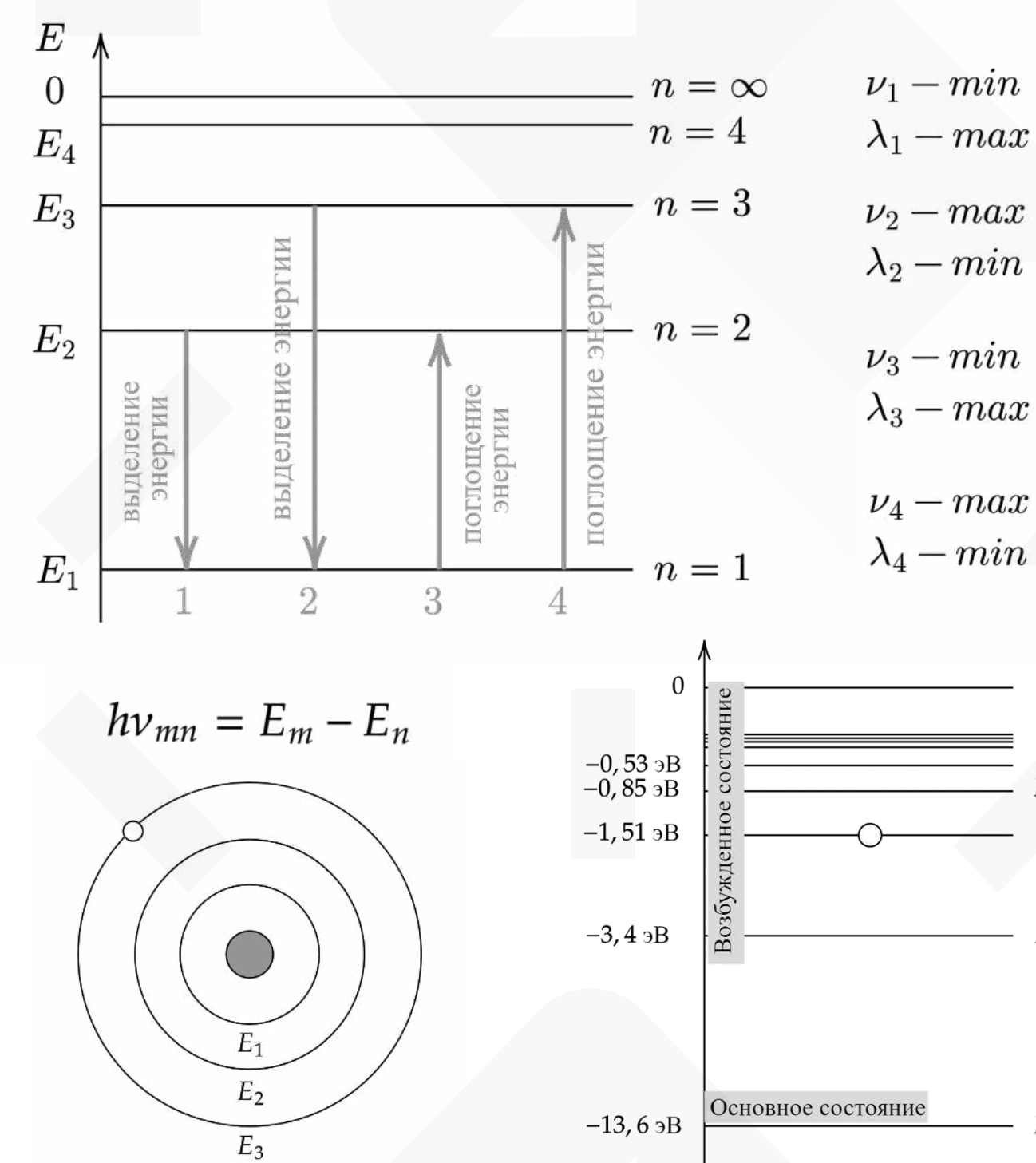
$$h\nu_{mn} = \frac{hc}{\lambda_{mn}} = |E_n - E_m|$$

## Спектры

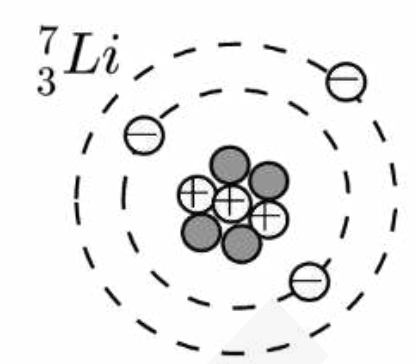
- Непрерывный (сплошной) спектр дают тела, находящиеся в твёрдом или жидком состоянии, а также сильно сжатые газы
- Линейчатые спектры дают вещества в газообразном атомарном состоянии

## Спектр уровней энергии атома водорода

$$E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$



## Физика атомного ядра

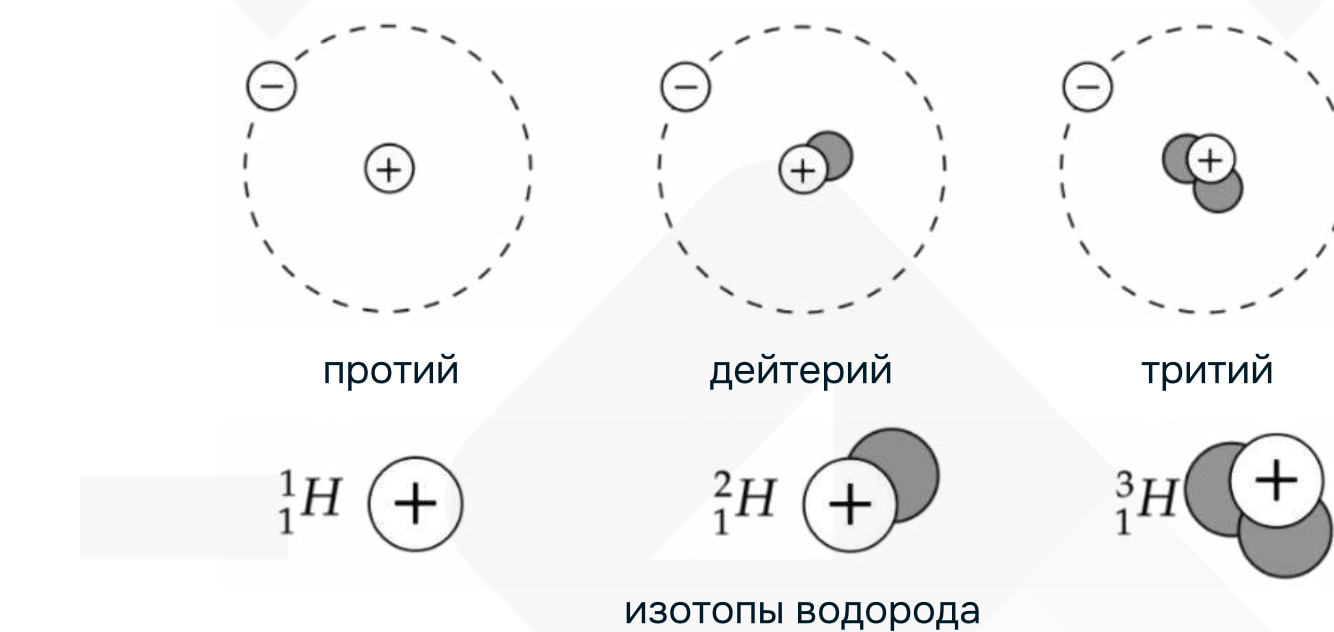


Запись обозначает, что в ядре элемента X содержится A нуклонов, из которых Z являются протонами.



A – массовое число (протоны + нейтроны)  
Z – зарядовое число (порядковый номер хим. элемента)  
Число нейтронов в ядре равно (A – Z)

**Изотопы** – это разновидности одного и того же хим. элемента, различающиеся числом нейтронов в ядре



**Дефект массы ядра:** масса ядра всегда меньше суммы масс входящих в его состав нуклонов (протонов и нейтронов)

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$$

Дефект массы ядра является мерой энергии связи атомного ядра.

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2$$

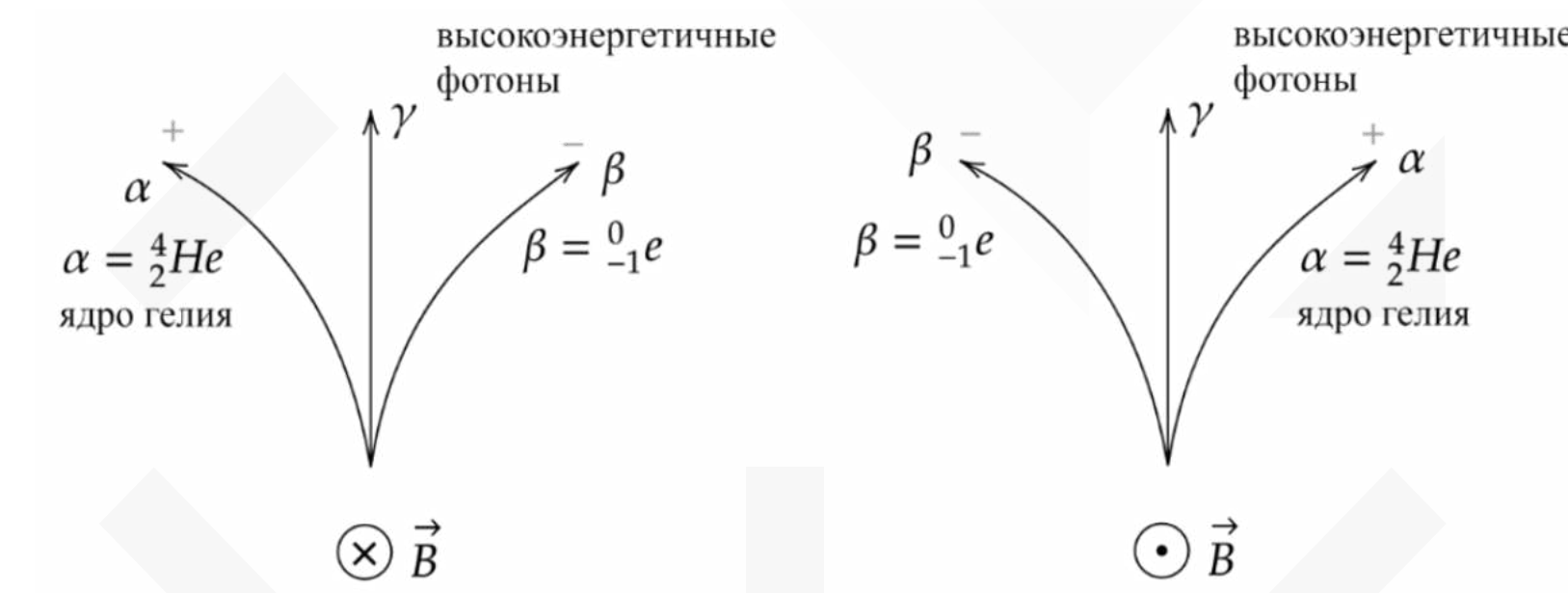
**Радиоактивность** – превращение атомных ядер в другие ядра, сопровождающееся испусканием частиц и электромагнитного излучения

### Правила смещения

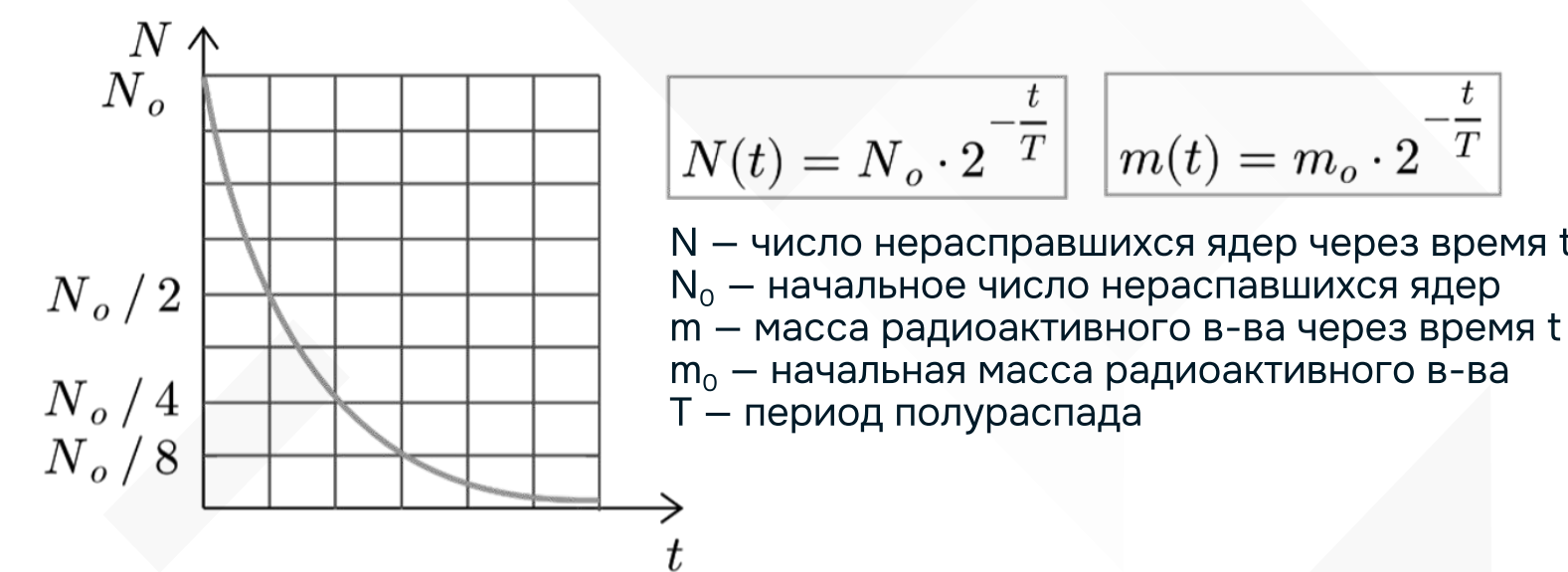
### Элементарные частицы

- $\alpha$  – распад  
 ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$
- электронный  $\beta$  – распад  
 ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e + \tilde{\nu}_e$
- позитронный  $\beta$  – распад  
 ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}e + \nu_e$
- $\gamma$  – распад  
 ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_Z\text{Y} + \gamma$

| название           | обозначение         |
|--------------------|---------------------|
| $\alpha$ – частица | ${}^4_2\text{He}$   |
| электрон           | ${}^0_{-1}e$        |
| позитрон           | ${}^0_{+1}e$        |
| нейтрино           | ${}^0_0\nu$         |
| антинейтрино       | ${}^0_0\tilde{\nu}$ |
| фотон              | ${}^0_0\gamma$      |



## Закон радиоактивного распада



**Период полураспада** – это время, в течение которого распадается половина начального числа радиоактивных атомов

**Активность** – число распадов, происходящих с ядрами образца в 1 с:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$A = \frac{\Delta N_{\text{расп}}}{\Delta t}$$

Единицы измерения: [Бк] – беккерель

## Волны де Бройля

$$\lambda_{\text{дБ}} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

### Давление света

Отражение фотона от зеркальной поверхности

$$\Delta p = 2p_0$$

Поглощения фотона от абсолютно чёрной поверхности

$$\Delta p = p_0$$