

# Тема: «Основы классической механики. Электростатика. Постоянный ток»

**Установочная сессия**

**Кравцова Наталья Анатольевна**

**к.физ-мат.н., доцент каф. «Физика и теоретическая механика»**

# **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2001 (2002, 2003 и т.д.)**
- 2. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2001 (2002, 2003 и т.д.)**
- 3. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. – М.: Высшая школа, 2003.**

**4. Чертов А.Г., Воробьёв А.А.  
Задачник по физике. – М.: Высшая  
школа, 2009.**

**5. Фирганг Е.В. Руководство к  
решению задач по курсу общей  
физики. – М.: Высшая школа, 2009**

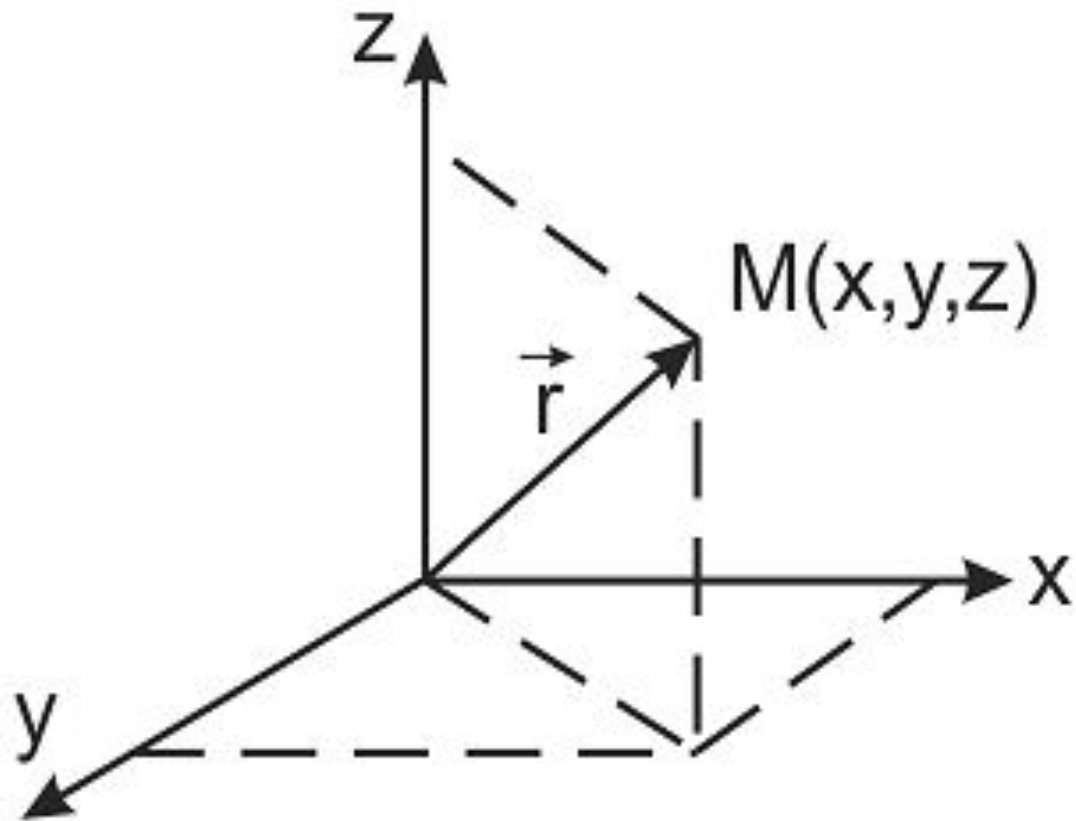
# 101 – 110. Основы кинематики поступательного и вращательного движений

**МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА** - это тело, размеры, форма и внутренняя структура которого в данной задаче несущественны

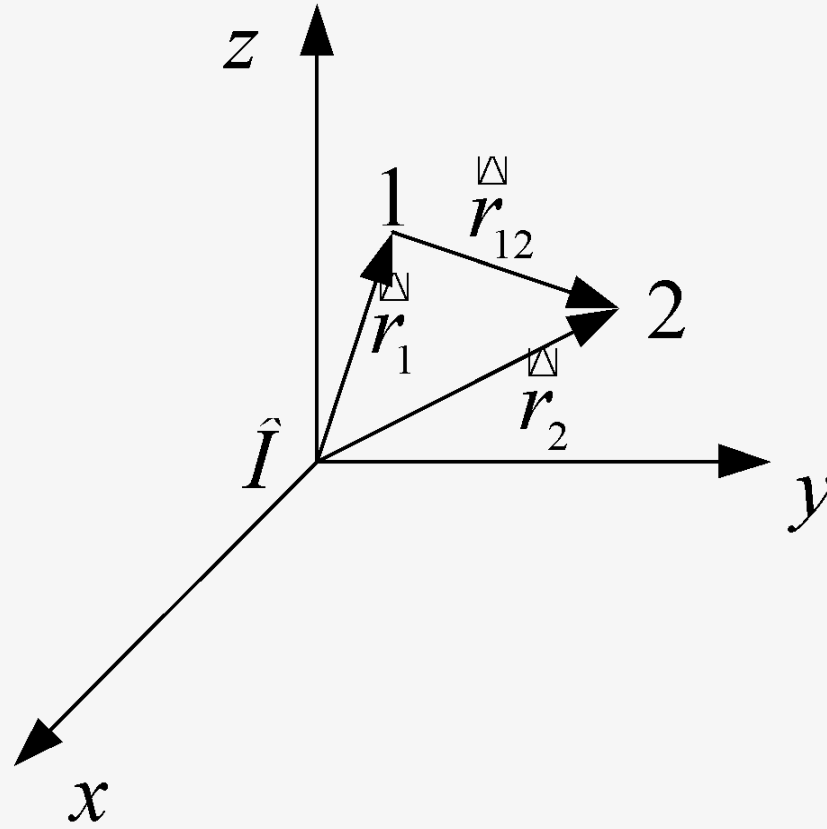
**АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО** - тело, деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь

**СИСТЕМА  
ОТСЧЕТА**

- ❖ **ТЕЛО ОТСЧЕТА**
- ❖ **СИСТЕМА КООРДИНАТ**
- ❖ **ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ**



$$\mathbf{r} = ix + jy + kz.$$



$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

## Вектор средней скорости

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

## Мгновенная скорость

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$$

$$v = \frac{dS}{dt}$$

**модуль мгновенной  
скорости**

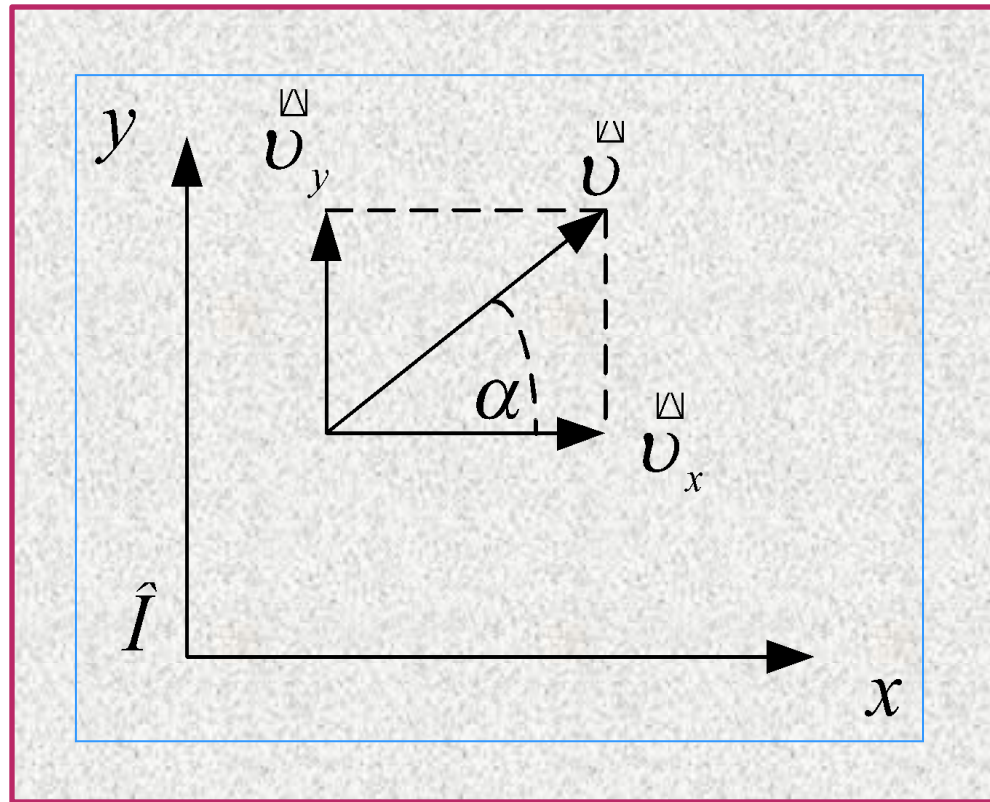
# КОМПОНЕНТЫ ВЕКТОРА СКОРОСТИ

$$\vec{v} = i v_x + j v_y + k v_z$$

$$\vec{v} = \vec{r} = i x + j y + k z$$

$$v_x = x, \quad v_y = y, \quad v_z = z$$





$$\vec{u} = \vec{u}_x + \vec{u}_y, \quad u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}, \quad u_x = u \cos \alpha, \quad u_y = u \sin \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{u_x}{u_y}$$

## СРЕДНЯЯ ПУТЕВАЯ СКОРОСТЬ

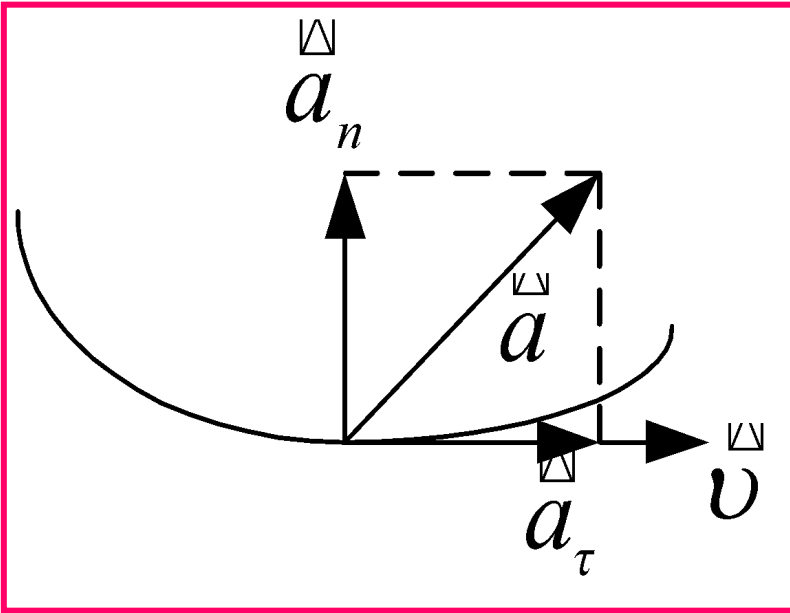
$$\langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

## СРЕДНЕЕ УСКОРЕНИЕ

$$\langle a \rangle = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

## МГНОВЕННОЕ УСКОРЕНИЕ

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v' = \frac{d^2 r}{dt^2} = r''$$

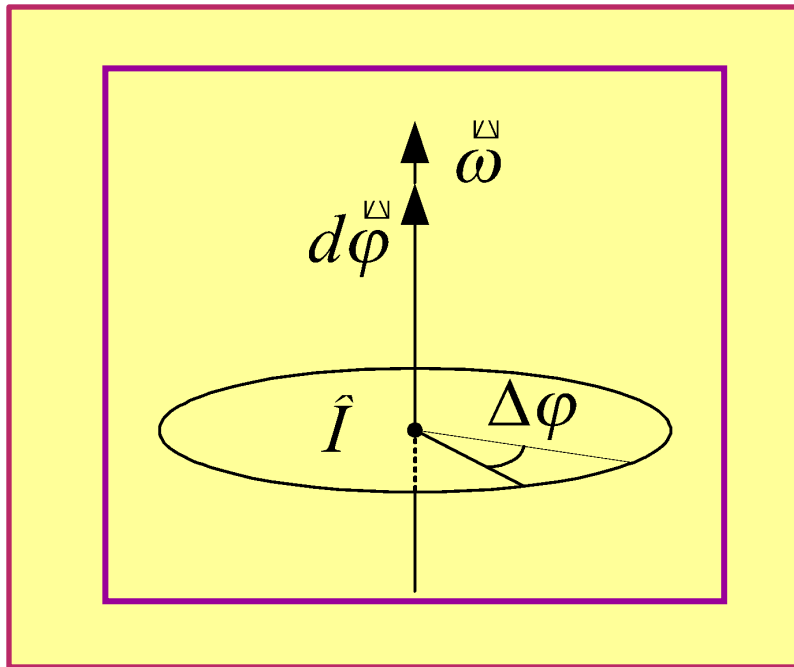


$$a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$



$\vec{\omega}$

вектор  
угловой  
скорости

$\vec{\varepsilon}$

- угловое  
ускорение

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} im \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} im \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\overset{\Delta}{v} = \left[ \overset{\Delta}{\omega} r \right]$$

$$v = \omega r$$

$$\overset{\Delta}{a}_{\tau} = \left[ \overset{\Delta}{\varepsilon} r \right]$$

$$a_{\tau} = \varepsilon r$$

$$\overset{\Delta}{a}_n = \left[ \overset{\Delta}{\omega} v \right]$$

$$a_n = \omega^2 r$$

# 111 – 120. Импульс. Закон сохранения импульса

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

импульс тела

$$\vec{F} = 0 \quad \frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{P} = const$$

**суммарный импульс замкнутой системы  
частиц остается постоянным**

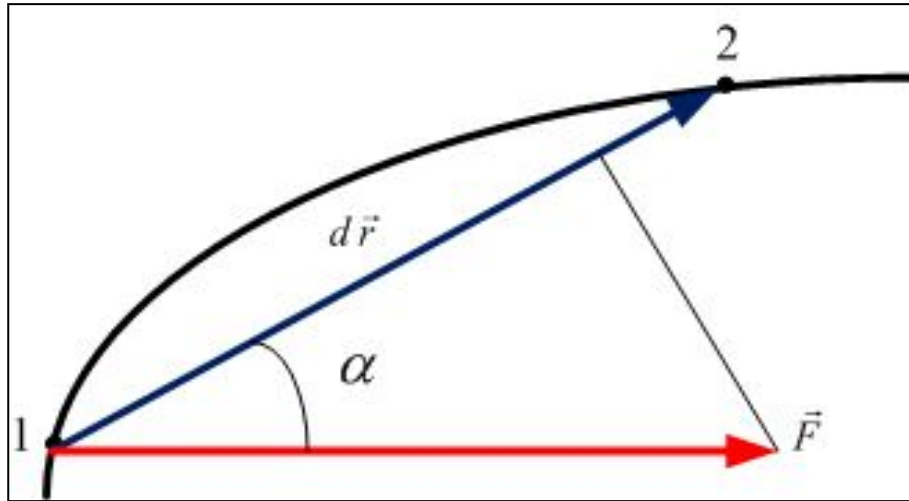
$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

$m_1, m_2$  – массы взаимодействующих тел, кг

$\vec{v}_1, \vec{v}_2$  – скорости тел до столкновения, м/с

$\vec{v}_1', \vec{v}_2'$  – скорости тел после столкновения, м/с

## 121 -130. Законы сохранения



элементарная  
работа

$$\delta A = \vec{F} d\vec{r}$$

$$\delta A = F dr \cos \alpha$$

Проекция силы на направление перемещения

$$F \cos \alpha = F_r$$

$$\delta A = F_r dr$$

Работа силы

$$A = \int \vec{F} d\vec{r} = \int F_r dr$$



$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

кинетическая  
энергия

$$W_p = \frac{kx^2}{2}$$

потенциальная  
энергия  
деформированного  
тела

$$W_p = mgh$$

потенциальная  
энергия тела,  
поднятого над  
Землей

$$W = W_k + W_p$$

**полная  
механическая  
энергия**

## **ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

$$W = W_k + W_p = \textit{const}$$

**Если на тело действуют только  
консервативные силы, полная энергия  
системы сохраняется**

# Работа силы упругости. Работа силы тяжести

$$F_{\text{упр}} = -kx \quad \text{закон Гука}$$

## РАБОТА СИЛЫ УПРУГОСТИ

$$A_{\text{упр}} = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right) \quad A_{\text{упр}} = -A$$

$$A = \int_{x_1}^{x_2} kx \, dx$$

$$A = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}$$

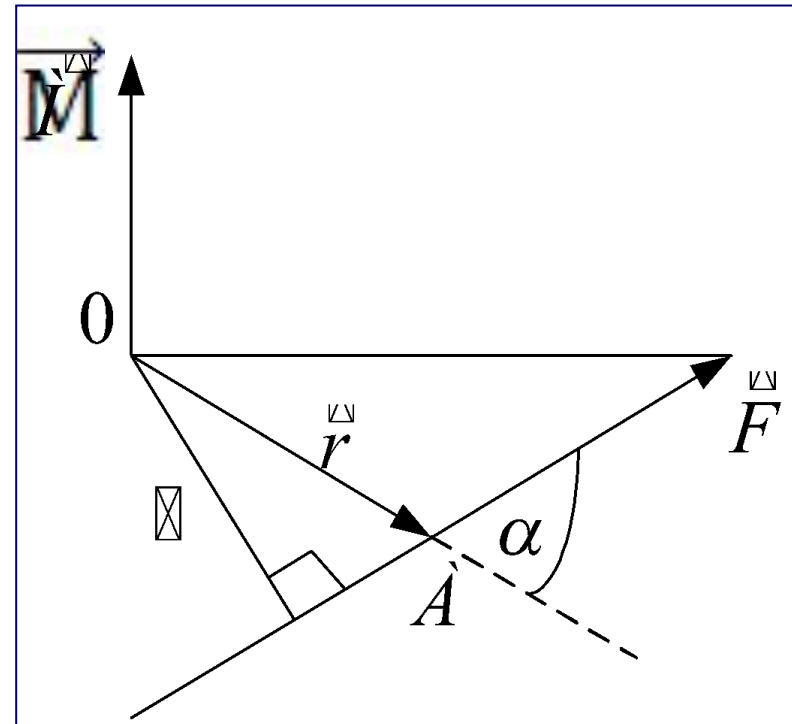
## РАБОТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

$$A = -(mgh_2 - mgh_1)$$

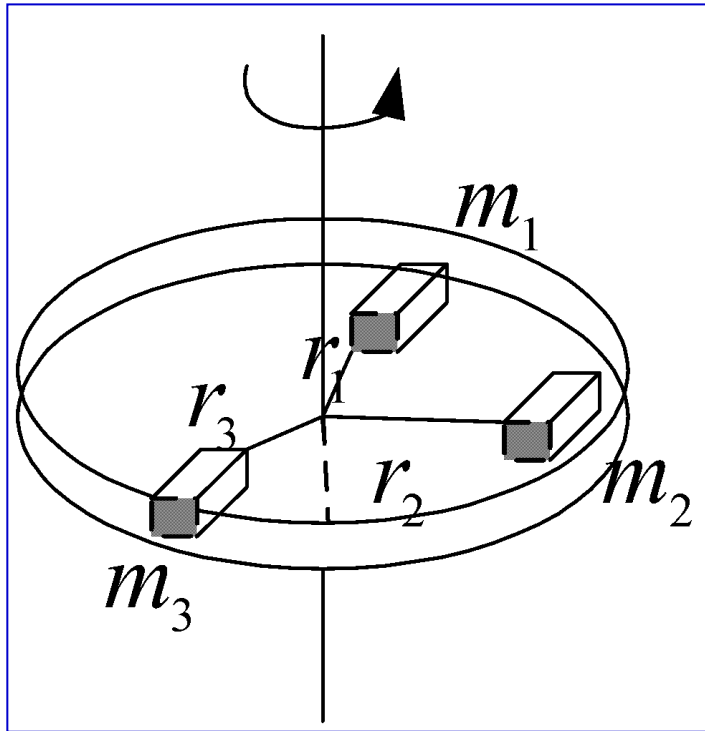
131 – 140. Динамика твердого тела. Момент инерции. Момент силы. Основное уравнение вращательного движения

$$\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}] \text{ МОМЕНТ СИЛЫ}$$

$$M = Fr \sin \alpha = F \cdot \square$$



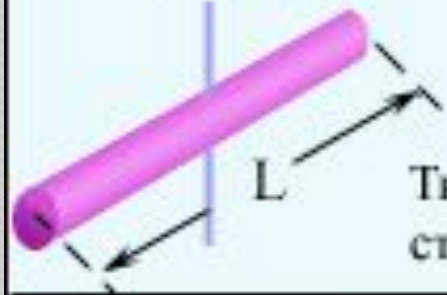
# Момент инерции твердого тела



$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

$$J = \int_V r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV$$

$$I_c = \frac{1}{12} ML^2$$



Твердый стержень

$$I_c = \frac{2}{5} MR^2$$



Шар

$$I_c = \frac{2}{3} MR^2$$



Тонкостенная сферическая оболочка

$$I_c = MR^2$$



Тонкостенный цилиндр

$$I_c = \frac{1}{2} MR^2$$



Диск

$$I_c = \frac{1}{4} MR^2$$

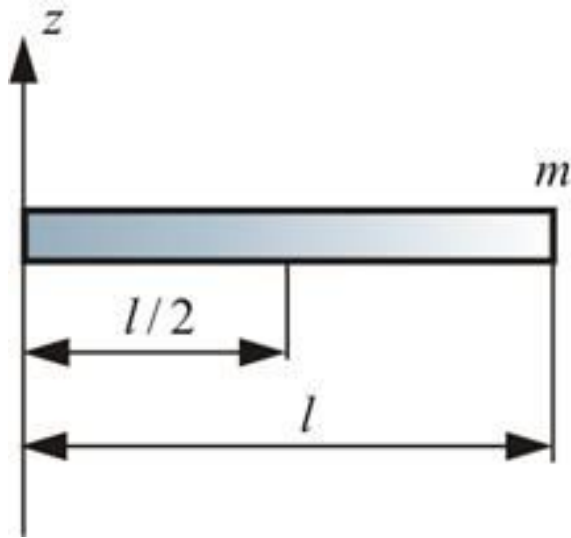


Диск

## ТЕОРЕМА ШТЕЙНЕРА

$$J_z = J_c + ma^2$$

## Пример применения теоремы Штейнера



$$J = \frac{m l^2}{12} + m \left( \frac{l}{2} \right)^2 = \frac{m l^2}{3}$$

**УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ**

$$J \varepsilon = M$$

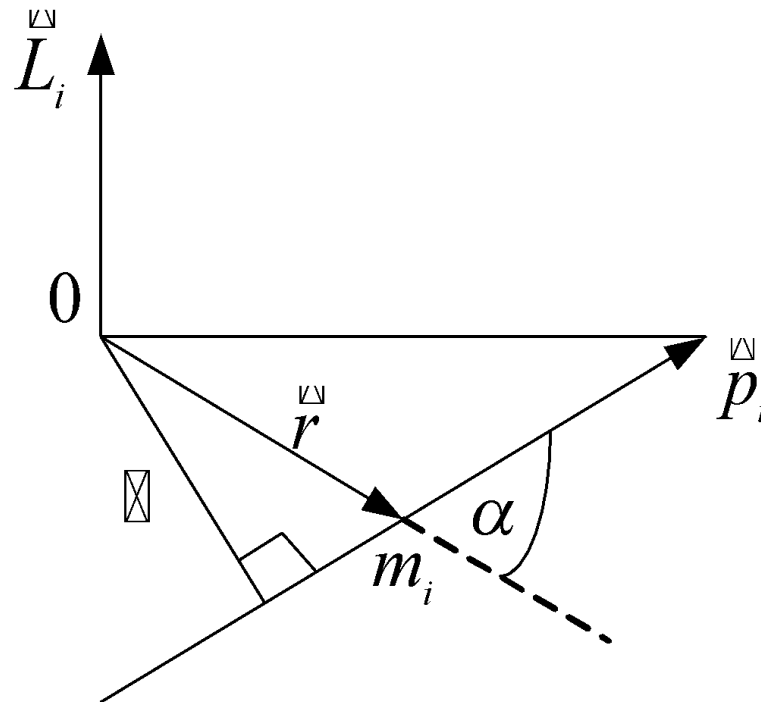
# Динамика твердого тела. Момент импульса.

## Закон сохранения момента импульса

### МОМЕНТ ИМПУЛЬСА ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЧКИ

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] = [\vec{r}, m\vec{v}]$$

$$L = rp \sin \alpha = p r_{\perp}$$





## УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$$

## ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА

$$\vec{M} = 0 \qquad \vec{L} = \text{const}$$

$$J\varepsilon = M_z \quad J \frac{d\omega}{dt} = M_z$$

$$J\omega = L$$



## 141 -150 Закон Кулона. Напряженность электрического поля

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД**

**Физическая величина, характеризующая свойство тел или частиц вступать в электромагнитные взаимодействия и определяющая значения сил и энергий при таких взаимодействиях**

**Электрический заряд – фундаментальное неотъемлемое свойство элементарных частиц**

**ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ**

## НАИМЕНЬШАЯ ВЕЛИЧИНА ЗАРЯДА

$e = 1,60219 \cdot 10^{-19}$  Кл – элементарный заряд

**ПРОТОН** – элементарная частица, входящая в состав атома и имеющая заряд  $+e$

**ЭЛЕКТРОН** – элементарная частица, имеющая заряд  $-e$

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД КВАНТУЕТСЯ** (ПРИНИМАЕТ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ):  $q = Ne$ , где  $N$  – ЦЕЛОЕ ЧИСЛО

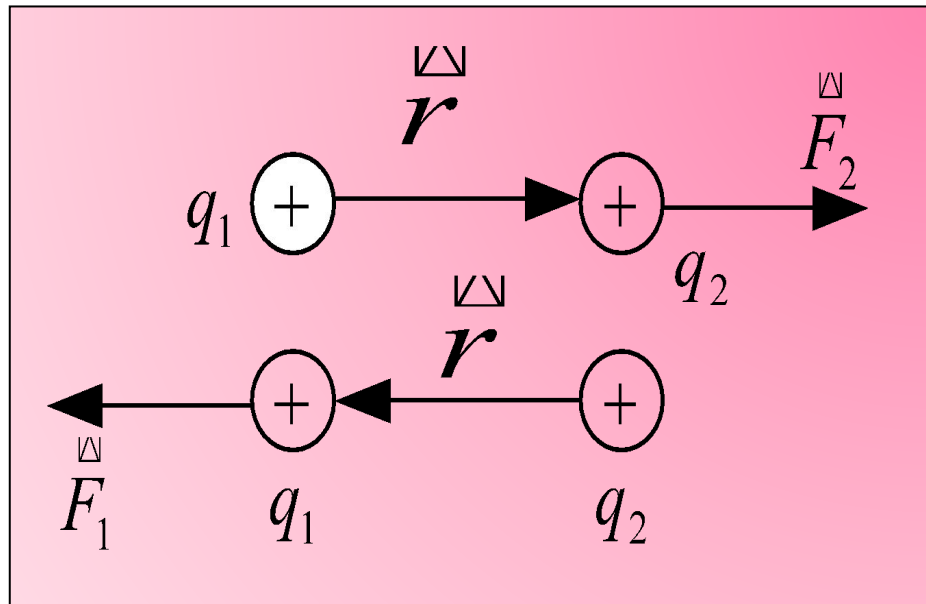
# 1785 г. О. КУЛОН

закон взаимодействия точечных зарядов в вакууме:

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

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ М/Ф}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/М}$$



## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ –

силовое поле, посредством которого взаимодействуют электрические заряды

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ –

поле, создаваемое неподвижными зарядами

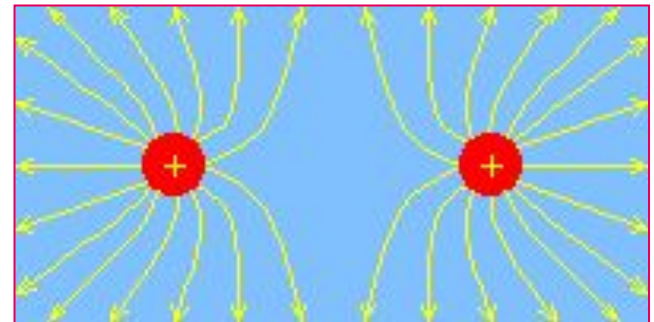
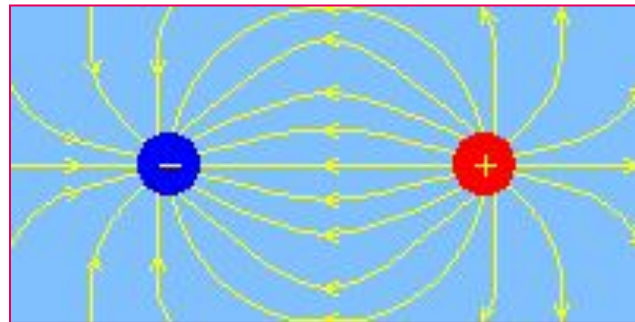
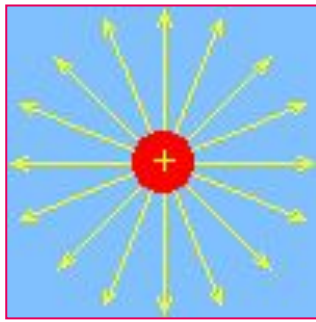
пробный точечный положительный заряд – точечный заряд, не искажающий своим присутствием самого поля

### напряженность $E$

$$E = \frac{F}{Q_0}$$

напряженность поля точечного заряда

$$E = k \frac{q}{r^2}$$



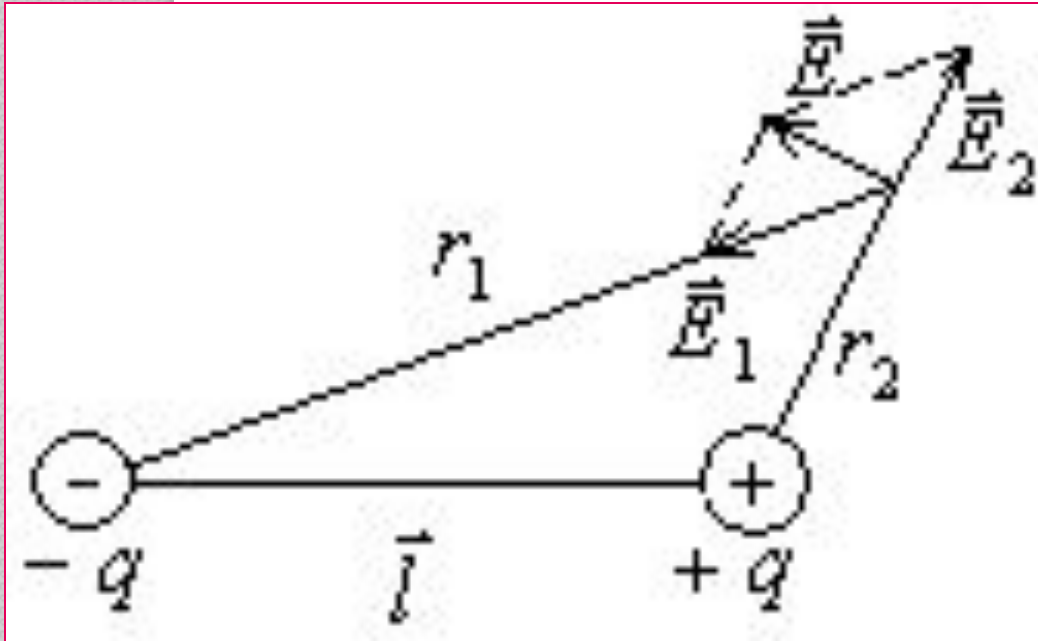
НА ЗАРЯД  $q$ , НАХОДЯЩИЙСЯ В ПОЛЕ С  
НАПРЯЖЕННОСТЬЮ  $E$ , ДЕЙСТВУЕТ СИЛА:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$

# Пример расчета электрических полей



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

$$E_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}$$

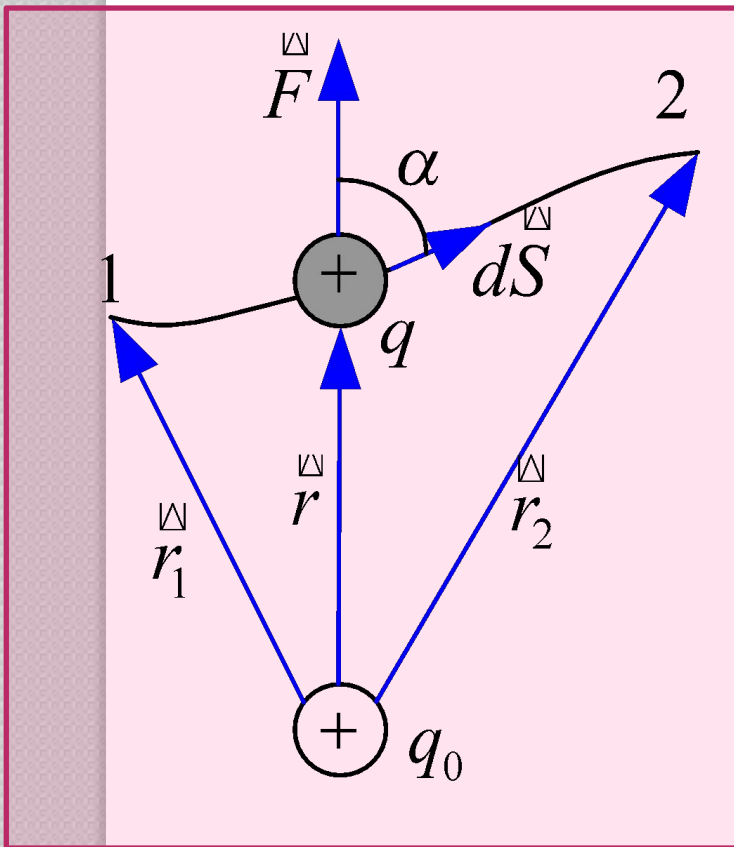
$$E_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2^2}$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \alpha}$$

$$l^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \alpha$$



## 151 – 160 Работа электрического поля. Потенциал поля. Разность потенциалов



$$A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{qq_0}{r_1} - \frac{qq_0}{r_2} \right)$$

потенциальная энергия  
точечного заряда в  
электростатическом поле

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r}$$

$$A_{12} = U_1 - U_2 = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$$

● потенциал электростатического поля

$$\varphi = \frac{U}{q}$$

$$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / \text{ Кл}$$

*потенциал электростатического поля –  
энергетическая характеристика поля*

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

потенциал поля  
точечного заряда

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i}$$

принцип суперпозиции  
электрических полей

**линейная плотность заряда** – физическая величина, определяемая зарядом, приходящимся на единицу длины

$$\tau = \frac{dQ}{dl}$$

**поверхностная плотность заряда**  
физическая величина, определяемая зарядом, приходящемся на единицу поверхности

$$\sigma = \frac{dQ}{dS}$$

## 161 – 170 Законы постоянного тока

- СИЛА ТОКА

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

1 А

- ПЛОТНОСТЬ ТОКА

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$

1 А/м<sup>2</sup>

- **напряжение на участке электрической цепи (падение напряжения на участке цепи)**

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$$

**закон Ома для однородного участка цепи**

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

**закон Ома в дифференциальной форме**

$$\overset{\square}{j} = \gamma \overset{\square}{E}$$

## ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ

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

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

сопротивление  
цилиндрического  
проводника

$$[R] = 1 \text{ Ом}; [\rho] = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

- РАБОТА ТОКА

$$dA = U I dt$$

- МОЩНОСТЬ, РАЗВИВАЕМАЯ ТОКОМ НА УЧАСТКЕ ЦЕПИ

$$P = U I = (\varphi_1 - \varphi_2) I + \varepsilon_{12} I$$

- МОЩНОСТЬ, ВЫДЕЛЯЕМАЯ ВО ВНЕШНЕЙ ЦЕПИ

$$P = U I = I^2 R = U^2 / R$$

- КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД)  
ИСТОЧНИКА ТОКА – ОТНОШЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ РАБОТЫ К  
ЗАТРАЧЕННОЙ РАБОТЕ

$$\eta = A_{\text{ПОЛ}} / A_{\text{ЗАТР}}$$

$$\eta = U_{\text{ВН}} / \varepsilon$$

$$\eta = R_{\text{ВН}} / (R_{\text{ВН}} + r)$$



## 171-180 Закон Джоуля-Ленца

- Закон Джоуля – Ленца

$$dQ = I U dt = I^2 R dt = (U^2/R)dt$$

- Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме

$$w = j E = \gamma E^2$$

**W – УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ ТОКА**

*КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЕСЯ ЗА ЕДИНИЦУ  
ВРЕМЕНИ В ЕДИНИЦЕ ОБЪЕМА ПРОВОДНИКА*