

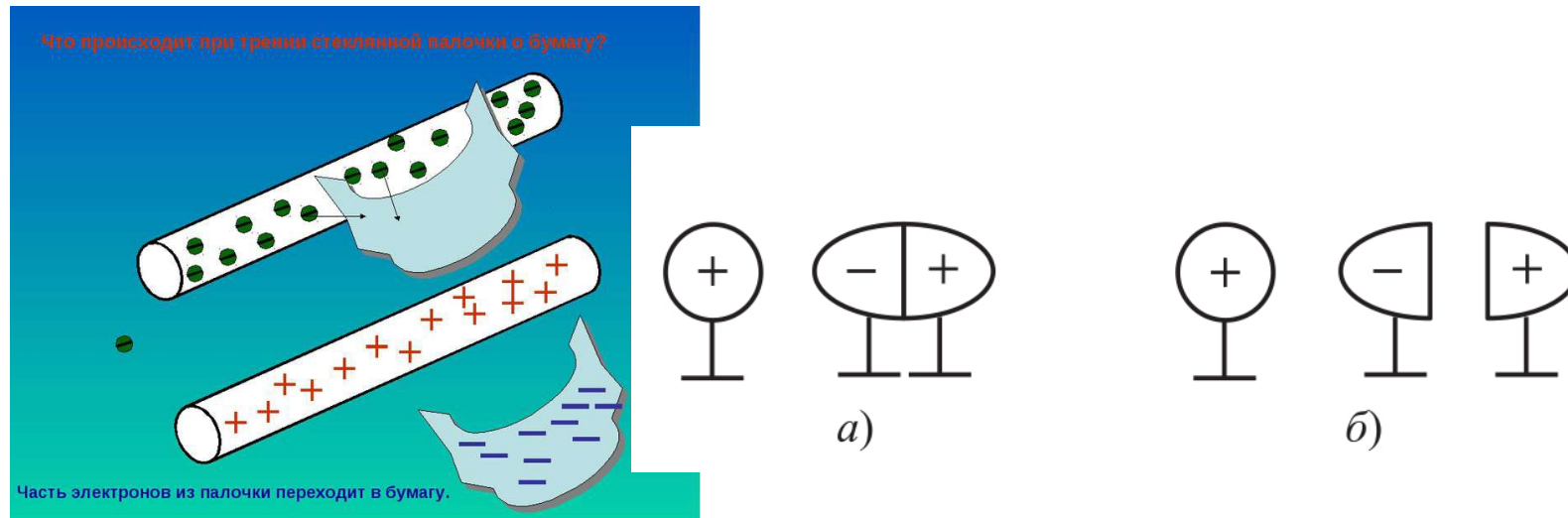
# Электростатика

Закон Кулон.

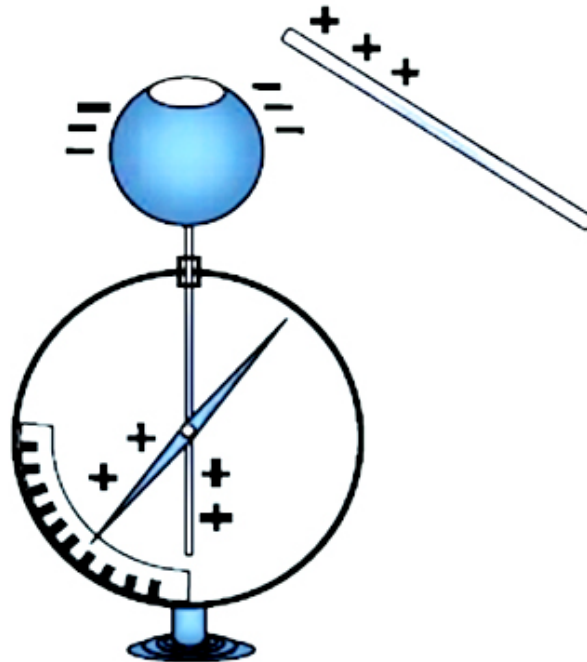
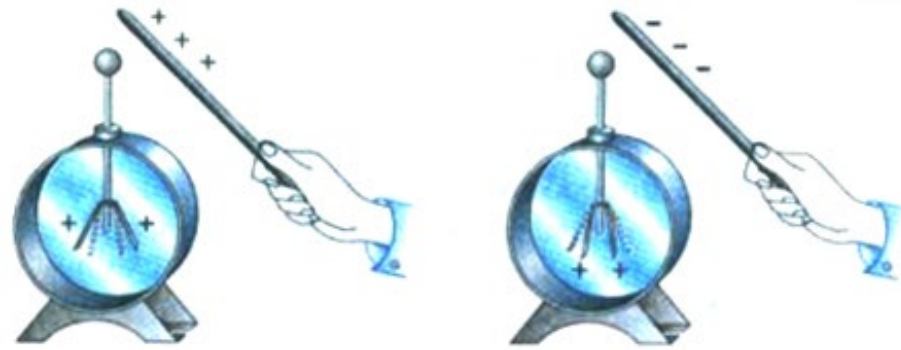
Напряженность электрического поля

# Способы электризации тел

1. Электризация трением (соприкосновением).
2. Электризация через влияние, или метод электростатической индукции.
3. При освещении металла ультрафиолетовым источником света.



# Электроскоп



# Свойства электрических зарядов

**1.** Существуют заряды двух видов: *отрицательные и положительные.*

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл, а } m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$q_p = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл, масса } m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

**2.** Электрический заряд имеет дискретную природу.

(закон сохранения заряда:  $q = \pm N |q_e|$ , где  $N$  – целое число)

**3.** В изолированной системе, т.е. в системе, тела которой не обмениваются зарядами с внешними по отношению к ней телами, алгебраическая сумма зарядов сохраняется (закон сохранения заряда).

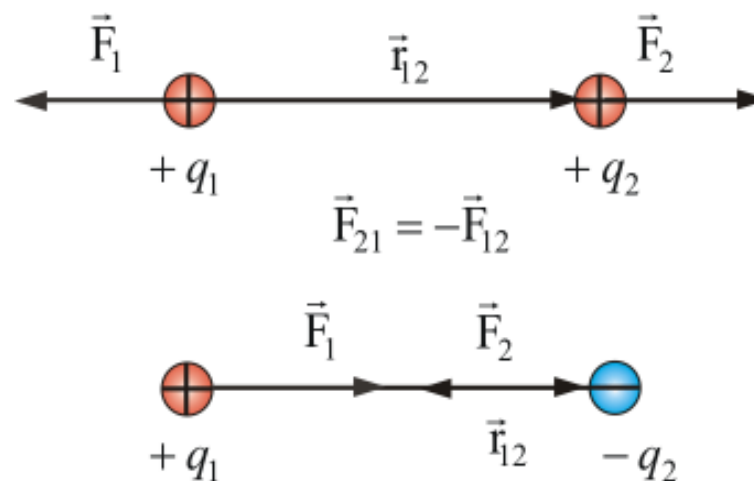
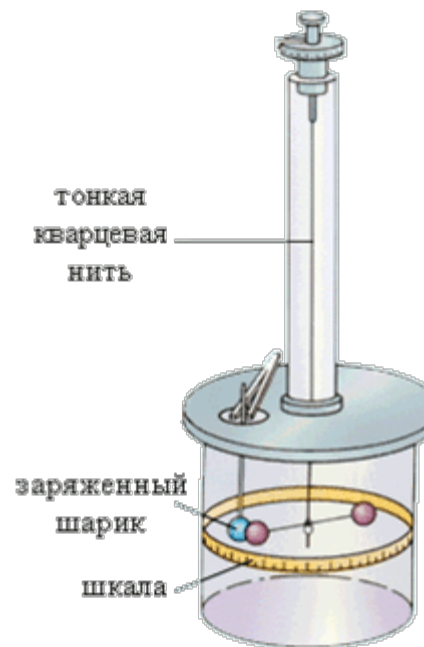
# Закон Кулона

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

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф} / \text{м}$$

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



## Примеры решения задач

Многие задачи по теме «Электростатика» сводятся практически к решению задач из раздела «Механика», в частном случае, «Статики», единственная особенность состоит в том, что одной из действующих сил является сила электростатического взаимодействия.

**Задача 1.** Какой заряд имел бы 1 см<sup>3</sup> железа, если бы удалось удалить из него миллионную часть содержащихся в нем электронов?

**Решение.**

$$m = \rho V$$

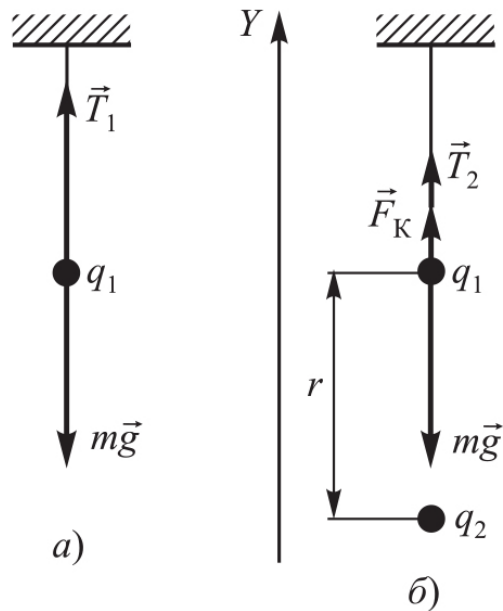
$$N_0 = \frac{m}{A} N_A = \frac{\rho V}{A} N_A$$

$$Z = 27 \quad N_e = Z \frac{\rho V}{A} N_A$$

$$q = +nZ \left( \frac{\rho V}{A} \right) N_A |q_e| = 3,53 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

**Задача 2.** Маленький шарик массой  $2 \cdot 10^{-3}$  кг, подвешенный на тонкой шелковой нити, несет на себе заряд  $3 \cdot 10^{-7}$  Кл. На какое расстояние к нему следует поднести другой маленький шарик с зарядом  $5 \cdot 10^{-7}$  Кл, чтобы натяжение нити уменьшилось в 2 раза?

**Решение.**



$$T_1 = mg \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}$$

$$m\vec{g} + \vec{T}_2 + \vec{F}_K = 0$$

$$F_K + T_2 - mg = 0$$

$$T_2 = \frac{T_1}{2} = \frac{mg}{2}$$

$$\frac{mg}{2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 mg}} = 3,7 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$



**Задача 3.** Два разноименных заряда  $q_1 = 2 \cdot 10^{-4}$  Кл и  $q_2 = -8 \cdot 10^{-4}$  Кл расположены на расстоянии 1 м друг от друга. Какой величины и где надо поместить заряд  $q_x$ , чтобы система зарядов находилась в равновесии?

**Решение.**

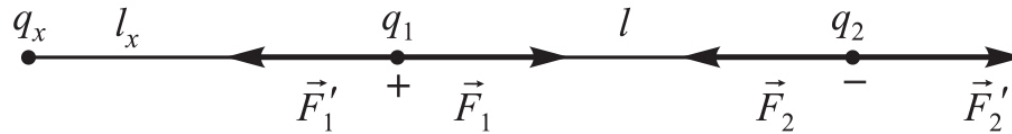
$$\vec{F}_1 = -\vec{F}'_1, \quad \vec{F}_2 = -\vec{F}'_2$$

$$F_1 = F'_1, \quad F_2 = F'_2$$

$$k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{|q_x| |q_1|}{l_x^2} \quad k \frac{|q_1| |q_2|}{l^2} = k \frac{|q_x| |q_2|}{(l + l_x)^2}$$

$$\frac{|q_2|}{(l + l_x)^2} = \frac{|q_1|}{l_x^2} \quad \left| \frac{q_2}{q_1} \right| \cdot l_x^2 = (l + l_x)^2$$

$$\frac{l + l_x}{l_x} = \pm \sqrt{\left| \frac{q_2}{q_1} \right|} \quad l_x = l = 1 \text{ м} \quad q_x = q_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$



**Задача 4.** В вершинах квадрата находятся одинаковые по величине одноименные заряды. Определите величину заряда  $q_0$ , который надо поместить в центр квадрата, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Будет ли это равновесие устойчивым?

**Решение.**

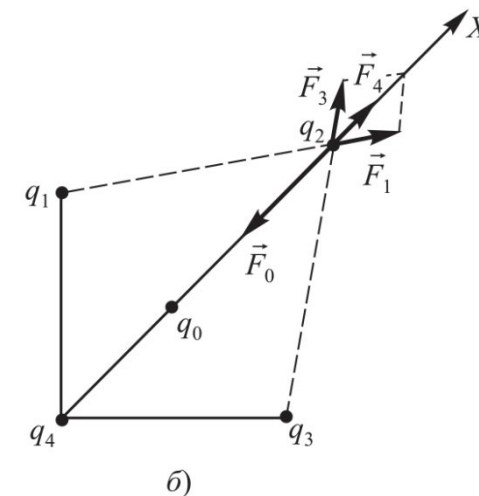
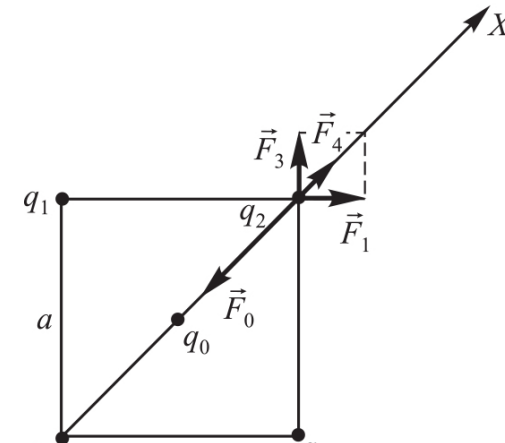
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_0 = 0$$

$$F_1 = F_3 = k \frac{q^2}{a^2} \quad F_4 = k \frac{q^2}{2a^2} \quad F_0 = 2k \frac{q \cdot q_0}{a^2}$$

$$F_1 \cdot \cos 45^\circ + F_3 \cdot \cos 45^\circ + F_4 - F_0 = 0$$

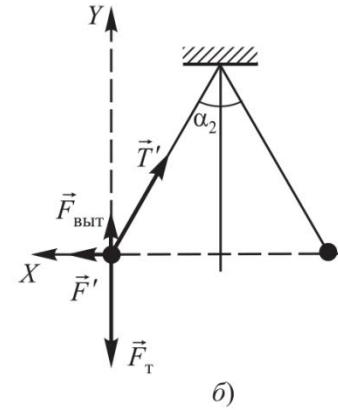
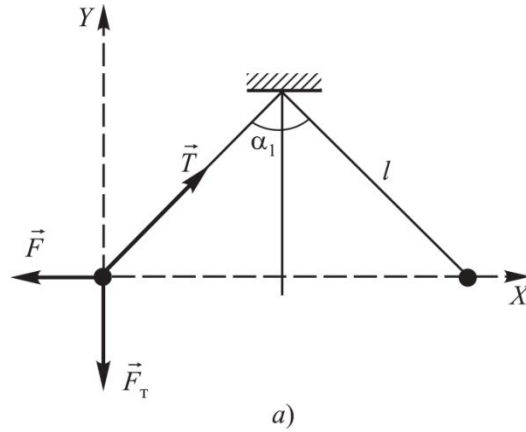
$$k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{2} + k \frac{q^2}{2a^2} - k \frac{2q \cdot q_0}{a^2} = 0$$

$$q_0 = q \frac{(1 + 2\sqrt{2})}{4} = 0,95q$$



**Задача 5.** Два маленьких одноименно заряженных шарика радиусом  $r = 1$  см подвешены на двух нитях длиной  $l = 1$  м. Заряды шариков  $q = 4 \cdot 10^{-6}$  Кл. Нити, на которых подвешены шарики, составляют угол  $\alpha_1 = 90^\circ$ ,  $m_1 = m_2 = m$ . Определите 1) массу шариков, 2) диэлектрическую проницаемость диэлектрика, если его плотность  $\rho = 0,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, при условии, что при погружении шарика в жидкий однородный диэлектрик угол между нитями будет  $\alpha_2 = 60^\circ$ .

**Решение.**



$$1) \vec{F} + \vec{T} + \vec{F}_T = 0$$

$$\text{на ось } X : -F + T \sin(\alpha_1 / 2) = 0,$$

$$\text{на ось } Y : T \cos(\alpha_1 / 2) - mg = 0 \quad mg = F \operatorname{ctg}(\alpha_1 / 2)$$

$$r = 2l \sin(\alpha_1 / 2)$$

$$F = k \frac{q^2}{4l^2 \sin^2(\alpha_1 / 2)}$$

$$m = \frac{kq^2}{g4l^2 \sin^2(\alpha_1 / 2)} \operatorname{ctg}(\alpha_1 / 2) = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 g4l^2 \sin^2(\alpha_1 / 2)} \operatorname{ctg}(\alpha_1 / 2) = 0,072 \text{ кг}$$

$$2) \vec{F}_{\text{выт}} = -\rho V \vec{g} \quad V = (4/3)\pi r^3$$

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_{\kappa} + \vec{F}_{\text{выт}} = 0$$

$$\text{на ось } X : F_{\kappa} - T_2 \sin(\alpha_2 / 2) = 0$$

$$\text{на ось } Y : T_2 \cos(\alpha_2 / 2) + F_{\text{выт}} - mg = 0,$$

$$F_{\kappa} = (mg - F_{\text{выт}}) \cdot \text{tg}(\alpha_2 / 2)$$

$$\left(m - \frac{4}{3}\pi\rho r^3\right) g \text{tg}(\alpha_2 / 2) = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 \varepsilon l^2 \sin(\alpha_2 / 2)}$$

$$\varepsilon = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 l^2 \sin^2(\alpha_2 / 2) \left(m - \rho(4/3)\pi r^3\right) g \text{tg}(\alpha_2 / 2)} = 6,5$$

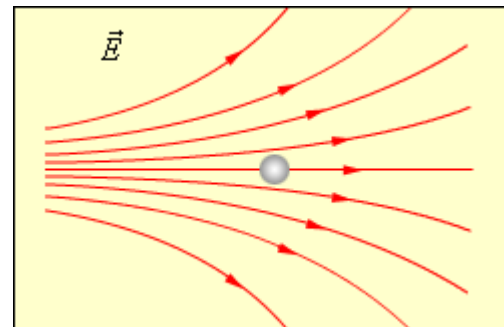
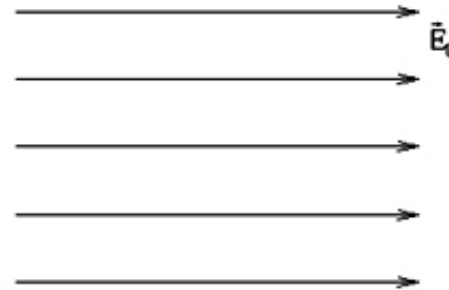
$$[\varepsilon] = \frac{\text{Кл}^2}{\left(\frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}\right) \cdot \text{м}^2 \cdot \left(\text{кг} - \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^3}\right) \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}\right) \cdot \text{м}^2 \cdot (\text{кг}) \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)} = 1$$

# Напряженность электрического поля

Напряженность электрического поля определяется силой, действующей на положительный заряд, помещенный в данную точку поля, деленной на величину этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}$$

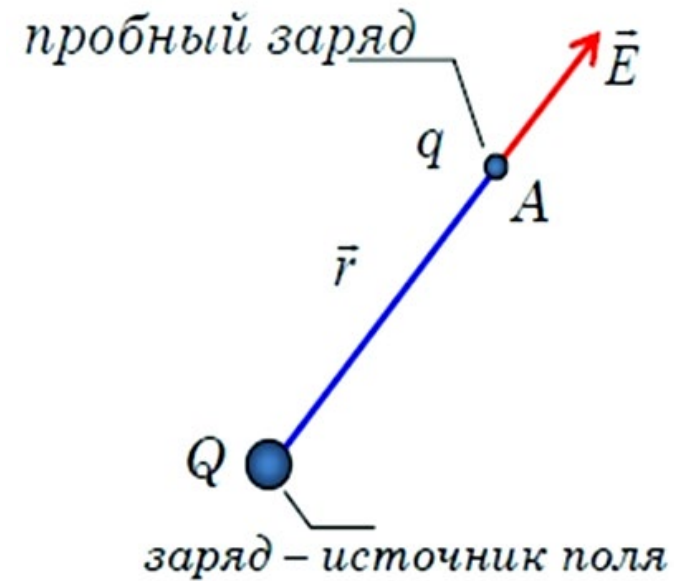
$$\vec{F} = q\vec{E}(x_0, y_0, z_0)$$



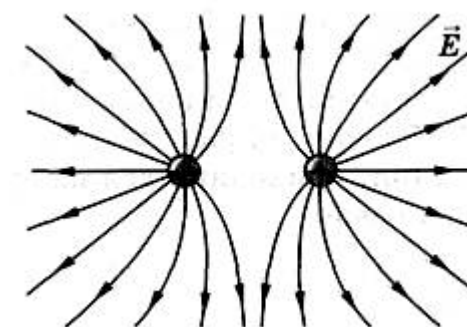
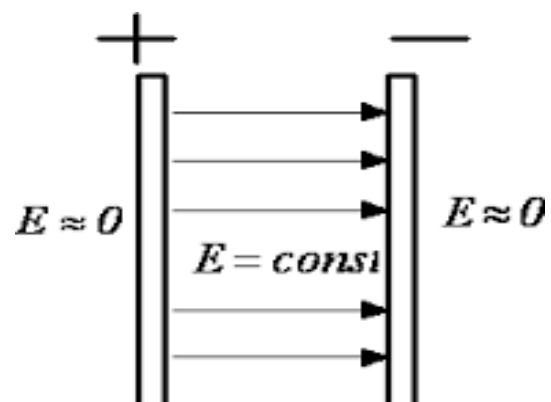
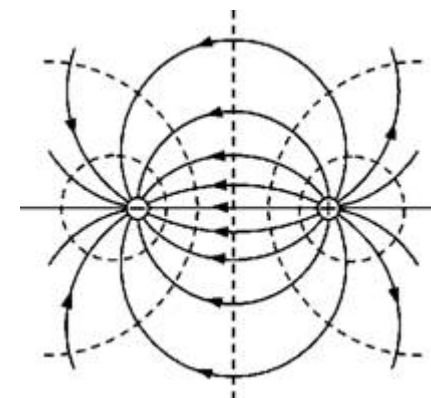
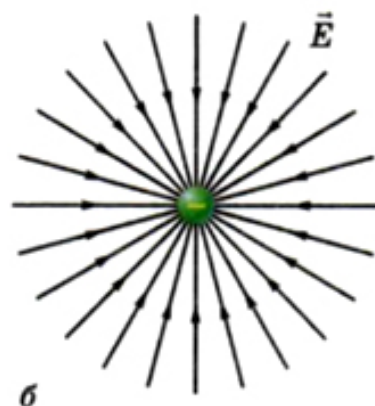
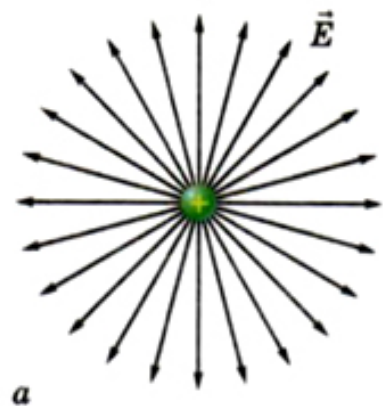
# Электрическое поле точечного заряда

$$F = k \frac{|q||q_{\text{пр}}|}{\epsilon r^2}$$

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



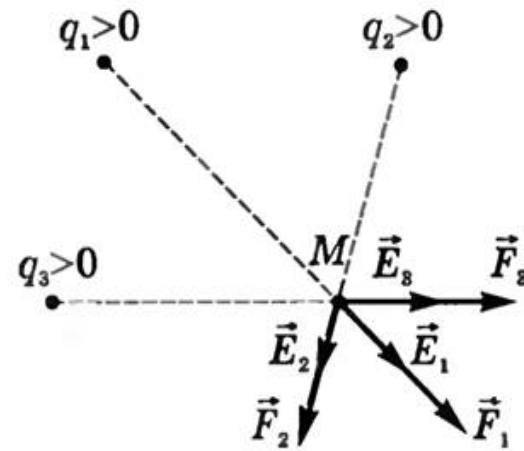
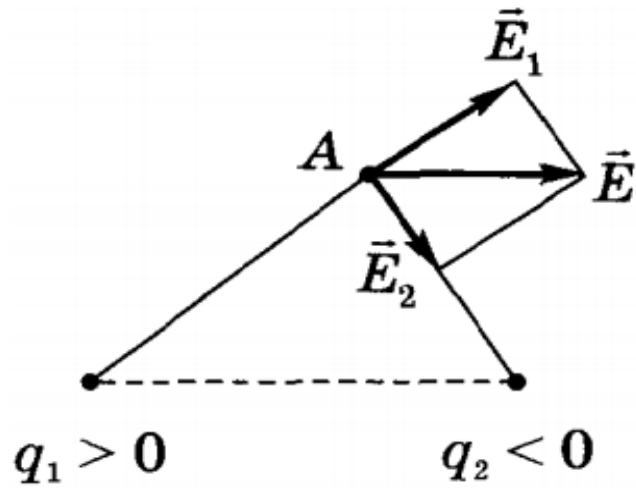
# Графическое изображение электрического поля





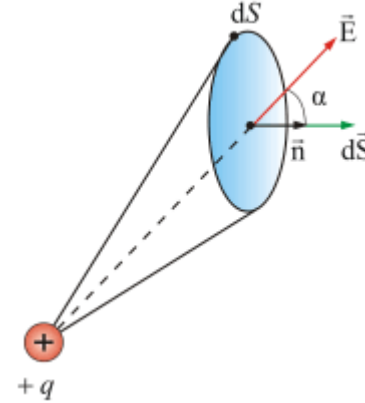
# Принцип суперпозиции полей

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$



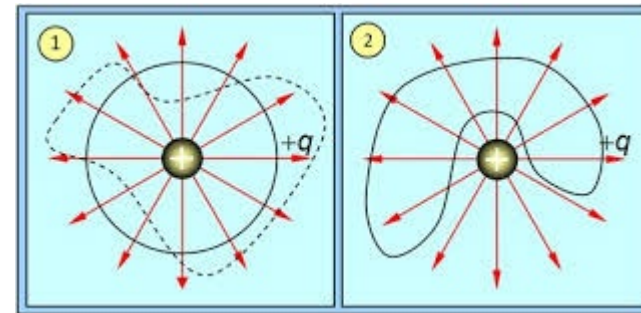
**Теорема Гаусса-Остроградского:** Поток вектора напряженности через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме зарядов, расположенных внутри объема, ограниченного этой поверхностью, деленной на  $\epsilon_0\epsilon$ .

$$N_E = \int E_n dS$$



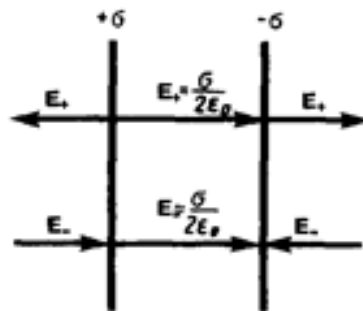
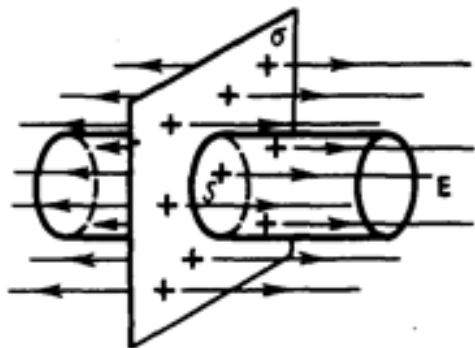
$$\int E_n dS = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0\epsilon}$$

$$\int E_n dS = \frac{\int \rho_q dV}{\epsilon_0\epsilon}$$



$$N_E = E4\pi r^2 = q \quad N_E = 0$$

**Вывод формулы для напряженности электрического поля,  
создаваемого бесконечной равномерно заряженной  
плоскостью.**



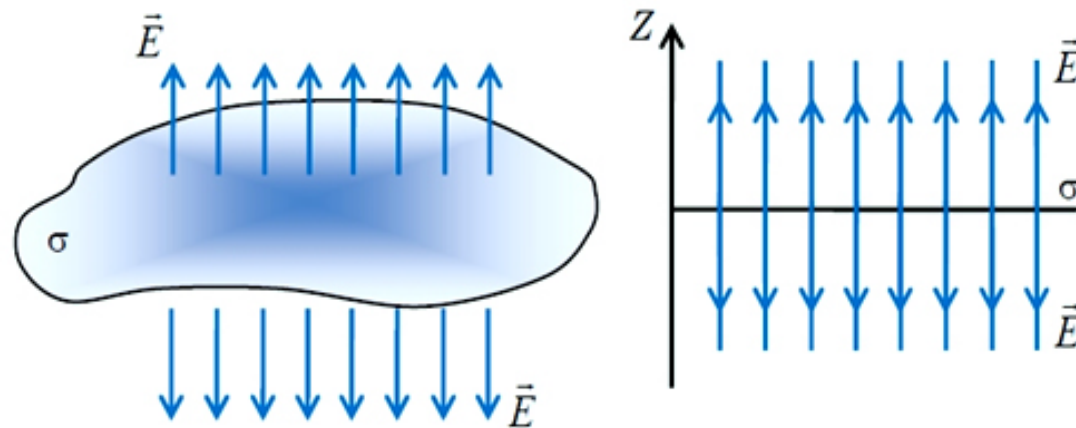
$$N_E = 2ES \quad q = \sigma S$$

$$2ES = \frac{\sigma S}{\epsilon_0 \epsilon} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon}$$

# Формулы для определения напряженности электрического поля, созданного непрерывно распределенным зарядом

## 1. Поле равномерно заряженной бесконечной плоскости

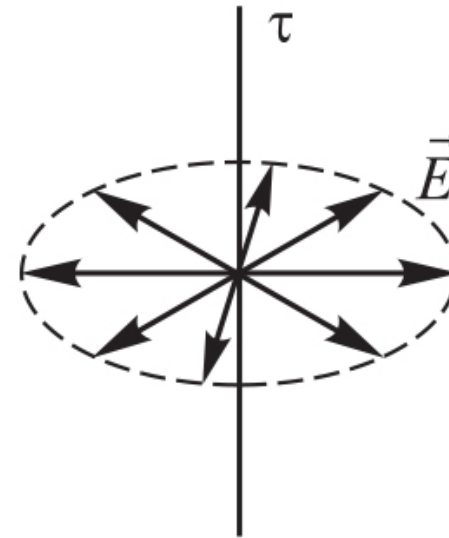
$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} \quad \sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$$



## 2. Поле равномерно заряженной бесконечной нити

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

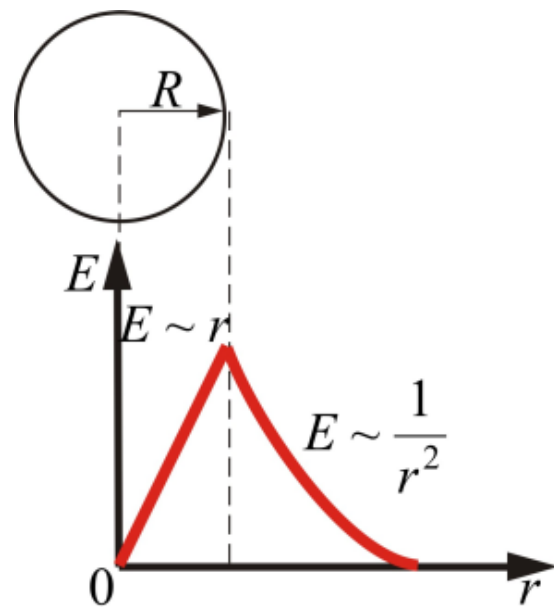
$$\tau = \frac{\Delta q}{\Delta l}$$



### 3. Поле заряженной проводящей сферы

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} \quad \text{при } r \geq R;$$

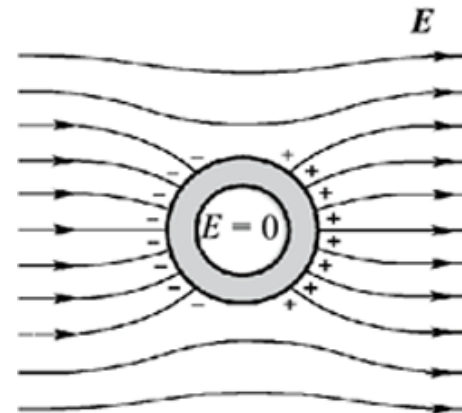
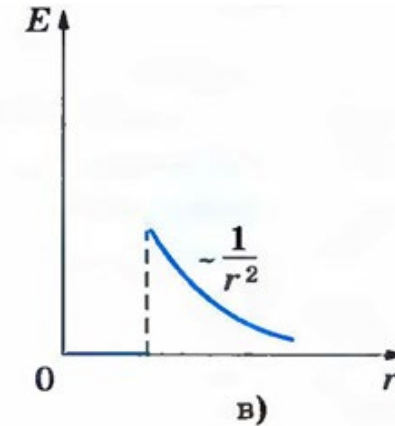
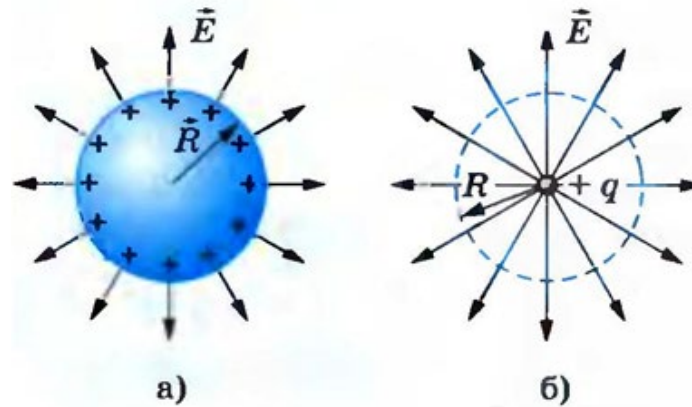
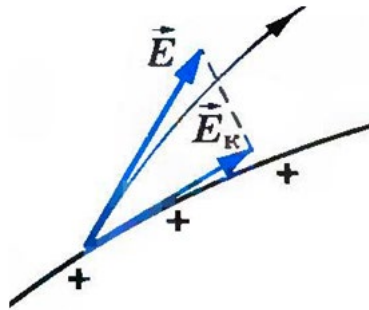
$$E = 0 \quad \text{при } r < R$$



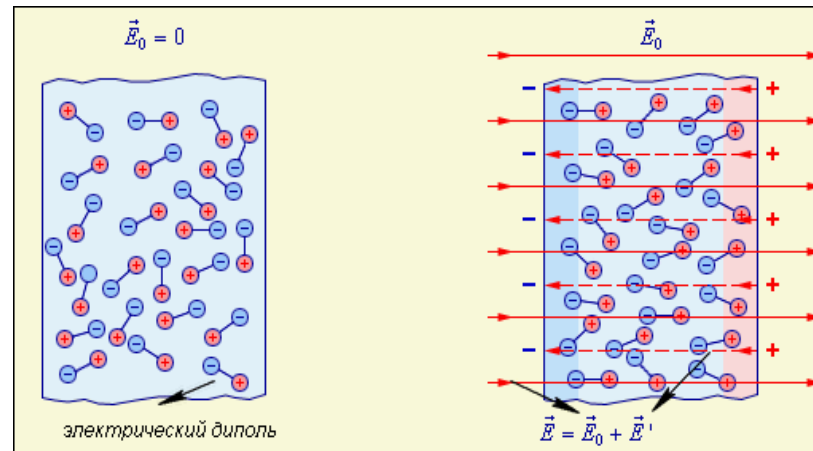
# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Силовые линии поля перпендикулярны поверхности проводника

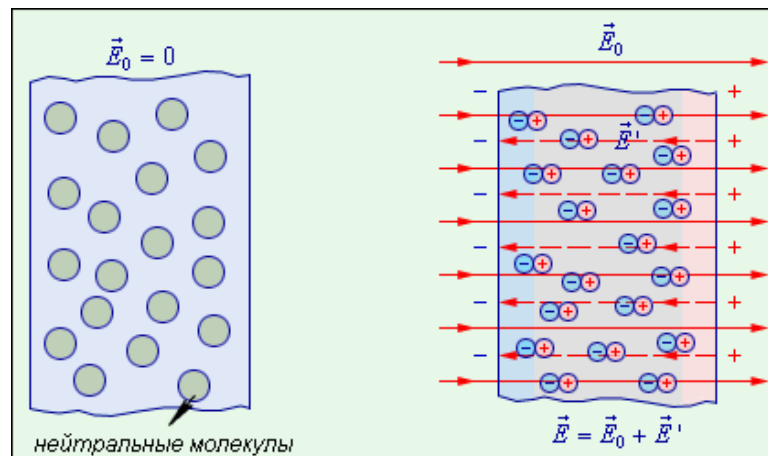
$$F_{\text{к}} = qE_{\text{к}}$$



Полярные диэлектрики ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) состоят из диполей

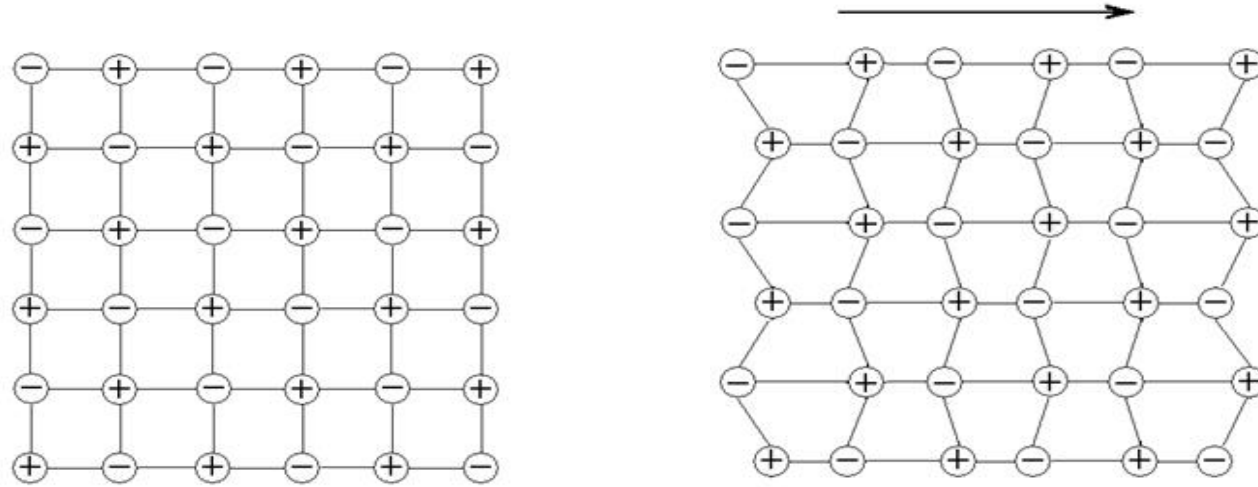


Неполярные диэлектрики ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ), в отсутствии внешнего поля молекулы не являются диполями, так как «центры» положительных и отрицательных зарядов совпадают.



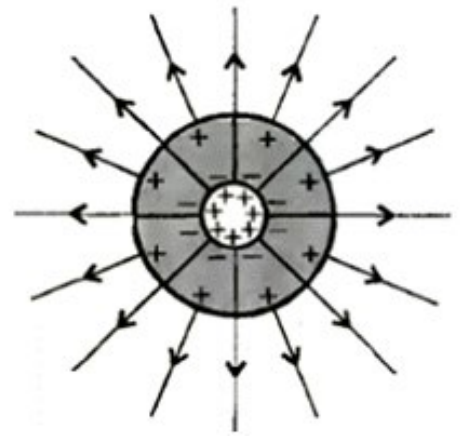
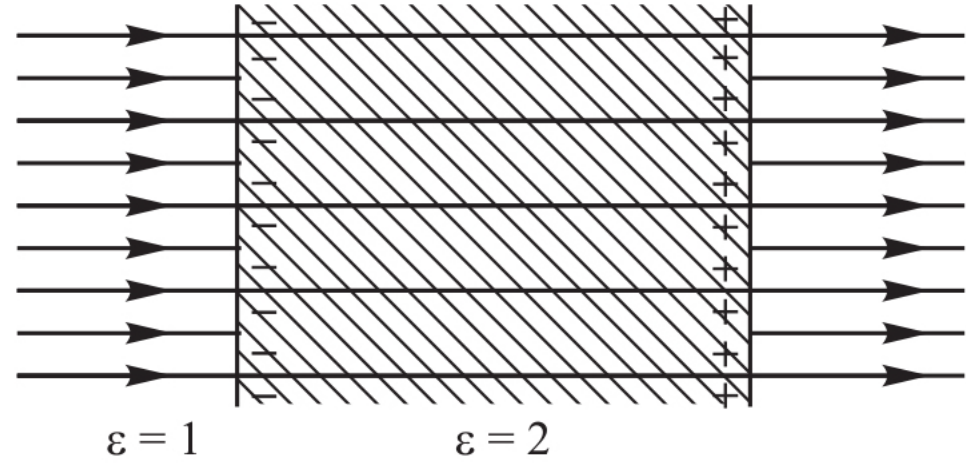


# Ионные кристаллы, например, NaCl.



$$E = E_0 - E_{\text{п}}$$

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$



# Примеры решения задач

План решения задач по теме

## « Напряженность электрического поля »

- 1) Уточняем источники поля.
- 2) Изображаем векторы напряженности полей, создаваемых каждым из источников поля в исследуемой точке, мысленно помещая в эту точку положительный заряд.
- 3) Складываем векторы, рисуем искомый вектор напряженности
- 4) Используя известные геометрические и тригонометрические формулы и теоремы, определяем значение  $E$ .

**Задача 6.** Определите напряженность поля, создаваемого двумя точечными зарядами  $q_1 = 3$  нКл и  $q_2 = 4$  нКл, находящимися в  $l = 5$  см друг от друга, в точке, отстоящей на расстояниях  $r_1 = 3$  см и  $r_2 = 4$  см от этих зарядов.

**Решение.**

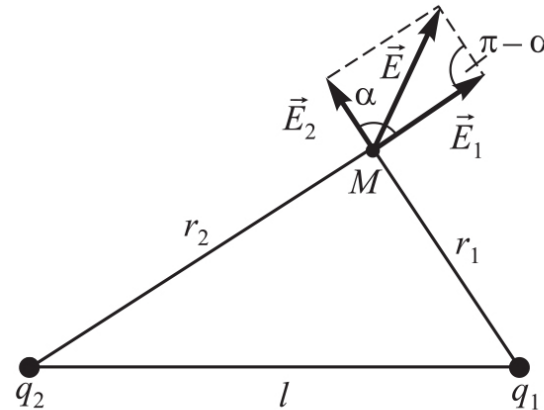
$$E_1 = k \frac{q_1}{r_1^2}; E_2 = k \frac{q_2}{r_2^2}$$

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

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

$$r_1^2 + r_2^2 = l^2 \Rightarrow \alpha = 90^\circ$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = k \sqrt{\left(\frac{q_1}{r_1^2}\right)^2 + \left(\frac{q_2}{r_2^2}\right)^2} = 1,27 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$



**Задача 7.** Определите направленность электрического поля диполя: 1) на оси симметрии,  $E(y)$ ; 2) на оси диполя,  $E(x)$ .

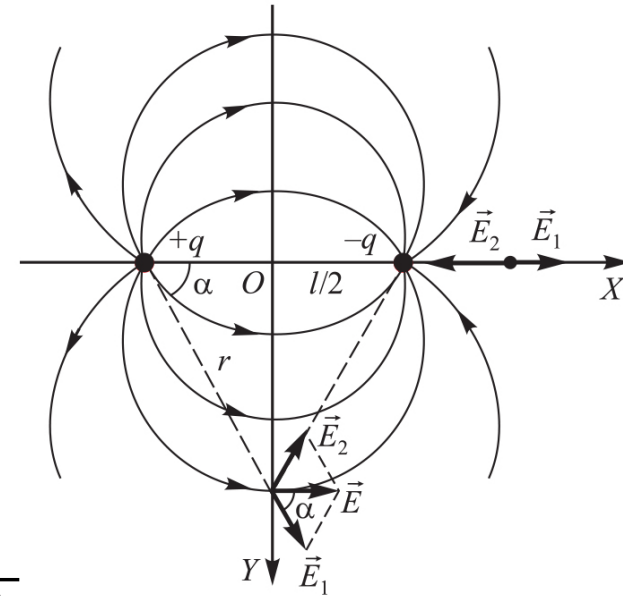
**Решение.**

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

$$1) E_1 = k \frac{q}{r^2}, \quad E_1 = E_2 \quad r = \sqrt{\frac{l^2}{4} + y^2}$$

$$E = 2E_1 \cos \alpha, \quad \cos \alpha = l / 2r$$

$$E(y) = k \frac{ql}{\left(\frac{l^2}{4} + y^2\right)^{\frac{3}{2}}} = k \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{l^2}{4} + y^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$



$$2) \quad E_1 = \frac{kq}{(x+l/2)^2} \quad E_2 = \frac{kq}{(x-l/2)^2}$$

$$E = E_1 - E_2$$

$$E = kq \left( \frac{1}{(x+l/2)^2} - \frac{1}{(x-l/2)^2} \right) = -kq \frac{2lx}{\left(x^2 - (l/2)^2\right)^2} \quad x > l/2, x < -l/2$$

$$-l/2 < x < l/2 \quad E = E_1 + E_2 \quad E_1 = \frac{kq}{(x+l/2)^2} \quad E_2 = \frac{kq}{(x-l/2)^2}$$

$$E = \frac{kq \left( (l^2/4) + x^2 \right)}{\left( (l^2/4) - x^2 \right)^2}$$

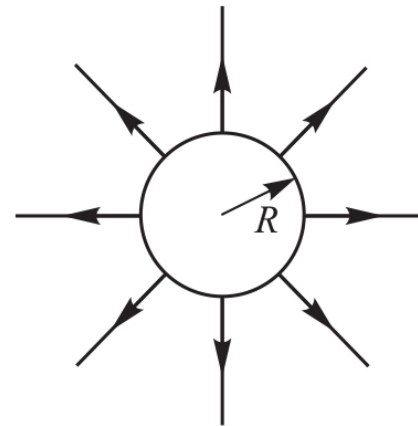
**Задача 8.** Напряженность электрического поля у поверхности Земли равна 130 В/м. Определите заряд Земли, если ее радиус 6400 км. Считать, что Земля имеет сферическую форму, и заряд ее равномерно распределен по поверхности.

**Решение.**

$$r > R \quad E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

$$q = 4\pi\epsilon_0 R^2 E = 5,92 \cdot 10^5 \text{ Кл}$$

$$[q] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \text{м}^2 = \text{Кл}$$



**Задача 9.** Найдите поверхностную плотность заряда заряженной бесконечной плоскости, расположенной как показано на рис.

12.26, если нить, на которой подвешен маленький шарик массой  $m = 5$  г и зарядом  $1 \cdot 10^{-7}$  Кл, отклоняется на угол  $\alpha = 30^\circ$ .

**Решение.**

$$\vec{F} + \vec{F}_T + \vec{T} = 0$$

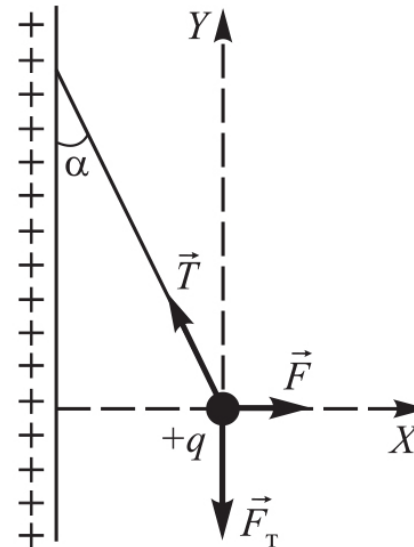
$$\text{на ось } X : F - T \sin \alpha = 0$$

$$\text{на ось } Y : T \cos \alpha - mg = 0$$

$$F = qE \quad E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$F = mgtg\alpha \quad tg\alpha = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0 mg}$$

$$\sigma = \frac{2\varepsilon_0 mgtg\alpha}{q} = 5,1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} / \text{м}^2$$





**Задача 10.** Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью  $10^6$  м/с. Длина конденсатора 1 см, напряженность электрического поля в нем  $5 \cdot 10^3$  В/м. Найдите скорость электрона при вылете из конденсатора и его смещение  $\Delta y$ .

**Решение.**

$$F_T = mg = 9,1 \cdot 10^{-30} \text{ Н} \quad F_э = q_e E = 8 \cdot 10^{-16} \text{ Н} \quad F_T \ll F_э$$

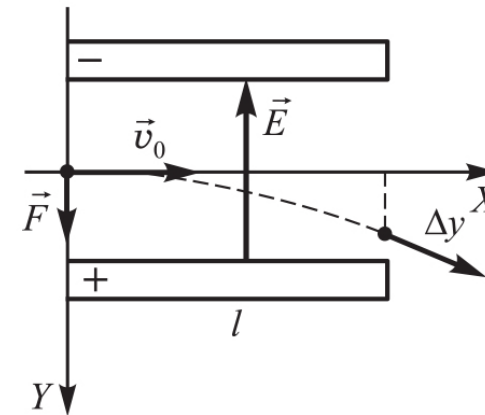
$$m_e \vec{a} = \vec{F}_э$$

$$\text{По } OX : v_x = v_0 = \text{const} \Rightarrow t = l / v_0$$

$$\text{По } OY : a_y = a = q_e E / m_e \quad v_{0y} = 0$$

$$\Delta y = \frac{at^2}{2} = \frac{q_e E l^2}{2 m_e v_0^2} = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$|\Delta y| = \frac{\text{Кл} \cdot (\text{Н} / \text{Кл}) \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot (\text{м}^2 / \text{с}^2)} = \text{м}$$



$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_x = v_0, v_y = at$$

$$v = \sqrt{v_0 + \left( \frac{q_e El}{m_e v_0} \right)^2} = 8,7 \cdot 10^6 \text{ м / с}$$

$$[v] = \sqrt{\frac{M^2}{c^2} + \left( \frac{K_{\text{Л}} \cdot \left( \frac{H}{K_{\text{Л}}} \right) \cdot M}{K_{\Gamma} \cdot \frac{M}{c}} \right)^2} = \frac{M}{c}$$

$$\alpha = \text{arctg} \frac{v_y}{v_x} = \text{arctg} \frac{q_e El}{m_e v_0^2} = \text{arctg} 8,79 \approx 83,5^\circ.$$

**Задача 11.** Кольцо радиусом  $r_0$  равномерно заряжено,  $\gamma$  – линейная плотность заряда ( $\gamma = \Delta q / \Delta l$ , где  $\Delta q$  – заряд на отрезке кольца длиной  $\Delta l$ ). Определите напряженность электрического поля (в вакууме) на оси симметрии кольца.

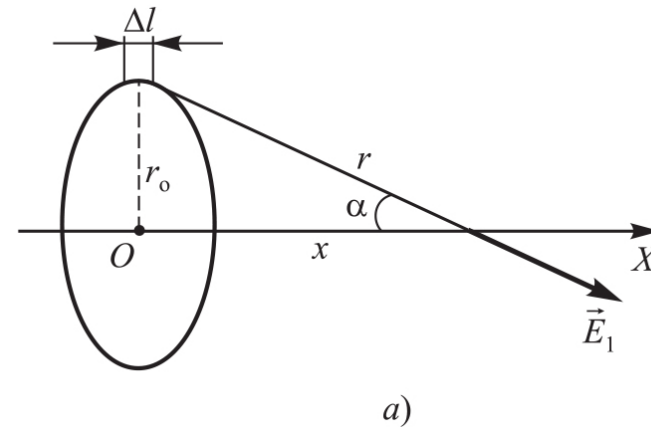
**Решение.**

$$E_1 = \frac{k\gamma\Delta l}{\varepsilon_0 r^2} \quad r = \sqrt{r_0^2 + x^2}$$

$$E_{1x} = k \frac{\gamma\Delta l}{r^2} \cos \alpha \quad \cos \alpha = \frac{x}{r}$$

$$E_{1x} = k \frac{\gamma\Delta l}{r^3} x$$

$$E = E_x = k \frac{\gamma 2\pi r_0 x}{r^3} = \frac{\gamma r_0 x}{2\varepsilon_0 (r_0^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

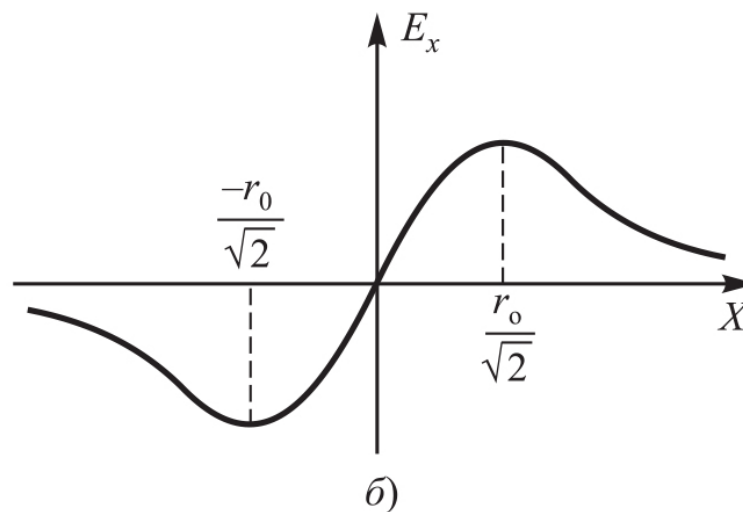


$$E'(x) = 0$$

$$\frac{\gamma r_0}{2\epsilon_0} \frac{(r_0^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} - x \frac{3}{2} (r_0^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} 2x}{(r_0^2 + x^2)^3} = 0$$

$$r_0^2 + x^2 - 3x^2 = 0$$

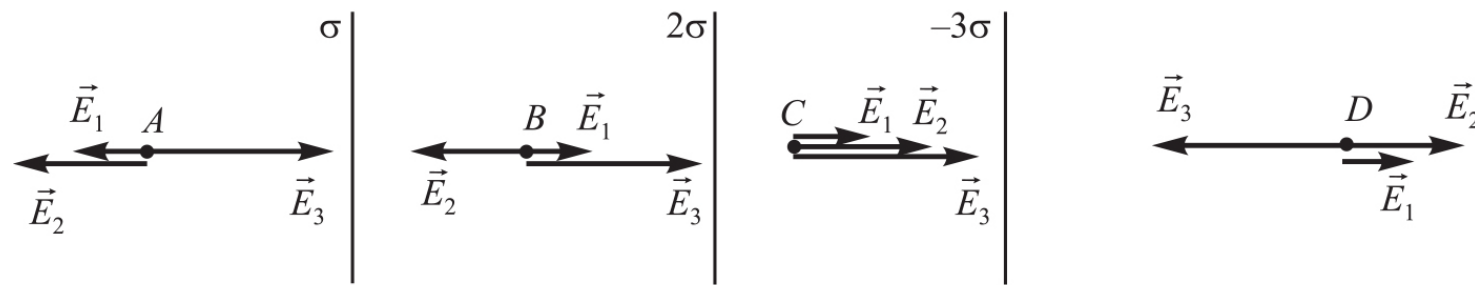
$$x = \pm r_0 / \sqrt{2}$$



6)

**Задача 12.** Определите напряженность электрического поля, создаваемого тремя бесконечными параллельными плоскостями в точках  $A, B, C, D$ . Поверхностные плотности зарядов  $\sigma, 2\sigma$  и  $-3\sigma$ .

**Решение.**



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}, E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, E_3 = \frac{3\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$E_A = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma}{\varepsilon_0} + \frac{3}{2} \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = 0$$

$$E_C = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{\varepsilon_0} + \frac{3\sigma}{2\varepsilon_0} = 3 \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$E_B = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma}{\varepsilon_0} + \frac{3}{2} \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$E_D = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{\varepsilon_0} - \frac{3}{2} \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = 0$$

**Задача 13.** Над бесконечной металлической плоскостью расположен заряд  $q$  на расстоянии  $a$  от плоскости. Определите силу, с которой заряд притягивается плоскостью, а также напряженность электрического поля в точке  $A$ .

**Решение.**

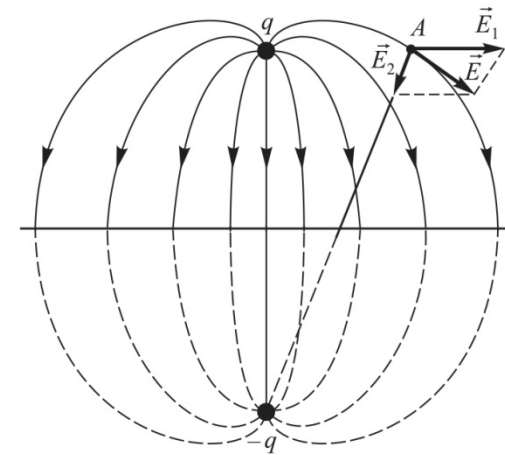
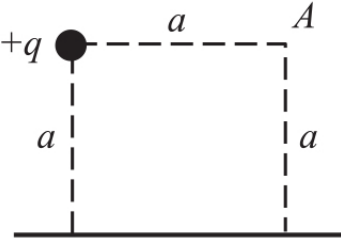
$$F = k \frac{q^2}{4a^2} = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 a^2}$$

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

$$E_1 = k \frac{q}{a^2} \quad E_2 = k \frac{q}{5a^2}$$

$$E_A^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cdot \cos \alpha, \quad \cos \alpha = \frac{a}{a\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}}$$

$$E_A = k \frac{q}{a^2} \sqrt{1,04 - \frac{0,4}{\sqrt{5}}} \approx 0,93 \frac{kq}{a^2}$$



$$F = k \frac{q^2}{4a^2} = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 a^2}$$

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

$$E_1 = k \frac{q}{a^2} \quad E_2 = k \frac{q}{5a^2}$$

$$E_A^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cdot \cos \alpha, \quad \cos \alpha = \frac{a}{a\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}}$$

$$E_A = k \frac{q}{a^2} \sqrt{1,04 - \frac{0,4}{\sqrt{5}}} \approx 0,93 \frac{kq}{a^2}$$



**Задача 1.** Определить напряженность поля, созданного бесконечной заряженной плоскостью и бесконечной заряженной нитью в точке, находящейся на равном кратчайшем расстоянии от нити и плоскости. Линейная плотность заряда нити и поверхностная плотность заряда плоскости равны:

$$\gamma = 20^{-6} \text{ Кл / м}$$

$$\sigma = 10^{-6} \text{ Кл / м}^2$$

Расстояние между плоскостью и нитью равно 20 см.

**Задача 2.** Определите напряженность поля созданного в центре равностороннего треугольника со стороной равной 20 см, в вершинах которого находятся заряды  $10^{-6}$  Кл;  $10^{-6}$  Кл;  $-10^{-6}$  Кл.

**Задача 3.** Через блок массой 200 г и радиусом 5 см перекинута нить, к одному концу которой привязано тело массой 20 кг. С какой силой человек должен тянуть человек за другой конец нити, чтобы поднять этот груз на расстояние 10 м за 4 с?