

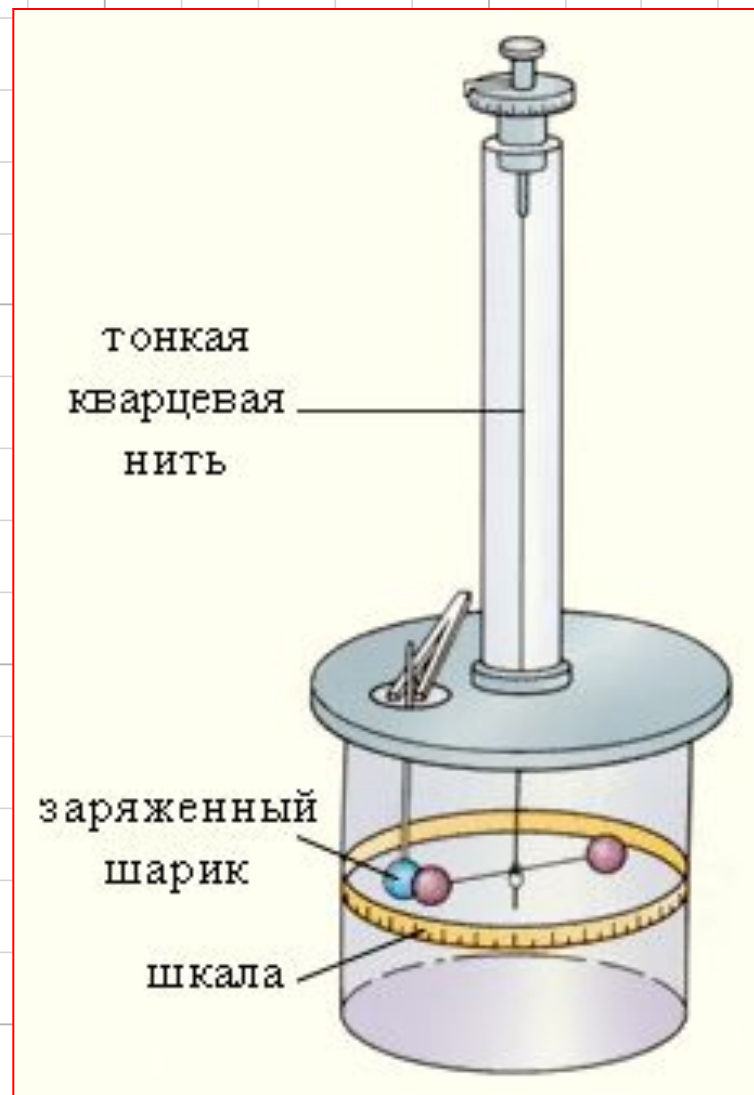
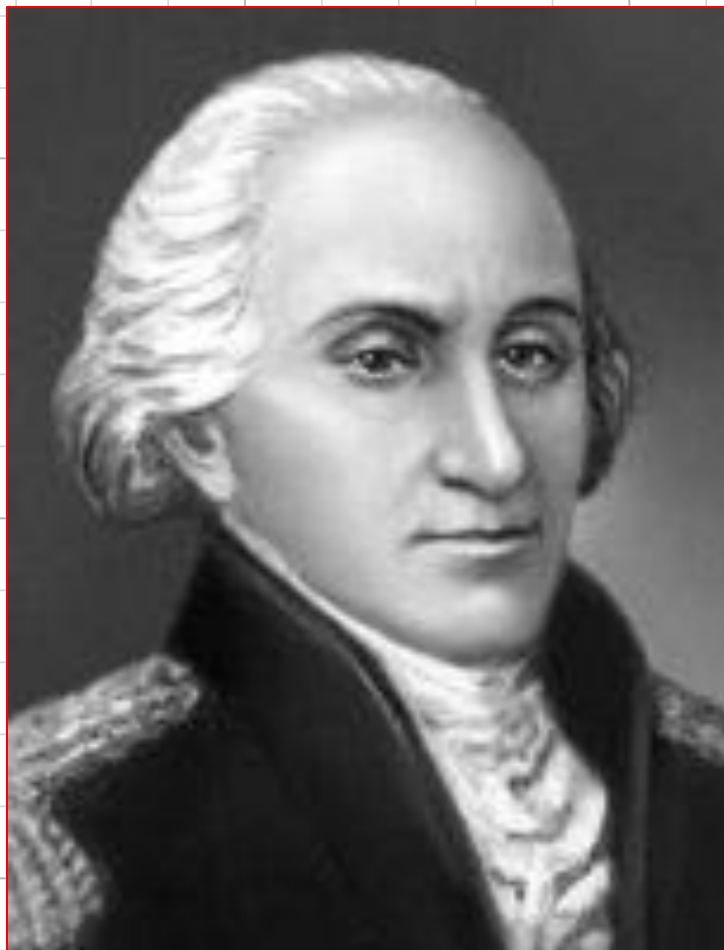
Электростатика

Закон Кулона

Зверев В.А. школа № 258

Санкт-Петербург 2016

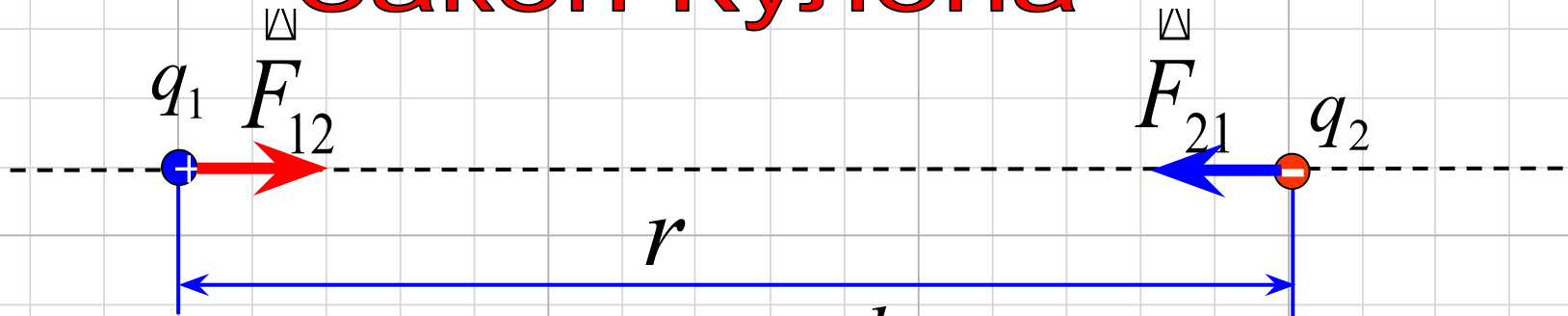
Закон Кулона



$$F = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r^2}$$

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

Закон Кулона



$$F_{12} = F_{21} = F = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r^2}$$

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

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$F = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ - электрическая постоянная

r - расстояние между зарядами

q_1q_2 - произведение модулей зарядов

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды (диэлектрика)

Закон Кулона

$$F = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r^2}$$

Как изменится сила Кулона, если:

- Величину каждого заряда увеличить в 2 раза?
- Расстояние между зарядами уменьшить в 3 раза?
- Величину каждого заряда увеличить в 4 раза, а расстояние между ними уменьшить в 2 раза?
- Какова диэлектрическая проницаемость среды, если сила взаимодействия зарядов в ней уменьшилась в 4 раза по сравнению с вакуумом?

Во сколько раз электрическое притяжение протона и электрона в атоме водорода больше гравитационного?

Дано:

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

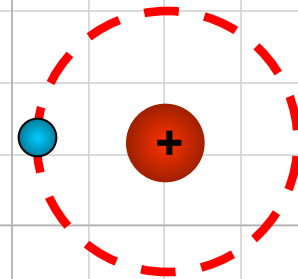
$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$q_e = q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\frac{F_э}{F_г} = ?$$

$$\left. \begin{aligned} F_э &= \frac{ke^2}{r^2} \\ F_г &= \frac{Gm_1m_2}{r^2} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{F_э}{F_г} = \frac{ke^2}{Gm_1m_2}$$



$$\frac{F_э}{F_г} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 2,27 \cdot 10^{39}$$

Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало.

Типы взаимодействий

- **Гравитационное** • 1
- **Электромагнитное** • 10^{38}
- **Слабое** • 10^{28}
- **Сильное (ядерное)** • 10^{40}

Во сколько раз уменьшится сила кулоновского отталкивания двух маленьких бусинок с равными зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с первой бусинки на вторую бусинку?

Дано:

$$q_1 = q_2 = q$$

$$q'_1 = \frac{1}{3}q$$

$$q'_2 = \frac{5}{3}q$$

$$F_1 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = k \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$F_2 = k \frac{q'_1 \cdot q'_2}{r^2} = k \frac{q \cdot 5q}{3 \cdot 3 \cdot r^2} = \frac{5}{9} k \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = ?$$

Ответ: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{9}{5} = 1,8$

Два **одинаковых** металлических шарика, заряд одного из которых первоначально равен -5 мкКл, соприкасаются и затем снова разводятся. Заряд одного из шариков после разведения равен 3 мкКл. Определить в микрокулонах заряд второго шарика до соприкосновения.

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = 2q'$$

$$-5 + q_2 = 2 \cdot 3$$

$$q_2 = 11 \text{ мкКл}$$

Ответ: 11 мкКл

Два одинаковых шарика, имеющих заряды $+15 \cdot 10^{-8}$ Кл и $-5 \cdot 10^{-8}$ Кл, привели в соприкосновение, а затем раздвинули на расстояние 10 см. Определите силу взаимодействия между шариками.

Дано:

$$q_1 = +15 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$r = 10 \text{ см}$$

$$F = ?$$

По закону сохранения электрического заряда

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = 2q'$$

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$F = k \frac{q' \cdot q'}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (5 \cdot 10^{-8})^2}{0,01} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

Ответ: $F = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$

Определить расстояние между двумя одинаковыми точечными зарядами по 3 мкКл каждый, находящимися в вакууме, если модуль силы взаимодействия между ними равен 100 мН.

Дано:

$$F = 100 \text{ мН}$$

$$q_1 = q_2 = q = 3 \text{ мкКл}$$

$$\varepsilon = 1$$

$r = ?$

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

$$\Rightarrow r = q \sqrt{\frac{k}{\varepsilon F}}$$

$$r = 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9}{100 \cdot 10^{-3}}} = 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{9 \cdot 10^{10}} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^5 = 0,9 \text{ м}$$

Ответ: $r = 0,9 \text{ м}$

На концах отрезка длиной 4 см расположены точечные заряды +6 и +3 мкКл. Найти модуль силы, действующей на заряд 2 мкКл, помещенный в середине отрезка.

Дано:

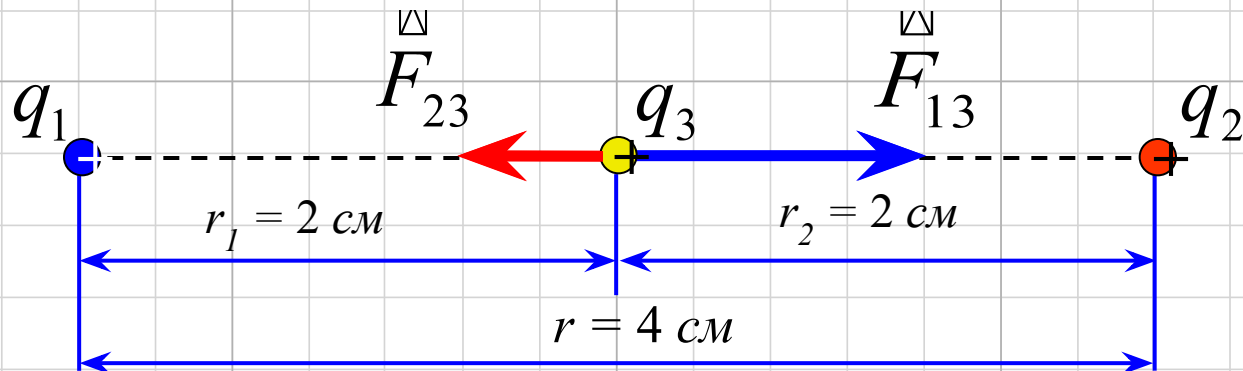
$$r = 4 \text{ см}$$

$$q_1 = 6 \text{ мкКл}$$

$$q_2 = 3 \text{ мкКл}$$

$$q_3 = 2 \text{ мкКл}$$

$$F = ?$$



$$\vec{F} = \vec{F}_{13} - \vec{F}_{23}$$

$$F = F_{13} - F_{23}$$

$$F_{13} = k \frac{q_1 \cdot q_3}{r_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}} = 270 \text{ Н}$$

$$F_{23} = \frac{1}{2} F_{13} = 135 \text{ Н}$$

$$F = 270 - 135 = 135 \text{ Н}$$

Заряды 90 и 10 нКл расположены на расстоянии 24 см друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии?

$$F_{31} = F_{32}$$

$$\frac{\cancel{k}q_3q_1}{(24-x)^2} = \frac{\cancel{k}q_3q_2}{x^2}$$

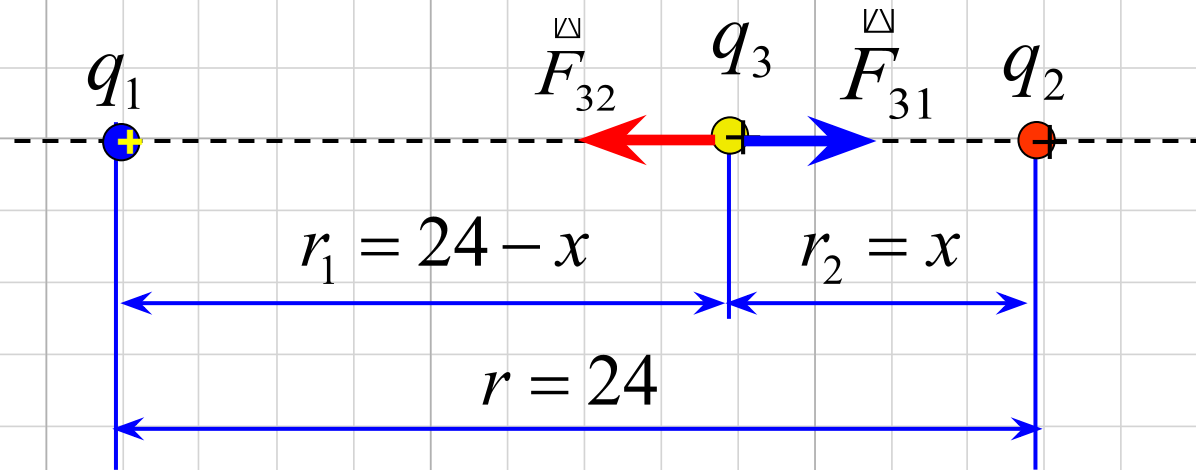
$$\frac{\sqrt{q_1}}{(24-x)} = \frac{\sqrt{q_2}}{x}$$

$$\frac{3}{(24-x)} = \frac{1}{x}$$

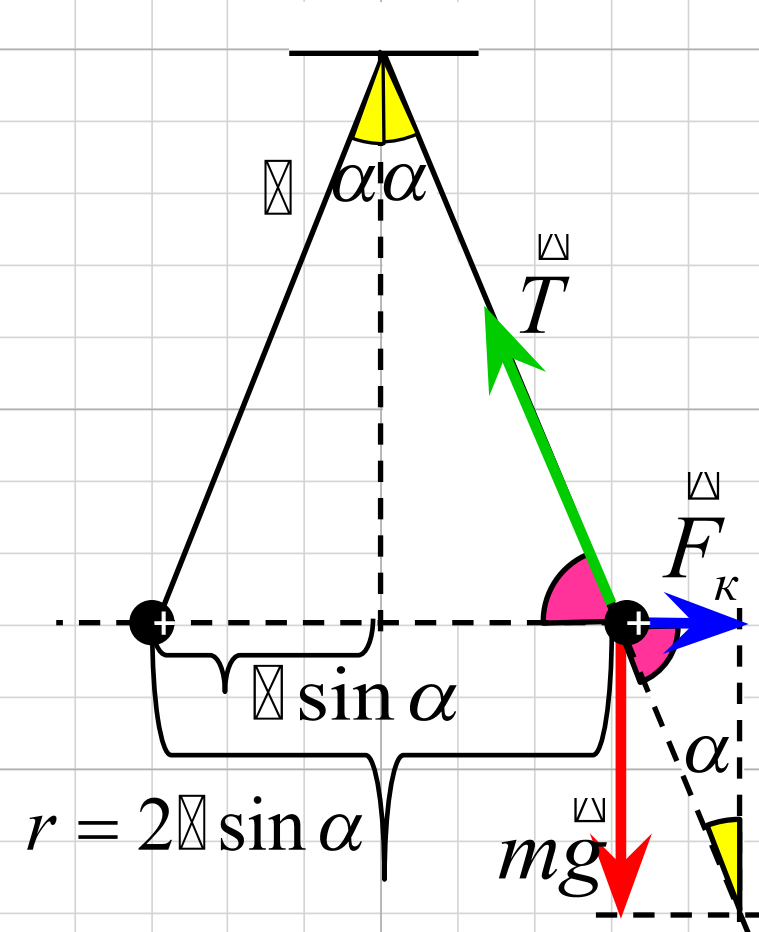
$$3x = 24 - x$$

$$4x = 24$$

$$x = 6 \text{ см}$$



Два маленьких шарика с одинаковыми массами m висят на нитях равной длины ℓ . Какой заряд нужно сообщить шарикам, чтобы натяжение нитей стало равным T ?



$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{T^2 - (mg)^2}}{T}$$

$$r = 2\ell \sin \alpha = 2\ell \frac{\sqrt{T^2 - (mg)^2}}{T}$$

$$F_k = \sqrt{T^2 - (mg)^2} = \frac{kq^2}{4\ell^2 \sin^2 \alpha}$$

$$q = 2\ell \sin \alpha \sqrt{T^2 - (mg)^2}$$

Два маленьких шарика массой по 10 мг, имеющих одинаковые заряды, подвешены в одной точке на нитях длиной 30 см. Каждая нить образует угол 15° с вертикалью. Каково значение заряда шариков?

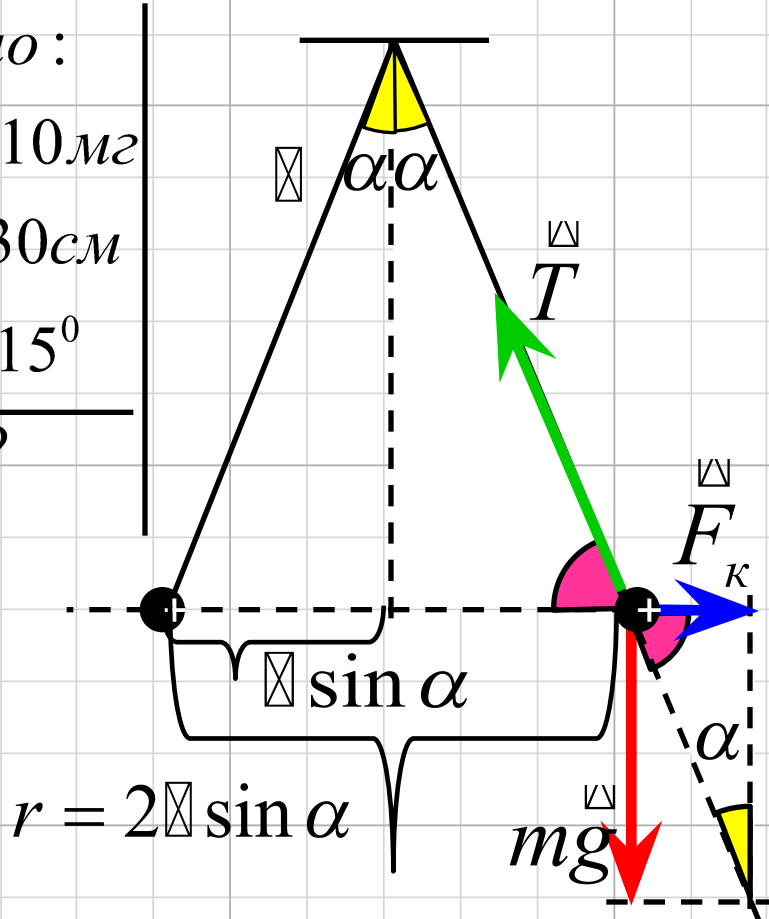
Дано:

$$m = 10 \text{ мг}$$

$$l = 30 \text{ см}$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$q = ?$$



$$1 \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{F_k}{mg}$$

$$2 \quad F_k = \frac{kq^2}{r^2} = \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2 \alpha}$$

$$3 \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{kq^2}{mg 4l^2 \sin^2 \alpha}$$

$$q = 2l \sin \alpha \sqrt{\frac{mg \operatorname{tg} \alpha}{k}}$$

4

$$q = 2 \cdot 0,3 \cdot \sin 15^\circ \sqrt{\frac{10^{-5} \cdot 10 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ}{9 \cdot 10^9}} = 8,47 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

Два маленьких шарика одинаковой массы, подвешены в одной точке на нитях длиной 0,2 м. После того, как каждому шарика был сообщен заряд 0,4 мкКл, шарики разошлись на угол 60° . Найти массу шариков.

Дано:

$$q = 0,4 \text{ мкКл}$$

$$l = 0,2 \text{ м}$$

$$2\alpha = 60^\circ$$

$$m = ?$$

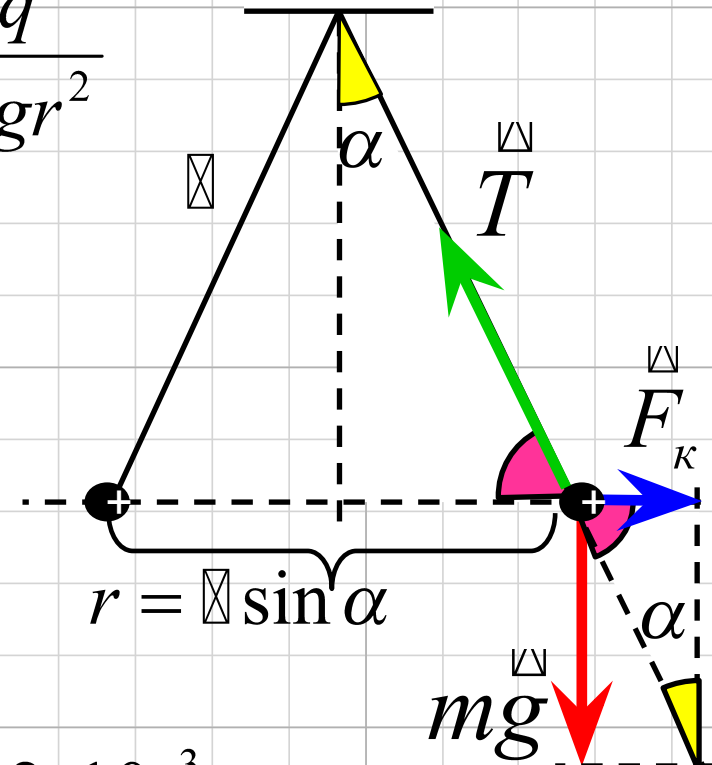
$$\textcircled{1} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{\kappa}}{mg} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{kq^2}{mgr^2}$$

$$\textcircled{2} \quad r = l \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{kq^2}{mg l^2}$$

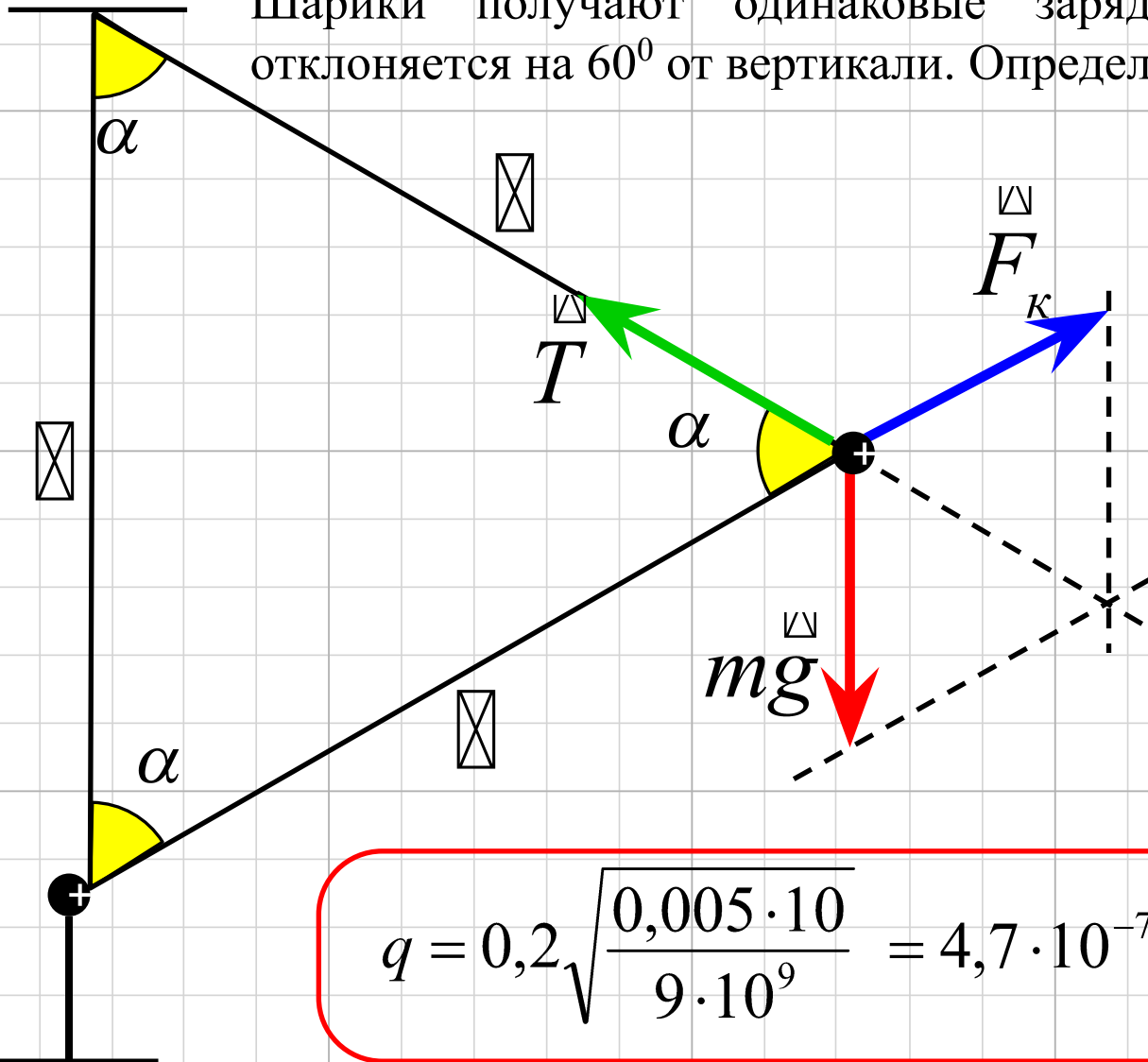
$$\textcircled{3} \quad m = \frac{\sqrt{3}kq^2}{g l^2}$$

$$\textcircled{4} \quad m = \frac{\sqrt{3} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (0,4 \cdot 10^{-6})^2}{10 \cdot 0,2^2} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

Ответ: $m = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$



Рядом расположены два одинаковых проводящих шарика. Один шарик закреплен неподвижно, а другой привязан к концу вертикальной нити длиной 20 см. масса каждого шарика 5 г. Шарик получает одинаковые заряды и нить с шариком отклоняется на 60° от вертикали. Определите заряд каждого шарика.



1

$$F_k = mg = \frac{kq^2}{r^2}$$

2

$$q = \sqrt{\frac{mg}{k}}$$

$$q = 0,2 \sqrt{\frac{0,005 \cdot 10}{9 \cdot 10^9}} = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

Два одинаковых маленьких заряженных шарика, подвешенных на нитях равной длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и керосине был одинаков?

$$\frac{mg}{mg - F_A} = \varepsilon$$

$$\frac{\cancel{\rho V g}}{\cancel{\rho V g} - \cancel{\rho_k V g}} = \varepsilon$$

$$\rho = \rho \varepsilon - \rho_k \varepsilon$$

$$\rho_k \varepsilon = \rho (\varepsilon - 1)$$

$$\rho = \frac{\rho_k \varepsilon}{\varepsilon - 1}$$

