

Закон Кулона

Закон Кулона описывает взаимодействие неподвижных точечных зарядов. Именно, если два заряда q_1 и q_2 расположены на расстоянии r друг от друга, то сила их электрического взаимодействия равна

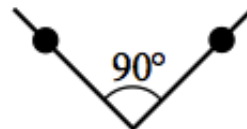
$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2},$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$.

ЗАДАЧА 1. (*Всеросс., 2017, ШЭ, 11*) В точку A поместили первый точечный заряд, и он создал в точке B потенциал 2 В. Затем первый заряд убрали, и в точку B поместили второй точечный заряд. Он создал в точке A потенциал 9 В. Далее первый заряд вернули обратно в точку A . С какой силой взаимодействуют эти заряды?

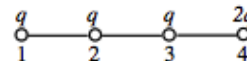
$$\text{Н } 6-01 \cdot z = J$$

ЗАДАЧА 2. (*«Росатом», 2013, 11*) Две маленьких бусинки массой m заряжены зарядами Q и Q . Бусинки надеты на спицы, которые расположены в вертикальной плоскости симметрично по отношению к вертикали, и угол между которыми равен 90° (см. рисунок). Каково расстояние между бусинками в положении равновесия?



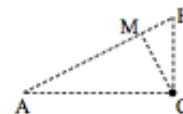
$$\frac{\partial u}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi} = p$$

ЗАДАЧА 3. (*«Росатом», 2012, 11*) Четыре маленьких одинаковых шарика, связанных нерастяжимыми нитями одинаковой длины, заряжены зарядами q , q , q и $2q$. Сила натяжения нити, связывающей первый и второй шарик, равна T . Найти силу натяжения нити, связывающей второй и третий шарик.



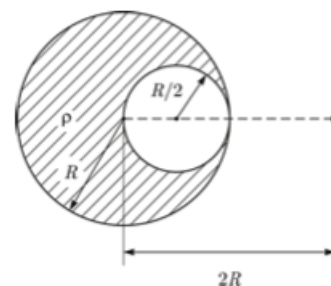
$$J \frac{\partial \xi}{\partial L} = \tau L$$

ЗАДАЧА 4. (*«Росатом», 2011, 11*) Точечный заряд, расположенный в точке C , создаёт в точках A и B поле с напряжённостью E_A и E_B соответственно (см. рисунок; угол ACB — прямой). Найти напряжённость электрического поля, создаваемого этим зарядом в точке M , являющейся основанием перпендикуляра, опущенного из точки C на прямую AB .



$$E_M = E_A + E_B$$

ЗАДАЧА 5. (*«Курчатов», 2014, 11*) Найдите силу, с которой равномерно заряженный шар со сферической полостью будет действовать на поднесённый к нему точечный заряд q . Радиус шара R , полости — $R/2$ (см. рисунок). Объёмная плотность заряда шара ρ . Точечный заряд находится на расстоянии $2R$ от центра шара на оси, соединяющей центры шара и полости. Будет ли заряд притягиваться или отталкиваться?

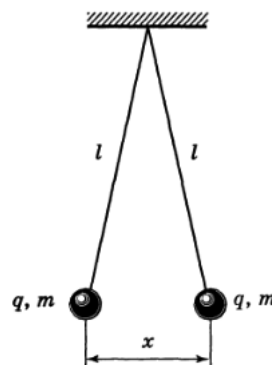


$$\frac{\partial \xi}{\partial L} = \tau L$$

ЗАДАЧА 6. (Всеросс., 1998, ОЭ, 10) Два одинаковых маленьких шарика массой m и зарядом q каждый висят на нитях одинаковой длины l на расстоянии $x \ll l$ (рис.). Из-за медленной утечки заряда по нити величина заряда каждого шарика изменяется со временем t по закону

$$q = q_0(1 - at)^{3/2}$$

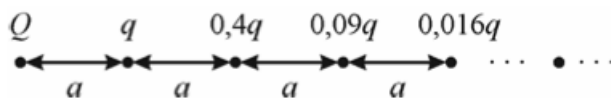
(где a — постоянная), а шарики сближаются. Величины q_0 , m , a , l заданы. Найдите скорость $v = \Delta x / \Delta t$ сближения шариков.



$$\frac{6m}{l^2 \epsilon^2 b^2 \gamma^2} \sqrt{\epsilon} v = a$$

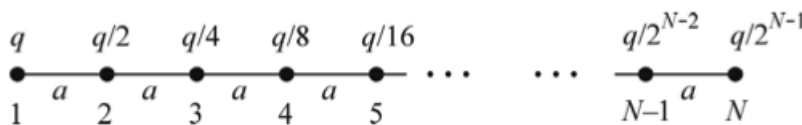
ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2013, 10) В трёх вершинах равностороннего треугольника ABC разместили электрические заряды: в вершинах A и B — закреплённые электрические заряды $+q$ и $-q$ соответственно, в вершине C — незакреплённый электрический заряд $+q_1$. Укажите, в какой точке D плоскости ABC надо разместить ещё один электрический заряд $+q$, чтобы находящийся в точке C электрический заряд $+q_1$ находился в равновесии.

ЗАДАЧА 8. (МОШ, 2013, 11) Найдите модуль электростатической силы, действующей на точечный заряд Q в бесконечной системе точечных зарядов, изображённой на рисунке. Все заряды закреплены в вакууме на одной прямой, имеют одинаковый знак, расстояния между соседними зарядами одинаковы и равны a .



$$\frac{\epsilon^2 v^6}{b^2 \gamma^4 01} = \mathcal{J}$$

ЗАДАЧА 9. («Курчатов», 2015, 11) На нерастяжимой диэлектрической нити, расположенной в вакууме, закреплены на одинаковых расстояниях a друг от друга N точечных положительных зарядов. Величины зарядов указаны на рисунке. Модуль силы натяжения участка нити между первым и вторым зарядами равен T . Чему равен модуль силы натяжения T_{23} участка нити между вторым и третьим зарядами? Чему равна величина T_{23} при $N = 2015$?

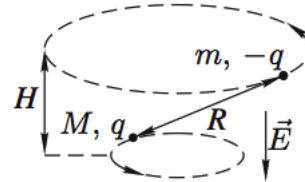


$$\epsilon 10 \epsilon = N \text{ илн } \frac{\epsilon^2 v^2}{b^2 \gamma^2} - L \frac{v}{\epsilon} \approx \epsilon \epsilon L : \left(\frac{\epsilon (1-N) N \epsilon}{1} + 1 \right) \frac{\epsilon^2 v^2}{b^2 \gamma^2} - L \frac{v}{\epsilon} = \epsilon \epsilon L$$

ЗАДАЧА 10. (МФТИ, 1974) В одной из моделей молекулярного иона водорода H_2^+ полагается, что электрон движется по круговой орбите, лежащей в плоскости, перпендикулярной линии, соединяющей протоны. Расстояние между протонами равно r , заряд электрона — e , его масса — m . Найти скорость, с которой движется электрон.

$$\left(1 - \frac{9L \wedge}{\epsilon} \right) \frac{\epsilon m}{\epsilon^2 \gamma^2} \sqrt{\epsilon} = a$$

Задача 11. (Всеросс., 2008, ОЭ, 10) Частицы с массами M и m и зарядами q и $-q$ соответственно вращаются с угловой скоростью ω по окружностям вокруг оси, направленной по внешнему однородному электрическому полю с напряжённостью E (рис.). Найдите расстояние R между частицами и расстояние H между плоскостями их орбит.

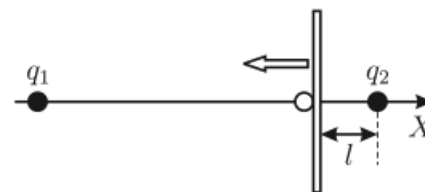


$$\frac{m\omega^2 z^3}{(m+M)g^2} = H ; \frac{m\omega^2 z^3}{(m+M)z^2 b^2} \sqrt{\frac{z}{\epsilon}} = \mathcal{H}$$

Задача 12. (МОШ, 2014, 11) Небольшой шарик, заряженный зарядом q , покоится на гладком горизонтальном непроводящем столе. К шарiku присоединена горизонтальная пружина жёсткостью k , второй конец которой закреплён. Вдоль оси пружины к шарiku с большого расстояния очень медленно приближают такой же, но противоположно заряженный шарик. Найдите деформацию пружины в момент столкновения шариков.

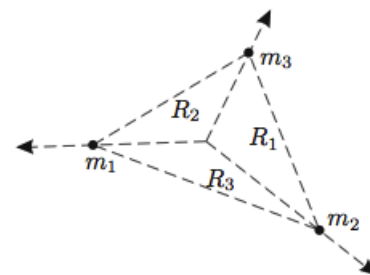
$$\frac{q^2 \epsilon^2 z^2}{z^2 b^2} \sqrt{\frac{z}{\epsilon}} = x$$

Задача 13. (МОШ, 2008, 11) Положительный q_1 и отрицательный q_2 точечные заряды закреплены на оси X по разные стороны от гладкой непроводящей пластины, плоскость которой перпендикулярна оси X . Маленький положительно заряженный шарик также находится на оси X , упираясь в пластину, как показано на рисунке. Первоначально пластина расположена вблизи отрицательного заряда, шарик при этом находится в равновесии. Пластину начинают поступательно перемещать вдоль оси X , медленно увеличивая расстояние l между пластиной и отрицательным зарядом. Когда l достигает $1/3$ расстояния между зарядами, шарик «улетает» с оси X . Определите отношение q_1/q_2 . Влиянием вещества пластины на электрическое поле, а также силой тяжести пренебречь.



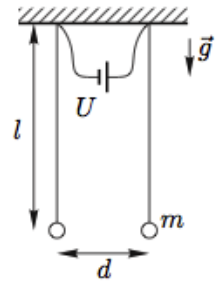
$$8 - \frac{z^2}{\tau^2}$$

Задача 14. (Всеросс., 2012, финал, 10) Три частицы с одинаковыми зарядами в начальный момент удерживают в вершинах треугольника со сторонами R_1 , R_2 и R_3 (рис.). Частицы одновременно отпускают, и они разлетаются так, что отрезки, соединяющие любую пару частиц, остаются параллельными исходным. Каково отношение масс этих частиц $m_1 : m_2 : m_3$? Гравитационным притяжением пренебречь.



$$\frac{z^2}{\epsilon^2} M : \frac{z^2}{\epsilon^2} M : \frac{z^2}{\epsilon^2} M = \epsilon m : \tau m : \tau m$$

Задача 15. (Всеросс., 2014, финал, 11) К горизонтальному непроводящему потолку на тонких металлических проволоках длиной $l = 1$ м на расстоянии $d = 10$ см друг от друга подвешены два одинаковых стальных шарика радиусом $r = 5$ мм и массой $m = 4$ г (см. рисунок). В начальный момент шарики не заряжены и покоятся. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с². Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.



- 1) Определите период T малых свободных колебаний шариков.
- 2) К точкам крепления проволок подключают источник напряжения U с большим внутренним сопротивлением $R = 10^{15}$ Ом. При каком значении $U = U_{\min}$ шарики столкнутся через некоторое время?
- 3) Найдите время τ , через которое разность потенциалов между шариками достигнет значения U_{\min} , если $U = U_0 = 1,0 \cdot 10^6$ В.

$(1) T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2 \text{ с}; (2) U_{\min} = 2 \sqrt{\frac{2kmgd^2}{\epsilon_0}} = 64,6 \text{ кВ}; (3) \tau = \frac{U_{\min} r R}{U_0} = 18 \text{ с}$
