

Прохоров Вадим Константинович

Учитель физики

ГБОУ «Школа № 1526 на Покровской» г. Москва.



Вышел в поле заряд...

Часть 1. Поле электрическое.

Рассматриваются задачи, в которых точечный заряд (или система точечных зарядов – диполь) оказывается в электростатическом поле. Решая эти задачи, повторяем основные законы механики и электродинамики.

Формально говоря, электрическое поле – область пространства, окружающая заряженные тела, в каждой точке которого заданы две величины:

- векторная величина – *напряженность* электрического поля $\vec{E}$ (силовая характеристика поля);
- скалярная величина – *потенциал* электрического поля φ (энергетическая характеристика поля).

Зная силовую характеристику электрического поля в некоторой точке – напряженность $\vec{E}$, можно вычислить силу, действующую на точечный заряд q , находящийся в этой точке поля:

$$\vec{F}_{эл} = q\vec{E}, \quad (\text{I})$$

а зная энергетическую характеристику поля – потенциалы в двух каких либо точках поля, мы можем вычислить потенциальную энергию заряда q относительно произвольно выбранного нулевого уровня¹:

$$W_{ном} = q\varphi. \quad (\text{II})$$

Вычисление $\vec{E}$ и φ является специальной задачей электростатики и здесь мы почти не будем касаться этого вопроса.

Часто в задачах рассматривается движение зарядов в *однородном* электрическом поле. Напомним, что однородным называют поле, напряженность которого одинакова во всех точках пространства. Такое по-

¹ Нулевой уровень – точка, где значение потенциала принято равным нулю.

ле изображается параллельно расположенными силовыми линиями и для него справедливо соотношение:

$$E = - \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{x_2 - x_1}. \quad (\text{III})$$

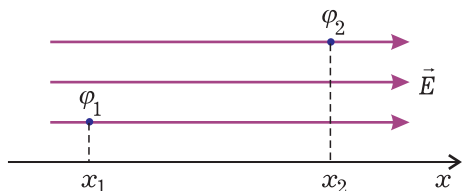


Рис. 1

Где φ_1 и φ_2 – потенциалы поля в точках с координатами x_1 и x_2 (ось x выбрана вдоль направления линий поля, рис. 1).

Однородное поле существует, например, в плоском конденсаторе и для него формулу (III) можно записать так:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (\text{IV})$$

где U – напряжение на конденсаторе, d – расстояние между пластинами.

Примеры решения задач

Задача 1. (МФТИ 1980 г.)

На две плоскопараллельные сетки, между которыми создано напряжение U летит поток отрицательно заряженных частиц (рис. 2). Заряд каждой частицы равен q . При каких энергиях W_1 частицы, падающие на первую сетку под углом α , смогут пройти через сетки?

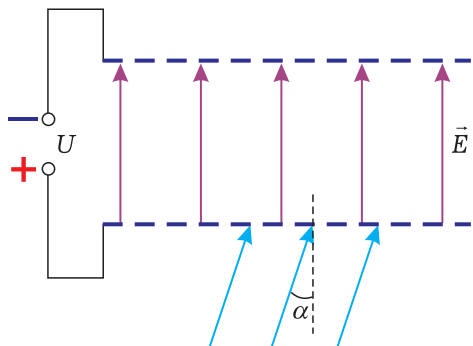


Рис. 2

Решение.

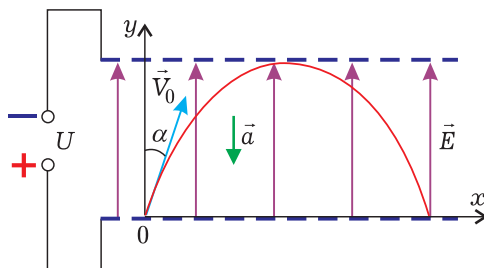


Рис. 3

Движение заряженной частицы будет, в общем случае, криволинейным движением с постоянным ускорением, а траекторией движения будет являться парабола (аналогично движению тела в поле силы тяжести, брошенного под углом к горизонту). Введем оси координат как показано на рисунке 3. Рассмотрим движение частицы, движущейся по параболе, вершина которой касается отрицательно заряженной сетки. Очевидно, эта частица самая «энергичная» из тех, которые не смогут пройти через сетки. Вычислим ее

энергию. В верхней точке параболы скорость этой частицы равна $V_0 \sin \alpha$. Изменение кинетической энергии частицы равно работе электрического поля при перемещении частицы от одной пластины до другой:

$$\frac{mV_0^2 \sin^2 \alpha}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = qU.$$

Или после преобразования:

$$\frac{mV_0^2 \cos^2 \alpha}{2} = -qU.$$

Отсюда:

$$W_{кин} = \frac{mV_0^2}{2} = -\frac{qU}{\cos^2 \alpha}.$$

Следовательно, для преодоления потенциального барьера сеток необходима энергия, определяемая условием:

$$W_1 \geq -\frac{qU}{\cos^2 \alpha}. \quad (1)$$

Ответ: формула (1)

Задача 2.

Электрон влетает со скоростью V_0 в плоский воздушный конденсатор параллельно пластинам, длина которых L . На конденсатор подают напряжение, которое изменяется линейно со временем по закону $U = kt$, где k – положительная постоянная, t – время движения электрона в конденсаторе. Расстояние между пластинами конденсатора равно d . Определить с какой скоростью электрон вылетит из конденсатора?

Решение.

Траектория изображена на рисунке 4. Электрическое поле в конденсаторе изменяется со временем, но в любой момент времени остается однородным, поэтому

$$E(t) = \frac{U(t)}{d}.$$

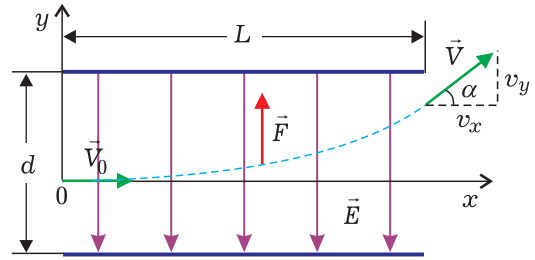


Рис. 4

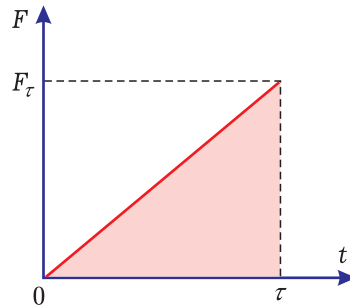


Рис. 5

Вдоль оси y на электрон действует сила:

$$F(t) = eE(t) = \frac{eU(t)}{d} = \frac{ekt}{d}.$$

График $F(t)$ изображен на рисунке 5. Здесь τ – момент вылета электрона из конденсатора равный:

$$\tau = \frac{L}{V_0}, \text{ а } F_\tau = \frac{ek\tau}{d} - \text{величина силы,}$$

действующая на электрон в момент вылета из конденсатора. Площадь под графиком численно равна изменению y -ой проекции импульса электрона за время пролета конденсатора:

$$\Delta p_y = mV_y = \frac{F_\tau \tau}{2}.$$

Следовательно, y – ая проекция скорости электрона при вылете из конденсатора равна:

$$v_y = \frac{F_\tau \tau}{2m} = \frac{ek\tau^2}{2md}.$$

По оси x электрон движется равномерно со скоростью $v_x = V_0$. Полная скорость электрона при вылете из конденсатора

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{V_0^2 + \left(\frac{ek\tau^2}{2md}\right)^2} = \\ &= \sqrt{V_0^2 + \left(\frac{ekL^2}{2mdV_0^2}\right)^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Ответ: формула (1).

Задача 3. (НГУ)

Плоский конденсатор подключен к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r . Длина пластин L , расстояние между пластинами d . В конденсатор, со скоростью V_0 , влетает пучок электронов. Пучок имеет прямоугольное сечение высота которого равна расстоянию между пластинами, а ширина равна b (рис 6). Концентрация электронов в пучке равна n . Определите силу тока в цепи. Заряд электрона e , масса электрона m .

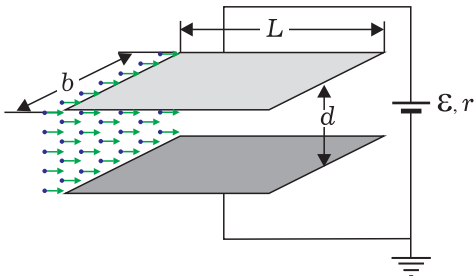


Рис. 6

Решение.

Электроны влетают в однородное электрическое поле плоского конденсатора и ускорение каждого

электрона направлено противоположно линиям поля и равно:

$$a = \frac{eE}{m_e} = \frac{eU}{m_e d}. \quad (1)$$

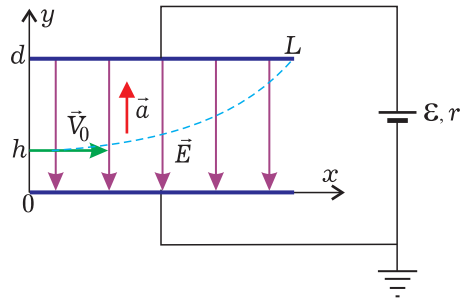


Рис. 7

Введем оси координат, как показано на рисунке 7. Зависимости координат от времени для произвольного электрона имеют вид:

$$x(t) = V_0 t, \quad (2)$$

$$y(t) = y_0 + \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

Исключая время из уравнений (2), (3) получим уравнение траектории электрона:

$$y(x) = y_0 + \frac{ax^2}{2V_0^2}. \quad (4)$$

Из всех электронов, которые попадают в конденсатор, положительной пластины достигают только те, у которых начальная координата y_0 лежит в интервале от h до d :

$$h \leq y_0 \leq d.$$

h — начальная координата тех электронов, траектория которых проходит через точку с координатами $x = L$, $y = d$.

Из уравнения (4):

$$d = h + \frac{aL^2}{2V_0^2},$$

Откуда

$$h = d - \frac{aL^2}{2V_0^2} \quad (5)$$

За время Δt в конденсатор войдет таких электронов

$$N = nV_0\Delta t(d - h)b. \quad (6)$$

Из (1), (5) и (6) получим число электронов, попадающих на положительную пластину за единицу времени:

$$\frac{N}{\Delta t} = \frac{nL^2beU}{2V_0m_e d}. \quad (7)$$

Сила тока по определению:

$$I = \frac{q}{\Delta t} = \frac{eN}{\Delta t}. \quad (8)$$

По закону Ома напряжение на конденсаторе равно:

$$U = \varepsilon - Ir \quad (9)$$

Решая систему уравнений (7) – (9) выразим I :

$$I = \frac{\varepsilon}{r + \frac{2m_e V_0 d}{ne^2 L^2 b}}. \quad (10)$$

Ответ: формула (10).

Еще несколько задач с плоским конденсатором, на этот раз рассмотрим движение *диполя*.

Задача 4.

Диполь, состоящий из двух точечных зарядов $+q$ и $-q$, соединенных легким непроводящим стержнем длиной L , находится в однородном электрическом поле с напряженностью E так как показано на рисунке 8. Угол между стержнем и силовыми линиями поля равен α . Найти потенциальную энергию диполя в электрическом поле.

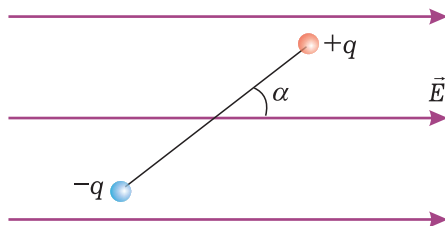


Рис. 8

Решение.

Потенциальная энергия диполя равна сумме потенциальных энергий зарядов. Пусть потенциалы электрического поля в точках, где расположены заряды диполя равны φ_1 и φ_2 (рис. 9).

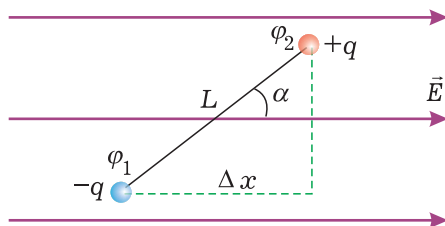


Рис. 9

Задача 5. (МФТИ)

Электрический диполь, представляющий собой два жестко связанных точечных заряда $+q$ и $-q$, расположенных на расстоянии L друг от друга, пролетает плоский конденсатор, между пластинами которого поддерживается постоянная разность потенциалов U (рис. 10). Определите скорость диполя в центре конденсатора, если известно, что его скорость вдали от конденсатора равна V_0 . Расстояние между пластинами конденсатора d , масса диполя m .

В процессе движения на диполь действует только потенциальная сила со стороны электрического поля.

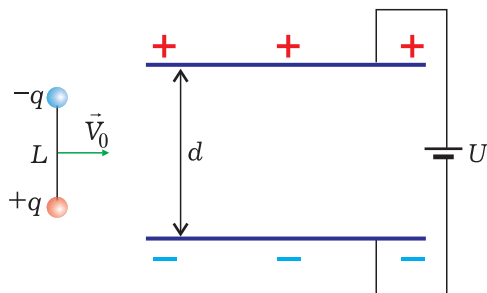


Рис. 10

Поэтому можно воспользоваться законом сохранения энергии:

$$W_{кин} + W_{пот} = W'_{кин} + W'_{пот}. \quad (1)$$

Вдали от конденсатора электрическое поле пренебрежимо мало, потенциальная энергия диполя равна нулю

$$W_{пот} = 0,$$

а кинетическая энергия

$$W_{кин} = \frac{mV_0^2}{2}.$$

В середине конденсатора, в однородном электрическом поле (согласно формуле (3) из задачи 4, при $\alpha = 0$) потенциальная энергия равна:

$$W'_{пот} = -qEL.$$

Кинетическая энергия диполя в конденсаторе:

$$W'_{кин} = \frac{mV^2}{2}.$$

Подставляя значения энергии в (1) получаем:

$$\frac{mV_0^2}{2} + 0 = \frac{mV^2}{2} - qEL,$$

откуда, учитывая (IV), получаем для скорости диполя

$$V = \sqrt{V_0^2 + \frac{2qLU}{md}}. \quad (2)$$

Зададимся вопросом: за счет работы какой силы происходит изме-

нение кинетической энергии диполя? Ведь вдали от конденсатора на заряды силы не действуют, а внутри конденсатора действуют, но сумма их равна нулю. Так вот здесь, как раз, существенную роль играет то, чем обычно пренебрегают – *краевой эффект* – неоднородность электрического поля на краях плоского конденсатора.

На рисунке 11 изображена примерная картина силовых линий на краю плоского конденсатора. А на рисунке 12 изображен наш диполь при пересечении одной такой силовой линии. Как видно силы, действующие на заряды направлены так, что диполь растягивается (но наш диполь, по условию, жесткий) и одновременно втягивается в конденсатор. Как раз работа силы, действующей на диполь со стороны неоднородного электрического поля на краю конденсатора и приводят к приращению кинетической энергии диполя.

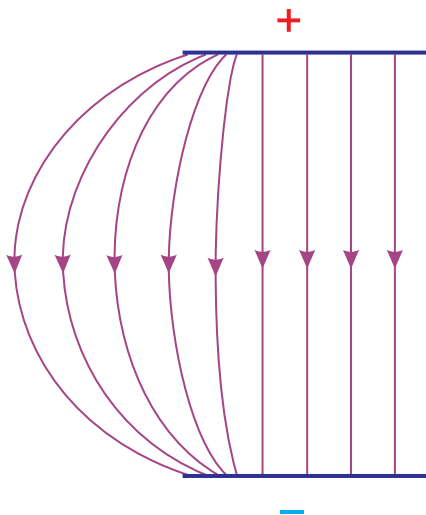


Рис. 11

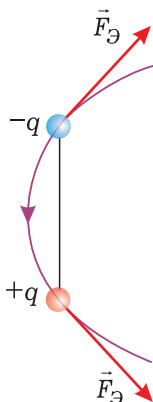


Рис. 12

Ответ: формула (2).

Задача 6.

В однородном электрическом поле расположена система из двух небольших противоположно заряженных шариков, соединенных легкой незаряженной нерастяжимой спицей (электрический диполь). Массы шариков одинаковы и равны m , заряды шариков: $q_1 = +q$, $q_2 = -q$. Определить период малых колебаний диполя. Напряженность электрического поля равна E . Длина спицы l . Силой тяжести пренебречь.

Решение.

Силы, действующие на заряды со стороны однородного ЭП равны по модулю и противоположно направлены. Поэтому центр масс такой системы, в зависимости от начальных условий, либо находится в покое, либо движется прямолинейно равномерно. Будем решать задачу в СО, в которой ЦМ покоится.

Напомним, что период свободных незатухающих гармонических колебаний можно определить, получив уравнение вида:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x. \quad (1)$$

Или

$$x'' + \omega^2 x = 0.$$

Это линейное дифференциальное уравнение второго порядка, решением которого являются гармонические функции зависимости колеблющейся величины от времени:

$$x(t) = x_0 + x_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2)$$

Или

$$x(t) = x_0 + x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (3)$$

Здесь x – какая-либо колеблющаяся величина – например, координата, скорость, заряд и т.д.), x_0 – равновесное значение колеблющейся величины, ω – циклическая частота колебаний.

Составить это уравнение можно либо на основе уравнения движения, либо из закона сохранения энергии. Воспользуемся вторым способом, выбрав в качестве колеблющейся величины угол α .

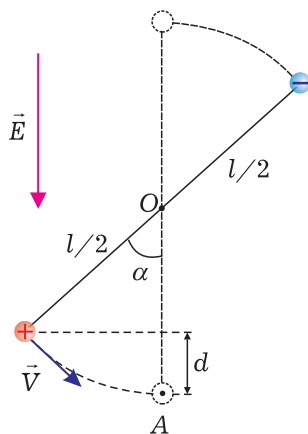


Рис. 13

Рассмотрим диполь в момент времени, когда спица составляет с



линиями поля угол α (рис. 13). Запишем выражение для полной механической энергии положительного заряда (приняв потенциал в точке А равным нулю):

$$\frac{mV^2}{2} + qEd = W_{\text{полн}}, \quad (4)$$

Где, как можно увидеть из рисунка 13

$$d = \frac{l}{2}(1 - \cos \alpha) = \frac{l}{2} \cdot 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Поскольку речь идет о малых колебаниях, то $\sin \alpha \approx \alpha$, и поэтому

$$d = \frac{l}{4} \alpha^2. \quad (5)$$

Заряды двигаются по дугам окружностей. Угловую скорость вращения обозначим Ω , тогда линейную скорость можно представить выражением:

$$V = \Omega \frac{l}{2}. \quad (6)$$

Подставим (5) и (6) в (4):

$$\frac{m\Omega^2 l^2}{8} + \frac{qEl\alpha^2}{4} = W_{\text{полн}}. \quad (7)$$

Если пренебречь трением, то полная механическая энергия $W_{\text{полн}}$ будет постоянной – не зависящей от времени величиной – производная от нее по времени будет равна нулю. Продифференцируем (7) по времени:

$$\frac{ml^2}{2} \Omega \Omega' + lqE\alpha\alpha' = 0.$$

Учитывая, что:

$$\Omega = \frac{d\alpha}{dt} = \alpha', \quad \Omega' = \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \alpha''$$

после преобразований получим:

$$\alpha'' = -\frac{2qE}{ml} \alpha. \quad (8)$$

Это уравнение идентично уравнению (1) и является уравнением

гармонических колебаний с циклической частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{2qE}{ml}}. \quad (9)$$

Период колебаний равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{2qE}}. \quad (10)$$

Заметим, что колебания диполя в однородном ЭП аналогичны колебаниям математического маятника период которых определяется формулой

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

В нашем случае длина равна $l/2$, а ускорению свободного падения соответствует ускорение заряда в однородном электрическом поле равное qE/m .

Ответ: формула (10).

Задача 7. («Физтех», 2017)

В однородное электрическое поле напряжённостью E влетает система из двух небольших шариков массой m , один из которых несёт заряд $q > 0$, а другой несёт противоположный заряд $-q$ (рис 14). Шарики соединены невесомой твёрдой незаряженной спицей длины l . В некоторый момент шарики имели одинаковую скорость V , перпендикулярную силовым линиям поля, а спица составляла малый угол α_0 с силовыми

линиями (и угол $\frac{\pi}{2} - \alpha_0$ с направлением скорости).

1) Через какое минимальное время спица вернётся в положение, которое параллельно начальному?

2) Найти максимальную скорость V_{max1} шарика с зарядом q .

3) Найти угловую скорость вращения спицы Ω_1 в моменты, когда она будет составлять угол $\alpha = \alpha_0/3$ с направлением поля.

Действием силы тяжести пренебречь. Скорость V намного меньше скорости света.

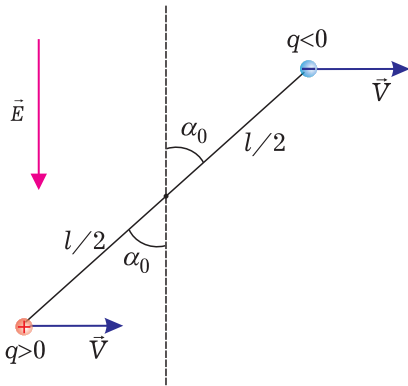


Рис. 14

Решение.

Движение диполя в данном случае представляет собой суперпозицию поступательного и колебательного движений. Полные скорости зарядов (относительно лабораторной СО) складываются из скорости колебательного и поступательного движений. В момент, когда скорости колебательного движения равны нулю, полные скорости одинаковы и равны скорости поступательного движения V (рис. 14). Это значит, что угол α_0 является максимальным углом отклонения спицы от положения равновесия.

1) Положение параллельное начальному диполь займет через время равное одному периоду колебаний (см. задачу 6), т. е. через время

$$\tau = T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{2qE}}. \quad (1)$$

2) Скорость положительного заряда будет максимальной в момент, когда максимальная скорость его колебательного движения совпадет по направлению со скоростью поступательного движения диполя (рис. 15).

Она будет равна:

$$V_{\max} = V + V_{\text{кол}}_{\max} \quad (2)$$

Скорость колебательного движения определяем формулой

$$V_{\text{кол}} = \Omega \frac{l}{2},$$

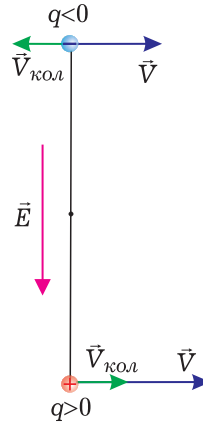


Рис. 15

Где Ω – угловая скорость спицы, равная производной от угла α по времени, где α – угол между спицей и силовыми линиями поля. Поскольку угол α зависит от времени по закону

$$\alpha = \alpha_0 \cos \omega t, \quad (3)$$

то угловая скорость равна

$$\Omega = \frac{d\alpha}{dt} = -\alpha_0 \omega \sin \omega t = -\Omega_{\max} \sin \omega t. \quad (4)$$

ω – циклическая частота колебаний, определяемая формулой (9) из задачи 6.



Максимальная скорость колебательного движения

$$V_{\max} = \Omega_{\max} \frac{l}{2} = \frac{\alpha_0 \omega l}{2} = \alpha_0 \sqrt{\frac{qEl}{2m}}. \quad (5)$$

Здесь учтено, что

$$\Omega_{\max} = \alpha_0 \omega = \alpha_0 \sqrt{\frac{2qE}{ml}} \quad (6)$$

Из (2) и (5) получаем значение максимальной скорости положительного заряда (у отрицательного будет такая же максимальная скорость, только через полпериода):

$$V_{\max} = V + \alpha_0 \sqrt{\frac{qEl}{2m}}. \quad (7)$$

3) Из уравнения (3) получаем

$$\frac{\alpha_0}{3} = \alpha_0 \cos \omega t_1, \quad (8)$$

а из (4)

$$\Omega_1 = -\Omega_{\max} \sin \omega t_1. \quad (9)$$

Из уравнений (8), (9) исключим t_1 , пользуясь основным тригонометрическим тождеством:

$$\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t = \frac{1}{9} + \frac{\Omega_1^2}{\Omega_{\max}^2}.$$

Отсюда, с учетом (6), после преобразований получим:

$$\Omega_1 = \frac{4}{3} \alpha_0 \sqrt{\frac{qE}{2ml}}. \quad (10)$$

Ответ: 1) формула (1), 2) формула (7), 3) формула (10).

Задача 8.

На закрепленное тонкое непроводящее кольцо радиусом R надета бусинка массой m и зарядом q (рис. 16). Кольцо помещено в однородное электрическое поле, вектор $\vec{E}$ которого лежит в плоскости кольца. Сначала бусинку удерживают в точке A на диаметре, перпендикулярном силовым линиям, а затем отпускают. Найти:

1. Максимальную скорость бусинки $V_{\max}$.

2. Силу F , с которой бусинка действует на кольцо в момент, когда направление из центра кольца на бусинку составляет угол α с направлением поля.

Силой тяжести и трением между бусинкой и кольцом пренебречь.

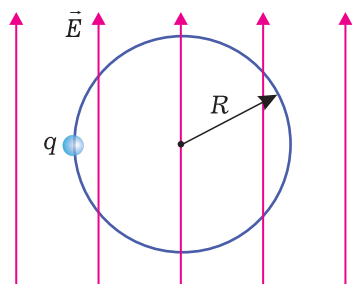


Рис. 16

Решение.

Если внимательно присмотреться к описанной в задаче ситуации, то можно понять, что она полностью аналогична классической задаче, в которой грузик, висющий на легкой нерастяжимой нити в поле силы тяжести, отклоняют так, что нить становится горизонтальной и отпускают. Решается на основе закона сохранения энергии.

В нашем случае приращение кинетической энергии бусинки происходит за счет работы силы, действующей на бусинку со стороны электрического поля. Максимальной скорости бусинка достигнет в точке 2, когда скорость направлена перпендикулярно силовым линиям (рис. 17):

$$\frac{mV_{\max}^2}{2} = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

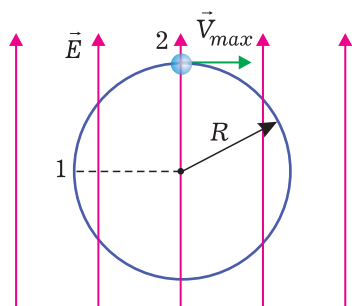


Рис. 17

где φ_1 , φ_2 - потенциалы электрического поля в точках 1 и 2. Т. к. поле однородно, то

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = ER.$$

Из последних двух формул получим:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2qER}{m}}. \quad (1)$$

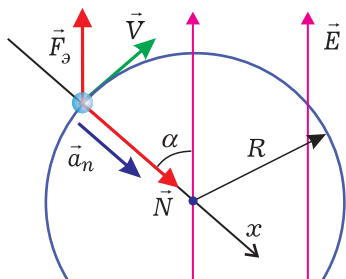


Рис. 18

На рисунке 18 бусинка изображена в момент, когда радиус соединяющий ее с центром окружности равен α . На нее действует сила со стороны электрического поля $F_{\text{э}} = qE$ и сила реакции N со стороны кольца. Запишем уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось x , выбранную вдоль направления нормального ускорения:

$$\frac{mV^2}{R} = N - qE \cos \alpha.$$

Скорость найдем из закона сохранения энергии:

$$\frac{mV^2}{2} = qER \cos \alpha.$$

Отсюда получим, что

$$N = 3qE \cos \alpha.$$

По третьему закону Ньютона сила, с которой кольцо действует на бусинку равна силе, с которой бусинка действует на кольцо:

$$F = 3qE \cos \alpha. \quad (2)$$

Ответ: формулы (1) и (2).

Задача 9.

По расположенному в вакууме тонкому проволочному кольцу радиусом R и массой M равномерно распределён положительный заряд Q . Положительно заряженная частица с массой m и зарядом e приближается к кольцу вдоль его оси. В момент, когда частица находится в точке А, находящейся на расстоянии $d = \sqrt{3}R$ от центра кольца, кольцо отпускают. Какой должна быть скорость в точке А, чтобы частица смогла пролететь сквозь кольцо? Силой тяжести пренебречь.

Решение.

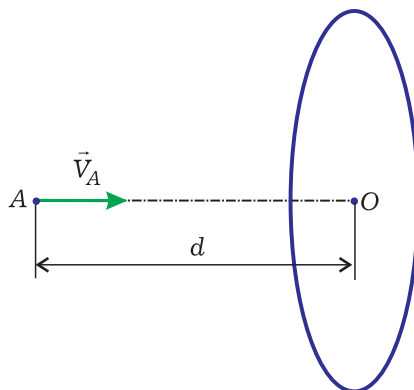


Рис. 19

Когда кольцо отпустят, оно начнет двигаться в сторону от частицы. Частица пролетит через кольцо, если догонит кольцо и пройдет через его центр – точку O (рис. 19) – в этой точке его скорость должна быть равна скорости кольца. Чтобы определить какой должна быть ее скорость в точке A воспользуемся законами сохранения.

Все происходит в вакууме – частице ничто не мешает при его движении, поэтому полная энергия системы «частица – кольцо» сохраняется. Сохраняется также импульс этой системы, поскольку никаких внешних сил на систему не действует. Запишем законы сохранения:

$$\frac{mV_A^2}{2} + q\varphi_A = \frac{(m+M)V^2}{2} + q\varphi_O, \quad (1)$$

$$mV_A = (m+M)V. \quad (2)$$

Здесь V – скорость кольца и частицы в момент, когда частица находится в точке O . Исключаем V из уравнений (1), (2) и выражаем V_A :

$$V_A = \sqrt{\frac{2q(\varphi_O - \varphi_A)(m+M)}{mM}}. \quad (3)$$

Здесь φ_A и φ_O – потенциалы электрического поля соответственно в точках A и O . Определим их, воспользовавшись *принципом суперпозиции*.

Разобьем кольцо на N одинаковых малых элементов – размер эле-

мента должен быть мал по сравнению с радиусом кольца – тогда такой элемент можно считать точечным зарядом. Заряд одного такого элемента обозначим Δq_i . Каждый такой элемент создает в центре кольца потенциал равный

$$\varphi_i = \frac{k\Delta q_i}{R}.$$

Согласно принципу суперпозиции, суммарный потенциал в центре кольца (точка O) равен:

$$\varphi_0 = \sum_{i=1}^N \varphi_i = \sum_{i=1}^N \frac{k\Delta q_i}{R} = \frac{k}{R} \sum_{i=1}^N \Delta q_i = \frac{kQ}{R} \quad (4)$$

Здесь учтено, что сумма зарядов всех элементов равна заряду всего кольца. Аналогично рассуждая, получаем значение потенциала в точке A :

$$\varphi_A = \frac{kQ}{\sqrt{R^2 + d^2}} = \frac{kQ}{2R} \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в (3) получим:

$$V_A = \sqrt{\frac{kqQ(m+M)}{mMR}}$$

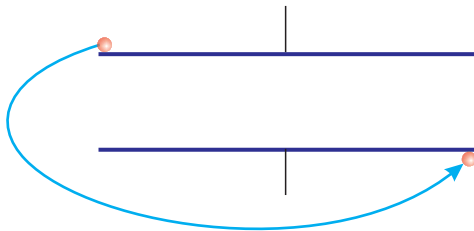
Таким образом, чтобы пролететь сквозь кольцо, частица в точке A должна иметь скорость, определяемую условием:

$$V_A \geq \sqrt{\frac{kqQ(m+M)}{mMR}}. \quad (6)$$

Ответ: формула (6).

Задачи для самостоятельного решения

1) Плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов U и отключен от источника. Точечный заряд q берется с края одной обкладки и переносится на другую так, как показано на рисунке. Найдите совершенную при этом работу.





2) На две плоскопараллельные сетки (см. задачу 1), между которыми создано напряжение U летит поток отрицательно заряженных частиц с одинаковыми энергиями $W = 4qU/3$ (q – заряд каждой частицы) под разными углами α ($0 \leq \alpha \leq 90^\circ$). При каких углах падения частицы будут «отражаться», т. е. не смогут пройти через сетки?

3) Электрический диполь из двух жестко связанных точечных зарядов $+q$ и $-q$ расположенных на расстоянии L друг от друга, находится в положении устойчивого равновесия в однородном электрическом поле с напряженностью E . Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть диполь на 180° ?

4) Два точечных заряда $q_1 = +q$ и $q_2 = -q$, закреплённые на концах легкого непроводящего стержня (диполь), находятся в электростатическом поле. Для того, чтобы повернуть этот диполь на 180° вокруг центра стержня, внешним силам нужно совершить работу A . Какую работу нужно совершить внешним силам (после поворота) для того, чтобы переместить диполь из этого поля на бесконечность? Потенциал бесконечно удалённых точек равен нулю.

Ответы: 1) $A = qU$. 2) $\alpha > 30^\circ$.

3) $A = 2qEL$. 4) $A_\infty = -\frac{A}{2}$.

Калейдоскоп Калейдоскоп Калейдоскоп

Генетики раскрыли секрет долголетия мух-мутантов

Ученые из Московского физико-технического института, Института молекулярной биологии им. Энгельгардта РАН, Института биологии Коми НЦ УрО РАН и компании Insilico Medicine (США) установили, на какие гены воздействует мутация, продлевающая жизнь дрозофил.

Прежде чем ставить многолетние эксперименты на млекопитающих, биогеронтологи проверяют свои гипотезы на животных с небольшой продолжительностью жизни. Мухи-дрозофилы — удобная модель, поскольку их геном хорошо изучен и содержит 40% генов заболеваний человека, а продолжительность жизни составляет всего пару месяцев. Технологии редактирования их генома хорошо отработаны. Кроме того, у дрозофил присутствуют два пола, в отличие, например, от нематод.

Авторы работы использовали «породу», дрозофил, у которой выключена одна из двух копий гена под названием $E(z)$. Этот ген способен регулировать активность других генов. Такие мухи-мутанты живут значительно дольше своих собратьев и демонстрируют большую устойчивость к неблагоприятным условиям. Но на какие именно гены воздействует мутация, до сих пор было неясно.

Российские ученые подтвердили благоприятный эффект мутации: она увеличила продолжительность жизни дрозофил в среднем на 22–23%. В ходе эксперимента мух морили голодом, травили паракватом и подвергали 35-градусной жаре. Дрозофилы-мутанты продемонстрировали повышенную устойчивость ко всем этим факторам. Более того, был обнаружен неожиданный эффект мутации на размножение.

«Известно, что увеличение продолжительности жизни дрозофил за счет мутаций часто сопровождается снижением репродуктивной способности. Однако в нашем случае, напротив, наблюдалось повышение плодовитости самок-мутантов во всех возрастных группах», — прокомментировал результаты исследования Алексей Москалёв.

Источник: <https://mipt.ru/news>