

## 10.15. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле

**10.15.1.** Пылинка массой  $m = 10^{-12}$  кг взвешена между горизонтальными пластинами плоского конденсатора. Пылинка освещается ультрафиолетовым светом и, теряя заряд, она выходит из равновесия. Какой заряд потеряла пылинка, если первоначально между обкладками конденсатора была разность потенциалов  $\Delta\varphi = 200$  В, а затем, чтобы опять уравновесить пылинку, ее пришлось увеличить на  $\Delta\varphi_0 = 50$  В? Расстояние между пластинами конденсатора  $d = 1,6$  см.

**10.15.2.** Две бесконечные параллельно расположенные горизонтальные пластины равномерно заряжены с поверхностными плотностями зарядов  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Расстояние между пластинами  $l = 5$  см. Посередине между ними расположен точечный заряд  $Q$ . В верхней пластине, непосредственно над точечным зарядом, просверлено отверстие радиусом  $r = 1$  мм (рис. 10.15.1). На сколько процентов должны отличаться поверхностные плотности зарядов на пластинах, чтобы точечный заряд находился в равновесии? Считать  $r \ll l$ . Силой тяжести пренебречь.

**10.15.3.** Точечный заряд  $q = -7 \cdot 10^{-8}$  Кл расположен между обкладками плоского конденсатора в точке 1 (рис. 10.15.2) вблизи положительно заряженной пластины. Заряд  $q$  перемещают из точки 1 в точку 3, расположенную вблизи другой пластины, по ломаной 1—2—3. Определите минимальную работу, которую необходимо совершить при таком перемещении. Емкость конденсатора  $C = 10^{-10}$  Ф, заряд  $Q = 5 \cdot 10^{-4}$  Кл.

**10.15.4.** На горизонтальной пластине вертикально установлена легкая непроводящая пружина, на верхнем конце которой закреплен шарик массой  $m = 10$  г с зарядом  $q = 10^{-6}$  Кл (рис. 10.15.3). С какой поверхностной плотностью нужно зарядить пластину, чтобы энергия пружины увеличилась в  $n = 2$  раза? Электрическое поле пластины считать однородным.

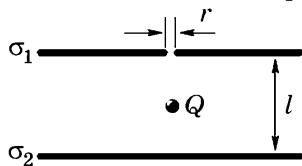


Рис. 10.15.1

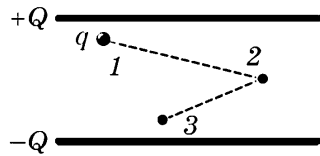


Рис. 10.15.2



Рис. 10.15.3

**10.15.5.** Электрон, двигавшийся со скоростью  $5 \cdot 10^6$  м/с, влетает в параллельное его движению однородное электрическое поле напряженностью  $E = 10^3$  В/м. Какое расстояние пройдет электрон до остановки? Сколько времени ему для этого потребуется? Какую долю своей первоначальной кинетической энергии он потеряет, двигаясь в этом поле, если протяженность поля  $l = 0,8$  см?

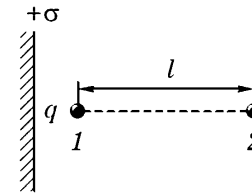


Рис. 10.15.4

**10.15.6.** Точечный заряд  $q = 10^{-7}$  Кл массой  $m = 3 \cdot 10^{-6}$  кг удерживают в точке 1 вблизи равномерно заряженной бесконечной плоскости с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 5 \cdot 10^{-10}$  Кл/м<sup>2</sup> (рис. 10.15.4). Какова будет скорость заряда в точке 2, находящейся на расстоянии  $l = 1$  м от точки 1, если заряд освободить?

**10.15.7.** С большого расстояния к металлической плоскости движется тело массой  $m$ , имеющее заряд  $q$ . Определите скорость тела в тот момент, когда оно будет находиться на расстоянии  $d$  от плоскости. Начальная скорость тела равна нулю, а его размеры много меньше  $d$ .

**10.15.8.** Электрон влетает в плоский конденсатор через очень малое отверстие в положительно заряженной пластине. Скорость электрона  $v = 10^4$  км/с направлена перпендикулярно плоскости пластин. Чему должна быть равна наименьшая разность потенциалов между пластинами, чтобы электрон вылетел обратно из конденсатора? Поле между обкладками конденсатора считать однородным.

**10.15.9.** Две заряженные частицы находятся в однородном внешнем электрическом поле, напряженность которого  $E$ . Частица массой  $m$  имеет отрицательный заряд  $-q$ , частица массой  $M$  — положительный заряд  $Q$  (рис. 10.15.5). На каком расстоянии друг от друга должны находиться частицы, чтобы при движении их взаимное расположение не изменилось?

**10.15.10.** Электрон, движущийся с некоторой скоростью вдоль оси  $OX$ , влетает в область электрического поля, зависимость потенциала которого от координаты  $x$  изображена на рисунке 10.15.6. При какой минимальной скорости  $v_{\min}$  электрон сможет пройти эту область?

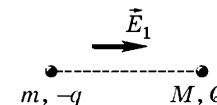


Рис. 10.15.5

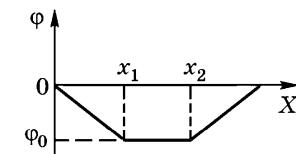


Рис. 10.15.6

**10.15.11.** Электрон влетает в точке  $x = 0$  в тормозящее однородное электрическое поле, направленное вдоль оси  $OX$ , и движется вдоль силовых линий поля. Начальная скорость электрона равна  $v = 10^4$  м/с. Напряженность поля возрастает пропорционально пройденному электронам расстоянию  $x$ , т. е. изменяется по закону  $E = \alpha x$ , где  $\alpha = 9,1 \cdot 10^{-3}$  В/м<sup>2</sup>. Найдите максимальное расстояние, на которое электрон может проникнуть в поле.

• **10.15.12.** Силовые линии электростатического поля представляют собой параллельные прямые. Вдоль силовых линий напряженность поля возрастает по закону  $E = \alpha x$ , где  $\alpha = 10^5$  В/м<sup>2</sup>. Какую энергию  $W$  приобретет частица с зарядом  $q = 2 \cdot 10^{-10}$  Кл, пройдя из начала координат вдоль силовой линии расстояние  $l = 1$  м?

**10.15.13.** Частица массой  $m$  и зарядом  $q$  влетает с горизонтальной скоростью  $v_0$  в однородное электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$ . Линии напряженности электрического поля совпадают с направлением ускорения свободного падения (рис. 10.15.7). Найдите ускорение частицы и ее скорость спустя время  $t$ . Запишите закон движения частицы.

• **10.15.14.** Частица, имеющая заряд  $q$  и энергию  $W$ , влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам. Заряд конденсатора  $Q$ , его емкость  $C$ , расстояние между пластинами  $d$ . Первоначально частица находится на одинаковом расстоянии от пластин. Какой длины должна быть каждая пластина, чтобы частица не упала на ее поверхность?

• **10.15.15.** Электрон, имеющий кинетическую энергию  $W$ , влетает в плоский конденсатор, между пластинами которого поддерживается разность потенциалов  $\Delta\phi$ . Расстояние между пластинами  $d$ , их длина  $l$ . На расстоянии  $h$  от конденсатора находится экран (рис. 10.15.8). Начальная скорость электрона направлена параллельно пластинам. Найдите смещение электрона на экране.

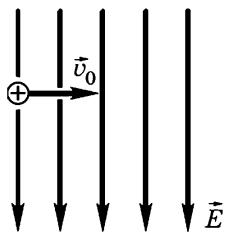


Рис. 10.15.7

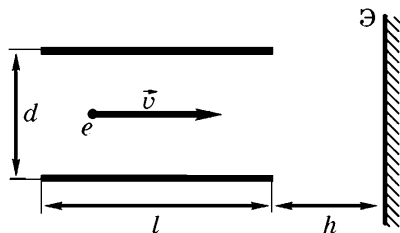


Рис. 10.15.8

**10.15.16.** Узкий пучок электронов пролетает через плоский конденсатор параллельно его пластинам и вызывает свечение экрана, расположенного на расстоянии  $L = 15$  см от края конденсатора. При подаче на конденсатор напряжения  $U = 50$  В светящееся пятно на экране смещается на величину  $H = 21$  мм. Расстояние между пластинами конденсатора  $d = 18$  мм, длина пластин  $l = 6$  см. Определите скорость электронов в пучке.

**10.15.17.** В плоский конденсатор длиной  $l = 5$  см влетает электрон под углом  $\alpha = 15^\circ$  к пластинам. Энергия электрона  $W = 1,5$  кэВ. Расстояние между пластинами  $d = 1$  см. Определите напряжение на конденсаторе, при котором электрон на выходе будет двигаться параллельно пластинам.

**10.15.18.** Частица массой  $m = 10^{-12}$  кг и зарядом  $q = -2 \cdot 10^{-11}$  Кл влетает в вертикальное однородное электростатическое поле напряженностью  $E = 40$  В/м под углом  $\varphi = 120^\circ$  к силовым линиям со скоростью  $v_0 = 220$  м/с (рис. 10.15.9). Через какой промежуток времени частица сместится вдоль силовой линии на расстояние  $\Delta h = 3$  м? Чему равна скорость частицы в этот момент времени? Силу тяжести не учитывать.

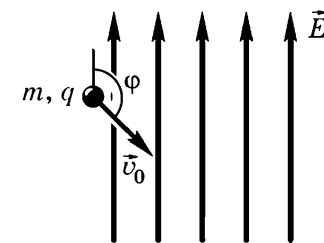


Рис. 10.15.9

**10.15.19.** Тело массой  $m$  с зарядом  $q$  ( $q > 0$ ) брошено под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . Движение тела происходит одновременно в поле тяготения и однородном электростатическом поле напряженностью  $E$ , силовые линии которого направлены вертикально вниз. Определите время полета, дальность полета и максимальную высоту подъема тела над линией горизонта.

**10.15.20.** Частица массой  $m$  и зарядом  $q > 0$  влетает в плоский конденсатор, обкладками которого являются металлические сетки (рис. 10.15.10). Напряженность поля в конденсаторе равна  $E$ , расстояние между сетками  $d$ . Начальная скорость частицы  $v_0$  составляет угол  $\alpha$  с плоскостью первой сетки. С какой скоростью и под каким углом к плоскости второй сетки частица вылетит из конденсатора? Силу тяжести не учитывать.

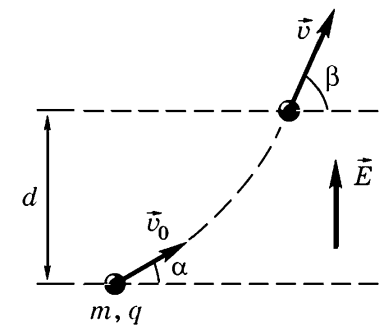


Рис. 10.15.10

**10.15.21.** Заряженная частица с зарядом  $q$  влетает в плоский конденсатор длиной  $l$  под углом  $\alpha$  к плоскости пластин, а вылетает под углом  $\beta$ . Определите первоначальную кинетическую энергию частицы, если напряженность поля внутри конденсатора равна  $E$ . Силу тяжести не учитывать.

**10.15.22.** Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $\Delta\varphi$ , влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно пластинам длиной  $l$  и вылетает из него. В тот момент, когда электрон влетает в конденсатор, в последнем возникает электрическое поле, напряженность которого изменяется со временем по закону  $E = \alpha t$ , где  $\alpha$  — положительная постоянная. Вектор  $E$  перпендикулярен пластинам. Определите скорость электрона, вылетевшего из конденсатора. Заряд электрона  $|e|$ , масса электрона  $m_e$ . Силой тяжести пренебречь.

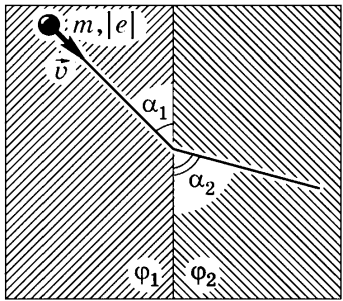


Рис. 10.15.11

**10.15.23.** Электрон, двигаясь со скоростью  $v$ , переходит из области электрического поля с потенциалом  $\varphi_1$  в область поля с потенциалом  $\varphi_2$ , причем  $\varphi_2 > \varphi_1$  (рис. 10.15.11). Под каким углом  $\beta$  к границе раздела областей будет двигаться электрон, если он подлетел к ней под углом  $\alpha$ ? Масса и заряд электрона равны  $m_e$  и  $|e|$  соответственно.

**10.15.24.** Небольшой шарик массой  $m$ , подвешенный на легкой непроводящей нити, вращается в вертикальной плоскости. Найдите максимальную разность сил натяжения нити, если шарик движется в однородном электрическом поле напряженностью  $E$ , направленном вертикально вниз. Шарику сообщен положительный заряд  $q$ .

**10.15.25.** Небольшой шарик массой  $m = 10$  г, имеющий заряд  $q = 5$  мкКл, подвешен на непроводящей нити. Шарик отклоняют на натянутой нити от положения равновесия до горизонтального положения и отпускают (рис. 10.15.12). Определите силу натяжения нити в тот момент, когда нить составляет угол  $\alpha_0 = 30^\circ$  с вертикалью, если в пространстве создано постоянное однородное электрическое поле напряженностью  $E = 2$  кВ/м, направленное вертикально вниз.

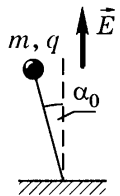


Рис. 10.15.12

• **10.15.26.** В однородном электрическом поле напряженностью  $E$  на невесомой нерастяжимой нити удерживается шарик массой  $m$  и зарядом  $q > 0$  (см. рис. 10.15.12). Найдите силу натяжения нити при движении шарика, если первоначально он был отклонен от вертикали на угол  $\alpha_0$ . Линии напряженности

Ответы:

**10.15.1.**

$$\Delta q = \frac{mgd\Delta\varphi_0}{\Delta\varphi(\Delta\varphi + \Delta\varphi_0)} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

$$\mathbf{10.15.2.} \quad \eta = \frac{2r^2}{l^2} \cdot 100\% \approx 0,08\%.$$

$$\mathbf{10.15.3.} \quad A = |q| \frac{Q}{C} = 0,35 \text{ Дж.}$$

**10.15.4.**

$$\sigma = -\frac{2(\sqrt{2}-1)\varepsilon_0 mg}{q} = -7,2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2.$$

$$\mathbf{10.15.5.} \quad r = 7,1 \text{ см; } \tau = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ с;}$$

$$\frac{\Delta W}{W} = 0,11.$$

$$\mathbf{10.15.7.} \quad v = q \sqrt{\frac{2k}{md}}.$$

$$\mathbf{10.15.8.} \quad \Delta\varphi = \frac{m_e v^2}{2e} = 284 \text{ В.}$$

У к а з а н и е. Здесь и далее  $m_e$  и  $e$  — масса и заряд электрона.

$$\mathbf{10.15.9.} \quad r = \frac{k|q|Q(m+M)}{\sqrt{E(mQ+M|q|)}}.$$

$$\mathbf{10.15.10.} \quad v_{\min} = \sqrt{\frac{2e\varphi_0}{m}}.$$

$$\mathbf{10.15.11.} \quad s = v \sqrt{\frac{m_e}{\alpha e}} \approx 0,25 \text{ м.}$$

$$\mathbf{10.15.13.} \quad a = g + \frac{qE}{m};$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + \left(g + \frac{qE}{m}\right)^2 t^2};$$

$$\begin{cases} x = v_0 t, \\ y = \left(g + \frac{qE}{m}\right) \frac{t^2}{2}. \end{cases}$$

**10.15.16.**

$$v = \sqrt{\frac{eUl\left(\frac{l}{2} + L\right)}{m_e dH}} = 1,6 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$$

$$\mathbf{10.15.17.} \quad U = \frac{Wd \sin 2\alpha}{el} = 150 \text{ В.}$$

$$\mathbf{10.15.18.} \quad t_0 =$$

$$= \frac{mv_0 \sin \alpha - \sqrt{(mv_0 \sin \alpha)^2 - 2qEm\Delta h}}{qE} =$$

$$= 0,025 \text{ с;}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{qEt_0}{m}\right)^2} - \frac{2qEt_0 v_0 \sin \alpha}{m} =$$

$$= 230,7 \text{ м/с.}$$

$$\mathbf{10.15.19.} \quad t = \frac{2mv_0 \sin \alpha}{mg + qE};$$

$$s = \frac{mv_0^2 \sin 2\alpha}{mg + qE}; \quad h_{\max} = \frac{mv_0^2 \sin^2 \alpha}{mg + qE}.$$

$$\mathbf{10.15.20.} \quad v = v_0 \sqrt{1 + \frac{2qEd}{mv_0^2}};$$

$$\beta = \arcsin \frac{v_0 \sin \alpha \sqrt{m}}{\sqrt{mv_0^2 + 2qEd}}.$$

$$\mathbf{10.15.21.} \quad W = \frac{qEl}{2 \cos^2 \alpha (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)}.$$

$$\mathbf{10.15.22.} \quad v = \sqrt{\frac{2e\Delta\varphi}{m_e} + \frac{eE^2 l^2}{8m_e \Delta\varphi}}.$$

**10.15.23.**

$$\beta = \arcsin \left( \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{e(\varphi_2 - \varphi_1)}{1 + m_e v^2 \sin^2 \alpha}} \right).$$

$$\mathbf{10.15.24.} \quad \Delta T_{\max} = 6(mg + qE).$$

$$\mathbf{10.15.25.} \quad T = 3(mg - qE) \cos \alpha_0 \approx 0,3 \text{ Н.}$$