

откуда получаем

$$\frac{\pi}{2\alpha B} \approx \frac{m}{k} \frac{\varepsilon}{100\%}. \quad (1)$$

Теперь рассмотрим прямолинейный участок траектории частицы после выключения магнитного поля. В этом случае на частицу действует только сила сопротивления, поэтому

$$\Delta s = L, \text{ а } \Delta v = -v_0 \left(1 - \frac{\varepsilon}{100\%}\right).$$

Решение уравнения движения в конечных приращениях будет иметь вид

$$L = \frac{m}{k} v_0 \left(1 - \frac{\varepsilon}{100\%}\right). \quad (2)$$

Совместное рассмотрение движения на обоих участках траектории позволяет из выражений (1) и (2) найти скорость v_0 , с которой частица влетела в магнитное поле:

$$v_0 \approx \frac{2\varepsilon\alpha LB}{(100\% - \varepsilon)\pi} \approx 10^4 \text{ м/с.}$$

Задача 7*. Положительно заряженная частица движется в однородных и взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях. В некоторый момент времени ее скорость равна \vec{v}_0 ($\vec{v}_0 \perp \vec{E}$ и $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$; рис.9). Чему

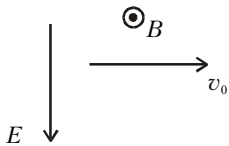


Рис. 9

будет равна величина скорости частицы в те моменты времени, когда вектор ее скорости будет составлять 180° с вектором \vec{v}_0 , при условии, что $E = v_0 B$?

Запишем уравнение движения частицы (аналогичное предыдущей задаче) вдоль оси X (рис.10):

$$m \frac{dv_x}{dt} = -qv_y B,$$

где m – масса, q – заряд частицы.

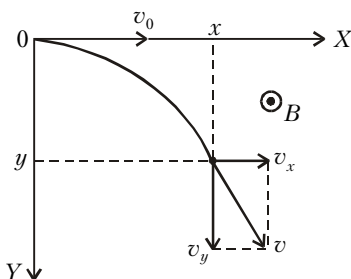


Рис. 10

Решение этого уравнения имеет вид

$$v_x(t) = v_0 - \frac{qB}{m} y.$$

В те моменты времени $t = t_n$, когда скорость частицы \vec{v} будет составлять 180° с вектором начальной скорости,

$$v_x(t_n) = -v \text{ и } y(t_n) = \frac{v_0 + v}{qB/m}.$$

По закону сохранения энергии,

$$\frac{mv_0^2}{2} + qEy(t_n) = \frac{mv^2}{2}.$$

При условии, что $E = v_0 B$, для скорости v получаем квадратное уравнение

$$v^2 - 2v_0 v - 3v_0^2 = 0,$$

откуда находим искомую скорость:

$$v = 3v_0.$$

Для любознательных приведем еще одно – краткое и красивое – решение этой задачи. Сразу оговоримся, что это решение выходит за рамки школьной программы, поскольку оно связано с преобразованием электромагнитных полей при переходе из одной инерциальной системы в другую. Будем рассматривать движение нашей заряженной частицы в системе координат, движущейся вдоль оси X со скоростью $-v_0$, т.е. навстречу частице со скоростью v_0 . В этой системе координат появляется дополнительное электрическое поле с напряженностью, равной $v_0 B$ и направленной навстречу электрическому полю \vec{E} .¹ В результате электрическое поле оказывается равным нулю, и остается только магнитное поле. Частица, имеющая начальную скорость $2v_0$, будет двигаться по окружности с постоянной скоростью $2v_0$. Следовательно, и в тот момент, когда вектор скорости частицы будет составлять 180° с вектором \vec{v}_0 , ее скорость будет равна $2v_0$. Если теперь вернуться в неподвижную систему координат, то понятно, что скорость частицы будет равна $3v_0$.

Упражнения

1. Пучок однократно заряженных положительных ионов Li^+ ($A = 6$) испускается эмиттером Э, ускоряется электрическим

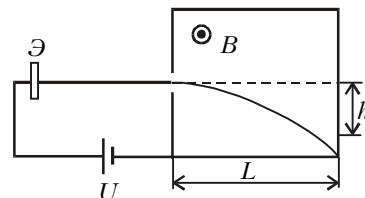


Рис. 11

¹ См. статью Е.Ромишевского «Эта загадочная магнитная сила» в этом номере журнала. (Прим. ред.)

полем и, пройдя разность потенциалов $U = 3000$ В, попадает в камеру с поперечным магнитным полем с индукцией $B = 3 \cdot 10^{-2}$ Тл (рис.11). Найдите величину отклонения пучка h . Длина камеры $L = 15$ см, заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса протона $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

2. Электрон влетает в пространство плоского конденсатора, между пластинами которого поддерживается постоянная разность потенциалов $U = 60$ В (см. рис.1). Определите минимальную скорость электрона, при которой он достигнет верхней пластины. Удельный заряд электрона $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг, угол падения $\alpha = 60^\circ$.

3. Положительно заряженная частица пролетает через три плоские металлические сетки, между которыми с помощью двух источников с ЭДС $E_1 = 250$ В и $E_2 = 200$ В поддерживаются постоянные разности потенциалов (рис.12). На каком расстоянии x

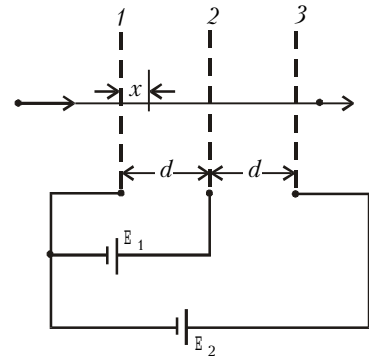


Рис. 12

от первой сетки скорость частицы будет равна скорости, которую она имела вдали от сеток? Расстояние d между сетками много меньше размеров сеток.

4. На вакуумный плоский диод, в котором расстояние между катодом K и анодом

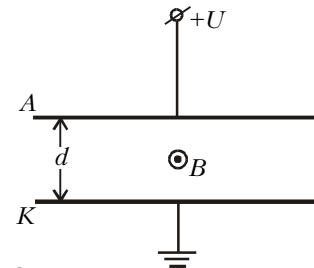


Рис. 13

А равно d , подано постоянное напряжение U (рис.13). Диод находится в однородном магнитном поле, индукция которого направлена параллельно плоскости электродов. При какой минимальной величине индукции магнитного поля электроны, покидающие поверхность катода, не смогут достичь анода? Электроны у поверхности катода можно считать неподвижными, а полем тяжести можно пренебречь. Заряд электрона e , его масса m .