ции магнитного поля

$$B_N = \frac{2\pi m v_0 \cos\alpha}{eL} N .$$

Задача 5*. *Протон с удельным зарядом $q/m = 0{,}96 \cdot 10^8$ Кл/кг налетает на систему из трех плоских металлических сеток, между которыми с помощью двух источников с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 500$ В и $\mathcal{E}_2 = 200$ В поддерживаются постоянные разности потенциалов (рис.5). Расстояния между сетками равны d и много меньше поперечных*

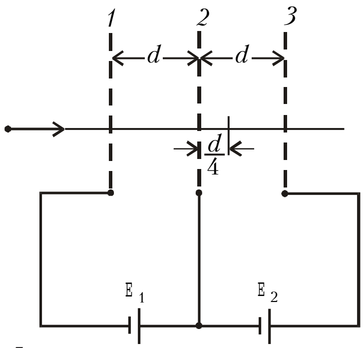

Рис. 5

размеров сеток. В точке, находящейся на расстоянии $d/4$ за второй сеткой, скорость протона оказалась равной нулю. Чему была равна скорость протона на большом удалении от сеток?

Скорость v протона на большом удалении от сеток можно найти по закону сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = q\varphi\left(\frac{d}{4}\right),$$

где $\varphi(d/4)$ – значение потенциала электрического поля сеток (относительно бесконечности) в точке остановки протона.

Найдем распределение потенциала $\varphi(x)$ между сетками *2* и *3* вдоль оси X, приняв за начало отсчета положение второй сетки (рис.6). Потенциал $\varphi(x)$ является суммой потенциалов $\varphi_{12}(x)$ и $\varphi_{23}(x)$, где $\varphi_{12}(x)$ создается только зарядами сеток *1* и *2*, между которыми поддерживается разность потенциалов

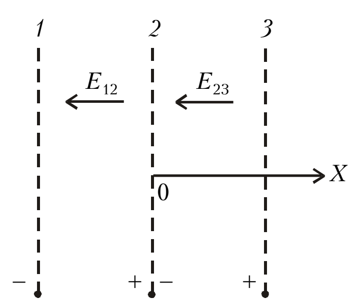

Рис. 6

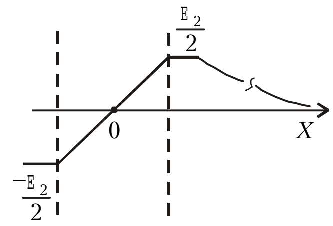

Рис. 7

$\mathcal{E}_1$, а $\varphi_{23}(x)$ – только зарядами сеток *2* и *3* с разностью потенциалов $\mathcal{E}_2$.

Рассмотрим конденсатор, образуемый сетками *2* и *3*. На рисунке 7 приведен график распределения потенциала внутри этого конденсатора. Из соображений симметрии ясно, что потенциал центра конденсатора равен потенциалу на бесконечности, т.е. нулю. (Отметим, что нулю равен потенциал всех точек в плоскости симметрии системы.) Значит, внутри конденсатора потенциал меняется от значения $-\mathcal{E}_2/2$ на отрицательной пластине до $+\mathcal{E}_2/2$ на положительной по линейному закону. Вне конденсатора, где напряженность поля гораздо меньше, чем внутри, при удалении от пластин на малое расстояние (по сравнению с их размерами) потенциал почти не изменяется (а при удалении на бесконечно большое расстояние потенциал убывает до нуля). Аналогичные рассуждения можно провести и для конденсатора, образуемого сетками *1* и *2*. Поскольку рассматриваемая точка остановки протона лежит внутри правого конденсатора (на расстоянии $d/4$ от отрицательной пластины), но вне левого конденсатора, для $0 \le x \le d$ получаем

$$\varphi_{12}(x) = \frac{1}{2}\mathcal{E}_1 \text{ и } \varphi_{23}(x) = \mathcal{E}_2\left(\frac{x}{d} - \frac{1}{2}\right).$$

После суммирования находим

$$\varphi(x) = \frac{1}{2}\left(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2\right) + \mathcal{E}_2\frac{x}{d},$$

и

$$\varphi\left(\frac{d}{4}\right) = \frac{1}{4}\left(2\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2\right).$$

Итак, скорость протона вдали от сеток будет равна

$$v = \sqrt{2\frac{q}{m}\varphi\left(\frac{d}{4}\right)} =$$

$$= \sqrt{\frac{q}{m}\left(\mathcal{E}_1 - \frac{\mathcal{E}_2}{2}\right)} \approx 1{,}96 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Задача 6*. *Частица с удельным зарядом $\alpha = 10^8$ Кл/кг влетает в камеру Вильсона, находящуюся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл, перпендикулярно линиям магнитной индукции поля. После поворота вектора скорости на 90° – относительное изменение радиуса траектории частицы при этом равно $\varepsilon = 5\%$ – поле выключают. Затем частица проходит путь $L = 30$ см до полной остановки. С какой скоростью влетела частица в камеру, если сила сопротивления при ее движении пропорциональна скорости?*

Рассмотрим сначала движение частицы в однородном магнитном поле. На частицу действуют две силы: сила Лоренца $F_Л$, которая обеспечивает движение по окружности с центростремительным ускорением, и сила сопротивления $F_с$ со стороны окружающего водяного пара (рис.8). Уравнение движе-

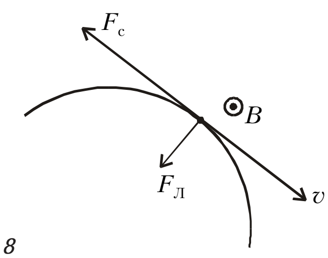

Рис. 8

ния под действием силы Лоренца имеет вид

$$\frac{mv^2}{R} = qvB,$$

где v – скорость, q – заряд, m – масса частицы, а R – радиус кривизны ее траектории. Из этого уравнения найдем связь между R и v:

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{v}{\alpha B}.$$

При малом относительном изменении радиуса кривизны ($\Delta R/R = \varepsilon/100\,\% = 0{,}05$) можно записать

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta v}{v} \approx \frac{\Delta v}{v_0},$$

где v_0 – скорость частицы при влете в магнитное поле. Изменение абсолютной величины скорости Δv происходит под действием тормозящей силы $F_с = kv$, где k – константа. Уравнение движения частицы вдоль траектории имеет вид

$$kvdt = -mdv,$$

или, поскольку $vdt = ds$ (отрезок пути, пройденного частицей),

$$ds = -\frac{m}{k}dv.$$

В конечных приращениях (за время поворота вектора скорости на 90°)

$$\Delta s \approx \frac{\pi R}{2} = \frac{\pi v_0}{2\alpha B} \text{ и } \Delta v = -v_0\frac{\varepsilon}{100\%},$$