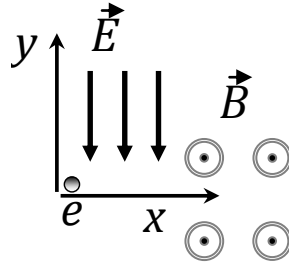




## Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Решение задачи 3. Магнетронное напыление

1. Чтобы найти траекторию движения, запишем 2-й закон Ньютона в проекции на оси X Y. (Ось Z сонаправлена магнитному полю, Y перпендикулярна мишени и противоположна электрическому полю).



Ниже учтено, что электрон имеет отрицательный заряд.

$$\begin{aligned} m\dot{v}_x &= ev_y B_z \\ m\dot{v}_y &= -ev_x B_z + eE \end{aligned}$$

откуда приходим к уравнению колебаний для  $v_y$  с начальными условиями:

$$\begin{aligned} \ddot{v}_y &= \frac{-e^2 B_z^2}{m^2} v_y \\ v_y(0) &= 0 \\ \dot{v}_y(0) &= \frac{eE}{m} \\ v_x(0) &= 0 \\ \dot{v}_x(0) &= 0 \end{aligned}$$

Откуда получим:

$$\begin{aligned} v_x &= v_0(1 - \cos(\omega_0 t)) \\ v_y &= v_0(\sin(\omega_0 t)) \end{aligned}, \text{ где } \omega_0 = \frac{eB}{m}, v_0 = \frac{E}{B} \quad \begin{aligned} x(t) &= v_0 t - \frac{v_0}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) + x_0 \\ y(t) &= \frac{-v_0}{\omega_0} \cos(\omega_0 t) + y_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x(0) &= 0, y(0) = 0 \\ \text{учитывая } x_0 &= 0, y_0 = \frac{v_0}{\omega_0} \end{aligned}$$

2. Движение заряженной частицы в скрещенных полях будет происходить по циклоиде. Плоскость траектории перпендикулярна магнитному полю. Толщина слоя, в котором локализованы электроны, – это наивысшая точка циклоиды:

$$\Delta y = y(T/2) = \frac{v_0}{\omega_0} \left( 1 - \cos\left(\frac{\omega_0 T}{2}\right) \right) = \frac{2v_0}{\omega_0} \approx 1 \text{ мм}$$

3. Масса ионов аргона на несколько порядков больше, поэтому в масштабах магнетронной установки они не будут локализованы, а полетят к мишени.