

Вакуумная и плазменная электроника

ВОРОБЬЕВ МИХАИЛ ДМИТРИЕВИЧ

Кафедра «Электроника и наноэлектроника»

E-605

Движение электрона в электрических полях

М.Д.Воробьев

**Движение электронов в электрических и
магнитных полях.
Основы электронной оптики**

Учебное пособие
Издательство МЭИ
2016

Движение электрона в электрических полях

$$\vec{F} = m\vec{a} = -e\vec{E} - e\left[\vec{v} \times \vec{B}\right]$$

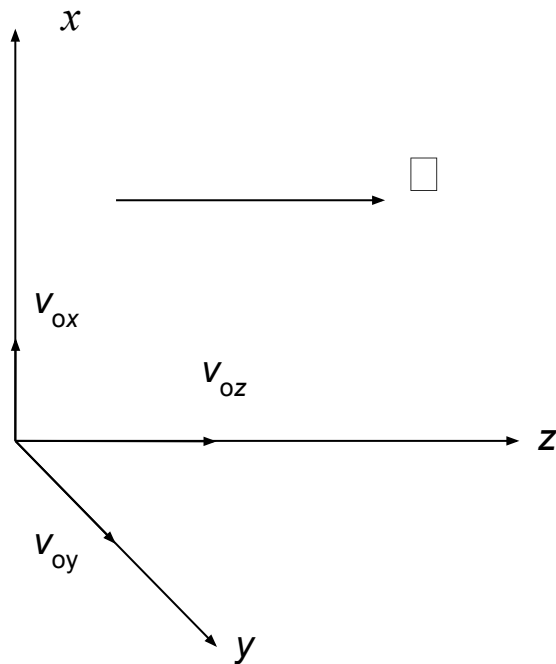
$$\vec{B} = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{e}{m}E_x$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{e}{m}E_y$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{e}{m}E_z$$

Движение электрона в однородном электрическом поле



$$\dot{x} = \dot{y} = 0$$

Движение электрона в однородном электрическом поле

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = v_{x0}$$

$$x = v_{x0}t + C_1$$

так как $x(t=0) = 0$, то $C_1 = 0$

$$x = v_{x0}t.$$

Движение электрона в однородном электрическом поле

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{eE}{m}$$

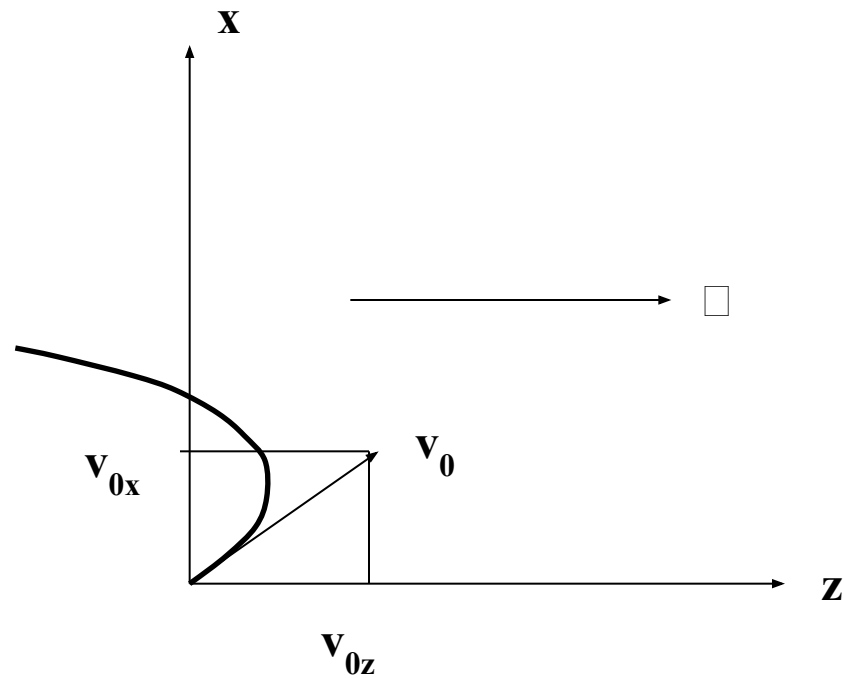
$$\frac{dz}{dt} = -\frac{eE}{m}t + v_{0z}$$

$$z = -\frac{eE}{2m}t^2 + v_{0z}t$$

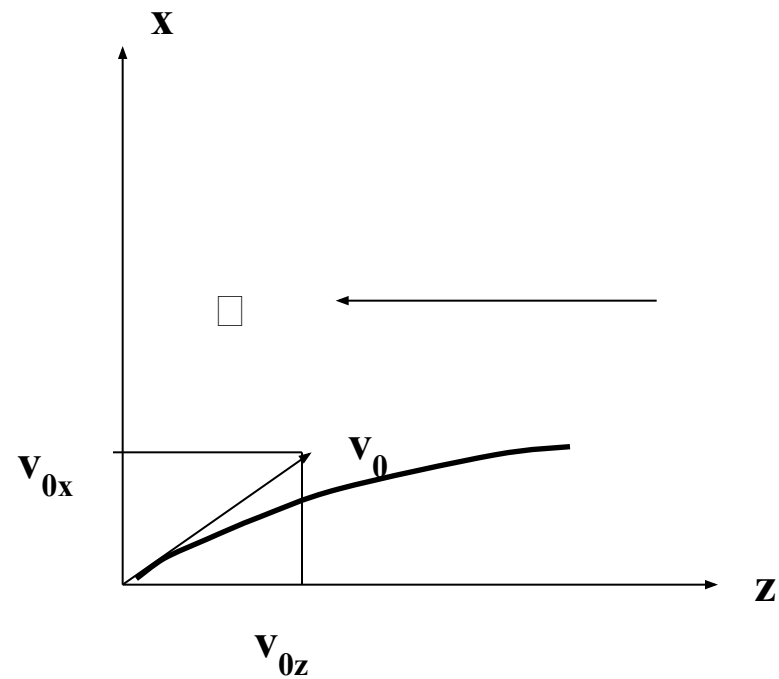
$$x = v_{0x}t \quad t = \frac{x}{v_{0x}}$$

$$z = -\frac{eE}{2m} \left(\frac{x}{v_{0x}} \right)^2 + v_{0z} \left(\frac{x}{v_{0x}} \right)$$

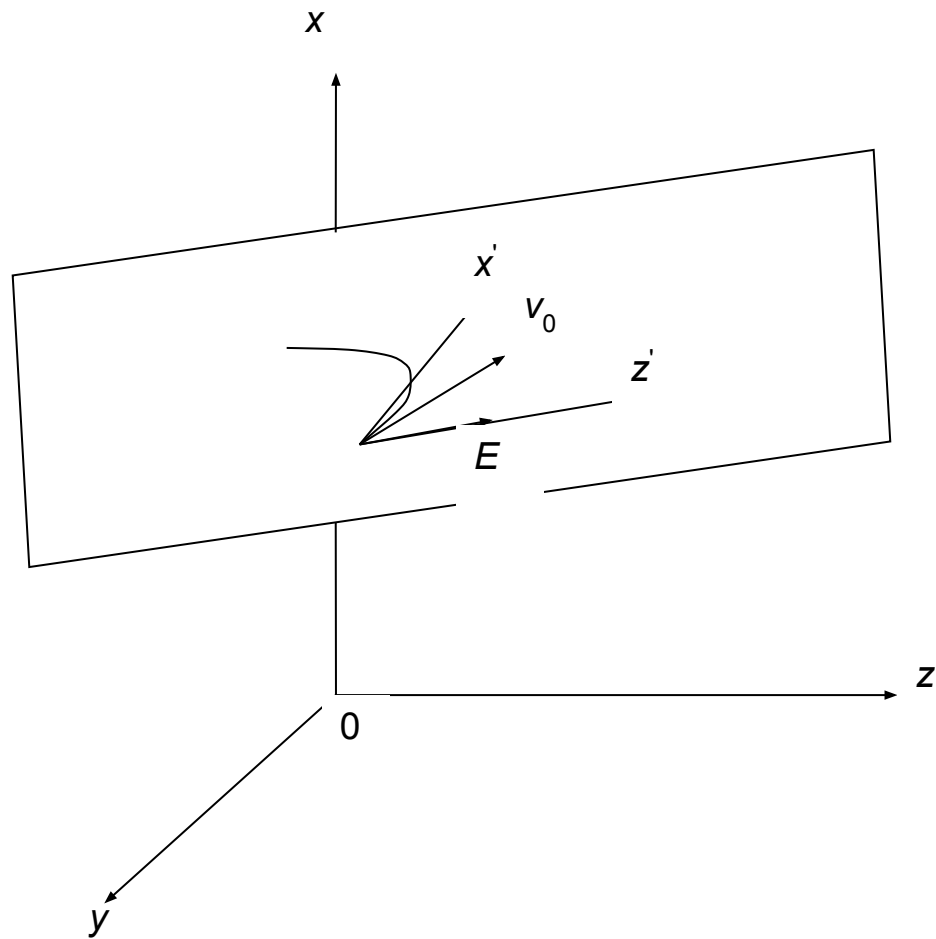
Движение электрона в однородном электрическом поле



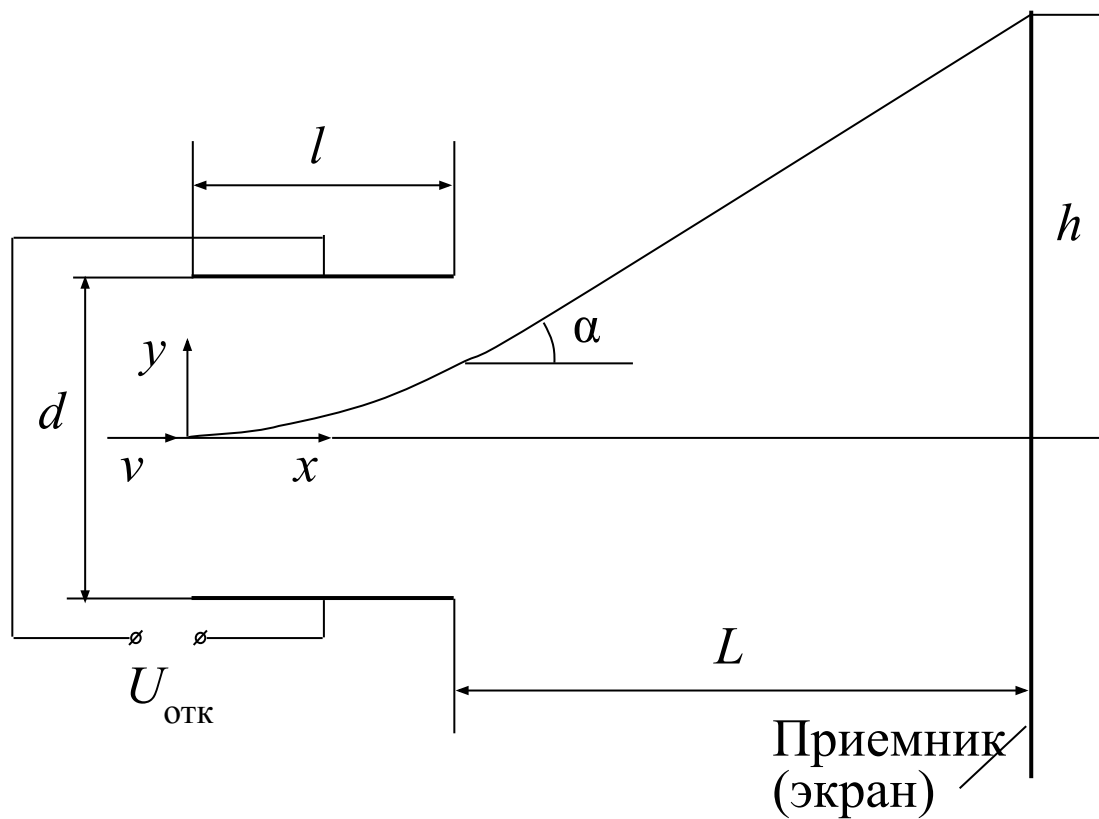
Движение электрона в однородном электрическом поле



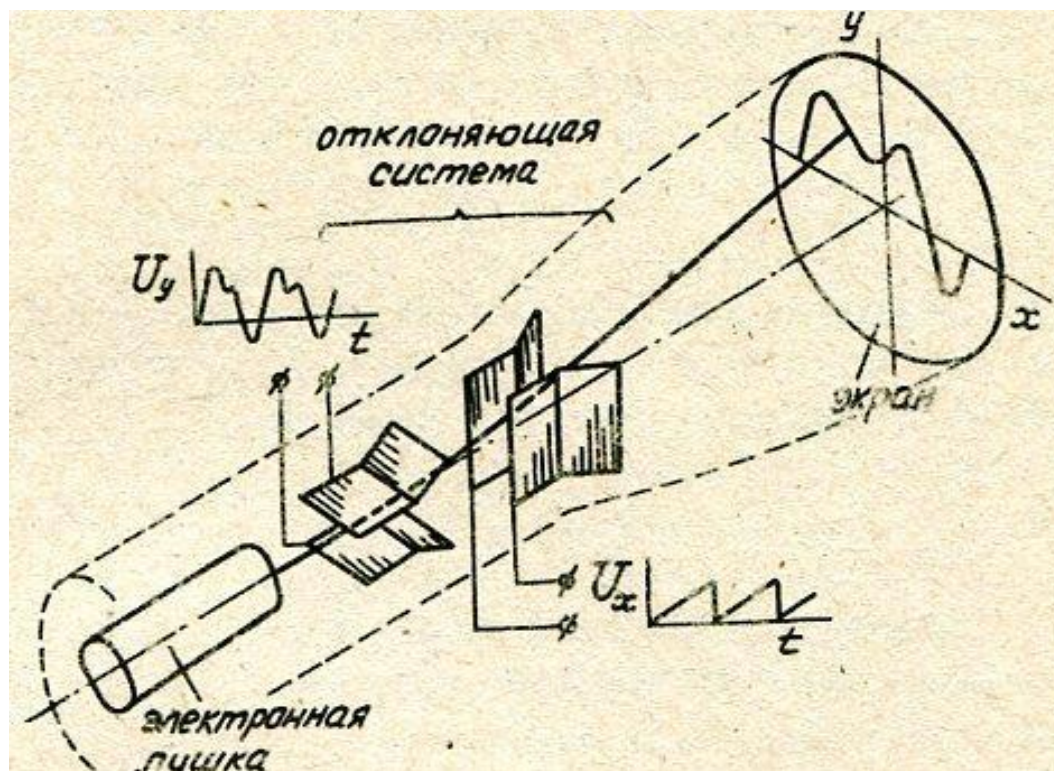
Движение электрона в однородном электрическом поле



Отклоняющая система



Отклоняющая система осциллографического электронно-лучевого прибора



Задача 4

Отклоняющая система содержит 2 плоские параллельные пластины, расстояние между которыми 0,5 см. К ним приложено напряжение 20 В. Длина пластин 2 см. По оси системы, расположенной на равных расстояниях от пластин, влетает электрон с энергией 500 эВ. Найти, на какое расстояние от оси будет отстоять точка попадания электрона на экран, если расстояние от края пластин до экрана составляет 20 см.

Движение электрона в магнитном поле

Движение электрона в магнитном поле

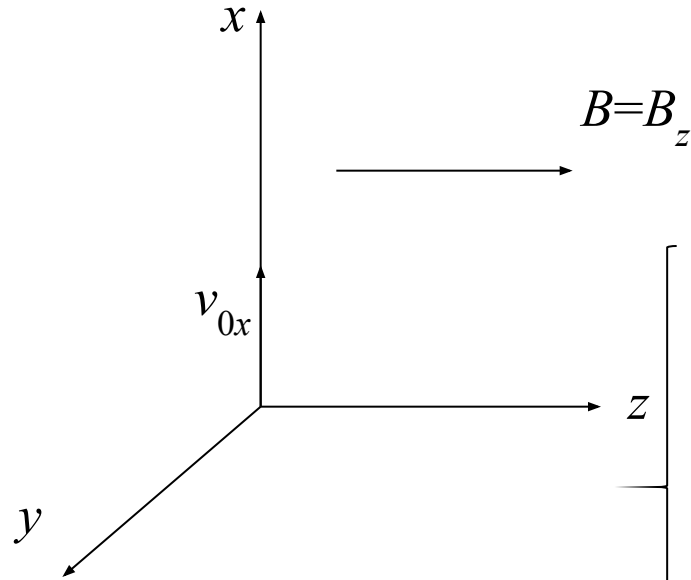
$$\vec{F} = m\vec{a} = -e\vec{\mathcal{E}} - e\left[\vec{v}\vec{B}\right]$$

$$\mathcal{E} = 0$$

$$\vec{a} = -\frac{e}{m}\left[\vec{v}\vec{B}\right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{e}{m}(v_y B_z - v_z B_y) \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{e}{m}(v_z B_x - v_x B_z) \\ \frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{e}{m}(v_x B_y - v_y B_x) \end{array} \right.$$

Движение электрона в магнитном поле



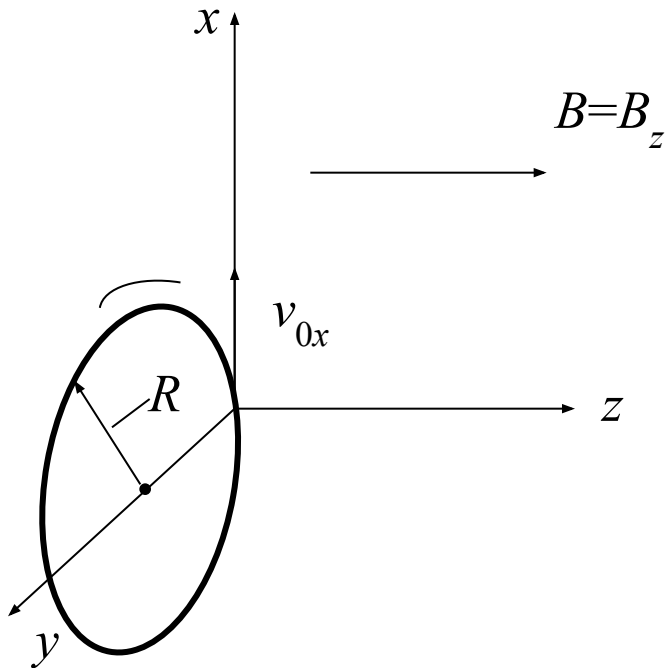
$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{e}{m} (v_y B_z - v_z B_y) = -\frac{e}{m} B \frac{dy}{dt} = -\omega \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{e}{m} (v_z B_x - v_x B_z) = \frac{e}{m} B \frac{dx}{dt} = \omega \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{e}{m} (v_x B_y - v_y B_x) = 0$$

$$\omega = \frac{eB}{m} \quad \text{циклотронная частота}$$

Движение электрона в магнитном поле



$$x(t) = R \cos(\omega t + \varphi)$$

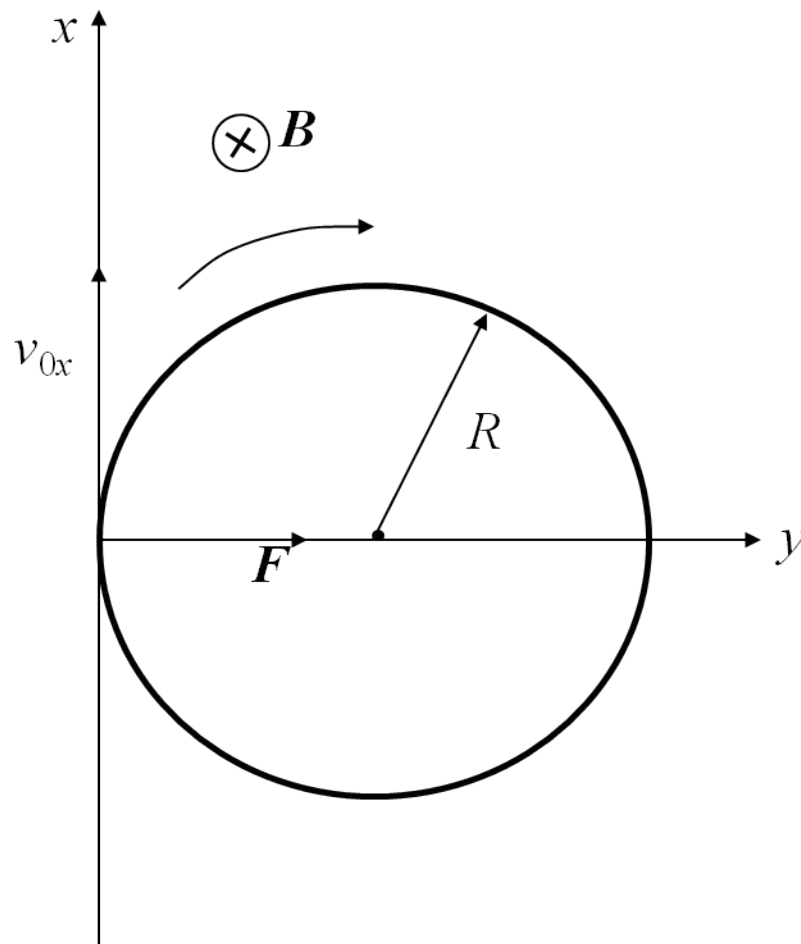
$$y(t) = R \sin(\omega t + \varphi) + R$$

$$z(t) = 0$$

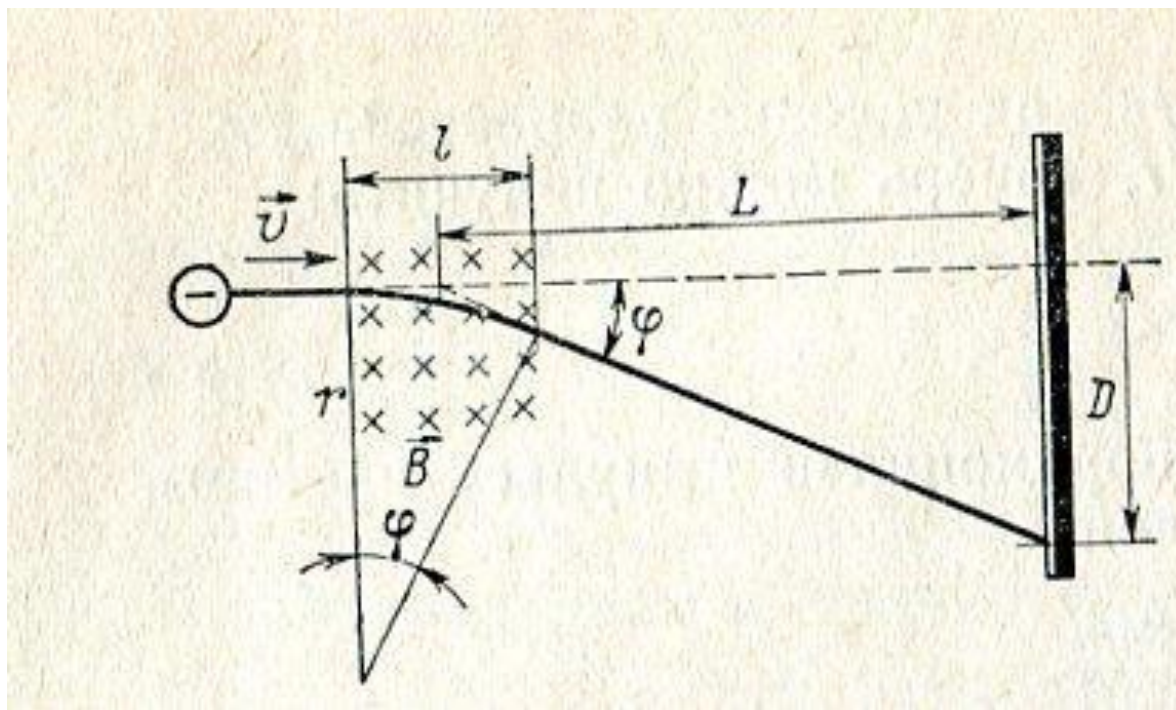
$$R = \frac{v_{x0}}{\omega}$$

$$\varphi = -\frac{\pi}{2}$$

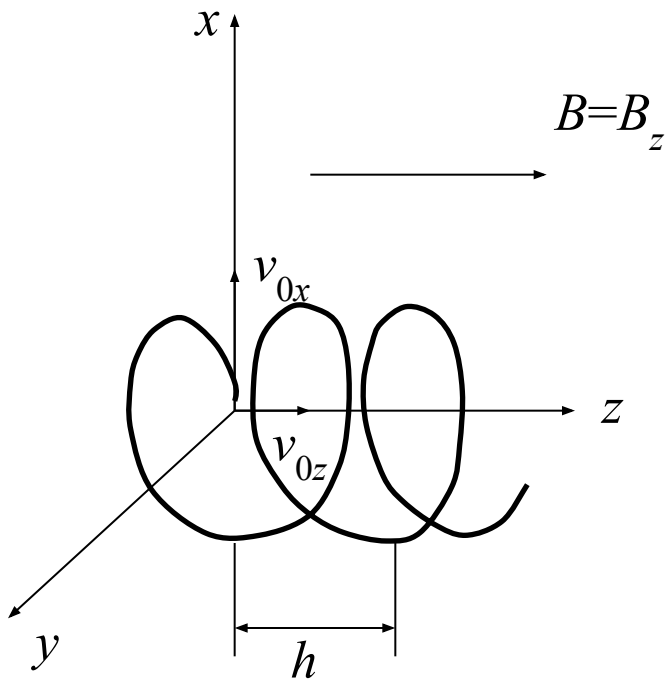
Движение электрона в магнитном поле



Магнитная отклоняющая система



Движение электрона в магнитном поле при наличии z-составляющей начальной скорости



$$x(t) = R \cos(\omega t + \varphi)$$

$$y(t) = R \sin(\omega t + \varphi) + R$$

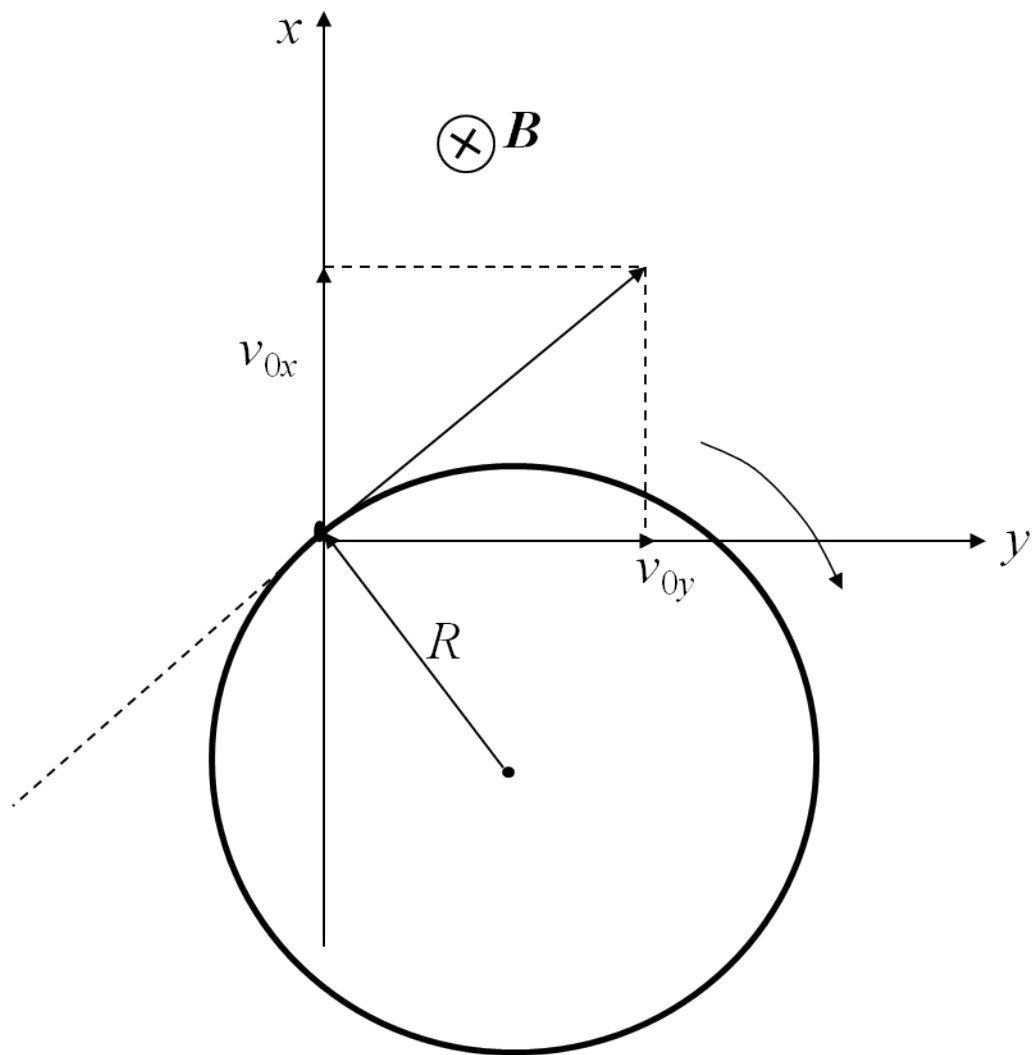
$$z(t) = v_{z0} t$$

$$R = \frac{v_{x0}}{\omega} \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

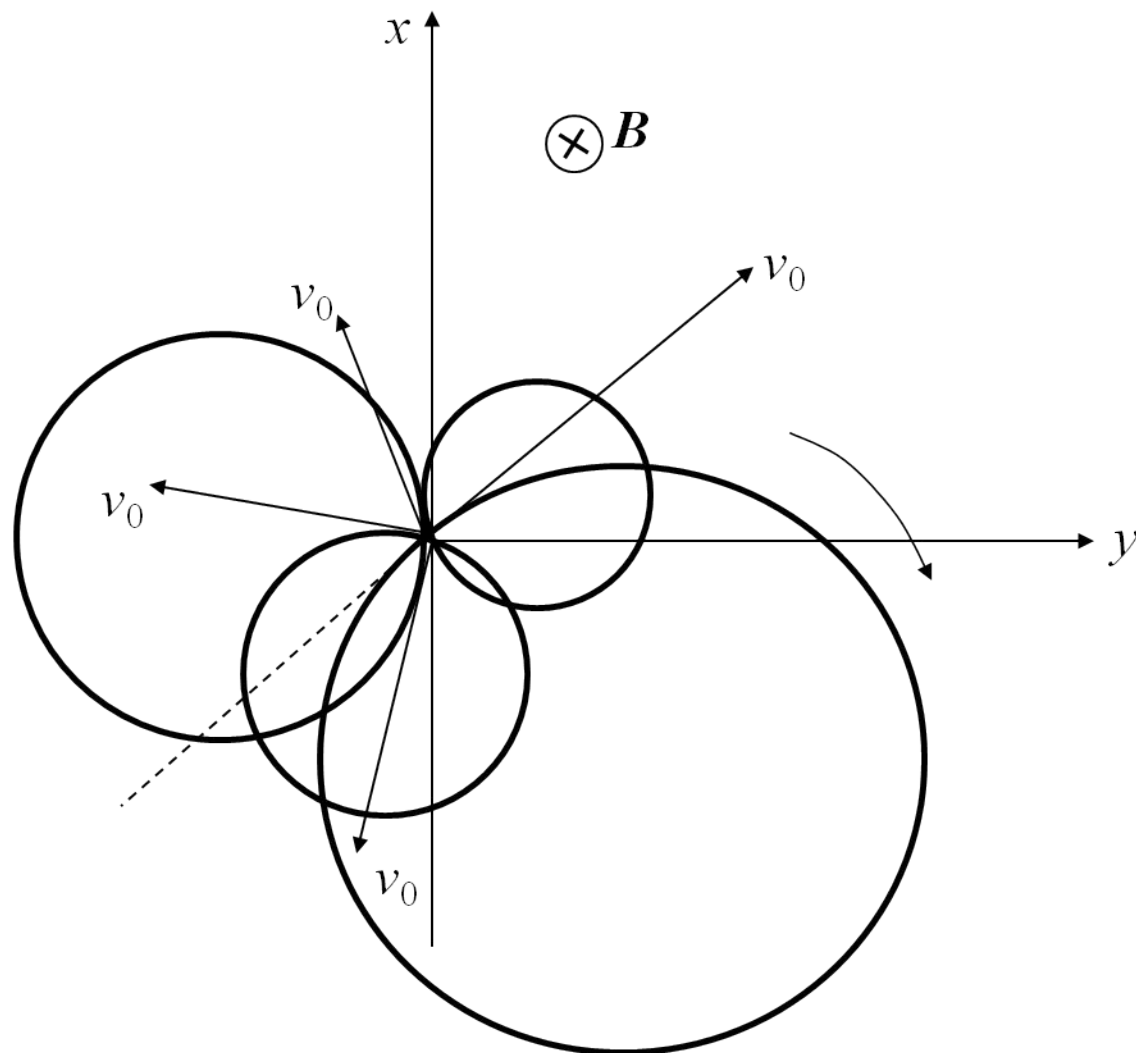
$$h = v_{0z} T$$

Движение электрона в магнитном поле

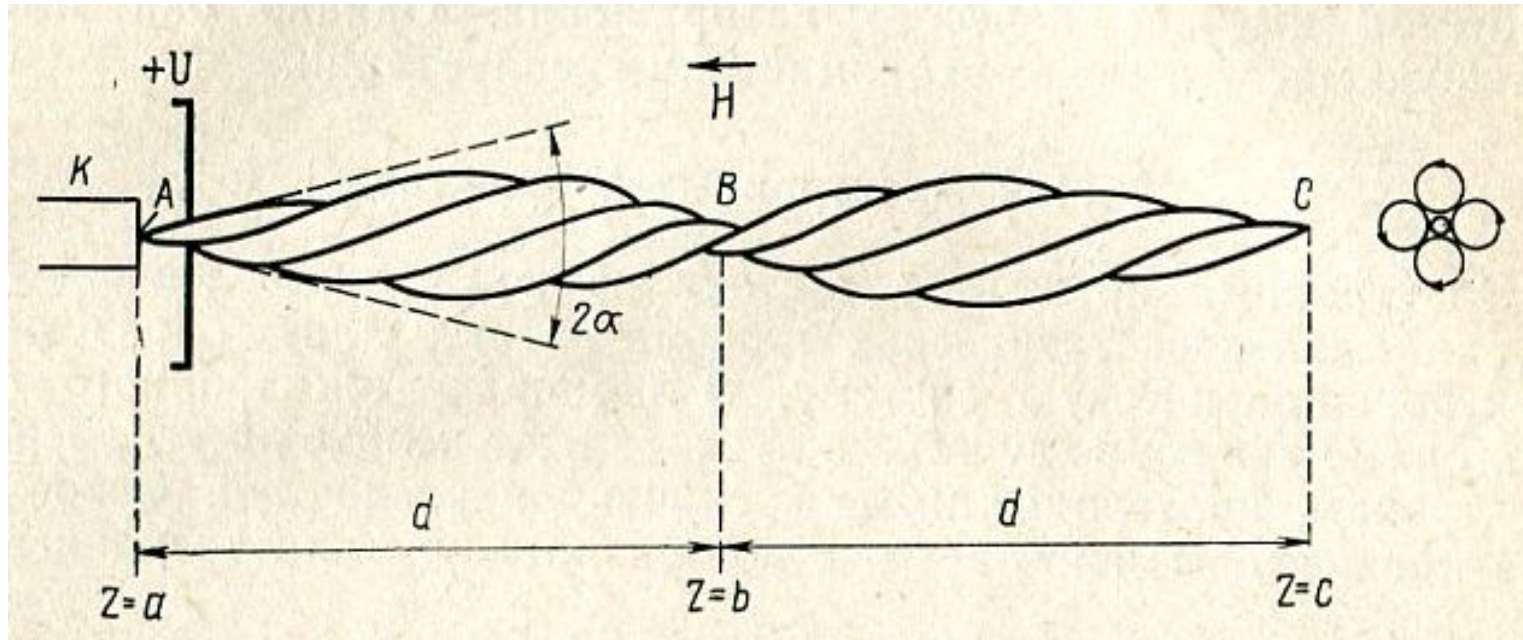


$$R = \frac{\sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}}{\omega}$$

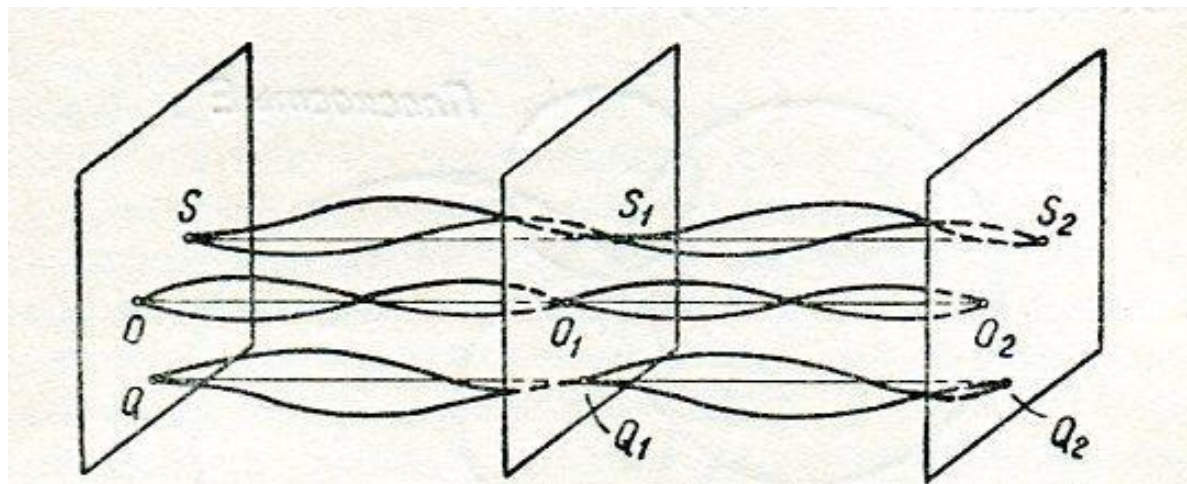
Движение электронов с различными начальными скоростями в магнитном поле



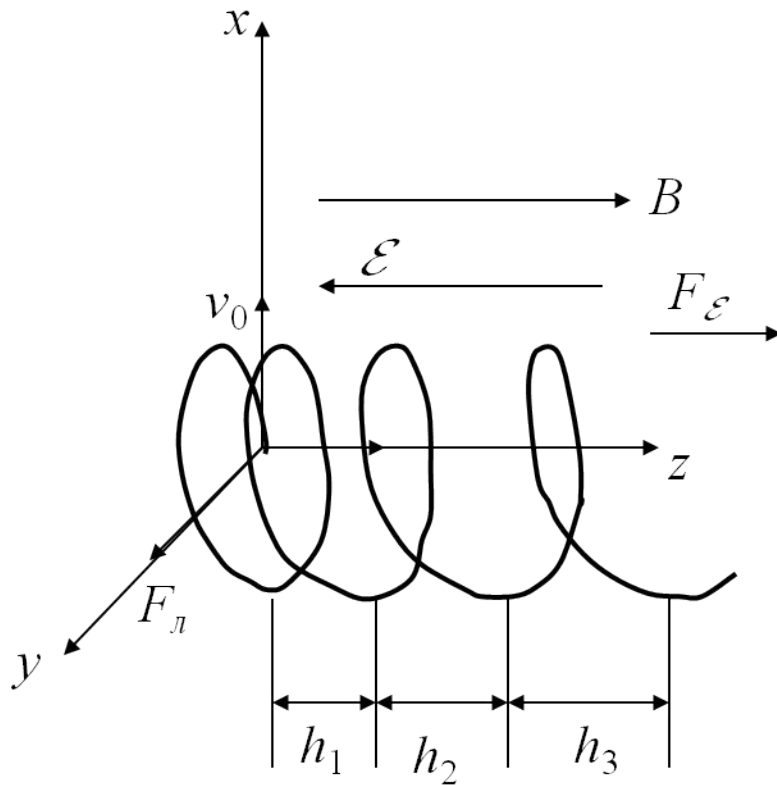
Движение электронов в магнитном поле с различными начальными скоростями и наличии z-составляющей начальной скорости



Перенос электронного изображения в однородном магнитном поле



Движение электрона в магнитном поле при наличии электрического



$$x(t) = R \cos(\omega t + \varphi)$$

$$y(t) = R \sin(\omega t + \varphi) + R$$

$$z(t) = -\frac{e\mathcal{E}}{2m} t^2$$

$$R = \frac{v_{x0}}{\omega} \quad \varphi = -\frac{\pi}{2}$$

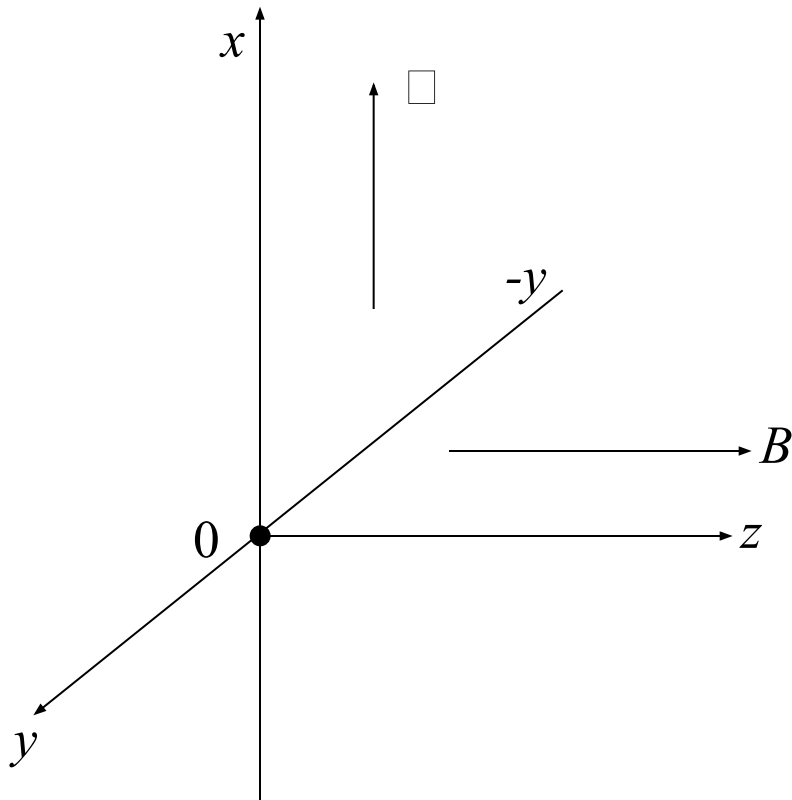
Задача 5

Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,001$ Тл перпендикулярно направлению B с энергией 100эВ . Найти, на каком расстоянии от точки влета электрон окажется через $0,01$ мкс

Движение электрона в скрещенных магнитном и электрическом полях

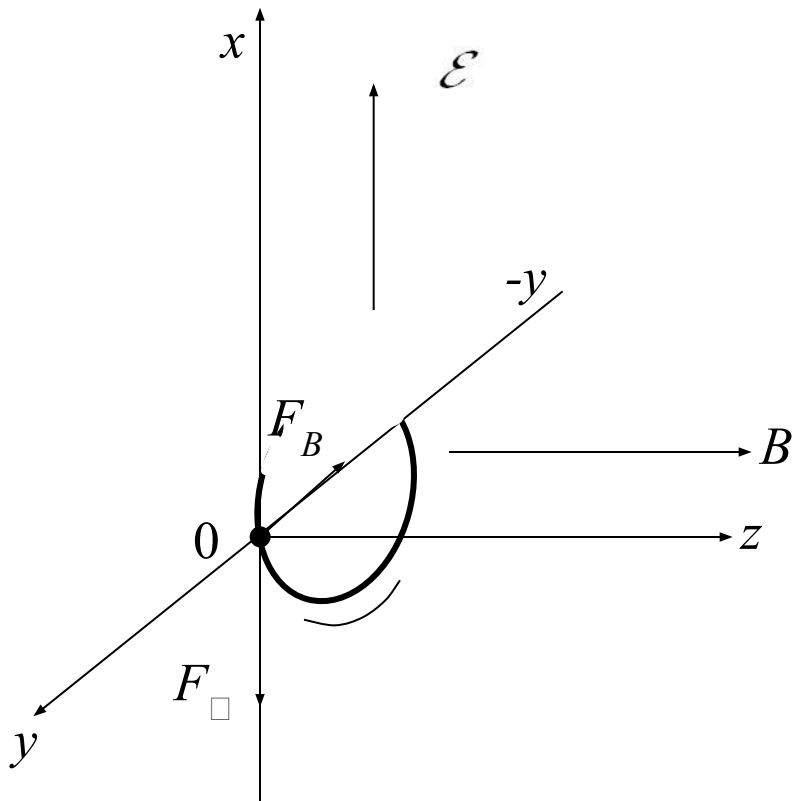
Движение электрона в скрещенных магнитном и электрическом полях

$$v_{x0} = v_{y0} = v_{z0} = 0$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega \frac{dy}{dt} - \frac{e\mathcal{E}}{m} \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = \omega \frac{dx}{dt} \\ \frac{d^2 z}{dt^2} = 0 \end{array} \right.$$

Движение электрона в скрещенных полях



$$x(t) = R \cos(\omega t + \varphi) - R$$

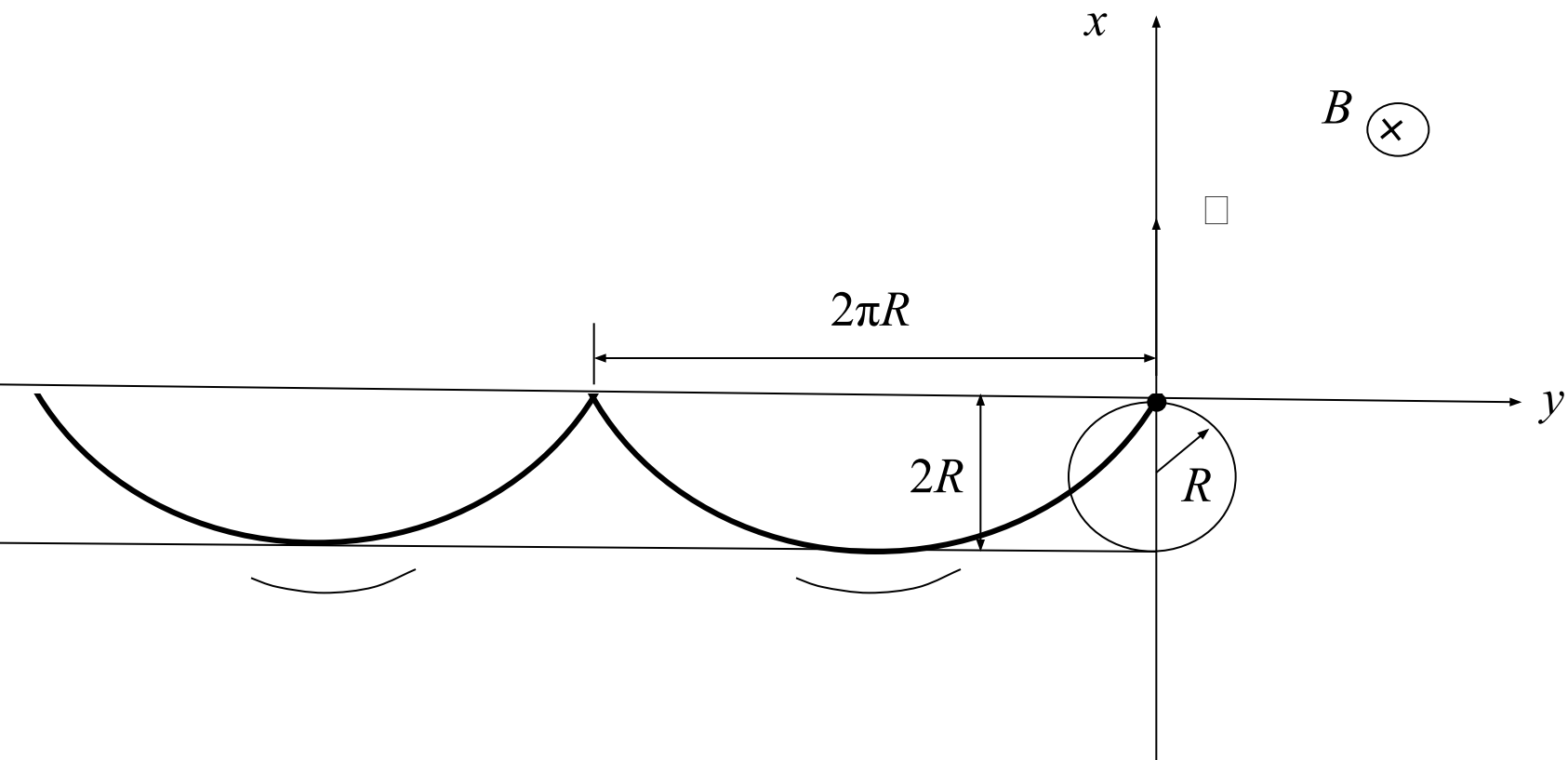
$$y(t) = R \sin(\omega t + \varphi) - \frac{e\mathcal{E}}{m\omega} t$$

$$z(t) = 0$$

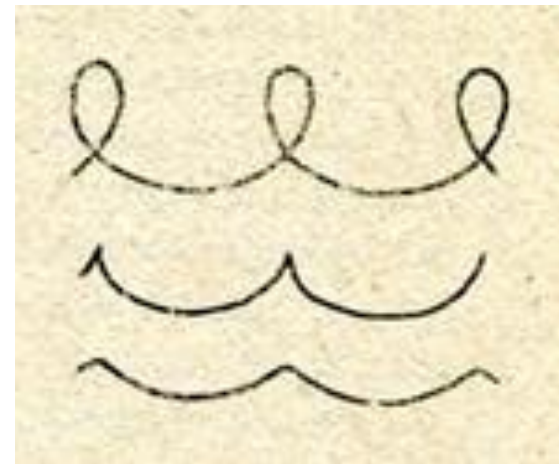
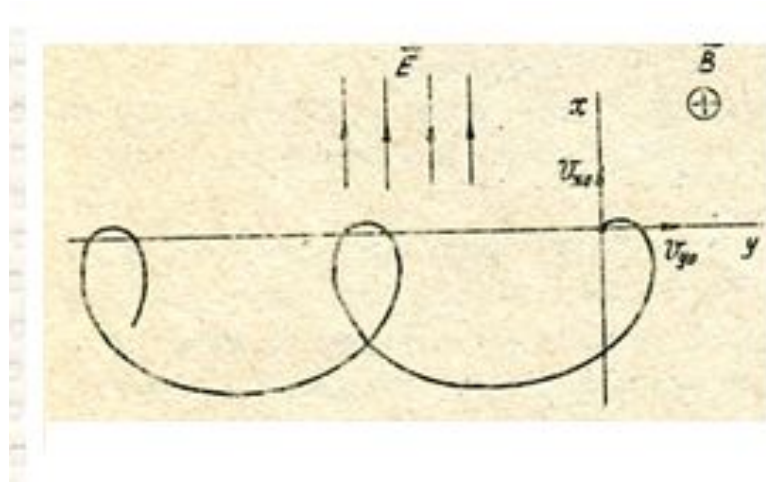
$$R = \frac{e\mathcal{E}}{m\omega^2}$$

$$\varphi = -\frac{\pi}{2}$$

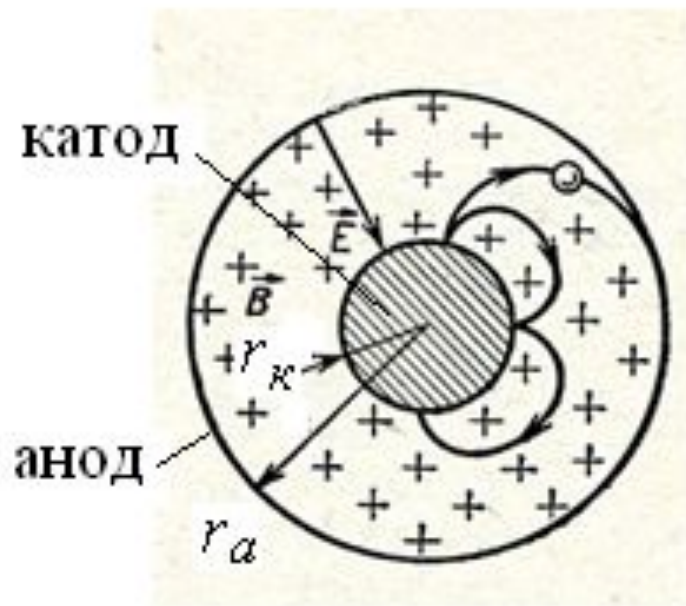
Движение электрона в скрещенных полях



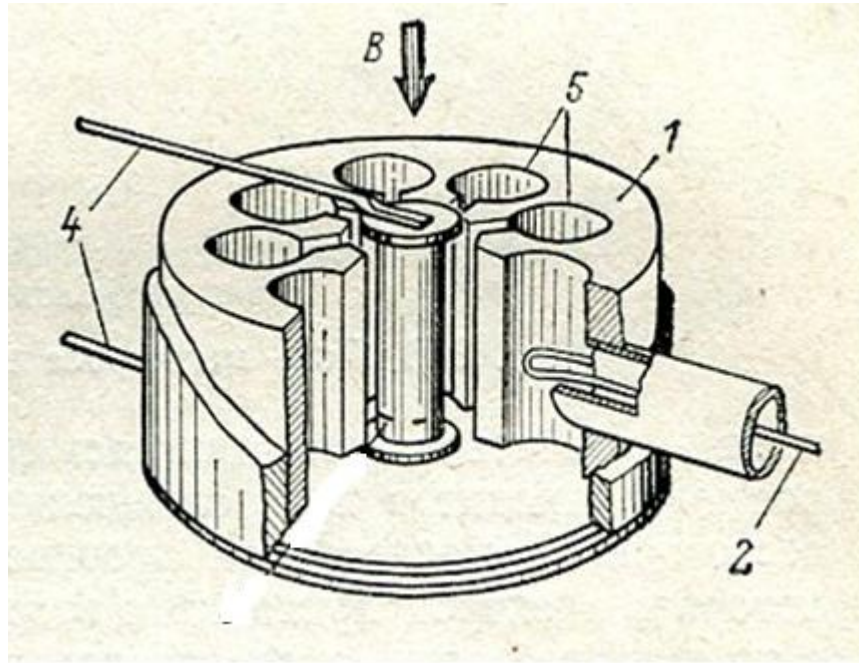
Движение электрона в скрещенных полях



Траектории электронов в коаксиальном цилиндрическом диоде



Коаксиальный магнетрон



Вопросы

1. Уравнения движения электрона в однородном электрическом поле в декартовой системе координат. Решение для частного случая.
2. Электростатическая отклоняющая система. Нахождение траектории электрона, влетающего в отклоняющую систему.
3. Уравнения движения электрона в однородном магнитном поле в декартовой системе координат. Решение для частного случая.
4. Области практического использования закономерностей движения электронов в магнитных полях.
5. Движение электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях. Формирование траектории. Область практического применения.