**11.4.** Для отображения сигнала на экране осциллографа используется электронно-лучевая трубка, в которой тонкий пучок электронов отклоняется при его прохождении через плоский конденсатор (пластины конденсатора перпендикулярны плоскости экрана, пучок входит в конденсатор посередине между пластинами). Пусть *l*1 – длина пластин конденсатора, *d* – расстояние между пластинами, *L* – расстояние от середины пластин до экрана (), 2*H* – размер экрана по горизонтали, *υ*0 – скорость электронов в пучке, *m* и *e* – масса и заряд электрона. Луч пробегает с постоянной скоростью по экрану по горизонтальной оси от левого края до правого края за время *T* (). Определите функцию зависимости разности потенциалов между пластинами *U* от времени *t* для отображения такого сигнала.

*Решение.*

Пусть *z* – ось, параллельная пластинам конденсатора, *x* – ось, параллельная плоскости экрана и перпендикулярная пластинам конденсатора.

Запишем уравнение движения электронов вдоль осей:

, . (1)

Ускорение можно найти из 2-го закона Ньютона:

, (2)

где *Ex* – напряженность электрического поля внутри конденсатора, *U* – установленная разность потенциалов.

Из уравнений (1) и (2) находим:

. (3)

Т.е. траектория электронов между пластинами конденсатора представляет собой параболу. За время прохождения конденсатора смещение пучка составит

, (4)

а тангенс угла отклонения

. (5)

Выйдя из пластин конденсатора, электроны продолжат движение по прямой линии. Пусть *l*2 – расстояние от края пластин конденсатора до экрана. Смещение отметки на экране составит:

. (6)

Отсюда получаем выражение для напряжения *U* на конденсаторе, необходимое для смещения *h* отметки на экране:

. (7)

Поскольку по условию задачи время движения луча по экрану *T* много больше времени полета электрона между пластинами конденсатора и далее к экрану, можно считать, что текущее напряжение *U* практически сразу отображается в виде смещения сигнала на экране.

За время *T* сигнал с постоянной скорость проходит от координаты –*H* до координаты *H*. Этому соответствует функция

. (8)

Подставляя в (7), получаем:

. (9)

Разбалловка

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Критерий** | **Баллы** |
| 1 | Записано уравнение (1) движения электронов внутри конденсатора | 1 |
| 2 | Найдено ускорение – уравнение (2) | 1 |
| 3 | Показано, что траектория электронов между пластинами конденсатора представляет собой параболу – уравнение (3) | 1 |
| 4 | Найдено смещение пучка электронов внутри конденсатора – уравнение (4) | 1 |
| 5 | Найден угол (или тангенс угла) отклонения – уравнение (5) | 1 |
| 6 | Получена связь между смещением отметки на экране и напряжением на конденсаторе – уравнения (6), (7) | 2 |
| 7 | Отмечено, что ввиду  текущее напряжение *U* практически сразу отображается в виде смещения сигнала на экране (пренебрегаем задержкой времени на пролёт электронов) | 1 |
| 8 | Получено уравнение (8) для зависимости координаты отметки на экране от времени | 1 |
| 9 | Записана функция зависимости (9) для разности потенциалов между пластинами *U* от времени *t* | 1 |
|  | **Сумма** | **10** |