

## Лабораторная работа № 3.1

# ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

### 3.1.1. Цель работы

Целью работы является знакомство с моделью процесса движения заряда в однородном электрическом поле и экспериментальное определение величины удельного заряда частицы.

### 3.1.2. Краткая теория

Движение заряженных частиц в электрическом поле широко используется в современных электронных приборах, в частности, в электронно-лучевых трубках с электростатической системой отклонения электронного пучка.

При некоторых условиях тела электризуются, т. е. приобретают электрический заряд. Существуют два типа зарядов, условно названные положительными и отрицательными. Разноимённые заряды притягиваются, а одноимённые – отталкиваются.

Электрические заряды взаимодействуют посредством электрического поля. Иначе говоря, *электрическое поле* – это среда, передающая электрическое взаимодействие. Электрическое поле и его заряд образуют единое целое. Существуют элементарный положительный и элементарный отрицательный заряды ( $|e^+| = |e^-| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл). Такими зарядами обладают элементарные заряженные частицы: электрон, позитрон и протон.

*Основные свойства электрического заряда:*

- 1) дискретность (любой заряд всегда кратен элементарному заряду)

$$q = N|e|, \quad (3.1.1)$$

где  $N$  – целое число;

- 2) аддитивность (заряд системы заряженных тел равен алгебраической сумме зарядов отдельных тел)

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \sum_{i=1}^n q_i ; \quad (3.1.2)$$

3) суммарный заряд электрически изолированной системы, через границы которой не могут проникать заряженные частицы, с течением времени не изменяется (закон сохранения электрического заряда)

$$Q = \text{const}; \quad (3.1.3)$$

4) инвариантность (величина заряда одинакова во всех инерциальных системах отсчета).

Закон Кулона был открыт в 1785 г. Ш. Кулоном и позволяет рассчитать силу взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$ :

$$\vec{F}_{12} = -\frac{q_1 q_2 \vec{r}_{12}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}^3}, \quad (3.1.4)$$

где  $\vec{r}_{12}$  – радиус-вектор, направленный от первого заряда ко второму;

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

Согласно *закону Кулона*, сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Закон Кулона можно записать и в скалярной форме:

$$F_{12} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}^2}. \quad (3.1.5)$$

*Напряжённостью* называется векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой электрического поля. Напряженность поля в данной точке пространства численно равна силе  $\vec{F}_{\text{эл}}$ , действующей на точечный положительный заряд, помещенный в эту точку

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{эл}}}{q}. \quad (3.1.6)$$

Если задана напряжённость электрического поля, то сила, действующая на заряд

$$\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E}. \quad (3.1.7)$$

*Однородным* называется поле, напряжённость которого во всех точках одинакова как по величине, так и по направлению. Сила, действующая на заряженную частицу в однородном поле, везде одинакова, поэтому неизменным будет и ускорение частиц, определяемое вторым законом Ньютона (при малых скоростях движения  $v \ll c$ , где  $c$  – скорость света в вакууме):

$$a = \frac{F_{\text{эл}}}{m} = \frac{q}{m} E = \text{const}. \quad (3.1.8)$$

Если заряженная частица влетает в однородное поле конденсатора параллельно его пластинам, то траектория её движения искривляется и частица движется по параболе.

Смещение частицы по вертикали от первоначального направления

$$Y = \frac{at_{\text{дв}}^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{q}{m} E \left( \frac{L}{V_{OX}} \right)^2, \quad (3.1.9)$$

где  $L$  – длина пластин конденсатора;

$t_{\text{дв}}$  – время движения до вылета из конденсатора;

$V_{OX}$  – начальная скорость.

Вертикальная составляющая скорости в момент времени, когда частица вылетает из конденсатора, определяется выражением

$$V_Y = at_{\text{дв}} = \frac{q}{m} E \frac{L}{V_{OX}}. \quad (3.1.10)$$

### 3.1.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Движение заряда в электрическом поле».

Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рисунок 3.1.1, найдите регуляторы с движками, задающими напряженность поля  $E$ , горизонтальную  $V_{Ox}$  и вертикальную  $V_{Oy}$  составляющие начальной скорости, и запишите их в соответствующую таблицу в отчете (см. с. 6).

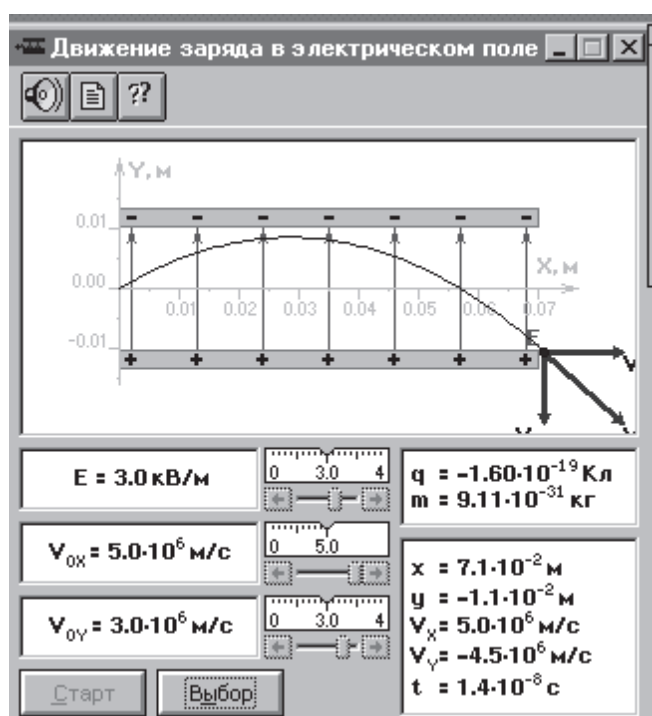


Рис. 3.1.1. Движение заряда в электрическом поле

1. Нажмите мышью кнопку «Выбор». Подведите маркер мыши к движку регулятора напряженности  $E$ . Нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, установите значение  $E$ , указанное в табл. 3.1.1 для вашей бригады. Запишите его под заголовком табл. 3.1.2.

2. Аналогичным способом установите первое значение  $V_{Ox}$ , указанное в табл. 3.1.2. Вертикальную проекцию начальной скорости  $V_{Oy}$  установите равной нулю. Нажмите кнопку «Старт» и наблюдайте движение частицы. Зарисуйте поле эксперимента и траекторию движения частицы.

3. Запишите с экрана в табл. 3.1.2 параметры движения частицы при первом значении  $V_{Ox}$ : координаты  $X$  и  $Y$ , проекции скорости  $V_X$  и  $V_Y$ , время движения  $t_{дв}$ .

4. Нажмите кнопку «Выбор» и установите следующее значение  $V_{Ox}$  из табл. 3.1.2. Нажмите кнопку «Старт» и запишите результаты измерений в эту же таблицу.

5. Повторите измерения по п. 4 для остальных значений  $V_{Ox}$ .

6. Запишите под заголовком табл. 3.1.2 значения длины пластин конденсатора  $L$  ( $L = x$ ).

Таблица 3.1.1

### Напряженность электрического поля

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$E$ , кВ/м	0,1	0,2	0,3	0,4	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4

Таблица 3.1.2

Результаты измерений при  $E = \underline{\hspace{2cm}}$  кВ/м,  $L = \underline{\hspace{2cm}}$  м

$V_{Ox}$ , Мм/с	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$X$ , см					
$Y$ , см					
$V_X$ , Мм/с					
$V_Y$ , Мм/с					
$t_{дв}$ , нс					
$1/V_{Ox}$ , с/м					
$1/(V_{Ox})^2$ , с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>					

### 3.1.4. Обработка результатов измерений

1. Заполните таблицу 3.1.2, рассчитав указанные величины в системе СИ.

2. Постройте на отдельных листах графики экспериментальных зависимостей:

- вертикального смещения на вылете из конденсатора [ $Y$ ] от обратной величины начальной скорости в квадрате [ $1/(V_{Ox})^2$ ];

• вертикальной составляющей скорости  $[V_Y]$  на вылете из конденсатора от обратной начальной скорости  $[1/V_{OX}]$ .

3. Определите по наклону первого графика (см. с. 7) экспериментальное значение удельного заряда частицы по формуле

$$\frac{q}{m} = \frac{2}{EL^2} \frac{\Delta(Y)}{\Delta(1/V_{OX}^2)}, \quad (3.1.11)$$

а по наклону второго –

$$\frac{q}{m} = \frac{1}{EL} \frac{\Delta(V_Y)}{\Delta(1/V_{OX})}. \quad (3.1.12)$$

4. Рассчитайте среднее значение экспериментально полученного удельного заряда частицы. Сравните с табличным значением удельного заряда электрона ( $|q_e|/m = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг).

5. Рассчитайте среднюю абсолютную и относительную погрешности (см. с. 7).

6. Запишите ответ, сделайте выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите свойства электрического заряда.
2. Что называют элементарным электрическим зарядом?
3. Сформулируйте и запишите закон Кулона.
4. Дайте определение электрического поля.
5. Что называют напряжённостью электрического поля?
6. Какое поле называется однородным?
7. Что такое конденсатор?
8. Какое поле существует между пластинами плоского конденсатора?
9. Какую форму имеет траектория движения электрона между пластинами плоского конденсатора?