

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА

Виртуальную работу можно скачать по ссылке:

https://ciu.nstu.ru/kaf/of/a/file_get/304562?nomenu=1

Цель работы: Экспериментально определить величину удельного заряда электрона.

Описание установки и порядок выполнения работы

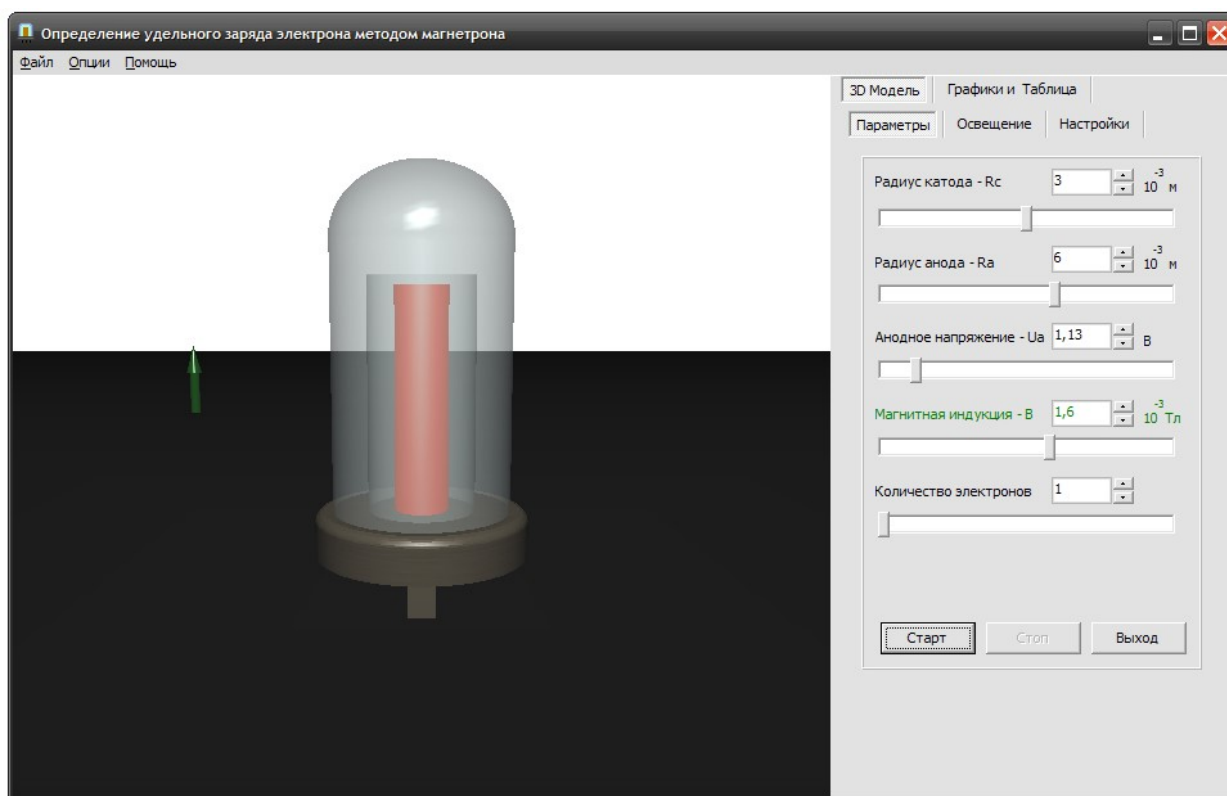
1. Изучите инструкцию по работе с программой (см. ниже). Работу следует проводить в режиме “Графиков и таблицы”. В инструкции к работе приведена примерная таблица измерения. Ее следует дополнить столбцом значений удельного заряда электрона для различных значений радиуса катода и столбцом для среднего значения удельного заряда.
2. Снимите зависимость критического значения магнитной индукции $B_{кр}$ от U_{α} при фиксированном значении радиуса катода и анода. Для этого задайте радиус катода и анода (см. инструкцию к программе). Радиус анода должен быть больше радиуса катода. Радиус анода задается 1 раз и не меняется в дальнейшем. Для каждого значения радиуса катода нужно выполнить серию из 3х измерений $B_{кр}$ для каждого значения U_{α} . Значения U_{α} при изменении радиуса катода остаются прежними. U_{α} нужно выбирать так, чтобы максимально задействовать всю доступную шкалу значений. Плавное изменение значения магнитной индукции (остальные параметры должны быть зафиксированы) добейтесь того, чтобы траектория движения электрона стала критической (см. раздел “Моделируемая система”). Измерения занесите в таблицу измерений. Всего должно получиться 9 измерений.
3. Постройте на миллиметровке график зависимости $B_{кр}^2$ от U_{α} для каждого значения радиуса катода. Дополнительно график вы можете построить в программе.
4. По формуле (*) рассчитайте удельный заряд электрона (q/m) для каждого значения радиуса катода, при этом значения $B_{кр}^2$ следует усреднять в пределах 1 значения радиуса катода. Лучше всего использовать построенный ранее график. Выберите на графике, соответствующем данному значению радиуса катода, произвольную точку и запишите соответствующие этой точке значения $B_{кр}^2$ и U_{α} .
5. По формуле (*) рассчитайте удельный заряд электрона для каждого значения радиуса катода, а затем вычислите его среднее значение. (удельный заряд выразите из формулы самостоятельно)
6. Сравните полученный результат с табличным.

Компьютерная модель

Программа имеет два режима работы:

- Режим 3D модели
- Режим графиков и таблицы

Режим 3D модели



Выбирается при запуске программы, либо выбрать его можно щелкнув на вкладке **3D модель**. В этом режиме возможно проведение эксперимента с использованием 3D модели диода. Область показа 3D модели расположена в левой части окна программы. С помощью мыши и клавиатуры возможно изменение ракурса просмотра 3D модели.

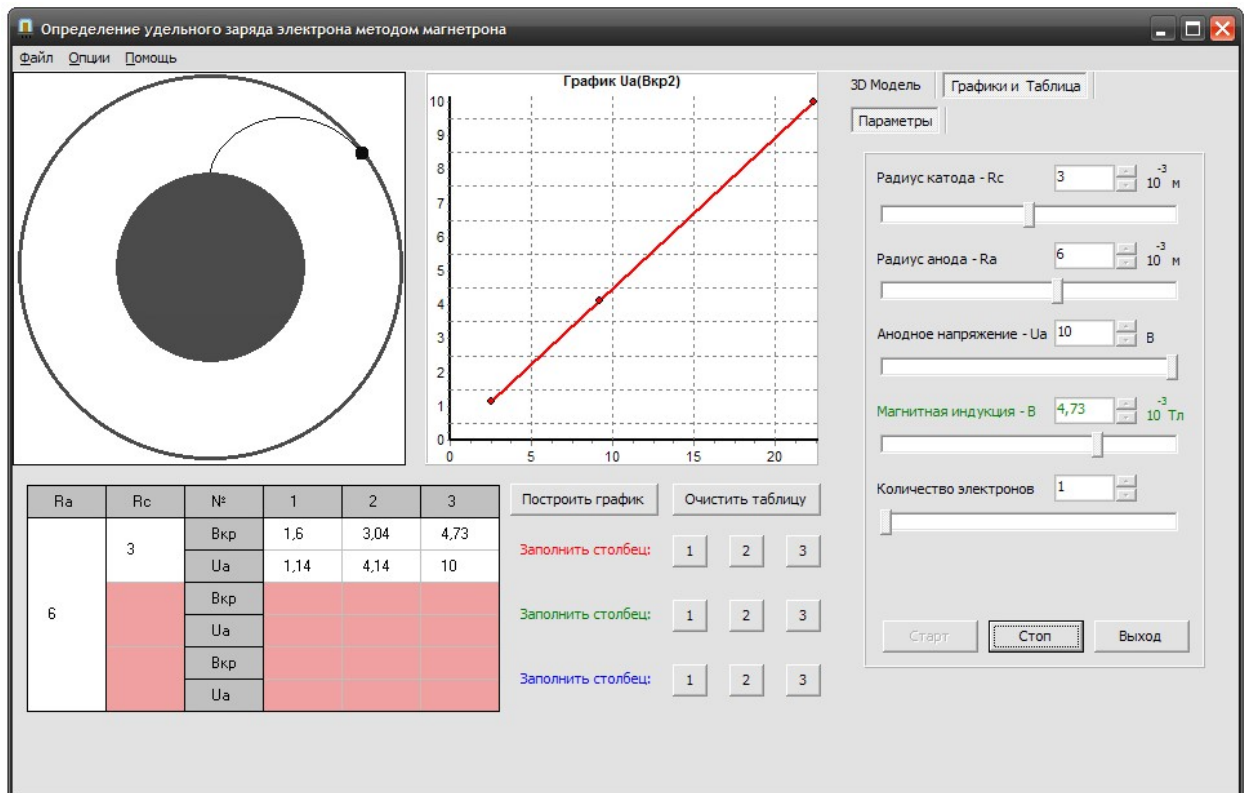
- **Левая кнопка мыши** - поворот модели
- **Средняя кнопка мыши** - перемещение модели
- **Правая кнопка мыши** - масштабирование модели
- **Alt+^, Alt+v, Alt+<, Alt+>** - поворот модели
- **Alt+PageUp, Alt+PageDown** - масштабирование модели

Справа от области показа 3D модели находится панель управления. С ее помощью можно задавать параметры эксперимента, настраивать освещение и изменять настройки показа 3D модели.

- **Вкладка Параметры** - задание параметров эксперимента
 - *Радиус катода* - установка радиуса катода (мм). Он не может быть больше радиуса анода
 - *Радиус анода* - установка радиуса анода (мм)
 - *Анодное напряжение* - установка анодного напряжения (В)
 - *Магнитная индукция* - установка магнитной индукции (мТл)
 - *Количество электронов* - установка количества электронов, участвующих в эксперименте
- **Вкладка Освещение** - задание параметров освещения в составляющих красного, зеленого и синего цветов
 - *Общее освещение* - установка общего освещения
 - *Рассеянное освещение* - установка рассеянного освещения

- *Отраженное освещение* - установка отраженного освещения
- *Положение источника освещения* - установка положения источника освещения
- *Цвет фона* - установка цвета фона
- **Вкладка Настройки** - задание настроек показа 3D модели
 - *Туман* - показ / скрытие тумана
 - *Оси координат* - показ / скрытие осей координат
 - *Индикатор магнитной индукции* - показ / скрытие индикатора магнитной индукции
 - *Траектория* - показ / скрытие траектории движения электрона
 - *Плоскость* - показ / скрытие плоскости, на которой находится диод
- **Кнопки панели управления** - управление экспериментом
 - *Старт* - запуск эксперимента
 - *Стоп* - остановка эксперимента
 - *Выход* - выход из программы

Режим графиков и таблицы



Режим графиков и таблицы можно выбрать, щелкнув на вкладке **Графики и Таблица**. В этом режиме возможно проведение эксперимента с использованием проекции поперечного сечения диода. Область изображения проекции поперечного сечения диода расположена в левой верхней части окна. С помощью мыши возможно изменение ракурса просмотра проекции поперечного сечения диода.

- **Левая кнопка мыши** - перемещение сечения
- **Правая кнопка мыши** - масштабирование сечения

Справа от графиков и таблицы находится панель управления. С ее помощью можно задавать параметры эксперимента.

- **Вкладка Параметры** - задание параметров эксперимента
 - *Радиус катода* - установка радиуса катода (мм). Он не может быть больше радиуса анода
 - *Радиус анода* - установка радиуса анода (мм)
 - *Анодное напряжение* - установка анодного напряжения (В)
 - *Магнитная индукция* - установка магнитной индукции (мТл)
 - *Количество электронов* - установка количества электронов, участвующих в эксперименте
- **Кнопки панели управления** - управление экспериментом
 - *Старт* - запуск эксперимента
 - *Стоп* - остановка эксперимента
 - *Выход* - выход из программы

Снизу от изображения проекции поперечного сечения диода расположена таблица $U_a(V_{кр}^2)$ при фиксированном R_a для 3 различных значений R_c . С помощью кнопок **1, 2, 3** возможно заполнение ячеек таблицы определенными в результате эксперимента значениями $V_{кр}$ и U_a . С помощью кнопки **Построить график** строятся графики зависимостей $U_a(V_{кр}^2)$ для полностью заполненных строк таблицы. Кнопка **Очистить таблицу** полностью очищает таблицу.

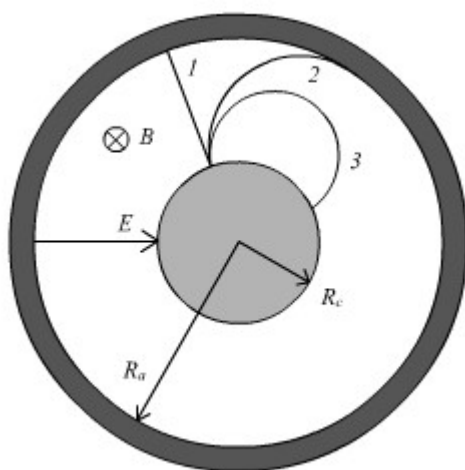
График $U_a(V_{кр}^2)$ находится справа от изображения проекции поперечного сечения диода.

Главное меню программы

С помощью главного меню возможна настройка интерфейса программы.

- **Файл:**
 - **Выход** - выход из программы
- **Опции:**
 - **Панель управления** - скрыть / показать панель управления
 - **Панель инструментов** - скрыть / показать панель инструментов
 - **Строка состояния** - скрыть / показать строку состояния
- **Помощь:**
 - **Справка** - вызывает данную справку
 - **О программе** - информация о программе

Моделируемая система



Траектории электронов в

Моделируется движение электронов в магнетроне, представляющем собой двухэлектродную электронную лампу (вакуумный диод), помещенную в однородное магнитное поле. Диод имеет коаксиальную цилиндрическую геометрию электродов. Внешнее магнитное поле направлено вдоль оси диода.

На рисунке изображено поперечное сечение диода. Внутренний цилиндр радиусом R_c - катод диода, внешний радиусом R_a - анод диода. Катод диода является источником электронов. Если на анод подано ускоряющее напряжение U_a , а магнитное поле отсутствует, то под действием электрического поля электроны ускоренно движутся к аноду. В

магнетроне

приближении нулевой начальной скорости это движение является радиальным (траектория 1). Электроны достигают анода, и имеет место анодный ток.

В присутствии магнитного поля возникающая магнитная сила искривляет траектории электронов в плоскости, перпендикулярной оси системы (траектории 2, 3). Увеличивая индукцию магнитного поля до некоторого критического значения $B_{кр}$, можно добиться состояния, при котором траектории электронов будут касаться поверхности анода (траектория 2). При большем значении индукции электроны перестанут попадать на анод, и анодный ток будет отсутствовать.

Величина $B_{кр}$ зависит от значения анодного напряжения. Найдем приближенно эту зависимость, предположив, что электрон движется по окружности с постоянной скоростью, равной ее максимальному значению. Такое приближение хорошо работает, если радиус катода мал по сравнению с радиусом анода. В этом случае потенциал электрического поля достаточно быстро нарастает вблизи катода, а далее изменяется очень медленно. Поэтому основное изменение модуля скорости электронов происходит вблизи катода, а при дальнейшем движении это изменение относительно мало. При этом траектории электронов можно аппроксимировать окружностями.

Максимальное значение скорости может быть выражено из закона сохранения энергии

$$\frac{1}{2} m V^2 = q U_a$$

Второй закон Ньютона для электрона, движущегося по окружности под действием силы Лоренца, связывает скорость частицы с радиусом траектории

$$\frac{m V^2}{R} = q V B$$

$$R = \frac{R_a - R_c}{2}$$

Объединяя эти уравнения и учитывая, что при формулу, выражающую связь величин $B_{кр}$ и U_a , величина $B = B_{кр}$, получаем

$$U_a = \frac{q}{m} \frac{B_{кр}^2}{8} R_a^2 \left(1 - \frac{R_c}{R_a} \right)^2$$

В приближении нулевой начальной скорости можно получить и точное выражение, если проинтегрировать уравнение движения электрона и использовать условие касания траекторией поверхности анода. Точное выражение имеет вид

$$U_a = \frac{q}{m} \frac{B_{кр}^2}{8} R_a^2 \left(1 - \left(\frac{R_c}{R_a} \right)^2 \right)^2 \quad (*)$$

Имея экспериментальную связь $B_{кр}$ и U_a , можно определить значение удельного заряда электрона q/m , воспользовавшись последней формулой.

В компьютерном эксперименте происходит численное интегрирование уравнения движения электрона в магнетроне, что позволяет динамически выводить на экран монитора траекторию движения частицы в межэлектродном пространстве. Изменяемыми параметрами являются: радиус анода (R_a), радиус катода (R_c), анодное напряжение (U_a) и индукция магнитного поля ($B_{кр}$).

Контрольные вопросы

1. Что такое магнетрон?
2. Какие силы действуют на электрон при его движении к аноду?
3. Куда направлена сила, действующая на электрон со стороны электрического поля?
4. Куда направлена сила, действующая на электрон со стороны магнитного поля?
5. Выведите рабочую формулу для определения $\frac{e}{m}$.
6. Почему при выводе рабочей формулы не учитывается сила, действующая на электрон со стороны электрического поля? Можно ли ее учесть?
7. Какие зависимости необходимо снять для определения $\frac{e}{m}$?
8. Какое магнитное поле называется критическим?
9. Как определяется в работе $B_{кр}$, при каких предположениях формула для определения $B_{кр}$ верна?
10. Объясните зависимость анодного тока магнетрона от индукции магнитного поля B .

Список литературы

1. Калашников С.Г. Электричество.- М., 1977
2. Савельев И.В. Курс общей физики.- М., 1978.- Т.2 и последующие издания этого курса.