

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет
Кафедра общей физики

Нозимов Дилшодхон Зафарович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Влияние геометрии диода на точность измерения отношения e/m
электрона по закону Чайлда-Ленгмюра**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

Научный руководитель:

А. С. Матвеев

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

И. А. Иванов

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью данной работы является изучение влияния геометрии диода на точность измерения удельного заряда электрона по закону Чайлда-Ленгмюра. В ходе данной работы была проведена вольт-амперная характеристика вакуумного диода 2ДЗБ и измерены отношения e/m с помощью формул Чайлда-Ленгмюра и Богуславского-Ленгмюра. Полученные данные с точностью до порядка соотносятся с табличным значением e/m . Было проверено влияние геометрии при измерении данного отношения и сделан вывод, что для более точного определения значения необходимо использовать соотношение для плоского диода. Из работы сделано заключение, что рекомендуется поменять схему установки.

Ключевые слова: Вакуумный диод, закон трех вторых, удельный заряд электрона.

Работа выполнена в Межфакультетской лаборатории электричества и магнетизма Кафедры общей физики Физического факультета НГУ.

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Описание эксперимента	5
2.1 Диод 2ДЗБ.....	5
2.2 Описание установки	6
2.3 Методика измерений.....	6
3. Анализ результатов измерений.....	8
3.1 Результаты измерений.....	8
3.2 Нахождение отношение e/m	10
3.3 Нахождение погрешностей	10
4. Выводы	11
Список литературы:.....	11

1. Введение

Вакуумный диод (рис. 1) – прибор с двумя электродами, подключенные в цепь и расположенные в вакуумированной колбе. Катодом создается электронный поток, а анод служит для улавливания электронов испускаемых катодом.

Так как в вакууме нет собственных зарядов, электрический поток возникает за счет эмиссии, различают несколько видов эмиссии:

- Термоэлектронная
- Фотоэлектронная
- Автоэлектронная
- Вторичная

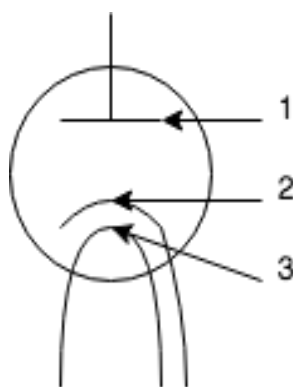


Рис. 1. Схема вакуумного диода, 1 – катод, 2 – анод, 3 – нить накала

Диод может работать в различных режимах в зависимости от напряженности электрического поля между анодом и катодом (рис. 2). Нас будет интересовать режим закона трех вторых – когда в пространстве анод-катод максимум потенциала и величина анодного тока I зависит от анодного напряжения U_a как:

$$I \sim U_a^{\frac{3}{2}}$$

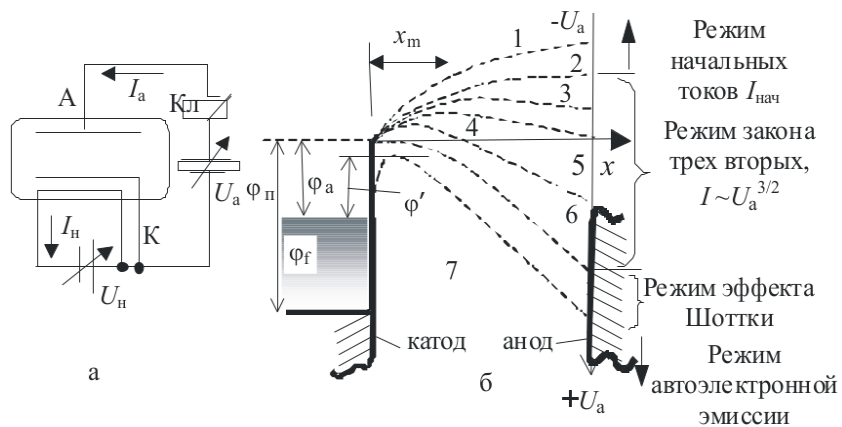


Рис. 2. Физические процессы в вакуумном диоде: а – схема включения диода, б – распределение потенциала в области анод-катод

2. Описание эксперимента

2.1 Диод 2ДЗБ

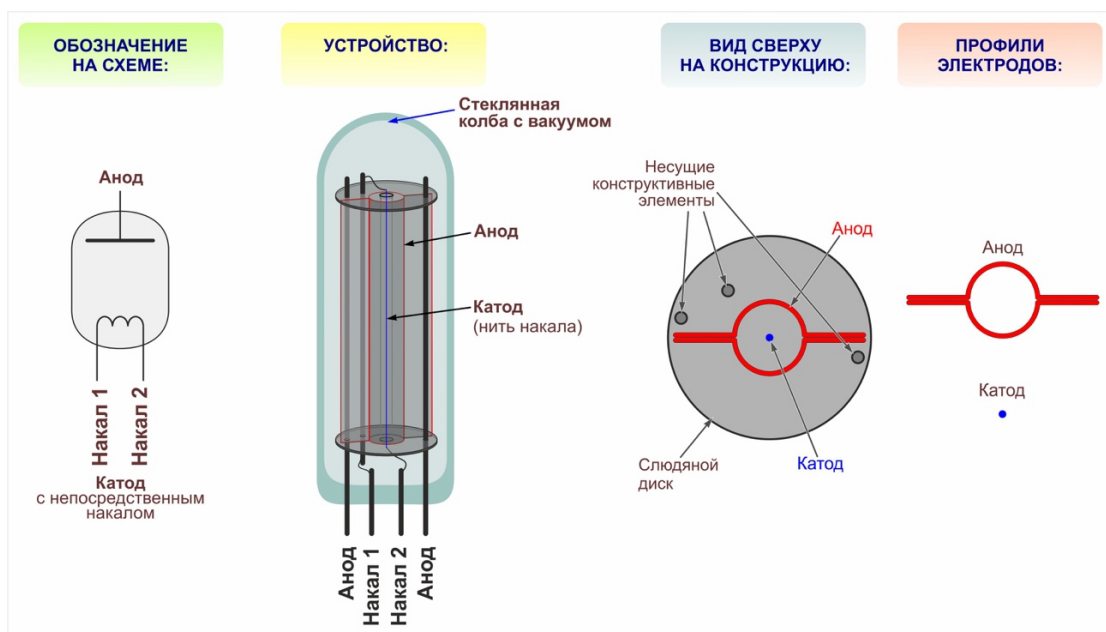


Рис. 3. Описание диода 2ДЗБ

Диод 2ДЗБ имеет цилиндрическую геометрию электродов, её характеристики:

- $r_a = 7 \cdot 10^{-4}$ м – радиус анода
- $r_k = 10^{-5}$ м – радиус катода
- $l = 1.3 \cdot 10^{-2}$ м – длина катода
- $U_H \sim 2$ В – номинальное напряжение накала
- $I_H \sim 100$ мА – номинальный ток накала

2.2 Описание установки

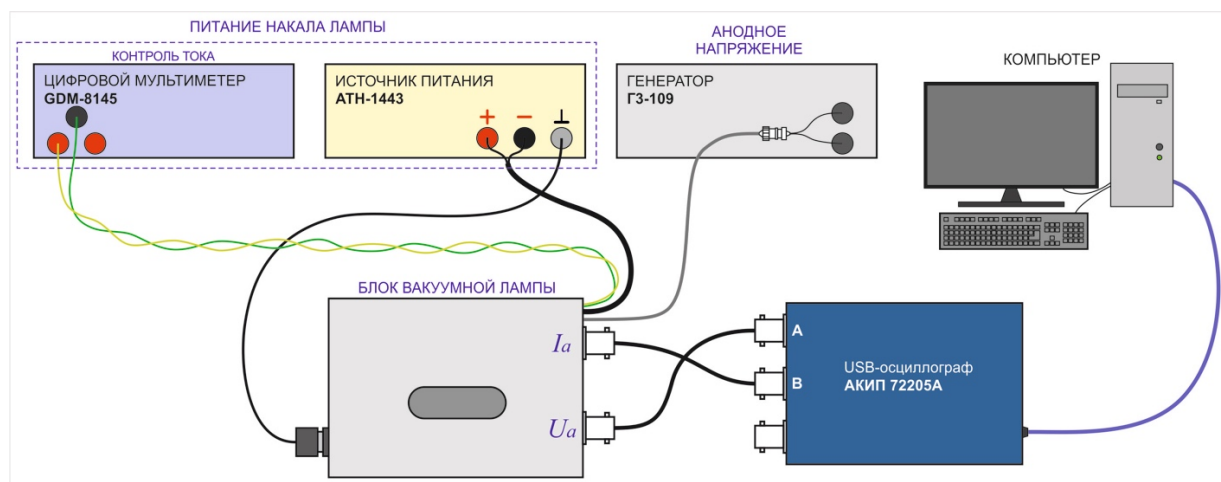


Рис. 4. Описание установки

На диод 2ДЗБ подается напряжение с генератора сигналов низкочастотный ГЗ-109. Катод диода накаляется за счет цифрового источника питания АТН-1443. Ток диода измеряется с помощью мультиметра GDM-8135. Для нашего диода ток не должен превышать 100 мА. Характеризующее напряжение и ток подается на вход к осциллографу АКИП-72205А. Для работы используется программа PicoScope 6. Переменное ток и напряжение позволяет в автоматическом режиме записать вольт-амперную характеристику диода.

2.3 Методика измерений

Зависимость тока от напряжения в диоде с цилиндрическими электродами в режиме “**трех вторых**” по формуле Богуславского-Ленгмюра[1] имеет вид:

$$I = \frac{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0}{9} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{S_k}{r_a r_k \beta^2} \cdot U_a^{\frac{3}{2}} = C_1 \cdot U_a^{\frac{3}{2}} [A] \quad (1)$$

где S_k – площадь катода, r_a , r_k – радиусы анода и катода, электрическая проницаемость $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$, $\beta \rightarrow 1$ при $\frac{r_k}{r_a} \ll 1$.

А для плоских электродов по формуле Чайлда-Ленгмюра:

$$I = \frac{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0}{9} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{S_k}{d^2} \cdot U_a^{\frac{3}{2}} = C_2 \cdot U_a^{\frac{3}{2}} [A] \quad (2)$$

где d – расстояние между электродами.

Как показали исследования, соотношение (2) можно использовать и для подсчета тока с цилиндрическими электродами, если величину S_k принять как действующую¹ площадь анода S_a , а d принять как r_a . При этом при тонком катоде величина β будет стремиться к единице.

Формула (2) преобразуется в:

$$I = \frac{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0}{9} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{S_a}{r_a^2} \cdot U_a^{\frac{3}{2}} = C_2 \cdot U_a^{\frac{3}{2}} [A] \quad (3)$$

В нашем эксперименте величина $\beta = 0.95$.

Коэффициенты C_1 и C_2 в графике вольт-амперной характеристики $I(U_a^{\frac{3}{2}})$ будут равны коэффициенту наклона.

¹ Поверхность, которая непосредственно воспринимает электроны.

3. Анализ результатов измерений

3.1 Результаты измерений

ВАХ диода была проведена 6 раз и все данные усреднены с помощью Python.

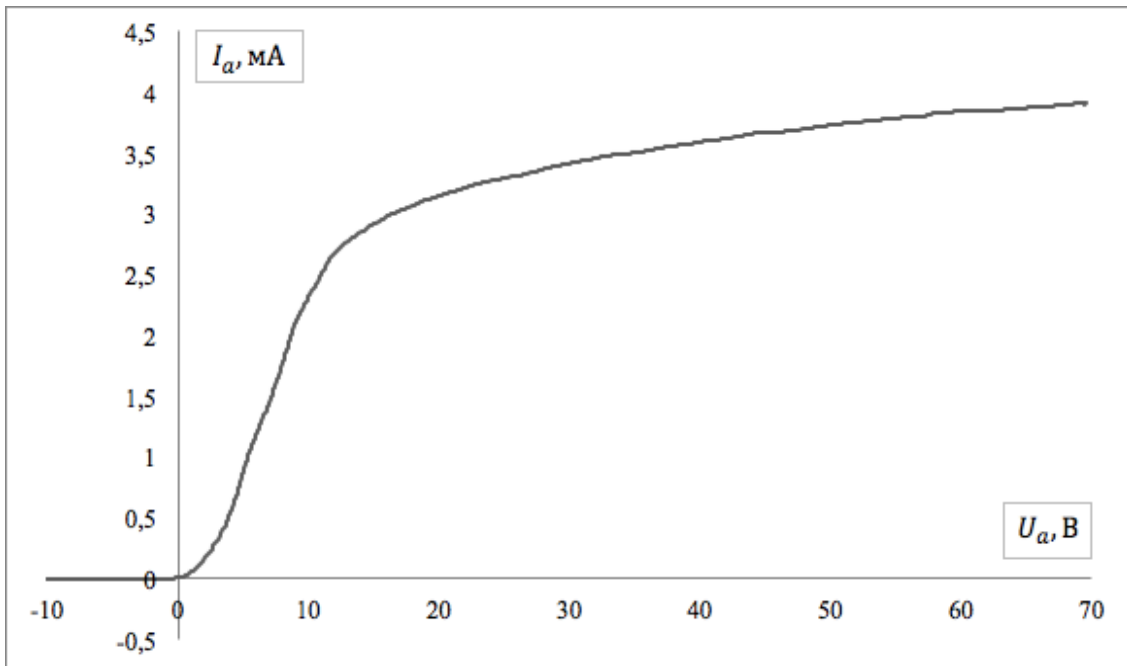


Рис. 5. Вольт-Амперная характеристика диода

Напряжение смещения $U_{\text{смещения}} = 1\text{В}$.

Выделим отсюда область выполнения закона трех-вторых путем построения графика $\ln(I)$ от $\ln(U_a^{3/2})$, тогда экспериментальные точки будут хорошо укладываться на аппроксимирующую прямую с углом

наклона $3/2$.

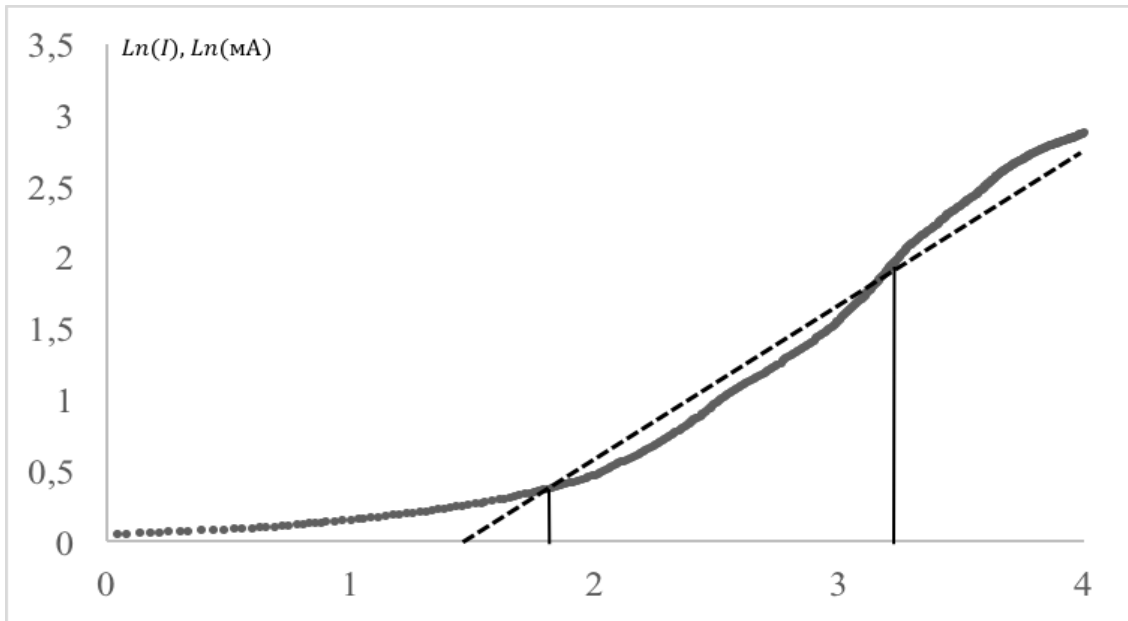


Рис. 6. Двумя вертикальными линиями обозначены приблизительные промежутки выполнения закона трех-вторых. Пунктирная линия – прямая с угловым коэффициентом $3/2$

Приблизительная область выполнения закона $3/2 \sim 5-10$ В

Теперь зная область выполнения закона трех-вторых можно построить график $I(U_a^{3/2})$ найти коэффициент наклона и вычислить удельный заряд электрона.

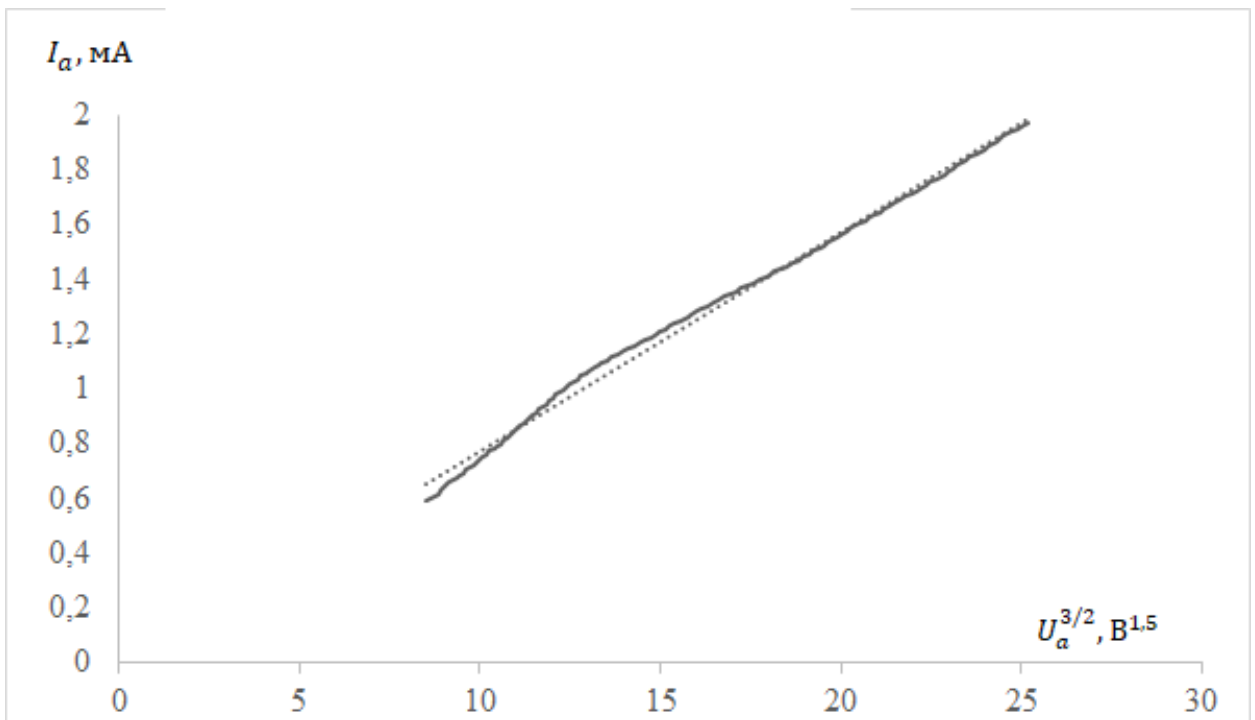


Рис. 7. Область выполнения закона трех-вторых и аппроксимирующая прямая.

Аппроксимирующая прямая в рисунке 6 имеет угол наклона $k = 0.0795$.

3.2 Нахождение отношения e/m

Зная коэффициент наклона k найдем отношение e/m , по формуле (1) имеем:

$$C_1 = \frac{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0}{9} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{S_k}{r_a r_k \beta^2} = k = 0.0795 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_1 = \frac{e}{m} = \left(k \cdot \frac{r_a r_k \beta^2}{S_k} \cdot \frac{9}{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0} \right)^2 \approx 1.23 \cdot 10^{10} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Теперь посчитаем с помощью формулы (3):

$$C_2 = \frac{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0}{9} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{S_a}{r_a^2} = k = 0.0795 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_2 = \frac{e}{m} = \left(k \cdot \frac{r_a^2}{S_a} \cdot \frac{9}{4\sqrt{2} \cdot \varepsilon_0} \right)^2 \approx 1.51 \cdot 10^{10} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

3.3 Нахождение погрешностей

Табличное значение $e/m = 1.71 \cdot 10^{11}$

Систематическая относительная погрешность e/m :

$$\Delta\gamma_i = \frac{\delta(\gamma_i)}{\gamma_i} = 2 \left(\frac{\delta x}{x} + \frac{\delta y}{y} \right) \approx 2\%$$

При измерении с помощью формулы (1), (3) получаем:

$$\gamma_1 = (1.23 \pm 0.54) 10^{10} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

$$\gamma_2 = (1.51 \cdot \pm 0.23) 10^{10} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Отклонение γ_1 от табличного значения составляет $\approx 92\%$, а отклонение γ_2 составляет $\approx 91\%$.

4. Выводы

В ходе выполнения работы я ознакомился с методом определения удельного заряда электрона с помощью формул (1), (3). Проверен факт, что можно использовать формулу Чайлда-Ленгмюра при расчете e/m с помощью цилиндрического диода 2ДЗБ. Сделано заключение, что в данной работе лучше использовать соотношение Чайлда-Ленгмюра для более точного определения данного отношения. Из-за большого расхождения с теоретическим значением рекомендуется поменять схему установки.

Список литературы:

- 1) Батушев, В. А. Электронные приборы. — М.: Высшая школа, 1969. — 608 с. — 90,000 экз.
- 2) <https://elmag.nsu.ru/doku.php?id=lab2:lab2>