

3.3.2 – Исследование вольт-амперной характеристики вакуумного диода.

Цель работы. Определение удельного заряда электрона на основе закона «трёх вторых». В работе используются: вакуумный диод, микроамперметр, вольтметр, стабилизированные источники тока.

Теоретическая часть. В основе работы вакуумного диода лежит явление термоэлектронной эмиссии, при которой электрон совершает работу выхода с поверхности твердого тела за счёт кинетической энергии теплового движения. Диод имеет простое устройство и состоит из двух частей – катода и анода. На катод подается некоторый ток, называемый *током накала*, за счёт которого он нагревается и эмитирует электроны. Между катодом и анодом подается постоянное напряжение, иными словами, создается постоянное электрическое поле, увлекающее к аноду эмитированные электроны – возникает электрический ток. При постоянной температуре катода количество эмитируемых в единицу времени электронов постоянно, благодаря чему при некотором напряжении $U_{\text{нас}}$ возникает эффект насыщения. Более того, сила тока зависит от напряжения отнюдь не по линейному закону, поскольку поток электронов в пространстве между катодом и анодом создает некоторое дополнительное электрическое поле. Эта зависимость имеет степенной характер и называется *законом «трёх вторых»*, или уравнением Шоттки:

$$I = cV^{\frac{3}{2}}. \quad (1)$$

Приведём её упрощенный вывод. Рассмотрим плоский диод (см. рисунок), направим ось x перпендикулярно катоду в сторону анода. Тогда суть задачи сводится к решению одномерного уравнения Пуассона

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}. \quad (2)$$

Плотность тока есть $j = \rho v$, скорость электронов определим из уравнения $\frac{mv^2}{2} = e\varphi$. При этом мы считаем, что потенциал катода нулевой, и пренебрегаем начальными тепловыми скоростями. Отсюда имеем дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \sqrt{\frac{m}{2e\varphi}} j$$

с начальными условиями $\varphi(0) = 0$ и $\frac{d\varphi}{dx}(0) = 0$. Отсюда получаем

$$I = \frac{4\varepsilon_0 S}{9d^2} \sqrt{\frac{2e}{m}} V^{\frac{3}{2}}, \quad (3)$$

где d – расстояние между электродами, а S – площадь катода. Мы видим, что исследование вольт-амперной характеристики вакуумного диода позволят нам определить удельный заряд электрона!

Оказывается, указанная степенная зависимость $I(V)$ не зависит от геометрии диода, а вот постоянный множитель ещё как. Решение похожей (малоинтересной) задачи для используемого в нашей лаборатории цилиндрического диода даёт следующий результат:

$$I = \frac{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 l}{9} \sqrt{\frac{e}{m}} \frac{1}{r_a \beta^2} V^{\frac{3}{2}}, \quad (4)$$

где r_a – радиус анода, l – расстояние между электродами, β^2 – некая волшебная функция, возникающая при решении дифференциального уравнения.

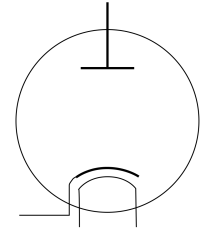


Рис. 1: Схема вакуумного диода