

УДК 537.8

Курбацький В.П.¹, Грабова М.Р.²

¹ канд. фіз.-мат. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. БК-713 НУ «Запорізька політехніка»

РУХ ЕЛЕКТРОНА МІЖ КОАКСИАЛЬНИМИ КАТОДОМ І АНОДОМ У СХРЕЩЕНИХ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТА МАГНІТНОМУ ПОЛЯХ

Цією доповіддю ми продовжуємо почату раніше [1, 2] роботу по вдосконаленню методики лабораторного практикуму кафедри фізики. Ми переглянули теорію до лабораторної роботи №25 «Вимірювання питомого заряду електрона» і у підсумку знайшли новий, більш точний і обґрунтований спосіб отримання результату.

У роботі використовується вакуумний діод з коаксіальними катодом і анодом, який поміщують всередину соленоїда. Соленоїд створює однорідне магнітне поле B , спрямоване паралельно осі діода, в той час як електричне поле E має радіальний напрямок.

Нас цікавить просторова картина $v_r(r)$ радіальної компоненти швидкості електронів, зокрема величина цієї компоненти на поверхні аноду. На катоді ($r=0$) радіальна компонента швидкості емітованих електронів розподілена за Максвеллом:

$$f(v_r) = e^{-\frac{mv_r^2}{2kT}}, \quad (1)$$

де m – маса електрона, k – стала Больцмана, T – температура. Рівняння для радіальної і тангенціальної (обертальної) швидкості електронів мають вигляд

$$\begin{aligned} v_r \frac{dv_r}{dr} &= \frac{e}{m} E - \frac{e}{m} B v_t, \\ \frac{dv_t}{dr} &= \frac{e}{m} B, \end{aligned} \quad (2)$$

де e – заряд електрона.

Анода ($r=R$) досягають електрони, які мають достатню величину початкової швидкості (1), таку, щоб $v_r(R) > 0$. Анодний струм визначається за формулою

$$I_a = en \int v_r(R) f(v_r) dv_r, \quad (3)$$

де n – концентрація емітованих електронів поблизу поверхні катода.

Інтегрування проводиться за всіма значеннями початкової швидкості, за яких електрон досягає анода. Розв'язуючи систему рівнянь (2) відносно $v_r(r)$, знаходимо $v_r(R)$ і отримуємо для анодного струму вираз

$$I_a = C \int_{v_{r0}}^{\infty} \sqrt{v_r^2 + \frac{2eU}{m} - \left(\frac{eB}{m}\right)^2 R^2} e^{-\frac{mv_r^2}{2kT}} dv_r, \quad (4)$$

де C – стала, U – анодна напруга,

$$v_{r0} = \begin{cases} \sqrt{\left(\frac{eB}{m}\right)^2 R^2 - \frac{2eU}{m}}, & \left(\frac{eB}{m}\right)^2 R^2 \geq \frac{2eU}{m}; \\ 0, & \left(\frac{eB}{m}\right)^2 R^2 < \frac{2eU}{m}. \end{cases} \quad (5)$$

Легко бачити, що для будь-яких значень U і B , які задовольняють умові $U = \frac{eR^2}{2m} B^2$, анодний струм має одну і ту ж саму величину

$I_{a0} = C \int_0^{\infty} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v_r dv_r = \frac{kT}{m} C$. Це дозволяє запропонувати наступний спосіб знаходження питомого заряду.

Спочатку встановлюємо $U=0$, $B=0$ і вимірюємо I_{a0} . Далі встановлюємо яке-небудь значення напруги, відмінне від нуля, наприклад, $U=30$ В. Змінюємо B , починаючи з нуля, і вимірюємо I_a . За графіком залежності $I_a = f(B)$ (рис. 1) для струму $I_a = I_{a0}$ знаходимо відповідне значення магнітного поля B_0 . Розраховуємо питомий заряд за формулою

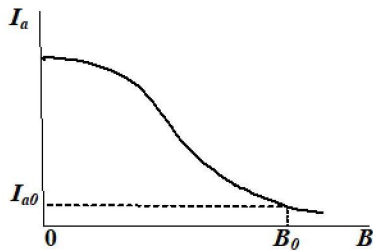


Рисунок 1 – Залежність анодного струму діода від магнітного поля соленоїда за напруги U .

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{R^2 B_0^2}. \quad (5)$$

Запропонований спосіб знаходження питомого заряду електрона позбавлений недоліків попереднього [3], в якому розрахункова формула має сумнівне обґрунтування, а визначальна величина (критичний струм) не має чіткого визначення і тому не може забезпечити задовільну точність розрахунку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гнедой, В.А. Аналіз похибок вимірювань з метою вдосконалення методики лабораторного практикуму / В.А. Гнедой, В.П. Курбацький // Тижень науки: щоріч. наук.-практ. конф., 19–23 квітня 2021 р.: тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – С. 221 – 222.
2. Тріус, О.К. Врахування похибок вимірювань у розробці методичного забезпечення лабораторного практикуму / О.К. Тріус, В.П. Курбацький // Тижень науки: щоріч. наук.-практ. конф., 18–22 квітня 2022 р.: тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 478-479.

3. Електрика та магнетизм: методичні вказівки до лабораторного практикуму з фізики для студентів інженерно-технічних спеціальностей усіх форм навчання / Укладачі: В.К. Манько, С.В. Сейдаметов – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 46 с.