

Лабораторна робота № 3.27.6

ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА ТЕРМОЕЛЕКТРОННОЇ ЕМІСІЇ

Мета роботи: 1) дослідження явища термоелектронної емісії; 2) визначення роботи виходу електрона з вольфраму шляхом обробки вольт-амперних характеристик електронної лампи з вольфрамовим катодом.

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-06; 2) джерело живлення; 3) цифровий міліамперметр; 4) вольтметр.

Теоретичний вступ

Метали в твердому стані мають кристалічну будову. При утворенні металевого кристалу частина валентних електронів відривається від своїх атомів. Електрони, як заведено говорити, узагальнюються, вони не належать тепер жодному конкретному іону металу і можуть вільно переміщатися під дією зовнішнього електричного поля, утворюючи електричний струм.

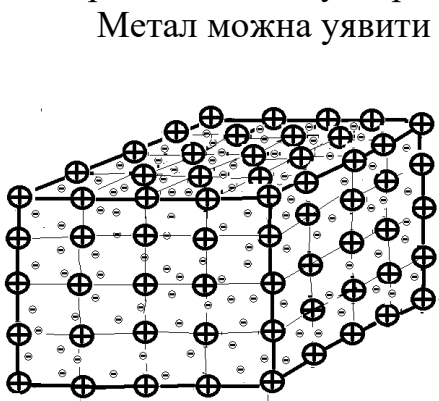


Рис. 1.

Метал можна уявити собі у вигляді остова з позитивних іонів, який занурений в «електронний газ» негативних електронів провідності (рис. 1). У кожному кубічному сантиметрі металу міститься приблизно 10^{22} вільних електронів.

Які сили перешкоджають виходу електронів з металу?.

1). За рахунок енергії теплового руху окремі електрони можуть відірватися від поверхні металу і віддалитися на малі відстані. Тому над поверхнею утворюється, як заведено говорити, тонка **електронна хмара**. Але вихід електронів з нейтрального металу призводить до того, що метал заряджається позитивно, і тоді з'являються сили, що притягують електрони у зворотному напрямі. Тоді, хмара буде перебувати в стані динамічної рівноваги, при якій одні електрони будуть виходити з металу, а інші повертаються назад.

В такому випадку метал і хмара в цілому утворюють ніби то заряджений конденсатор (точніше, у приповерхневій області утворюється подвійний електричний шар), в якому роль позитивно зарядженої пластини буде виконувати метал, а негативно зарядженої пластини – електронна хмара, між ними буде існувати поле. Таким чином, для видалення електрона з металу за межі подвійного шару необхідно виконати роботу з переміщення електрона в електростатичному полі.

2). Будь-який заряд, що перебуває поблизу поверхні незарядженого металу, індукує на цій поверхні заряд, який рівний за величиною, але протилежний за знаком (явище електростатичної індукції). Цей **індукований заряд** буде притягувати до себе заряд, що визвав індукцію. Тому при віддаленні електрона за межі металу необхідно враховувати також і роботу цих сил

Обидва ці фізичні процеси і визначають величину роботи виходу електрона з металу.

Найменша енергія, потрібна для видалення електрона з твердого або рідкого тіла у вакуум, називається **роботою виходу**.

Випускання електронів нагрітими твердими або рідкими тілами називається **термоелектронною емісією**.

При кімнатній температурі практично всі вільні електрони замкнуті в межах металевого зразка, є лише невелика кількість електронів, енергія яких достатня для того, щоб вийти з металу.

Однак, нагріваючи метал, можна надати електронам додаткову енергію, достатню для здійснення роботи виходу. При цьому електрони будуть покидати метал.

Для спостереження та вивчення термоелектронної емісії слугує двохелектродна вакуумна лампа — вакуумний діод (рис. 2).

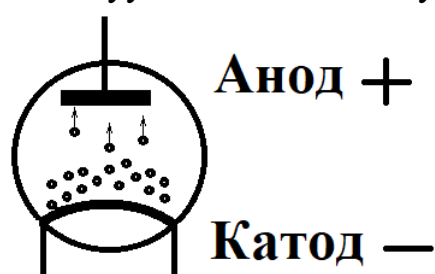


Рис. 2.

У найпростішому вигляді вакуумний діод являє собою скляний балон, всередині якого поміщені анод і катод. Один з електродів (катод) являє собою дріт із тугоплавкого металу (вольфрам W, молібден Мо тощо), який розжарюється електричним струмом. Другий

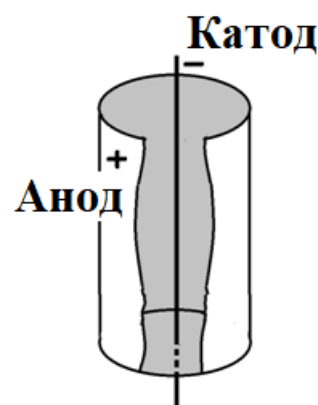


Рис. 3.

електрод – анод - найчастіше має форму циліндра, уздовж осі якого розміщено катод (рис. 3).

Якщо увімкнути діод в електричне коло при холодному катоді (рис. 4), струму в колі анода не буде, тому що розріджений газ усередині діода (вакуум) не містить заряджених частинок.

У разі нагрівання катода до високої температури за допомогою додаткового джерела струму E_k (рис. 4) в колі анода виникає струм.

Відбувається напрямлений рух електронів від катода до анода, тобто електронний струм у вакуумі (рис.2).

Якщо збільшувати напругу між катодом і анодом при постійній температурі розжарювання катода, то сила термоелектронного струму спочатку також буде збільшуватись (рис. 5). Але при наступному збільшенні анодної напруги сила струму досягає деякого максимального значення, яка називається **струмом насичення**.

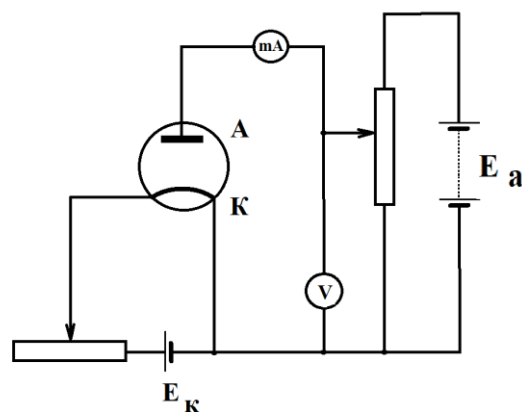


Рис. 4.

На рис. 5 зображені струми насичення вакуумного діода для різних температур розжарювання катода ($T_1 < T_2 < T_3$). При струмі насичення всі електрони, які вилітають за одиницю часу з катода, досягають анода і

Така залежність струму від напруги називається **вольт-амперною характеристикою** діода. Вона має нелінійний характер, тобто закон Ома для вакуумного діода не виконується.

О. Річардсон і С. Дешман вивели вираз для густини струму насичення у функції температури T :

$$j_n = BT^2 e^{-A/(kT)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

де A - робота виходу електрона з металу, k – стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К,

B – емісійна стала, різна для різних металів. Співвідношення (1) називають *формулою Річардсона – Дешмана*.

Оскільки у формулу (1) входять невідомі A і B (постійні для даного приладу), то для обчислення роботи виходу A можна виміряти струм насичення ($I_{нас} = j_{нас} \cdot S$, де S - площа катоду) при двох різних температурах катода T_1 і T_2 .

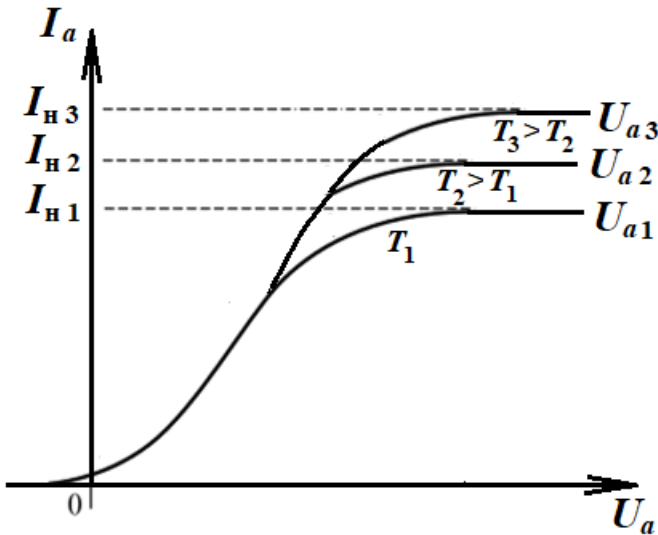


Рис. 5.

$$I_{нас1} = BST_1^2 e^{-\frac{A}{kT_1}} \quad (2)$$

$$I_{нас2} = BST_2^2 e^{-\frac{A}{kT_2}} \quad (3)$$

З цієї системи двох рівнянь визначається робота виходу

$$A = \frac{kT_1 T_2}{T_2 - T_1} \left(\ln \frac{I_{нас2}}{I_{нас1}} - 2 \ln \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (4)$$

У **робочій формулі** (4) струми насичення $I_{нас1}$ та $I_{нас2}$ знаходяться на досліді, а відповідні температури катода T_1 і T_2 визначають таким чином.

Для вольфраму була експериментально визначена залежність температури T катода від потужності струму розжарення катода

$$P_{розж} = I_{розж} \cdot U_{розж},$$

яка припадає на одиницю площі S поверхні катода.

Такий експериментальний графік приведений в даній роботі. Потужність, що витрачається на розігрів катода, визначається за показами амперметра і вольтметра кола розжарення.

За наведеним експериментальним графіком (рис. 6) залежності температури катода від потужності струму розжарювання, яка припадає на одиницю площі катода, $P_{розж}/S$, визначають температуру катода для відповідного значення потужності нагріву. Площа поверхні катода S відома з паспортних даних установки.

Опис приладів

Загальний вигляд експериментальної установки показаний на рис. 7.

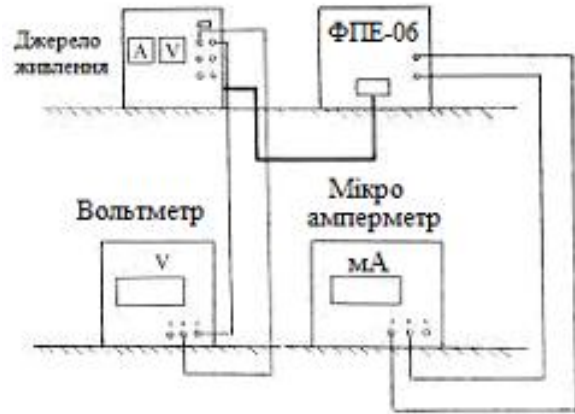
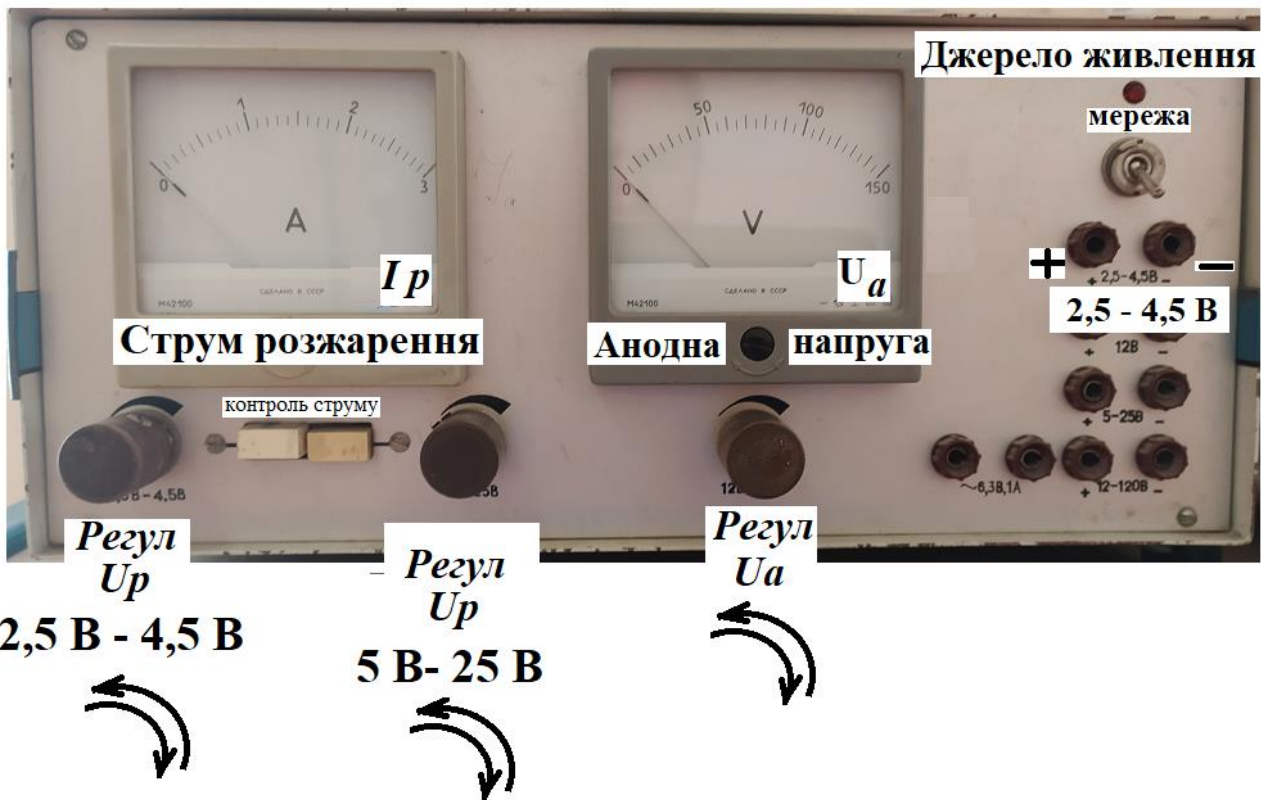


Рис. 7.

Докладніше прилади показані на окремих рисунках.



Порядок виконання роботи

1. З'єднати касету ФПЕ-06 з джерелом живлення під'єднувальним кабелем (рис. 7).

Коло розжарювання катода

Амперметр на панелі джерела живлення служить для контролю струму розжарювання I_p . Струм розжарювання не повинен бути більшим за певне значення, бо згорає катод. Максимальне значення струму розжарення не повинно перевищувати 2,2 А.

Регулювання напруги розжарення U_p здійснюється через лівий регулятор, що міститься під амперметром. Напруга розжарення U_p вимірюється **окремим вольтметром**, який під'єднується (див. рис. 7) до тих клем на панелі джерела живлення, на яких вказана напруга 2,5...4,5 В.

2. Натиснути ліву клавішу "контроль струму". Рукояткою «Регул U_p » 2,5 - 4,5В встановити по окремому вольтметру внизу дослідної установки напругу розжарення $U_p = 3,5$ В, одночасно при цьому треба дивитися на амперметр, щоб не спалити нитку розжарення (амперметр повинен показувати струм розжарення I розж менше ніж 2,2 А.)

Анодне коло

Вольтметр на панелі джерела струму вимірює анодну напругу U_a , яка регулюється за допомогою ручки регулятора «Регул U_a », що знаходяться безпосередньо під вольтметром.

Для вимірювання сили **анодного струму** використовується **мультиметр**, який підімкнутий до клем mA касети ФПЕ-06. Перемикачем на мультиметрі встановлюють режим міліамперметра, вимірюючи струм до 20 мА.

Вимірювання вольт-амперної характеристики

3. Збільшуючи регулятором під вольтметром на джерелі живлення **анодну напругу U_a** в інтервалі 10-120 В з кроком 10 В, щоразу **фіксують** значення **анодного струму I_a** (по мультиметру), тобто знімають вольт-амперну характеристику (ВАХ) електронної лампи.

Вимірювання анодного струму і анодної напруги проводять доти, доки не буде досягнуто насичення струму, тобто коли анодний струм припинить практично рости. Значення анодного струму і анодної напруги заносять до Таблиці 1.

Таблиця 1.

N	$U_{розж}$, В	$I_{розж}$, А	U_a , В											
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	3,5													
2	4													

3	4,5												
---	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4. Зробити виміри вольт-амперної характеристики **ще для двох** значень напруги розжарення $U_{\text{розж}}$ 4 В і 4.5 В.

5. Для кожного значення напруги розжарення $U_{\text{розж}}$ побудувати ВАХ і визначити струм насичення $I_{\text{нас}}$. Дані вимірювання занести в Таблицю 2.

Вимірювання температури катода

6. Для всіх значень напруги $U_{\text{розж}}$ розжарення катода за даними досліду в таблиці 2 **розрахувати потужність розжарення** $P_{\text{розж}}$, що виділяється на катоді

$$P_{\text{розж}} = I_{\text{розж}} \cdot U_{\text{розж}},$$

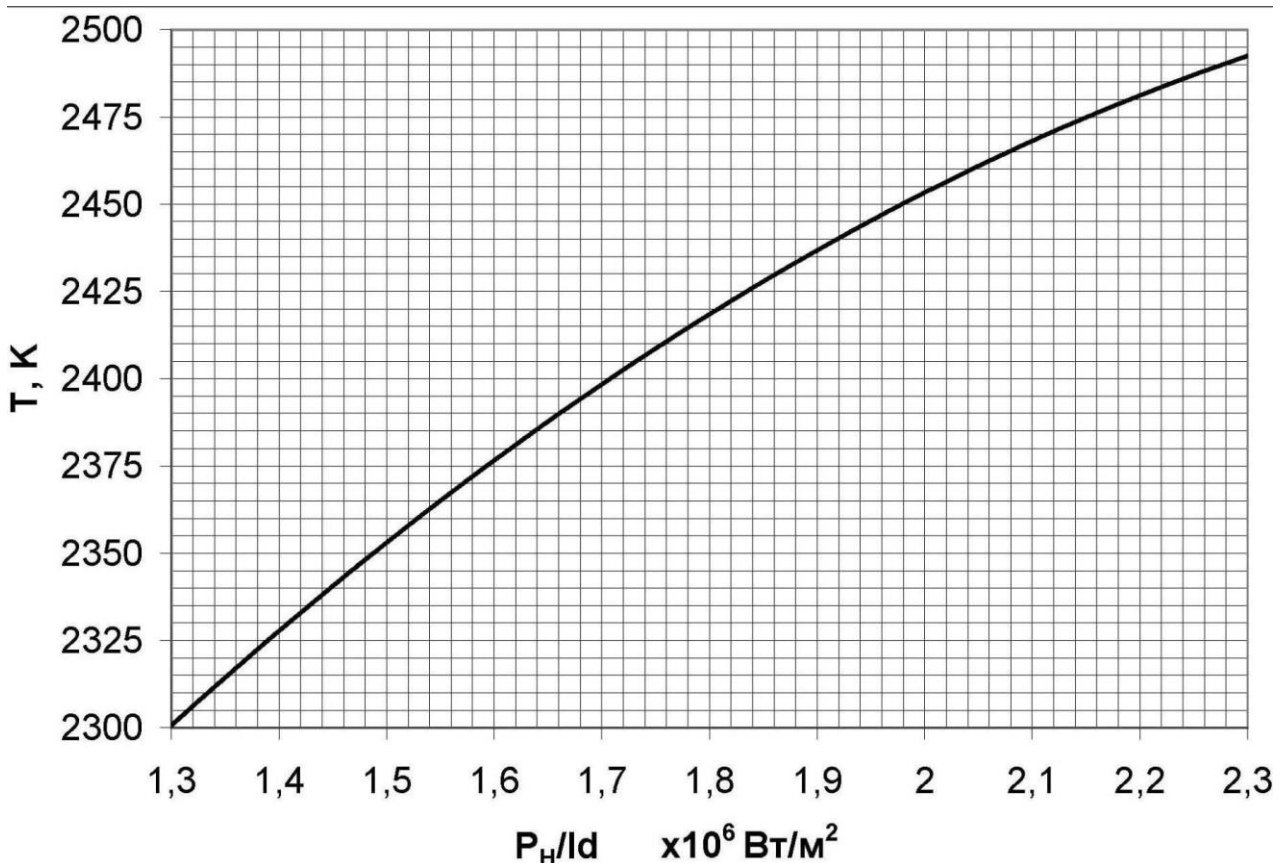
а також потужність у $\text{Вт}/\text{м}^2$, що приходить на одиницю площі катода $P_{\text{розж}}/S_{\text{кат}}$.

Площа катода за паспортними даними $S_{\text{кат}} = 11 \text{ мм}^2$.

За експериментальним для вольфраму графіком залежності температури катода від $P_{\text{розж}}/S_{\text{кат}}$ визначити температури T_1, T_2, T_3 катода для кожної напруги розжарення. Дані занести в Таблицю 2.

Таблиця 2.

N	$U_{\text{розж}}$, В	$I_{\text{розж}}$, А	$P_{\text{розж}}$, Вт	P/S $\times 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$	T , К	$I_{\text{нас}}$, мА
1.	3,5					
2.	4					
3.	4,5					



БОКОМ БОЛЬШОЙ ГРАФИК в первой и второй по счету работе в ИНЕТЕ - КПИ (рис.1.7)

Розрахунок роботи виходу

7. Вибрати з таблиці 2 довільну пару значень температури катоду і відповідних струмів насичення, наприклад, T_1, T_2 та $I_{нас1}, I_{нас2}$, користуючись робочою формулою (4), розрахувати роботу виходу електрона з вольфраму.. Такий розрахунок повторити для інших пар – T_1 і T_3 та T_2 і T_3 .

Визначити середнє значення роботи виходу.

Контрольні питання

1. У чому полягає явище термоелектронної емісії? Що називається роботою виходу електрона?
2. Яке походження мають сили, які діють на електрон у подвійному електричному шарі?
3. Як пов'язаний струм насичення з термоелектронною емісією?
4. Які фізичні параметри визначаються експериментально у даній роботі?
5. Визначити силу струму насичення $I_{нас}$ в електронній лампі з вольфрамовим катодом завдовжки $l = 3$ см і діаметром $d = 0,1$ мм, якщо температура $T = 2700$ К. Емісійна стала для вольфраму $B = 60$ А/(см²К²), робота виходу електрона з вольфраму $A = 4,54$ еВ.

Уклав Гаркуша І.П.