

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»

**Методичні вказівки**  
до лабораторної роботи  
**№ 4.27.6**

**ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ З МЕТАЛУ**

г. Дніпропетровськ  
2011

Електродинаміка. Частина II. Матеріали методичного забезпечення дисципліни «Фізика» для студентів усіх спеціальностей. / Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, В.М. Мандрікевич, Т.В. Морозова, А.В.Чернай, – Д.: Національний гірничий університет, 2011

Автори:

Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, кандидати фіз.-мат. наук;

В.М. Мандрікевич, Т.В. Морозова, старші викладачі;

А.В. Чернай, д-р фіз.-мат. наук, професор.

Усі укладачі приймали участь в розробці методичних вказівок до лабораторних робіт та удосконаленні їх макетів.

Затверджено до видання редакційною радою НГУ (протокол № від ) за наказом методичної комісії напряму підготовки 6.050301 Гірництво (протокол №\_від\_2011р.)

Методичні матеріали призначені для самостійної підготовки студентів усіх інженерних спеціальностей до лабораторних робіт та контролю практичних і лабораторних занять з нормативної дисципліни «Фізика».

Розглянуто теоретичні відомості, прилади та установки, що використовуються у лабораторних роботах.

Рекомендації орієнтовано на активацію навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедру фізики, канд.фіз.-мат., наук, проф. І.П. Гаркуша.

**ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ З МЕТАЛУ**

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

**Мета роботи:** 1) визначення роботи виходу електронів з вольфраму шляхом обробки вольт-амперних характеристик електронної лампи з вольфрамовим катодом.

**Опис приладу та теоретичні відомості**

Найменшу енергію, яку необхідно надати електрону провідності, щоб вилучити його із твердого або рідкого тіла у вакуум, називають роботою виходу електрона. Це означає, що електрони провідності не можуть самочинно залишати метал у примітній кількості. Пояснюється це тим, що метал являє собою для електронів потенціальну яму. Залишити метал удається тільки тим електронам, енергія яких виявляється достатньою для подолання потенціального бар'єра, який є на поверхні металу. При температурі, яка дорівнює 0 К, енергетичні рівні електронів у потенціальній ямі розподілені так, як це зображено на рис. 1.

За нульову енергію прийнята енергія вільного електрона поза металом. Пунктиром зображені незаповнені при  $T = 0$  К енергетичні рівні.  $E_F$  – енергія Фермі – максимальна кінетична енергія, яку може мати електрон при  $T = 0$  К.

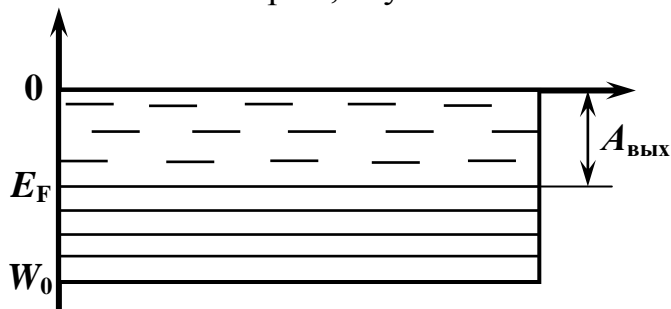


Рис.1

Отже,

$$A_{\text{вих}} = W_0 - E_F \tag{1}$$

Випромінювання електронів твердими або рідкими тілами називають емісією електронів. Якщо енергія для емісії надається тілу внаслідок нагріву, то така емісія називається термоемісією. Явище термоемісії лежить в основі роботи вакуумного діода, схема вмикання якого наведена на рис. 2.

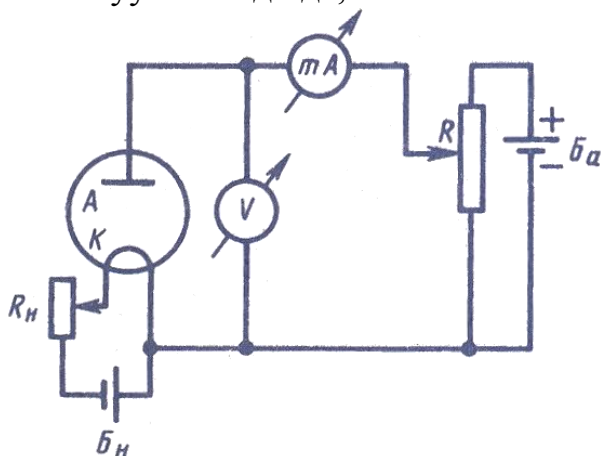


Рис.2

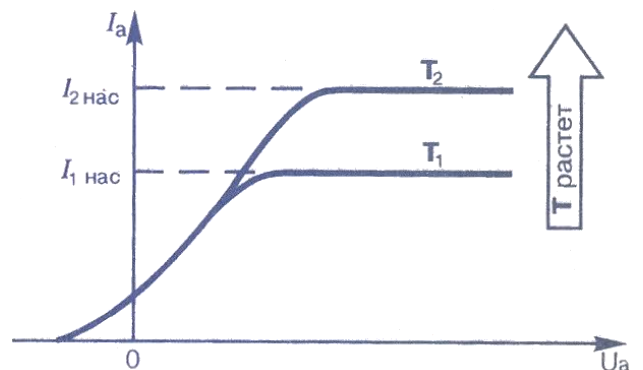


Рис.3

Вольт-амперною характеристикою (ВАХ) називають залежність анодного струму від напруги на аноді при незмінній напрузі розжарювання катода (температурі катода). На рис. 3 зображені ВАХ діода при різних температурах катода.

ВАХ діода нелінійна, що пояснюється наявністю об'ємного негативного заряду поблизу поверхні катода. При визначеному значенні  $U_a$  усі електрони, які емітовані за одиницю часу, досягнуть анода. Настає насичення. Максимальний анодний струм при даній температурі називають струмом насичення. Густина струму насичення обчислюють за формулою Річардсона – Дешмена

$$j = BT^2 e^{-\frac{A_{вих}}{T}}, \quad (2)$$

де  $B$  – емісійна стала, для вольфраму  $B = 60,2 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-2}$ .

Цей закон і використовують для визначення роботи виходу електронів з металу. Після логарифмування рівняння (2) маємо  $\ln \frac{J_{нас}}{T^2} = \ln B - \frac{A_{вих}}{k} \cdot \frac{1}{T} \cdot \ln e$ .

Після переходу до десятинних логарифмів запишемо

$$\lg \frac{J_{нас}}{T^2} = \lg B - \frac{A_{вих}}{kT} \cdot 0,43.$$

Такий вигляд рівняння зручний для його експериментальної перевірки. Графік залежності  $\lg \frac{J_{нас}}{T^2}$  від  $\left(\frac{1}{T}\right)$  являє собою пряму лінію з кутовим коефіцієнтом  $0,43 \frac{A_{вих}}{k}$ . Визначивши тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, можна обчислити роботу виходу за формулою:

$$A_{вих} = \frac{k \cdot \text{tg} \alpha}{0,43}. \quad (3)$$

де  $k$  – стала Больцмана.

Для побудови графіка необхідно знати густина струму насичення  $J_{нас}$  і температуру катода. Розрахунок температури проводять таким чином. Потужність струму, який підводять до катода, витрачається у лампі в основному на теплове випромінювання. Для вольфраму експериментально визначено залежність температури катода від потужності, яка витрачається на одиницю площі поверхні катода. На графіку, який додається до роботи, наведені результати цих вимірювань. За графіком, якщо відома потужність, яку підводять до катода, можна визначити його температуру.

### **Послідовність вимірювань**

1. Зберіть схему установки, яка має чотири блоки: касету ФПЕ-06 з вакуумною лампою, джерело живлення ИП, вольтметр PV та міліамперметр РА (рис. 4).

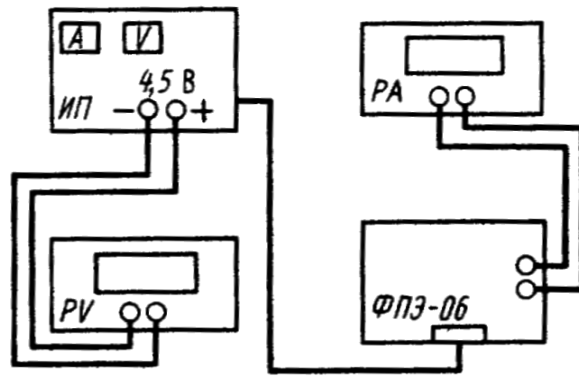


Рис.4

Амперметр на панелі джерела живлення служить для контролю струму розжарювання, максимальне значення якого не повинно перевищувати 2,2 А. Плавне регулювання напруги розжарювання виконують ручкою 0 – 4,5 В на лицьовій панелі ИП. Для виміру напруги розжарювання використовують вольтметр, який приєднують до гнізд 0 – 4,5 В.

Вольтметр на панелі джерела живлення використовують для виміру анодної напруги. Силу анодного струму вимірюють цифровим міліамперметром.

Після підготовки установки до роботи, увімкнути джерело живлення та цифровий міліамперметр у мережу.

### Завдання 1

1. Установіть напругу розжарювання 3 В і, збільшуючи послідовно анодну напругу на 10 В, запишіть значення анодного струму у табл. 1. Анодну напругу збільшуйте до таких значень, при яких струм  $I_a$  перестане зростати, тобто доти, доки не настане режим насичення.

2. Повторіть п. 1 для чотирьох значень напруги розжарювання в інтервалі від 3 до 4,4 В.

3. Для кожного значення  $U_{розж}$  побудуйте ВАХ і визначте  $I_{нас}$ .

4. Для кожного значення  $U_{розж}$  розрахуйте потужність, яку споживає катод:

$$P_{розж} = I_{розж} U_{розж}$$

Таблиця 1

$U_{розж} = 3 \text{ В}$	$U_a, \text{ В}$	10	20	30	і т. д.
$I_{розж} =$	$I_a, \text{ мА}$				
$U_{розж} = 3,4 \text{ В}$	$U_a, \text{ В}$				
$I_{розж} =$	$I_a, \text{ мА}$				
$U_{розж} = 4,4 \text{ В}$	$U_a, \text{ В}$				
$I_{розж} =$	$I_a, \text{ мА}$				

5. За графіком, який прикладено до роботи, та розрахованими значеннями  $P_{розж}$  визначте температури катода  $T_k$ . По горизонтальній осі відкладена величина  $\frac{P_{розж}}{\ell \cdot d}$ , де  $\ell$  – довжина,  $d$  – діаметр волоска розжарювання.

Для лампи, яку використовують у роботі,  $\ell = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $d = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

6. Розрахуйте густину анодного струму насичення і відношення квадрата

струму насичення до температури катода.  $J_H = \frac{I_H}{S}$ .  $S = 11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

7. Усі отримані дані занесіть у табл. 2

8. Побудуйте графік залежності  $\lg \frac{J_H}{T^2}$  від  $\frac{1}{T}$ .

Таблиця 2

№ з/п	$I_H$ , мА	$P_{\text{розж}}$ , Вт	$\frac{P_{\text{розж}}}{\ell \cdot d}$ , Вт/см <sup>2</sup>	$T$ , К	$\frac{1}{T}$ , К <sup>-1</sup>	$J_H$ , мА/м <sup>2</sup>	$\frac{J_H}{T^2}$ , мА/м <sup>2</sup> ·К <sup>2</sup>	$\lg \frac{J_H}{T}$

9. За формулою (3) розрахуйте роботу виходу електронів з металу.

10. Визначте емісійну сталу  $B$ , логарифм якої дорівнює ординаті точки перетину графіка  $\lg \frac{J_H}{T^2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$  з віссю ординат.

### Контрольні питання

1. Поясніть закон Річардсона – Дешмена.
2. Що називають роботою виходу електронів?
3. Накресліть і поясніть залежність  $I_a = f(U_a)$  для вакуумного діода.
4. Що таке струм насичення і як він залежить від температури катода?

### Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 168 – 171.