

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Одеська політехніка»  
Кафедра фізики

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до лабораторних робіт**  
з розділу «Оптика»  
для здобувачів освіти груп АС і АІ

**Лабораторна робота**  
**«Вивчення законів зовнішнього фотоефекту»**

Одеська політехніка 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Одеська політехніка»  
Кафедра фізики

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до лабораторних робіт**  
**з розділу «Оптика»**  
для здобувачів освіти груп АС і АІ

**Лабораторна робота**  
**«Вивчення законів зовнішнього фотоефекту»**

Розглянуто на засіданні  
кафедри фізики.  
Протокол №  
від 2023 року

Одеська політехніка 2023

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до лабораторних робіт з розділу «Оптика»

для здобувачів освіти груп АС і АІ «Вивчення законів зовнішнього фотоефекту».  
/Уклад.: Н.М. Корнева, О. Н. Богданова – Одеська політехніка, 2023. – 8 с.

## **Лабораторна робота. «Вивчення законів зовнішнього фотоелектричного ефекту»**

Метою цієї роботи є вивчення природи зовнішнього фотоелектричного ефекту і перевірка його законів, а також придбання навиків аналізу залежностей сили струму від напруги і сили струму від світлового потоку зовнішньому фотоелектричному ефекту.

### **1. Теоретичний вступ**

Одним із найважливіших проявів взаємодії світла з речовиною, що розкриває квантову природу світла, а також має велике практичне значення, є так званий фотоелектричний ефект (фотоелектричний ефект).

Фотоелектричний ефект є результатом впливу фотонів світла на електрони речовини.

В конденсованих системах (твердих тілах, рідинах) фотони спричиняють або виривання електронів за межі тіла (зовнішній фотоелектричний ефект), або ж перехід їх з однієї енергетичної зони в іншу (внутрішній фотоелектричний ефект); у газах фотоелектричний ефект зводиться до іонізації атомів і молекул під дією світла.

Фотоелектричний ефект як самостійне фізичне явище був вивчений Столетовим у 1888-1890 рр.

Столетов встановив, що під впливом падаючих променів світла тіло втрачає заряд, але тільки тоді, коли воно заряджене негативно; позитивний заряд тіла під дією світла не зменшується.

Згодом Столетов розміщував досліджувану пластинку у вакуумній камері, де вона слугувала катодом К, анодом була пластинка А. Катод освітлювався крізь кварцове віконце (рис.1).

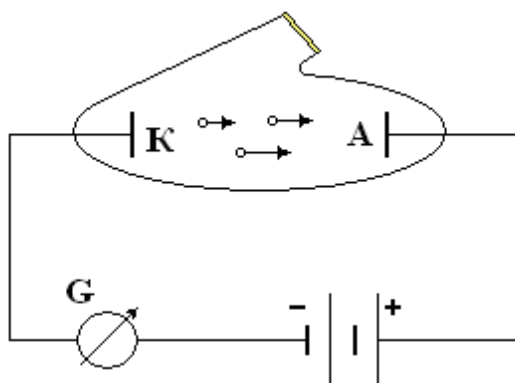


Рис.1

Графік залежності фотоструму від напруги між катодом і анодом є зображеним на рис.2. На рисунку показані ВАХ для різних значень світлового потоку  $\Phi$ .

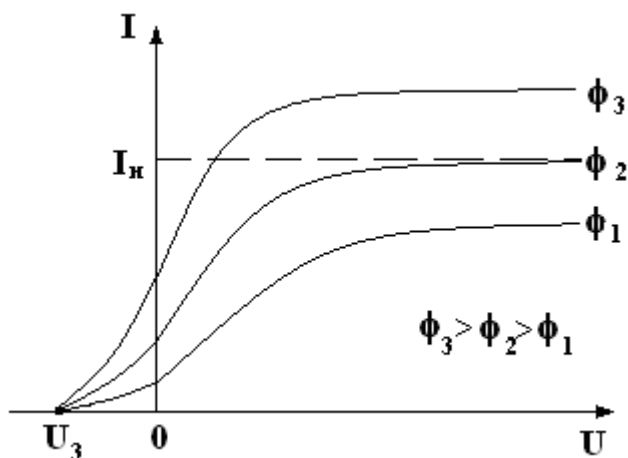


Рис. 2

З рис. 2 видно, що фотострум зростає з зростанням прикладеної напруги між катодом і анодом. Але ж при визначеній напрузі виникає явище насиченості: всі електрони, які вилітають з катоду, досягають анода. Подальше підвищення напруги вже не призводить до зростання фотоструму тому, що при даному світловому потоку і частоті світла нема вже резервів для збільшення фотоструму.

Коефіцієнт пропорційності  $\gamma$  між силою струму насичення і світловим потоком зветься інтегральною чутливістю фотокатода (вимірюється в мкА /лм).

$$\gamma = \frac{I_{\text{нас}}}{\Phi} \quad (1)$$

Існування фотоструму при негативних значеннях напруги між катодом і анодом свідчить про те, що фотоелектрони виходять з катоду з початковою швидкістю.

### Закони зовнішнього фотоефекту

1. Число електронів, що вириваються світлом за 1 с прямо пропорційне величині світлового потоку, що падає на досліджуване тіло.
2. Швидкість фотоелектронів, що вириваються, тим більша, чим більша частота хвилі падаючого світла, але вона не залежить від його інтенсивності.
3. Незалежно від інтенсивності світла, фотоефект починається тільки за цілком певної для даного металу мінімальної частоти світла. Цю частоту називають **червоною межею фотоефекту** (рис.3)

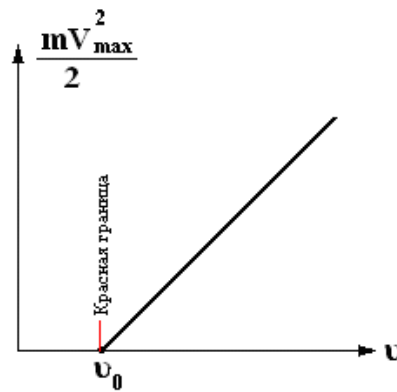


Рис.3

4. Число електронів, що вириваються світлом за 1 с з одиниці поверхні при сталій інтенсивності світла зростає з зростанням частоти.

Закономірності фотоефекту неможливо було узгодити з основними положеннями хвильової теорії світла.

Чітке пояснення фотоефекту дав А. Ейнштейн в 1905 р.

На основі припущення, що світло є потоком матеріальних частинок – фотонів, він показав, що світло поглинається такими ж самими порціями, як і випромінюється.

Застосувавши до взаємодії фотона з електроном закон збереження енергії, Ейнштейн вивів рівняння фотоефекту:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

$h\nu$ - енергія фотона;

$A$  - робота виходу електрона з освітленого тіла;

$\frac{mv^2}{2}$  -надана електрону кінетична енергія.

З рівняння (1) видно, що швидкість електронів є функцією частоти і не залежить від інтенсивності світла:

$$v = \sqrt{\frac{2h\nu - 2A}{m}} = f(\nu)$$

$$A = h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0}$$

$c$ – швидкість світла в вакуумі;

$\lambda_0$  –червона межа фотоефекту.

За допомогою фотоефекта можна отримати значення сталої Планка і роботи виходу з металів.

Щоб звести фотострум до нуля, довелося прикласти у приладі Столетова деяку затримуючу напругу  $U_3$  (рис 2).

Умова відсутності фотоструму;

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3$$

де  $e$  і  $m$  відповідно заряд і маса електрона.

$$h\nu = A + eU_3 \quad (3)$$

Фотоефект використовується для створення фотоелементів, фотопомножувачів і електронно-оптичних перетворювачів.

Останні використовуються в астрономії, медицині і для нічного бачення.

## 2. Опис установки

Схема установки представлена на рис.4.

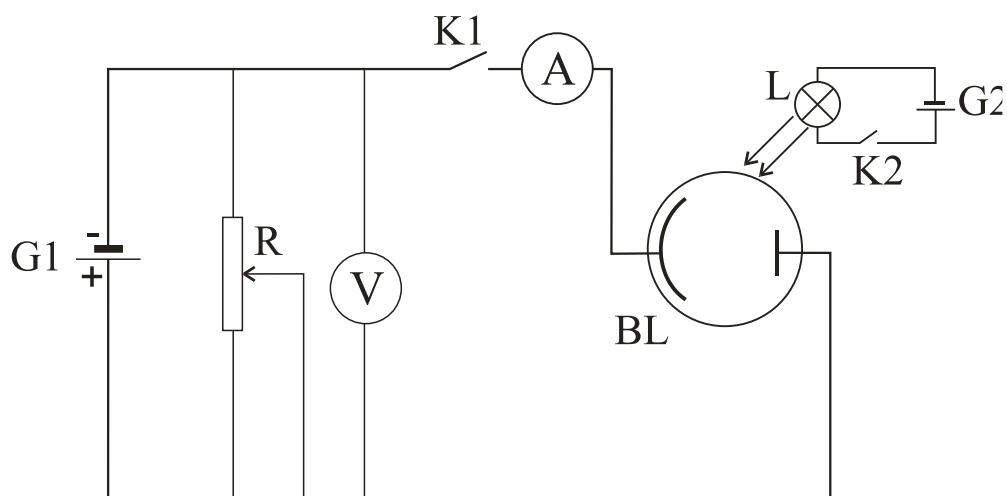


Рис. 4

Фотокатод фотоелемента BL є увімкнутим в ланцюг, який складається з джерела постійного струму G1, мікроамперметра А, змінного опору R та вольтметра V, який освітлюється від електричної лампи L. Для захисту фотоелемента від зовнішнього джерела струму він разом з лампою є розміщеним в металеву трубу, яка є закріпленою на штативі. Лампа є закріпленою на стрижні з сантиметровими поділками, який може переміщуватися вздовж труби. Розміри спіралі лампи малі в порівнянні з відстанню  $l$  від лампи до фотокатоду. Тому лампу можна розглядати як точкове джерело світла.

Світловий потік, який падає на фотокатод, можна записати так:

$$\Phi = E S \quad (4)$$

де  $E, S$  – відповідно освітленість і фоточутлива поверхня фотокатоду ( для даної установки  $S=4 \text{ см}^2$ ).

Освітленість можна визначити через силу світла  $I$  ( для даної установки  $I=10 \text{ кд}$ ) джерела і відстань від лампи до фотокатоду  $l$ :

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (5)$$

Тоді:

$$\Phi = \frac{I}{l^2} S \quad (6)$$

### 3. Експериментальна частина

#### Вправа 1. Визначення вольт – амперної характеристики (ВАХ) фотоелементу.

ВАХ висловлює залежність сили струму від прикладеної напруги при сталому світловому потоку  $\Phi$ , який падає на фотокатод.

Кожний здобувач освіти повинен виконати в першій вправі два варіанта , тобто одну з трьох груп:

1 група : 1 і 2 варіанти; 2 група : 1 і 3 варіанти; 3 група: 2 і 3 варіанти.

За даними таблиць , які розташовані нижче, побудувати графік залежності вольт –амперної характеристики ВАХ ( залежності сили струму від для світлових потоків  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ .

1. Обчислить світловий потік за формулою :

$$\Phi = \frac{I}{l^2} S,$$

де  $S$  – фоточутлива поверхня фотокатода ( для даної установки  $S=4 \text{ см}^2$ ),

$I$ - силу світла ( для даної установки  $I=10 \text{ кд}$ ) джерела ,

$l$  - відстань від лампи до фотокатода.

Таблиця 1.(Варіант 1)

l- відстань від лампи до катода, см	Світловий потік $\Phi$ , лм	Сила фотоструму $I, 10^{-6} \text{ А}$	Прикладена напруга $U, \text{ В}$
4		20	4
		30	8
		40	12
		50	16
		60	20
		70	26
		76	32
		78	36
		80	40
		80	43
		80	46
		80	50

Таблиця 2. (Варіант 2)

l- відстань від лампи до катода, см	Світловий потік $\Phi$ , лм	Сила фотоструму $I, 10^{-6} \text{ А}$	Прикладена напруга $U, \text{ В}$
4,5		20	6
		30	10
		40	14
		50	20
		56	28



		56	30
		56	33

Таблиця 3. (Варіант 3)

l- відстань від лампи до катода, см	Світловий потік $\Phi$ , лм	Сила фотоструму $I$ , $10^{-6}$ А	Прикладена напруга $U$ , В
5		20	6
		30	10
		40	16
		46	20
		48	48
		48	50
		48	53
		48	57

### Вправа 2. Визначення інтегральної чутливості фотокатода $\gamma$ .

- За графіками ВАХ з вправи 1 визначте струм насичення для  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ . В кожному варіанті для будь-яких двох світлових потоків.
- По формулі (1) визначте  $\gamma$  для  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  (значення світлових потоків візьміть з попередніх таблиць).

$$\gamma = \frac{I_{\text{нас}}}{\Phi}$$

Знайдіть середнє значення інтегральної чутливості фотокатода. Оцініть абсолютну і відносну похибку дослідження.

- Результати запишіть в таблицю 4.

Таблиця 4.

N	$I_{\text{нас}}, 10^{-6}$ А	Світловий потік $\Phi$ , лм	U, В	Інтегральна чутливість $\gamma$ , мкА /лм	Середнє значення $\gamma$ , мкА /лм
1					
2					

### Вправа 3. Перевірка першого закону Столетова. Будівання світової характеристики.

Світова характеристика висловлює залежність сили фотоструму від падаючого на фотоелемент світлового потоку сталого спектрального складу при сталому значенні прикладеної напруги.

- Для власного варіанту таблиць 5,6,7 розрахуйте світловий потік для кожного значення відстані від лампи до катода  $l$  за формулою:

$$\Phi = \frac{l}{l^2} S,$$

де  $S$  – фоточутлива поверхня фотокатода ( для даної установки  $S=4 \text{ см}^2$ ),  
 $I$ - силу світла ( для даної установки  $I=10 \text{ кд}$ ) джерела ,  
 $l$  - відстань від лампи до фотокатода.

Запишіть значення світлового потоку в таблицю ( одну з 5,6,7)

2. Побудуйте світову характеристику ( залежність сили фотоструму від світлового потоку  $\Phi$  для одного з варіантів) при сталому значенні напруги  $U$  для свого варіанту.

Таблиця 5. (Варіант 1)

Прикладена напруга $U$ , В	Сила фотоструму $I$ , $10^{-6}$ А	Відстань $l$ від лампи до фотокатода, см	Світловий потік $\Phi$ , лм
40	78	4	
	46	5	
	30	6	
	22	7	
	20	8	
	14	9	
	12	10	
	10	11	
	8	12	
	7	13	
	6	14	
	4	15	

Таблиця 6. (Варіант 2)

Прикладена напруга $U$ , В	Сила фотоструму $I$ , $10^{-6}$ А	Відстань $l$ від лампи до фотокатода, см	Світловий потік $\Phi$ , лм
50	74	4	
	46	5	
	32	6	
	24	7	
	18	8	
	14	9	
	12	10	
	10	11	
	8	12	
	7	13	

	6	14	
	4	15	

Таблиця 7. (Варіант3)

Прикладена напруга U, В	Сила фотоструму I, 10 <sup>-6</sup> А	Відстань l від лампи до фотокатода, см	Світловий потік Ф, лм
70	79	4	
	47	5	
	32	6	
	24	7	
	18	8	
	14	9	
	11	10	
	10	11	
	8	12	
	7	13	
	6	14	
	5	15	

Після кожної вправи зробіть висновки.

#### Контрольні питання

1. Сформулюйте закони зовнішнього фотоефекту.
2. Що таке ВАХ?
3. Що таке світова характеристика?
4. Що зветься інтегральною чутливістю фотокатода?
5. Чому дорівнює світловий потік?

#### ЛІТЕРАТУРА.

1. Воловик П.М. Фізика для університетів.- Київ. ІРПІНЬ: Перун, 2005.- 860 с.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання геометричних розмірів тіл і визначення їх об'єму і площі поверхні» Рекомендовано до видання Вченою радою ОНПУ, протокол № 4 від 26.12.2017 р.24 стр.
3. Методичний посібник з **лекційного курсу** розділ «Оптика» для здобувачів всіх спеціальностей /Склали: Корнева Н.М., Дюбченко М.Є., Богданова О.Н. – Одеса: ОНПУ, 2020. – На укр. мові.

