

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА

**ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ПЛАНКА МЕТОДОМ
ЗАТРИМУЮЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ**
Інструкція до лабораторної роботи

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний
посібник для здобувачів ступеня бакалавра, які навчаються
за освітньою програмою «Загальна Фізика 5. Фізика атома»
за спеціальністю «104. Фізика та астрономія»*

Укладачі: І.М.Іванова, Н.О.Якуніна

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2023

УДК 537.8

ББК 22.33

Ф 48

Рецензент: В.Й Котовський, доктор т.н., професор кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор: С.О Решетняк, завідувач кафедри загальної фізики, доктор фіз.-мат. наук, професор

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

(протокол № 2 від 26.10 2023 р.)

за поданням Вченої ради фізико-математичного факультету

(протокол № 10 від 25.10 2023 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Іванова Ірина Михайлівна, доцент кафедри загальної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.ф.-м. наук, доцент,

Якуніна Наталія Олександрівна, доцент кафедри загальної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.ф.-м. наук, доцент,

Ф 48 Загальна фізика . ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ПЛАНКА МЕТОДОМ ЗАТРИМУЮЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ. Лабораторна робота / І.М.Іванова, Н.О.Якуніна,– К. : Вид-во «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023 – 28 с

У лабораторній роботі представлені теоретичні відомості, опис лабораторної роботи з теми «визначення сталої планка методом затримуючого потенціалу», що викладається для майбутніх фахівців за спеціальністю «104. Фізика та астрономія», наведені методичні вказівки до виконання цієї роботи.

Посібник призначений для студентів, які навчаються у закладах вищої освіти і вивчають нормативну навчальну дисципліну «загальна фізика» з циклу математичної та природничо-наукової підготовки за спеціальністю «104. Фізика та астрономія».

Посібник може бути корисним для науково-педагогічних працівників, які викладають курс фізики, під час планування та підготовки завдань до лабораторних робіт та модульних контрольних робіт з навчальної дисципліни « Загальна Фізика 5. Фізика атома».

© І.М. Іванова, Н.О. Якуніна, 2023

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

Лабораторна робота № 3.9
ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ПЛАНКА МЕТОДОМ
ЗАТРИМУЮЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ

МЕТА РОБОТИ:

- вивчення явища зовнішнього фотоефекту
- знайомство із квантовою моделлю зовнішнього фотоефекту.
- вивчення основних законів зовнішнього фотоефекту на основі вимірювання світлових та вольт-амперних характеристик вакуумного фотоелемента
- експериментальне дослідження закономірностей фотоефекту та визначення сталої Планка.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Фотоефектом називається повне або часткове вивільнення електрона від зв'язків з атомами та молекулами речовини під впливом світла .

Якщо під впливом світла відбувається повне звільнення електронів і електрони виходять за межі твердої або рідкої речовини, то фотоефект називається *зовнішнім*.

На рис. 1 наведено традиційну схему, за допомогою якої можна спостерігати зовнішній фотоефект.

В експериментах використовувався скляний вакуумний балон із двома металевими електродами, поверхня яких була ретельно очищена. До електродів прикладалася деяка напруга U , полярність якої можна було змінювати за допомогою подвійного ключа. Один із електродів (катод К) через кварцове

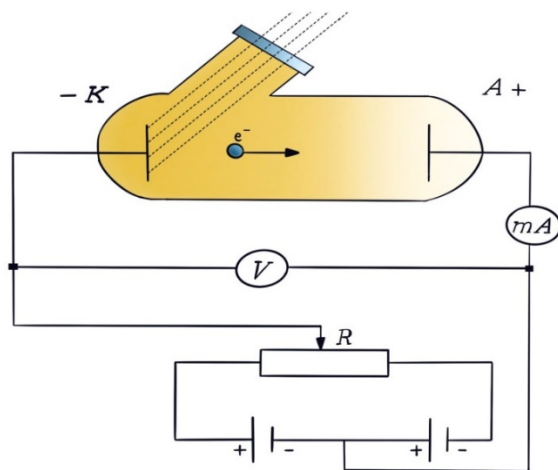


Рис.1. Схема експериментальної установки для вивчення фотоелектру: mA – гальванометр, що дозволяє вимірювати значення малих струмів, V – вольтметр, що вимірює прикладену напругу (регулюється реостатом R) між катодом K і анодом A .

віконце освітлювався монохроматичним світлом деякої довжини хвилі. При постійному світловому потоці знімалася залежність сили фотоструму I від прикладеної напруги. На рис.2 зображено типові криві такої залежності, отримані при двох значеннях інтенсивності світлового потоку, що падає на катод.

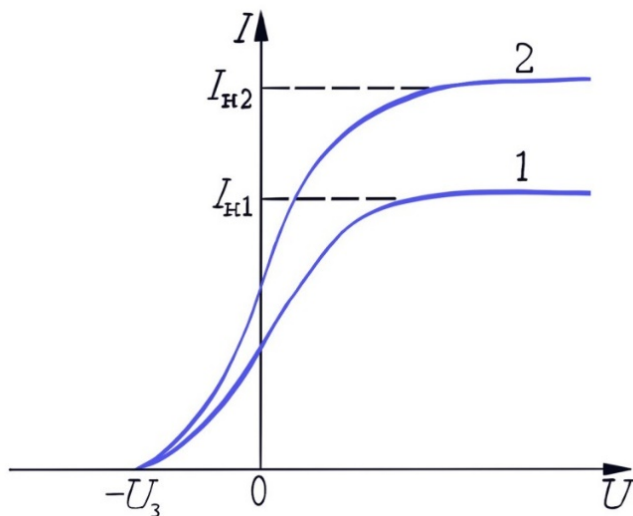


Рис.2. Залежність сили фотоструму від прикладеної напруги. Крива 2 відповідає більшій інтенсивності світлового потоку. U_3 - запираючий потенціал.

Зі збільшенням напруги U фотострум поступово зростає, тобто все більше фотоелектронів досягає анода. Пологий характер кривих показує, що електрони вилітають із катода з різними швидкостями. Максимальне значення струму $I_{\text{нас}}$ - фотострум насичення - визначається таким значенням U , при якому все електрони, що випускаються катодом, досягають анода: $I_{\text{нас}} = en$, де n -число електронів, що випускаються катодом в 1 секунду.

Для фотоефекту притаманні такі закономірності:

1. при фіксованій частоті падаючого світла число фотоелектронів, що вириваються з катода в одиницю часу, пропорційно інтенсивності світла та не залежить від його частоти (*закон Столетова*).
2. максимальна початкова швидкість, а відповідно, і максимальна початкова кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсивності падаючого світла, а визначається лише його частотою ν .
3. для кожної речовини існує червона межа фотоефекту, тобто мінімальна частота ν_0 світла (або максимальна довжина хвилі λ_0), нижче за яку фотоефект неможливий.
4. фотоефект безінерційний: фотоелектрони з'являються фактично одночасно з початком опромінення

Явище фотоефекту та його закономірності пояснив А. Ейнштейном в 1905р. на основі запропонованої ним **квантової теорії фотоефекту**. Згідно з теорією Ейнштейна для фотоефекту, світло частотою ν не тільки випускається, як це передбачав М. Планк, а й поширюється у просторі та поглинається речовиною окремими порціями (квантами).

Таким чином, поширення світла потрібно розглядати не як неперервний хвильовий процес, а як потік локалізованих у просторі дискретних світлових квантів.

Кванти електромагнітного випромінювання отримали назву **фотонів**.

Енергія фотона $\varepsilon = h\nu$, де ν – частота випромінювання; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – стала Планка. Енергія фотонів часто вимірюється у позасистемних одиницях - електрон-вольтах ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж). Маса фотона пов'язана з його енергією співвідношенням Ейнштейна $\varepsilon = mc^2$, де c – швидкість світла у вакуумі.

Тоді $mc^2 = h\nu$, звідки $m = \frac{h\nu}{c^2}$. Імпульс фотона: $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{hc}{\lambda}$, де λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання.

При зовнішньому фотоефекті випромінювання електронів з поверхні речовини (металу, фотокатода) відбуваються під впливом світла, тому електрони, що вилетіли, називаються **фотоелектронами**.

За уявленнями квантової теорії фотоефекту кожен квант поглинається лише одним окремим електроном. Взаємодіючи з електроном металу, фотон віддає йому енергію та імпульс.

Фотоефект виникає у випадку непружного зіткнення фотона з електроном металу.

Тому кількість вирваних електронів має бути пропорційною інтенсивності світла. Передача енергії при зіткненні фотона з електроном відбувається майже миттєво, що пояснює безінерційність процесу.

За законом збереження енергії, енергія кванта витрачається на роботу виходу електрона з речовини A та передачу йому кінетичної енергії:

$$h\nu = A + \frac{mV_{max}^2}{2} \quad (1)$$

де $mV_m^2/2$ – максимальна енергія фотоелектрону; $h\nu$ – енергія поглиненого електроном фотону; A – робота виходу електрона з металу.

З рівняння (1) прямо чи опосередковано впливають усі перелічені раніше закономірності фотоефекту.

Рівняння (1) виражає **закон Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту** і є формою закону збереження енергії. Максимальна кінетична енергія фотоелектрона лінійно зростає із збільшенням частоти падаючого випромінювання. Відповідно до рівняння (1), із зменшенням частоти світла кінетична енергія фотоелектронів зменшується, тому що робота виходу - стала для даної речовини величина.

При певній частоті $\nu = \nu_0$ кінетична енергія фотоелектрона стає рівною нулю а енергія фотона повністю витрачається на роботу виходу електрона:

$$h\nu_0 = A \quad ,$$

а частота, яка відповідає умові :

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \quad (2)$$

називається **червоною межею фотоефекту**.

Червона межа фотоефекту – це мінімальна частота або максимальна довжина хвилі, за якої фотоефект ще спостерігається

МЕТОД ЗАТРИМУЮЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Експериментальне дослідження закономірностей фотоефекту та перевірка правильності рівняння Ейнштейна (1) зводиться до вивчення залежності вольтамперної характеристики (ВАХ) вакуумного фотоелементу від умов його опромінювання.

Принципова схема та установка для проведення вимірів показана на рис. 3.

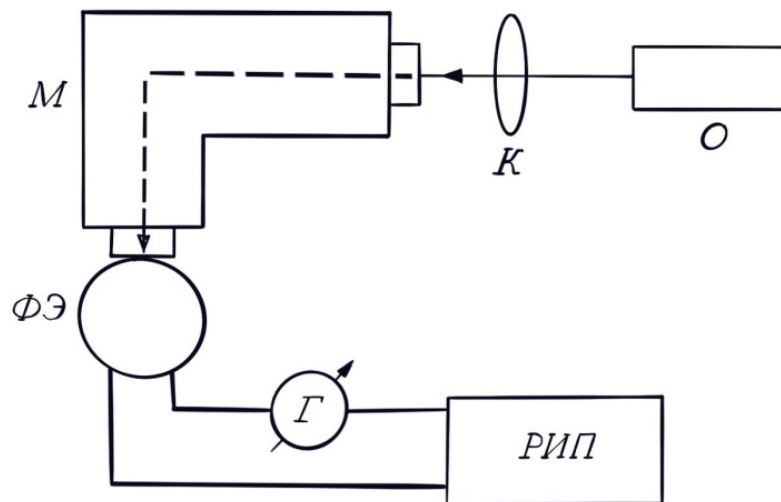
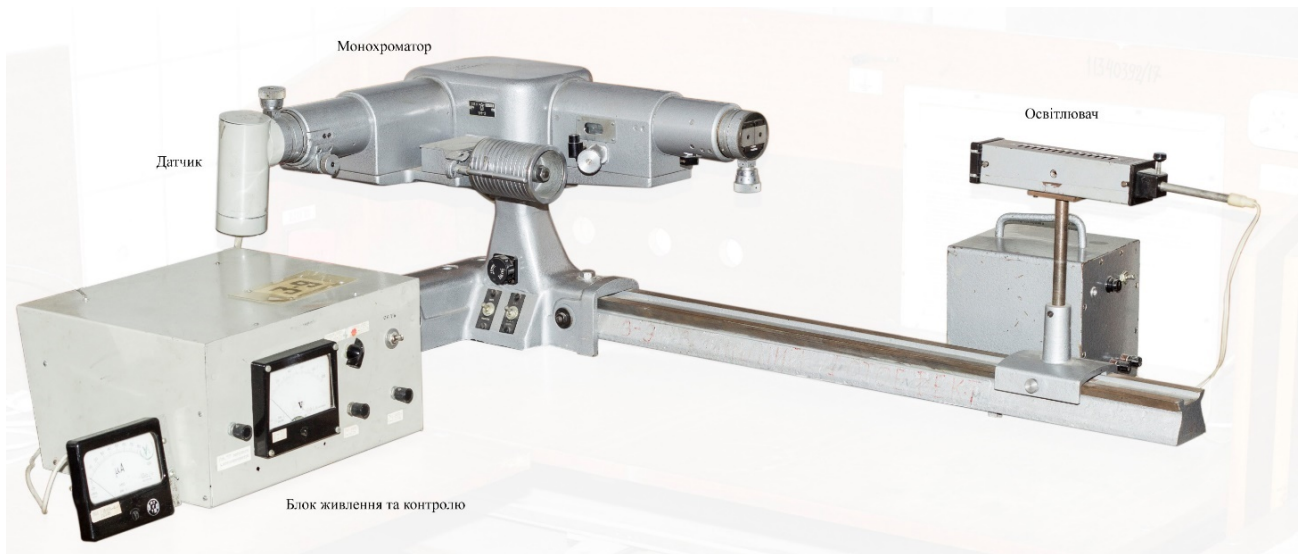


Рис.3. Загальний вигляд та блок схема установки для вивчення фотоелектру

Фотоелемент являє собою двохелектродну електронну лампу, катод якої К, виготовлений з матеріалу з невеликою роботою виходу ($A \sim 1 - 5$ eB), є світлочутливим елементом і називається фотокатодом. На фотоелемент

подається напруга необхідного значення та полярності, яка вимірюється вольтметром. Фототок, що виникає при опроміненні фотокатода світлом певної інтенсивності I і частоти, ν реєструється чутливим гальванометром Γ .

З аналізу схеми включення (рис.2) бачимо що, коли на катод подати «-», а на анод «+» (пряме включення), то при поступовому збільшенні прямої напруги $U \geq 0$ струм зростає від значення i_0 при $U = 0$ до i_H , що називається **струмом насичення** фотоелемента, і надалі практично не залежить від U (рис.4).

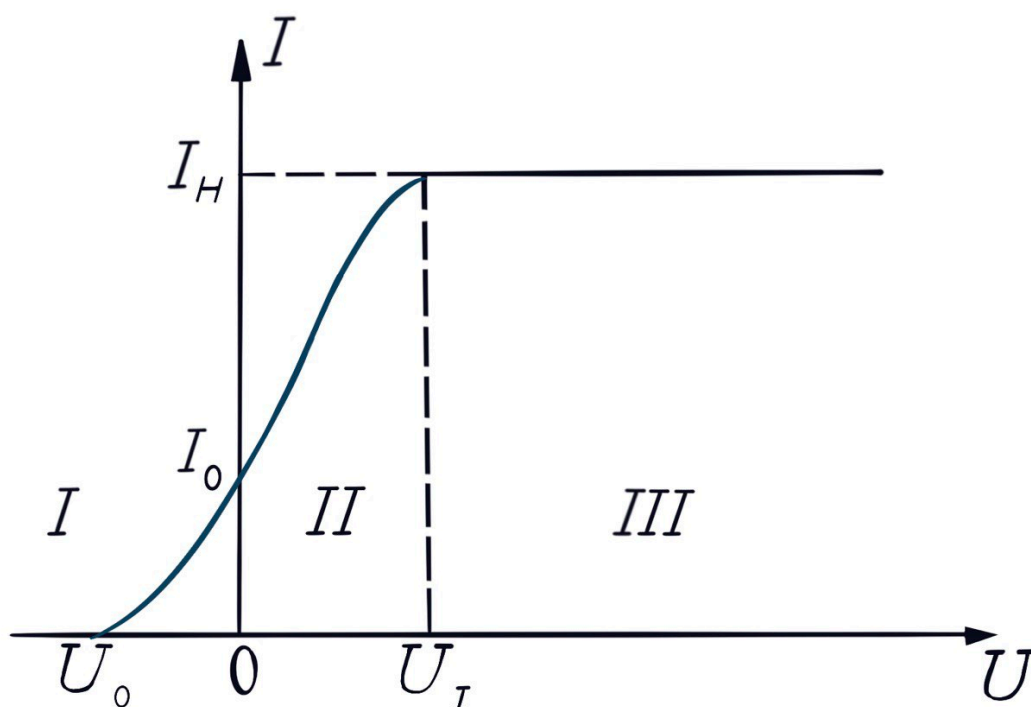


Рис.4. Загальний вигляд вольт-амперної характеристики

При подачі на фотоелемент зворотної напруги (на катоді «+», а на анод «-») струм зменшується і в певний момент припиняється зовсім.

Значення зворотної напруги $|U| = U_0$, при якому припиняється струм фотоелемента, називається **затримуючим потенціалом**.

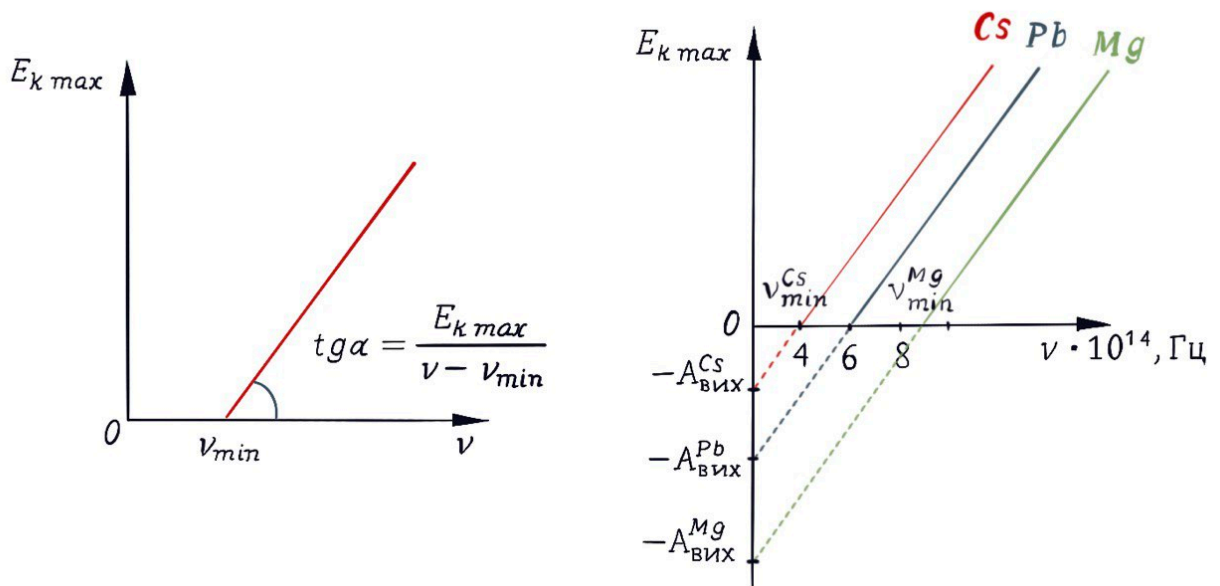


Рис. 5. Залежність кінетичної енергії фотоелектронів від частоти світла

Затримуюча напруга лінійно залежить від частоти і не залежить від його інтенсивності, а початкова кінетична енергія звільнених світлом електронів лінійно залежить від частоти світла і не залежить від його інтенсивності (рис.5).

Описаний характер залежності $i(U)$ легко зрозуміти, якщо врахувати дві важливі обставини.

По-перше, поглинання електронами фотонів відбувається не тільки на поверхні металу, а і в приповерхневій області товщиною порядку довжини хвилі світла, що опромінює катод. Ця відстань складає близько 10^3 атомних шарів. Тому в процесі виходу з металу фотоелектрон втрачає частину поглинутої енергії не тільки на здійснення роботи при відриві від поверхні металу. Електрон, який захопив енергію фотона, знаходиться в середині ґратки, яку створюють іони металу. Рухаючись до поверхні металу електрон взаємодіє і з іншими електронами, і з ґраткою в цілому. В результаті цих процесів електрони вилітають з фотокатода в різних напрямках і з різними швидкостями V , так що $0 \leq V \leq V_m$,

де V_m - максимально можливе значення швидкості вильоту, яке має фотоелектрон, що поглинув фотон безпосередньо на поверхні катода. Саме це значення $V = V_m$, фігурує в рівнянні (1).

По-друге, в результаті втрати частини електронів фотокатод виявляється позитивно зарядженим по відношенню до навколишніх фотоелектронів. Поблизу катода виникає локальне електричне поле, що перешкоджає віддаленню фотоелектронів від катода і повертає частину їх назад на катод. Подолати це повертаюче поле і відійти на значну відстань від катода можуть тільки фотоелектрони, що мають швидкість, близьку до V_m . Частина таких швидких фотоелектронів, які вилітають у напрямку анода і потрапляють на нього за відсутності напруги на фотоелементі, створюють струм i_0 (див. рис. 4). Більш того, швидкі електрони будуть потрапляти на анод і при подачі зворотної (тобто гальмівної) напруги $U < 0$ доти, поки їх початкова кінетична енергія буде достатньою для здійснення на шляху до анода роботи $A' = eU$ проти електричного поля анода. Виконання таких умов означає, що $mV^2/2 \geq eU$. Чим більша зворотна напруга, тим більша кінетична енергія необхідна електрону, щоб потрапити на анод. Тому кількість таких електронів дедалі зменшується і струм падає (1 область ВАХ на рис.4).

Струм повністю припиняється, коли напруга $U = U_0$ (затримуючий потенціал), що відповідає умові:

$$eU_0 = mV_m^2/2, \quad (3)$$

де V_m - максимальна швидкість, з якою електрони залишають катод за заданих умов опромінення його світлом.

Значення U_0 залежить від роботи виходу електронів з фотокатода і частоти світла, що опромінює, і становить зазвичай 0,1 - 2,5 В.

За умови прямого включення ($U > 0$) фотоелектрони потрапляють у прискорювальне поле, що спонукає їх рух до анода. Тому зі зростанням U на анод потрапляє все більша частина фотоелектронів і струм збільшується (II область ВАХ). Оскільки струм фотоелемента визначається тільки числом електронів $n\Gamma$, що потрапляють за одиницю часу на анод ($i = en\Gamma$). Така кількість електронів не може перевищити число фотоелектронів, що вириваються світлом з катода за одиницю часу, тобто є граничне значення, яке ми назвали вище струмом насичення i_n .

Режим $U > U_n$ (III область ВАХ) називається *режимом насичення*. У режимі насичення у фотоелементі створюється настільки сильне прискорююче поле, що всі електрони, незалежно від напрямку і швидкості вильоту, потрапляють на анод. Напруга насичення U_n залежить від речовини фотокатода і конструкції фотоелемента і зазвичай становить кілька десятків вольт.

Показано вище, що існує однозначний зв'язок між параметрами U_0 та i_n ВАХ фотоелемента, з одного боку, і фізичними характеристиками $mV_m^2/2$ та n фотоелектронів - з іншого боку. Це означає, що вимірюючи U_0 та i_n за різних інтенсивностей I і частот ν опромінюючого світла, можна спостерігати і перевірити основні закономірності фото ефекту, зокрема закон Столетова, згідно з яким $i_n \sim I$, і лінійну залежність затримуючого потенціалу (отже, кінетичної енергії фотоелектронів) від частоти опромінюючого світла.

Фотострум насичення i_n прямо пропорційний світловому потоку (інтенсивності), що падає на катод.

Відповідно до (1) – (3)

$$U_0(\nu) = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0). \quad (4)$$

Графік цієї залежності показано на рис.6. Як випливає з графіка, тангенс кута нахилу прямої, що виражає залежність затримуючого потенціалу від частоти, дорівнює відношенню постійної Планка до заряду електрона : $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{e}$.

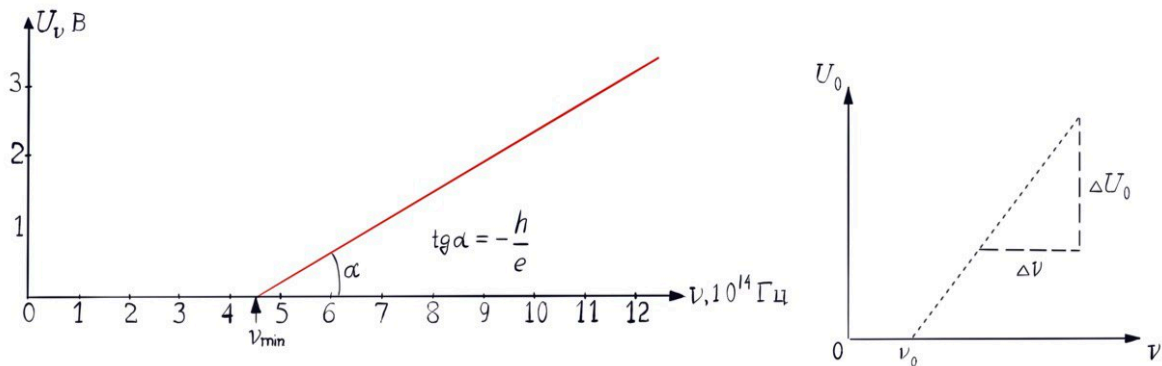


Рис.6. Графік залежності затримуючого потенціалу від частоти

Тому, вимірявши U_0 на кількох частотах ν , побудувавши по експериментальним точкам графік $U_0(\nu)$ та обчисливши $K = \operatorname{tg} \alpha = \Delta U_0 / \Delta \nu$ можна експериментально визначити постійну Планка.

$$h = e \Delta U_0 / \Delta \nu \quad (5)$$

Такий метод визначення h називається *методом затримуючого потенціалу*.

З (4) також випливає, що за $\nu = \nu_0$ $U_0 = 0$. Це дозволяє, в принципі, визначити за залежністю $U_0(\nu)$ червону межу фотоефекту ν_0 (а значить, і роботу виходу $A = h\nu_0$) з матеріалу фотокатода. Для цього достатньо було б продовжити графік $U_0(\nu)$ до перетину з віссю ν , як показано на рис. 5. Однак через наявність контактної різниці потенціалів між катодом і анодом фотоелемента, яка не піддається коректному обліку, та порівнянної з U_0 , похибка величини ν_0 виявляється надто великою. Тому в цій роботі завдання визначення ν_0 та A не

ставиться. Точність визначення h у цій роботі теж невелика. Однак причина цього полягає не в контактній різниці потенціалів, а в особливостях ВАХ, що використовується в роботі промислового фотоелемента. При використанні таких фотоелементів навіть при ретельних вимірах одержувані значення h приблизно на 20% нижче табличного.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА

На рис.7 показана схема вимірювання ВАХ фотоелемента. Пучок світла від освітлювача O за допомогою конденсорної лінзи K фокусується на вхідну щілину монохроматора M .

Світловий пучок, що виходить з монохроматора із заданою частотою, потрапляє на катод фотоелемента ΦE , який поміщений у світлонепроникний кожух і закріплений на вихідній щілині монохроматора. Необхідні для виконання

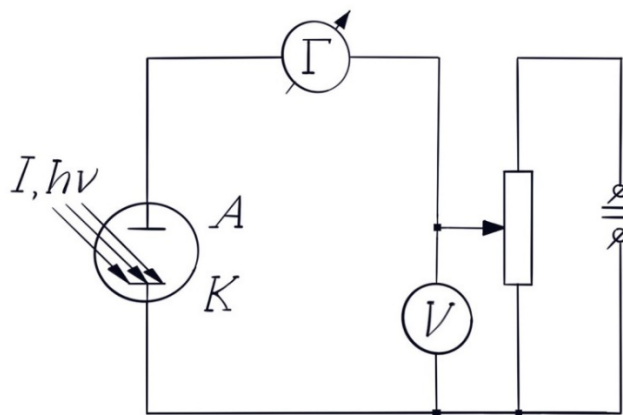


Рис.7. Схема вимірювання вольт-амперної характеристики фотоелемента

вимірювань конкретні відомості про експериментальну установку містяться в інструкції на робочому місці.

Примітка. При складанні протоколу та підготовці до виконання роботи в обов'язковому порядку необхідно вивчити принцип дії монохроматора УМ-2, що використовується в роботі (додаток 1).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перед початком вимірювань необхідно вивчити інструкцію на робочому місці і діяти відповідно до вказівок, що містяться в ній.

Завдання 1. Зняття ВАХ фотоелемента

1. Увімкнути установку, переміщенням конденсора сфокусувати світловий пучок від освітлювача на вхідну щілину монохроматора та встановити необхідну ширину вхідної та вихідної щілин монохроматора.
2. Встановити барабан монохроматора у положення, що відповідає зазначеній у робочій інструкції частоті (довжині хвилі) світла та виміряти залежність струму фотоелемента від напруги. Результати вимірювань занести до табл.1.

Таблиця 1

Частота світла $\nu =$

i , мкА								
U , В								

Завдання 2. Вимірювання залежності $U_0(\nu)$

3. Для вказаних у робочій інструкції (або заданих викладачем) частот ν_i розрахувати значення довжин хвиль λ_i . За градууювальним графіком визначити

числа n_i поділок барабана монохроматора, що відповідають значенням λ_i .
Значення λ_i та n_i занести до табл.2.

Таблиця 2

$\nu, 10^{14}$ Гц							
n							
$U_{0i}, \text{В}$	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
$\langle U_{0i} \rangle, \text{В}$							

4. Для кожного значення ν_i зробити 5 вимірів U_0 і занести результати у табл.2.
Записати поділку барабану n , що відповідає максимальній чутливості установки
(за максимальним значенням струму i_0).

Таблиця 3

$U_0, \text{В}$							$\langle U_0 \rangle$
$d, \text{мм}$							

5. В області максимальної чутливості провести по три вимірювання U_0 для чотирьох різних значень ширини d вхідної щілини монохроматора при незмінній довжині хвилі λ . Дані записати у табл.3.

Завдання 3. Перевірка закону Столстова

6. Переміщенням конденсора досягти рівномірної освітленості вхідного вікна монохроматора.

7. За даними табл.1 (або за вказівкою викладача) подати на фотоелемент напругу U_n і виміряти значення струму насичення i_n для п'яти різних значень ширини d вхідної щілини монохроматора. Результати занести до табл.4.

Таблиця 4

d , мм				
i , мкА				

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. За даними табл.1. на міліметрівці побудувати ВАХ фотоелемента, вказавши на графіку значення U_0 , U_n , i_n , λ .

2. За даними табл. 2 розрахувати середні значення $\langle U_{0i} \rangle$ для кожного значення ν_i та занести їх у табл .2.

3. Використовуючи середні значення $\langle U_{0i} \rangle$, побудувати графік залежності $U_0(\nu)$.

4. За допомогою графіка $U_0(\nu)$ за формулою (6) визначити значення постійної Планки.

5. Знайти відносну похибку результату порівняно з табличним значенням h .

6. За даними табл.3 розрахувати середні значення $\langle U_0 \rangle$ для кожного значення ширини щілини d і занести їх у табл.3. Зробити висновок про залежність U_0 від інтенсивності світла, що опромінює.

7. За даними табл.4 побудувати графік залежності $i_n(d)$ і зробити висновок про здійсненність закону Столетова. У разі помітного відхилення від лінійної залежності $i_n(d)$ проаналізувати можливі причини порушення лінійності.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке зовнішній фотоефект? Запишіть та поясніть рівняння Ейнштейна.
2. Які факти свідчать про наявність у фотоелектронів початкової кінетичної енергії?
3. Чому фотоелектрони виходять із металу з різною швидкістю? Від чого і як залежить максимальна швидкість фотоелектронів?
4. Від чого і як залежить потік фотоелектронів, тобто кількість електронів, що вириваються світлом за одиницю часу?
5. Що таке "червона межа" фотоефекту і від чого вона залежить? Запишіть рівняння Ейнштейна для фотоефекту з металу, для якого частота (довжина хвилі) червоної межі складає $\nu_0(\lambda_0)$.
6. Зобразіть загальний вигляд ВАХ фотоелемента і поясніть залежність $i(U)$ в області зворотніх напруг $U < 0$. Що таке затримуючий потенціал U_0 і чим визначається його значення при заданій частоті світла?
7. Запишіть вираз залежності $U_0(\lambda)$ для фотокатода з роботою виходу A .
8. Зобразіть сімейство ВАХ фотоелемента при опроміненні його світлом постійної інтенсивності I та з частотами $\nu_1 = \nu_0$; $\nu_2 = 2\nu_0$; $\nu_3 = 3\nu_0$ (ν_0 – частота червоного кордону фотоефекту).
9. Зобразіть графік залежності затримуючого потенціалу від частоти опромінюючого світла. Як за цим графіком визначити постійну Планка h ?

10. Як за графіком залежності $U_0(\nu)$ можна довести, що при частотах опромінюючого світла $\nu_1 < \nu_0$ (ν_0 - червона межа) фотоефект неможливий? 11. Зобразіть загальний вигляд ВАХ фотоелементу і поясніть залежність $i(U)$ в області прямих напруг ($U \geq 0$). Чим визначається значення струму насичення i_n за заданої інтенсивності світла?

12. Зобразіть сімейство ВАХ фотоелементу при опроміненні світлом постійної частоти ν та з інтенсивностями $I_1 = I$; $I_2 = 2I$; $I_3 = 3I$.

13*. Два фотоелементи мають електроди у формі кульки та концентричної їйому сфери. В одного фотоелемента сфера - фотокатод, а в іншого - анод. Фотоелементи опромінюються світлом із заданою частотою ν так, що струми насичення однакові. Зобразіть на одному рисунку приблизний вигляд ВАХ фотоелементів та поясніть їхню відмінність.

14*. У використаному в роботі фотоелементі фотокатод є плоскою пластинкою, а анод - рамку з тонкого дроту, розташовану по периметру катода на невеликій відстані від його площини. Чому така форма електродів призведе до великої похибки щодо h методом затримуючого потенціалу? Визначте характер цієї похибки: систематична чи випадкова; перевищення чи недолік?

15*. Відповідно до уявлень класичної фізики світло - це безперервна електромагнітна хвиля, електричне поле якої в заданій точці простору змінюється за законом $E(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi)$, де $\omega = 2\pi\nu$ - циклічна частота світла. Виходячи з такої точки зору відповісти на наступні питання та зіставити їх з даними отриманими дослідним шляхом:

а) чи можливе у принципі явище фотоефекту?

б) від чого і як має залежати кінетична енергія фотоелектронів?

в) від чого і як має залежати кількість електронів, що вириваються світлом за одиницю часу?

г) чи має існувати червона межа фотоефекту?

д) чи можливий фотоефект за дуже малих інтенсивностей опромінюючого світла?

16 *. Оцініть час затримки τ фотоефекту в рамках квантового та класичного механізмів цього явища. Зіставте отримані оцінки з експериментальними фактами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кобушкін О.П. Атомна фізика- К., КПІ ім. Ігоря Сікорського 2018
2. Кучерук І.М., Горбачук І.І., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Оптика, квантова фізика.– К: Техніка, 2011.
3. Лопатинський І.Є., Зачек І.Р., Ільчук Г.А., Романишин Б.М. Фізика. Підручник. — Львів: Львівська політехніка, 2009. -385 с
4. В.П.Бригінець, О.О.Гусева, І.В.Лінчевський, Н.О.Якуніна, Вивчення зовнішнього фотоефекту, НТТУ КПІ, 2011. – 10с

Додаток 1.

Універсальний призмовий монохроматор УМ - 2

Призначення. Спектральні прилади призначені для аналізу складного випромінювання, безпосередньо випромінюваного різними тілами або утворених в результаті взаємодії випромінювання з речовиною. Ці дослідження проводяться в широкому діапазоні довжин хвиль від далекої ультрафіолетової області до міліметрових радіохвиль. Спектральні прилади дозволяють:

- розкласти досліджуване випромінювання в спектр, тобто розташувати по довжинах хвиль випромінювання, яке потрапляє на вхід приладу;
- зафіксувати положення окремих ділянок спектра або віддалених спектральних ліній;
- виміряти інтенсивність якої-небудь ділянки спектра або спектральної лінії.

Відповідно до положення ліній в спектрі, тобто по довжинах хвиль, можна судити про переходи між рівнями енергії і внутрішню будову атомів і молекул, а за інтенсивністю ліній - про можливості переходів між окремими рівнями. Інтенсивність спектральних ліній визначається також числом випромінюючих атомів і молекул, що дає можливість визначити зміст окремих елементів і молекулярних сполук в досліджуваній речовині.

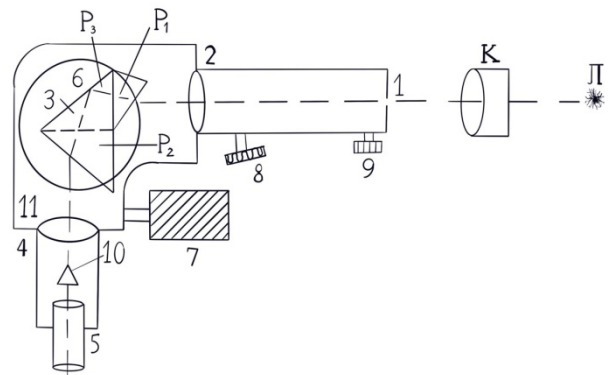
За формою контуру спектральних ліній можна зробити висновок про характер взаємодії між частинками, про вплив електричних і магнітних полів, а також про температуру, при якій відбувається випромінювання. Таким чином спектральні прилади досліджують випромінювання як сигнал, що посилюється за певних умов речовиною і дає інформацію про його будову..

Монохроматор - спектральний оптико-механічний прилад, призначений для виділення монохроматичного випромінювання. Принцип роботи заснований на дисперсії світла.

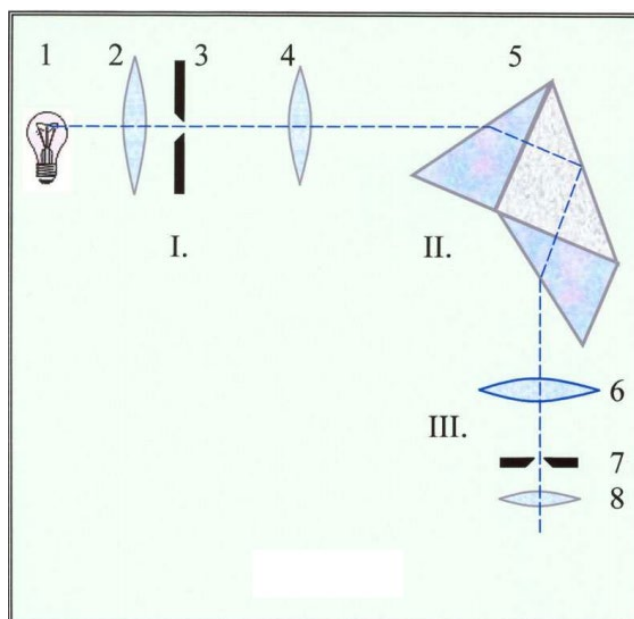
Монохроматор УМ-2 призначений для проведення спектральних досліджень джерел світлового випромінювання, проведення якісного спектрального аналізу і вивчення спектральних залежностей коефіцієнтів відображення, прозорості і поглинання різних середовищ.

Спектральний діапазон монохроматора УМ-2 становить від 400 до 1000 нм.

Загальний опис. Монохроматор складається з двох труб і призмного блоку, розміщених на двох оптичних рейках. Труби монохроматора УМ-2 розташовані під кутом 90° , а оптичні осі вхідної і вихідної труб монохроматора йдуть паралельно рейкам.



Оптична схема спектрального приладу в загальному випадку складається з наступних основних частин: I - освітлювальної; II - диспергуючої; III - приймально-реєструючої.



Освітлювальний пристрій призначений для створення досить сильного і рівномірного освітлення щілинної діафрагми 3 досліджуваним випромінюванням. В освітлювальну частину входять джерело випромінювання (1) і конденсор (2), який проектує зображення джерела на вхідну щілину 3 коліматора. Диспергуюча частина II слугує для розкладання в спектр направлено з коліматора паралельного пучка променів. Вузька щілинна вхідна діафрагма (3) встановлена в фокальній площині об'єктива (4) коліматора. Коліматор спрямовує паралельні пучки променів на диспергуючий елемент (5), в якості якого застосовують дисперсійні призми і дифракційні решітки. Пристрій приймально-реєструючої частини (III) залежить в першу чергу від призначення спектрального приладу.

Приймально - реєструючий пристрій при візуальному методі спостереження являє собою зорову трубу. Вона складається з об'єктива (6) і окуляра (8). Між об'єктивом і окуляром розташований показчик (7). У сучасних спектральних приладах спектральне розкладання здійснюється за допомогою диспергуючих систем, що складаються з декількох призм. Така оптична система дозволяє отримати велику дисперсію, а також змінювати кути відхилення

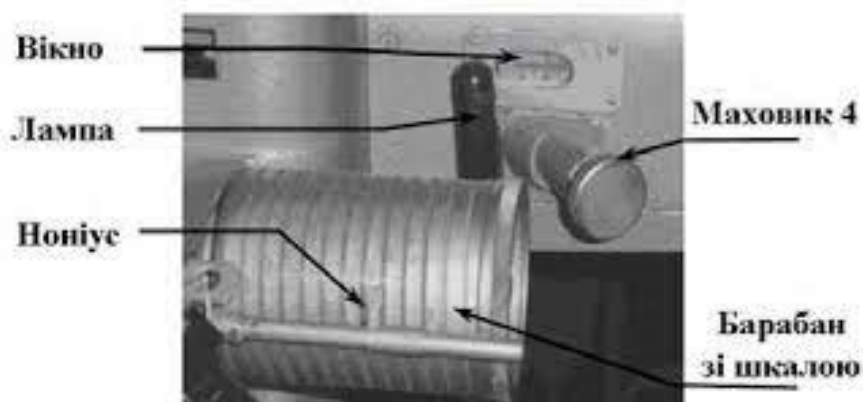
променів. На схемі представлена призма Аббе, що представляє собою блок з трьох склеєних прямокутних призм.

Скляно-призменний монохроматор-спектрометр УМ-2 призначений для спектральних досліджень в діапазоні від 3800 до 10000 Å. До складу приладу входять такі основні частини (рис):

Вхідна щілина (1), забезпечена мікрометричним гвинтом (2), який дозволяє відкривати щілину на потрібну ширину.

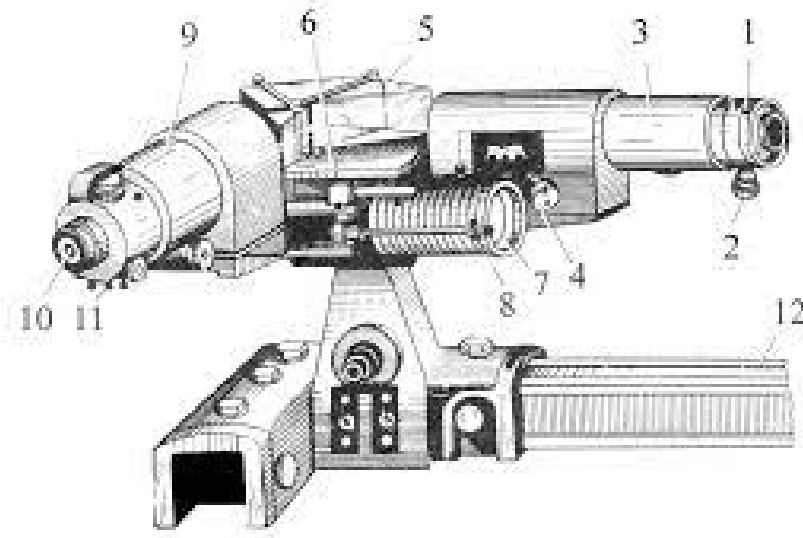
Колімаційний об'єктив (3) служить для створення паралельного пучка променів. Він забезпечений мікрометричним гвинтом (4). Гвинт дозволяє зміщувати об'єктив відносно щілини при фокусуванні спектральних ліній різних кольорів. Складна спектральна призма (5) встановлена на поворотному столику (6). Призма (5) складається з трьох склеєних призм. Поворотний столик (6) обертається навколо вертикальної осі за допомогою мікрометричного гвинта з відліковим барабаном (7).

На барабан нанесена гвинтова доріжка з градусними поділками. Уздовж доріжки ковзає покажчик повороту барабана (8).



При обертанні барабана призма повертається, і в центрі поля зору з'являються різні ділянки спектру. Зорова труба складається з об'єктива (9) і окуляра (10). Об'єктив дає зображення вхідної щілини (1) в своїй фокальній площині. У цій площині розташований покажчик (11). Зображення розглядають

через окуляр (10). Монохроматор укладений в масивний корпус, що оберігає прилад від пошкоджень і забруднень. Прилад також оснащений оптичною лавою (12), на якій можуть переміщатися Рейтери з джерелом світла. Джерело світла рекомендується розташовувати на відстані 45 см від щілини.

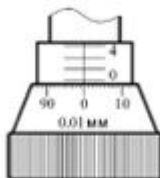


Загальний вигляд спектрометра УМ-2

Принцип дії. Промені різних довжин хвиль відхиляються призмою на різні кути і виходять з неї паралельними пучками, відмінними від оптичної вісі. Столик, на якому встановлена призма, робиться поворотним і обертається барабаном з відліками довжин хвиль.

Це дозволяє вивести на оптичну вісь приладу паралельний пучок променів певної довжини. При цьому кут 90° між входними в призму і вихідними пучками даної довжини хвилі зберігається. Ахроматичний об'єктив камери збирає все паралельні промені різних довжин хвиль в своїй фокальній площині. Окуляр слугує для візуального відліку положень спектральних ліній. У комплект приладу входять змінні вихідна щілина і окуляр.

Вихідна щілина встановлюється на перетині оптичної вісі приладу і фокальної площині об'єктива камери. За щілиною ставлять фотоприймач і реєструючий прилад. Повертаючи барабан довжин хвиль (і призму) і фіксуючи показання приладу, можна зняти спектр.



Барабан установки ширини щілини монохроматора

Для індикації променя, що йде уздовж оптичної вісі приладу, в фокальній площині об'єктива камери встановлюється голка, силует якої видно через окуляр разом із зображеннями спектральних ліній.



Вигляд поля зору окуляра з набором спектральних ліній і покажчиком

Та з ліній, яка збігається з вістрям голки, виведена на оптичну вісь приладу. Її положення фіксується на барабані довжин хвиль проти риски покажчика поділів. Поворотом за годинниковою стрілкою барабанчика установки ширини вхідної щілини щілину можна відкривати, в зворотну сторону - закривати. Соті частки міліметра вказані на верхньому торці барабанчика вертикальними штрихами. При установці щілини потрібну поділку поєднують з вертикальною лінією на основі барабанчика. П'ять горизонтальних рисок на основі відповідають первісному розкриттю щілини на 0-1-2-3-4 мм. Один повний оберт

барабанчика відповідає відкриттю щілини на 1 мм. Щоб встановити необхідну ширину, необхідно:

1. повертаючи барабанчик, поєднати його верхній край з горизонтальною лінією заданого числа цілих міліметрів;
2. повертаючи барабанчик за годинниковою стрілкою, встановити соті частки міліметра дещо більше (на 0,10-0,20), ніж потрібно. Потім повернутися назад і точно встановити задану ширину щілини. Такий порядок обумовлений тим, що ходовий гвинт будь щілини має "мертвий хід", а щілину під час градування під мікроскопом встановлюється на 0 при її закриванні.

Окуляр приладу має накатане кільце, обертанням якого можна домогтися різкого зображення спектра і голки-показчика в полі зору окуляра.

Спектрометр УМ - 2 відноситься до числа точних приладів. Він вимагає дбайливого і обережного поводження!