

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО ФОТОЕЛЕМЕНТУ

Петро ФЕДОРЕНКО, Геннадій ШИШКІН

У статті наводиться опис схеми та принцип дії саморобного лабораторного стенду для вимірювання властивостей вакуумного фотоелементу. Розглядається методика вивчення законів фотоелементу, визначення сталої Планка.

Description of scheme and principle of action of homemade laboratory device for measuring of vacuum photoelement's properties is considered in the article. The methods of study of photoelement's laws, defining Plank's are described in the work.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток науки, техніки й технологій зумовлює пошук і впровадження нових підходів підготовки фахівців технічних галузей. Саме ці чинники ставлять завдання в підвищенні рівня підготовки з фізики, оскільки відомо, що фізика є фундаментом більшості сучасних виробництв.

Вимоги суспільства до сучасної середньої та вищої освіти зумовлюють низку проблем. З одного боку, перехід середньої освіти на профільне навчання потребує нового навчального обладнання, з другого – економічна ситуація в країні не дозволяє в достатній мірі фінансувати придбання сучасного обладнання для кабінетів фізики навчальних закладів. Недостатня забезпеченість фізичних кабінетів обладнанням не дозволяє повною мірою реалізувати необхідний дидактичний рівень проведення навчального фізичного експерименту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання організації та проведення фізичного експерименту, його методичного і технічного забезпечення відображені у працях Л.І. Анциферова, С.П. Величко, Ю.М. Галатюка, Є.В. Коршака, В.Г. Нижника.

Проблемам залучення студентів до пізнавальної, дослідницької діяльності присвячені праці П.С. Атаманчука, А.В. Касперського, О.І. Ляшенка, М.І. Шута.

Експериментальне дослідження вакуумних фотоелементів та законів зовнішнього фотоелементу розглянуто в роботах [3, 4, 5]. Аналіз літератури свідчить про важливість подальшого вдосконалення експериментальних методів при навчанні фізики.

Формулювання цілей статті. Метою статті є ознайомлення викладачів та вчителів фізики з саморобним стендом для дослідження зовнішнього фотоелементу, характеристик вакуумних фотоелементів, з методикою та результатами проведеного експерименту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Викладання фізики в класах фізико-математичного профілю та на фізичних спеціальностях вищих навчальних закладів вимагає формування навичок експериментальної та науково-дослідної діяльності. Оволодіння експериментальними методами сприяє більш глибокому засвоєнню студентами теоретичного матеріалу, а також формуванню теоретичних методів пізнання.

Експериментально-дослідницька діяльність формує в студентів і учнів уміння користуватися вимірювальними приладами, спостерігати фізичні явища та процеси, виявляти суттєві ознаки, уміння аналізувати результати проведеного експерименту.

Основна мета фізичного експерименту в загальноосвітній школі – формування первинних навичок вимірювання, експериментальної перевірки законів що вивчаються. Тому до шкільного фізичного обладнання висувають менш жорсткі вимоги щодо точності вимірів. Основна мета фізичних практикумів у вищих навчальних закладах – підготовка студентів до планування та самостійного проведення експерименту, підготовка майбутніх фахівців до науково-дослідницької діяльності. Певною мірою це стосується учнів фізико-математичних класів. Тому фізичне обладнання навчальних закладів повинне забезпечити більш високу точність вимірів і достовірність отриманих результатів.

В умовах недостатнього фінансування навчальних закладів одним з варіантів розв'язання цієї проблеми ми бачимо в використанні саморобних фізичних приладів в навчальному експерименті.

В питанні розробки та виготовлення саморобних приладів є багато позитивних моментів. Залучення студентів та учнів до конструювання приладів сприяє розвитку спостережливості, уваги, більш глибокому розумінню суті фізичних явищ. При виготовленні приладів формується технічне мислення, конструкторські навички які необхідні в подальшій професійній діяльності майбутніх фахівців.

Питанню розробки, виготовленню та використанню в навчальному процесі фізичних приладів завжди приділялась значна увага з боку викладачів, учителів, вчених. На сьогоднішній день це питання залишається особливо актуальним.

Для вдосконалення лабораторного обладнання та методики проведення фізичного експерименту нами розроблено і виготовлено лабораторний стенд для дослідження вакуумних фотоелементів та вивчення законів зовнішнього фотоелефекту. Лабораторний стенд що пропонується, може бути виготовлено на заняттях фізико-технічних гуртків. Стенд можна використовувати як у вищих навчальних закладах, так і в лабораторному практикумі загальноосвітніх шкіл.

Лабораторний стенд (рис. 1), що пропонується, дозволяє ознайомитись з фізичними принципами дії вакуумного фотоелементу, вивчити його основні характеристики і параметри, дослідити основні закони зовнішнього фотоелефекту.

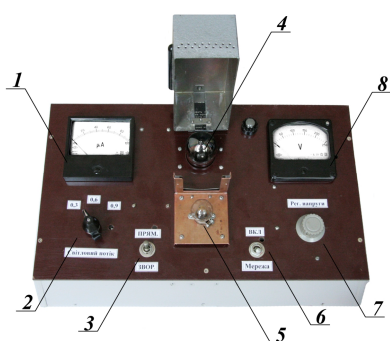


Рис. 1. Стенд для дослідження зовнішнього фотоелефекту: 1 – мікроамперметр; 2 – перемикач освітленості фотоелементу; 3 – перемикач прямої та зворотної напруги; 4 – фотоелемент; 5 – джерело світла; 6 – вимикач живлення; 7 – регулятор напруги; 8 – вольтметр.

Використовуючи дані, отримані в експериментальному дослідженні фотоелементу СЦВ-4 студент зможе провести розрахунок роботи виходу й червону межу матеріалу фотокатода, побудувати світлову та спектральну характеристики, а також визначити сталу Планка.

Функціональна схема стенду зображена на рисунку 2. Для дослідження прямої гілки вольт-амперної характеристики фотоелементу (перемикач SA2 на схемі ввімкнуті) за допомогою резистору R_3 змінюється напруга на аноді від 9 до 250 В, яка фіксується вольтметром PU. При цьому мікроамперметр PA дозволяє вимірювати прямий струм від 0 до 100 мкА. За допомогою перемикача SA1 змінюється освітленість фотокатода, це дозволяє одержати сімейство світлових характеристик при $E_1 = 0,9 \text{ Вт/м}^2$; $E_2 = 0,6 \text{ Вт/м}^2$; $E_3 = 0,3 \text{ Вт/м}^2$.

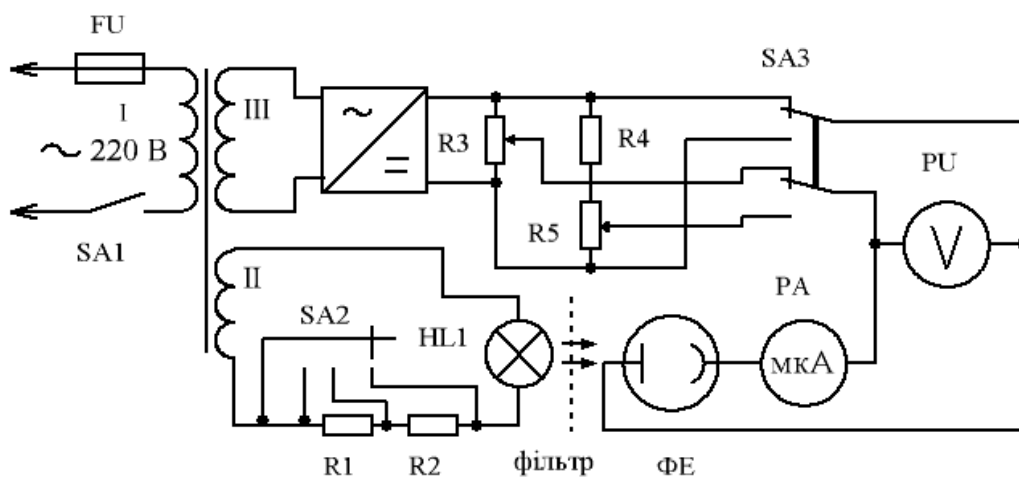


Рис. 2. Функціональна схема стенду

Встановлюючи світлофільтри що пропускають світло різної частоти можна зняти спектральну характеристику фотоелемента.

Для дослідження вольт-амперної характеристики при зворотній напрузі на електродах фотоелементу необхідно мати вольтметр з межею вимірювання до 2,5 В та

мікроамперметр зі струмом повного відхилення 1мкА. Ці умови потребують суттєвої доробки вказаної вище схеми стенду.

Робочий варіант електричної схеми стенду, що дозволяє провести всебічне дослідження вакуумного фотоелементу зображено на рисунку 3.

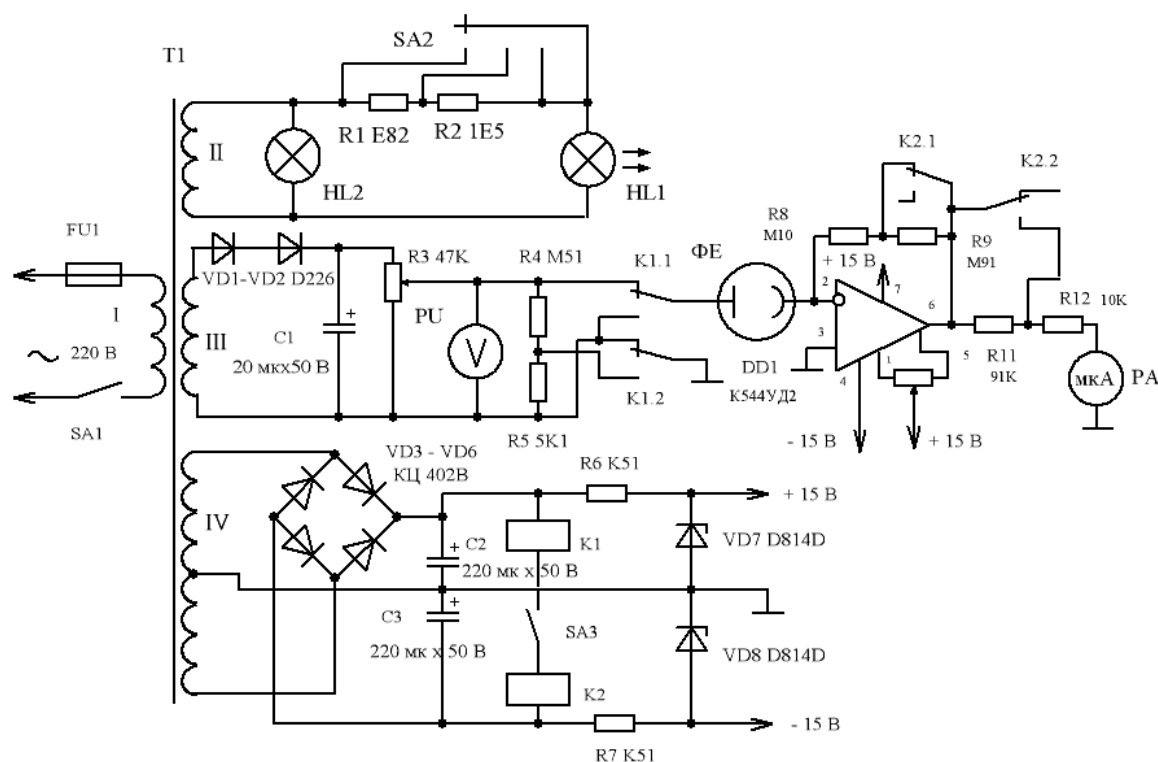


Рис. 3. Принципова схем стану

Всі необхідні напруги живлення схеми стану одержують за допомогою трансформатора T_1 , який виготовлено з Ш-образного осердя з поперечним перерізом 6 см^2 . Мережева обмотка має 1540 витків дроту ПЕВ-1 діаметром $0,14 \text{ мм}$. Обмотка II містить 92 витки дроту діаметром $0,72 \text{ мм}$. Обмотка III, яка живить коло аноду фотоелементу має 1280 витків дроту діаметром $0,12 \text{ мм}$ і обмотка IV, яка живить коло комутації складається з 2 секцій по 150 витків.

В якості джерела світла застосовуються лампа розжарювання HL1 (12В, 1,6А). Лампа HL2 – індикатор підключення лабораторного стану до мережі.

Електромагнітні реле K1, K2 (РЭС4.524.200) здійснюють одночасне переключення полярності джерела живлення фотоелементу й меж вимірювання вольтметра та амперметра. В електричній схемі стану використовується вольтметр типу M4200 ($0 \div 250 \text{ В}$), мікроамперметр типу M2003 ($0 \div 100 \mu\text{кА}$). Масштабування показань вольтметра PU (при зворотному включенні його гранична межа складає $2,5 \text{ В}$) здійснюється за допомогою дільника на резисторах $R_4 - R_5$. Підвищення чутливості мікроамперметра PA у 100 разів здійснюється за допомогою підсилювача постійного струму на інтегральній мікросхемі K544УД2, яка працює в ультра лінійному режимі. За його допомогою верхня межа

вимірювань струму приладу PA при дослідженні зворотної гілки вольт-амперної характеристики складає 1 мкА . Керування режимом роботи стану (пряме – зворотне включення) здійснюється за допомогою одного тумблера SA3. В обох режимах регулювання напругою здійснюється за допомогою потенціометра R_3 .

Дослідження проводили для різних довжин світлової хвилі що падала на катод фотоелементу. В нашому експерименті ми застосовували зелене світло з довжиною хвилі $\lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ (частота $\nu = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$) та світло синього кольору довжиною хвилі $\lambda = 420 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ (частота $\nu = 0,715 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$).

Для дослідження прямої гілки вольт-амперної характеристики в тримач, який розташований між фотоелементом та освітлювальною лампою, встановлюємо зелений світлофільтр. Перемикач SA2 встановлюємо в положення максимальної освітленості фотоелементу. В даному випадку освітленість складає $E_1 = 0,9 \text{ Вт/м}^2$. Змінюємо напругу на фотоелементі в межах від 0 до 250 В. Знімаємо залежність фотоструму від напруги для зеленого світла.

Аналогічні вимірювання проводимо для освітленості $E_2 = 0,6 \text{ Вт/м}^2$ та $E_3 = 0,3 \text{ Вт/м}^2$, для цього перемикач SA2 встановлюємо у відповідні положення.

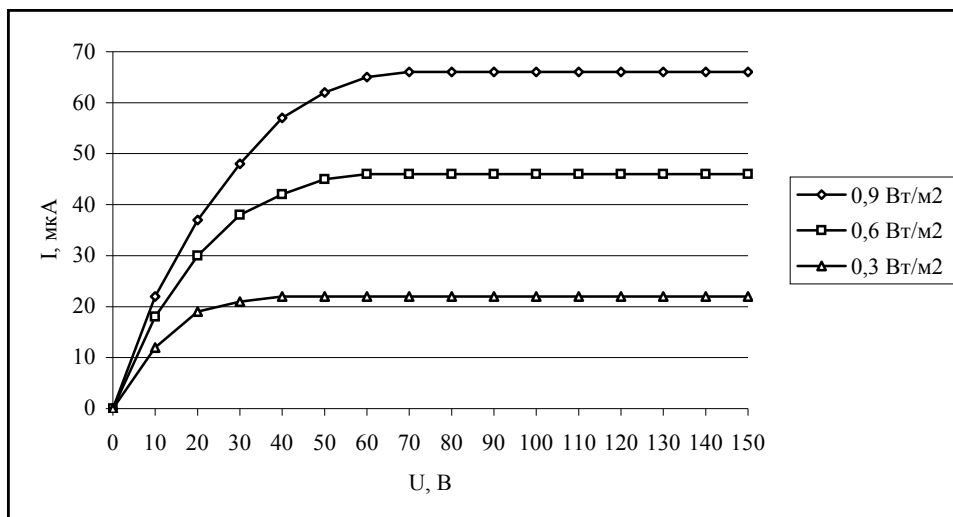


Рис. 4. Залежність сили струму від освітленості для зеленого світла

За результатами експерименту будуюмо графіки (рис. 4) залежності сили фотоструму від освітленості фотоелементу і визначаємо для кожного випадку струм насичення.

Для зняття вольт-амперної характеристики фотоелементу при зворотній напрузі перемикаємо перемикач SA3 в положення

«Зворот». В цьому положенні контакти реле K1, K2 (K1.1, K1.2, K2.1, K2.2) підключають фотоелемент і підсилювач постійного струму (DD1) для зняття зворотної гілки вольт-амперної характеристики. За експериментальними даними будуюмо графік (рис. 5) характеристики.

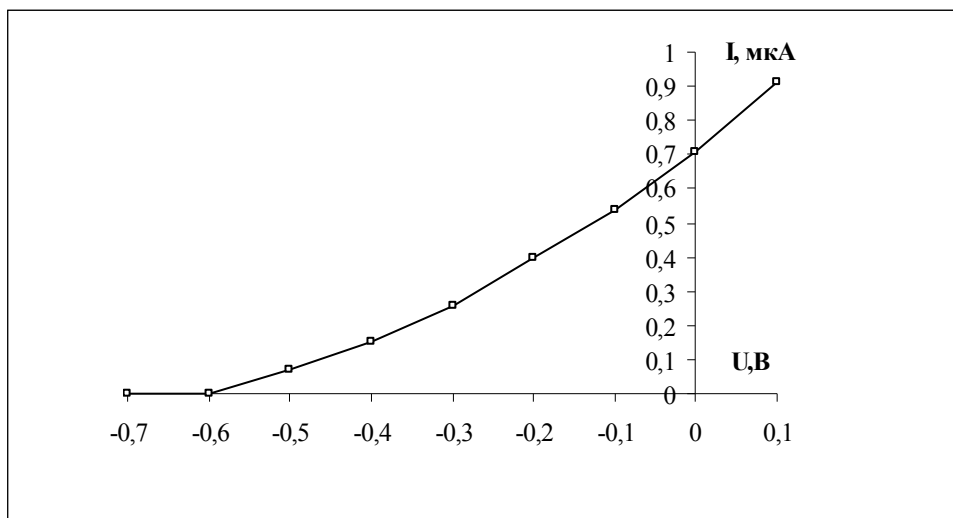


Рис. 5. Вольт-амперна характеристика для зворотної напруги

Підсилювач постійного струму (DD1), який застосовується в схемі, забезпечує високу чутливість приладу при вимірюванні слабких фотострумів.

За графіком (рис. 5) визначаємо значення зворотної напруги при якій струм фотоелементу буде дорівнювати нулю. В нашому експерименті ми отримали значення напруги що запирає фотоелемент $U_3 = 0,58$ В. Враховуючи, що $mv^2/2 = eU_3$ і підставив у формулу Ейнштейна для фотоефекта

$$h\nu = A_{вих} + mv^2/2, \quad (1)$$

отримаємо вираз

$$h\nu = A_{вих} + eU_3. \quad (2)$$

З формули (1) знайдемо роботу виходу електрона з катода фотоелемента за формулою $A_{вих} = h\nu - eU_3. \quad (3)$

Враховуючи, що стала Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с знайдемо роботу виходу $A_{вих} = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 0,6 \cdot 10^{15} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,58 = 3,05 \cdot 10^{-19}$ (Дж).

Аналогічні дослідження проводимо для синього світла з довжиною хвилі $\lambda = 420 \cdot 10^{-9}$ м при частоті $\nu = 0,715 \cdot 10^{15}$ Гц. За результатами експерименту будуюмо графіки залежності фотоструму від освітленості (рис. 6) та залежність фотоструму від зворотної напруги (рис. 7).

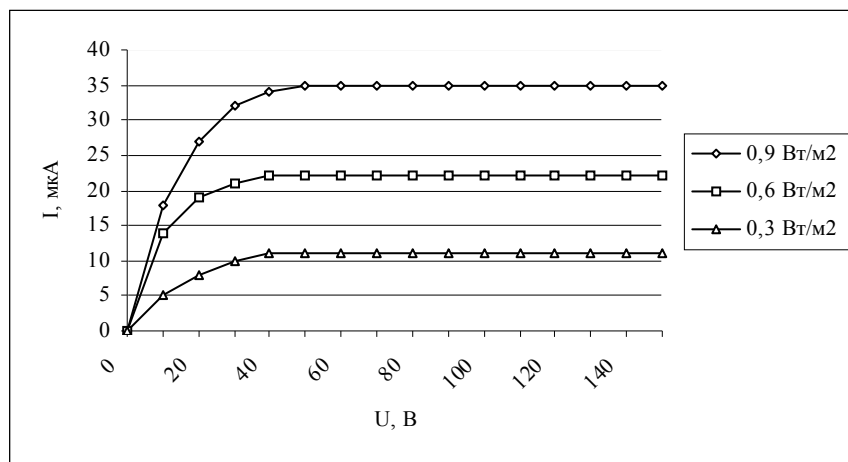


Рис. 6. Залежність сили струму від освітленості для синього світла

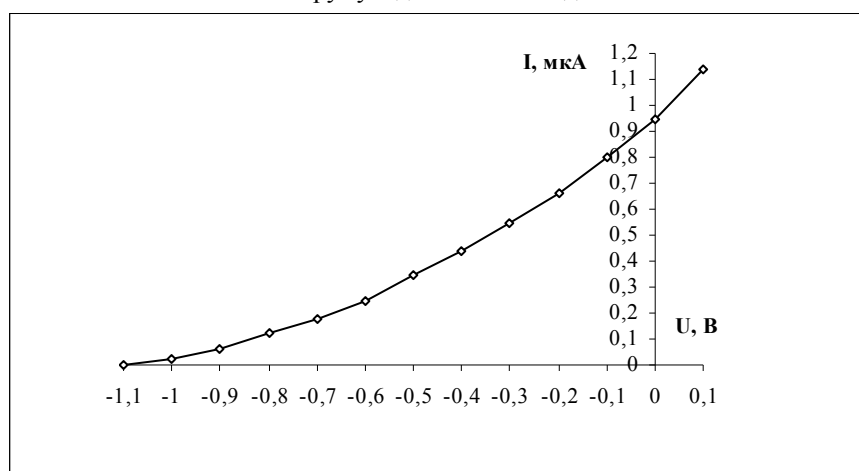


Рис. 7. Вольт-амперна характеристика для зворотної напруги

За графіками (рис. 6) знаходимо струм насичення фотоелементу для синього світлофільтру. З графіку (рис. 7) залежності фотоструму від зворотної напруги знаходимо значення напруги, що утримує фотоелектрони на поверхні катода фотоелементу ($U_3 = 1,05$ В). За формулою (3) знаходимо роботу виходу електрона з поверхні катода фотоелементу що досліджується.

$$A_{вих} = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 0,715 \cdot 10^{15} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,05 = 3,06 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)}$$

Отримані значення роботи виходу електрону достатньо точно співпадають з табличними даними матеріалу катода фотоелементу що досліджується.

Для того, щоб оцінити значення сталої Планка будемо графік залежності U_3 від частоти світла ν (рис. 8). Екстраполяція графіка до перетинання з віссю U_3 дає змогу визначити потенціал виходу $\phi_{вих}$ електрону з поверхні катода, перетинання в вісь частоти ν – визначити граничну частоту $\nu_{гр}$ матеріалу фотокатода. За результатами нашого експерименту гранична частота $\nu_{гр} = 0,45 \cdot 10^{15}$ Гц.

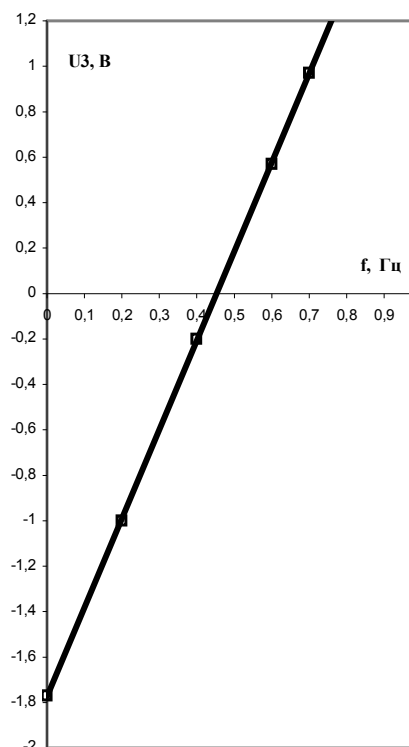


Рис. 8.

Сталу Планка оцінюємо за кутом нахилу прямої графіку до вісі частот.

Враховуючи що $mv^2/2 = eU_3$ та $hv_{ep} = A_{вих}$ і підставивши ці значення в формулу (1) маємо $hv = hv_{ep} + eU_3$ (4).

$$\text{З формули (4) знаходимо } U_3 = \frac{h(\nu - \nu_{ep})}{e}.$$

(5) З графіку (рис. 7) знайдемо $tga = U_3/(\nu - \nu_{ep})$. (6)

Підставимо (5) в формулу (6) і одержимо $tga = h/e$, звідки $h = e tga$.

Враховуючи масштаб вісі частот отримуємо кінцеву формулу $h = e \cdot 10^{-15} tga$. (7)

За результатами експерименту кут нахилу прямої дорівнює $\alpha = 76^\circ$. Підставимо значення e та α в формулу (7) і отримаємо $h = 6,4 \cdot 10^{-34}$ Дж.

Висновки. Попередні випробування розробленого стенду та отримані експериментальні результати підтвердили надійність в роботі та достатньо високу точність вимірів. Використання стенду в лабораторному практикумі, на нашу думку, значно підвищить ефективність навчального процесу при вивченні законів зовнішнього фотоелефекту та принципу роботи фотоелементів. Стенд можна застосовувати як в курсі фізики, так і електроніки.. Електрична схема стенду

виконана з доступних радіоелектронних компонентів, може бути повторена зі збереженням усіх технічних показників.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бойко М.П. та ін.. Фізико-технічна творчість учнів: навч. посіб. / М.П.Бойко, Є.В.Венгер, О.В.Мельничук. – К.: Вища шк., 2007. – 262 с.
2. Гуржій А.М., Величко С.П., Жук Ю.О. Фізичний експеримент у загальноосвітньому навчальному закладі (організація та основи методики): Навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 303 с.
3. Лабораторный практикум по физике: Учеб. Пособие для студентов вузов /Б.Ф.Алексеев, К.А.Барсуков, И.А.Войцеховская и др.; под ред. К.А.Барсукова и Ю.И.Уханова. – М.: Высш. шк., 1988. – 351 с.
4. Стахів П.Г., Коруд В.І. Гамола О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування: навчальний посібник. – Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2002. – 129 с.
5. Цілінко М.Г. Саморобні електронні прилади. – Киев.: «Радянська школа», 1990. – 141 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Шишкін Геннадій Олександрович – кандидат педагогічних наук, доцент, декан фізико-математичного факультету Бердянського державного педагогічного університету.

Наукові інтереси: сучасні проблеми дидактики фізики, розвиток творчих здібностей учнів та студентів у процесі навчання фізики.

Федоренко Петро Петрович – старший викладач кафедри прикладної фізики Бердянського державного педагогічного університету.

Наукові інтереси: сучасні проблеми методики навчання радіоелектроніки.

ІДЕАЛЬНІ НАВЧАЛЬНІ ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ У МОДУЛІ “КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ” КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ НЕФІЗИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Володимир ФОМЕНКО

Розглянуто проблему навчальної інтерпретації модельного характеру фізичного знання на матеріалі модулю “коливання та хвилі” загального курсу фізики. Обговорюються структура базисних моделей модулю.

The problem of educational interpretation of modelling character of physical knowledge on a material of the module “oscillations and waves” of a training course of physics is considered. The structure of basic models of the module is discussed.

Модельний статус фізичної науки знання є її невід’ємною, сутнісною властивістю. Це означає, що універсальним засобом формування фізичного знання є виділення головного, фізично сутнісного змісту, який є однаковим, загальним для певної значної кількості індивідуально різних об’єктів, процесів та явищ реальності і створення на ґрунті цього змісту їхніх ідеальних фізичних образів. Критерієм такого виділення є та задача, котра ставиться як мета фізичного дослідження.

Ця розумова процедура називається фізичним моделюванням, а отримані ідеальні образи – фізичними моделями. У фізичних моделях реальні системи, процеси, явища постають у фізично чистому вигляді, вільному від несуттєвих деталей і доступному для застосування математичних методів аналізу. Це означає, що переважна більшість фізичних понять та законів (за винятком фундаментальних понять та фундаментальних законів) мають модельний характер, тобто ці поняття та закони можуть бути адекватно використані тільки у границях деякої фізичної моделі або певної групи моделей /1/.

Модельна природа фізичного знання потребує відповідного відображення у явному вигляді у фізичній освіті, зокрема і для нефізичних спеціальностей. Таким чином існує **проблема** відтворення у навчальному курсі