

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип роботи термоелектричних пристроїв.
2. Обґрунтуйте принцип роботи пристрою та його будову.
3. Яким чином можна визначити тип провідності матеріалу?
4. У чому полягає суть ефекту Зеебека?
5. Дайте означення термо-ЕРС.

Список використаних джерел

1. *Анатъчук Л.И.* Термоэлементы и термоэлектрические устройства. — К.: Наукова думка, 1979. — 768 с.

2. *Городецкий А.Ф., Кравченко А.Ф., Самойлов Е.М.* Основы физики полупроводников и полупроводниковых приборов. — Новосибирск: Наука, 1966. — 350 с.
3. *Епифанов Г.И.* Физика твердого тела. Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1977. — 288 с.
4. *Семенюк В.А., Бевз В.А., Гармашов А.В.* // Физическая электроника. — Львов. — 1990. — № 40. — С. 18-22.
5. *Шперун В.М., Фрейк Д.М., Запужляк Р.І.* Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів. — Івано-Франківськ: Плай, 2000. — 250 с.
6. *Стильбанс Л.С.* Физика полупроводников. — М.: Советское радио, 1967. — 452 с.

Лисак В.А.

Запорізький обласний інститут післядипломної педагогічної освіти

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА: ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВОХ ТОВСТИХ (РЕАЛЬНИХ) СФЕРИ НИХ ЛІНЗ

У статті запропоновано експериментальний метод визначення кардинальних (головних) точок та кардинальних (головних) площин системи лінз.

In article is offered the experimental method for determination of cardinal points and cardinal planes of lenses system.

Нині діюча програма шкільного курсу фізики в 11 класі для поглибленого вивчення фізики за рівнем С в темі “Світлові хвилі та оптичні прилади” передбачає вивчення оптичних приладів, побудованих на системах лінз (фотоапарат, проєкційний апарат, мікроскоп, телескоп). Однак постає **проблема**: чи можна експериментально дослідити оптичну систему, складену з декількох лінз?

Останнім часом інноваційну технологію графічної візуалізації лій для оптичних лінз застосував А.І.Павленко для експериментального дослідження оптичної сили системи *тонких* лінз [1]. У статті А.І.Павленко пропонує експериментально застосувати для системи *тонких* лінз прийом побудови еквівалентної *тонкої* лінзи не лише для найпростішої системи з двох тонких лінз, але й для багатолінзових систем. Проте, як пише сам автор, для багатолінзових систем побудови і обчислення значно ускладнюються через багаторазове послідовне застосування описаної технології: спочатку треба побудувати еквівалентну тонку лінзу для перших двох лінз системи, потім — для їх еквівалентної лінзи і третьої і т.д.

На нашу думку для усвідомлення реальних процесів, що відбуваються в оптичних системах потрібно розглядати поняття головних площин та головних точок товстої лінзи (системи лінз). У зв'язку з цим в лабораторній роботі “Дослідження оптичної системи з двох товстих (реальних) сферичних лінз” ми пропонуємо доступний для учнів середніх шкіл експериментальний метод визначення головних (кардинальних) точок і головних (кардинальних) площин системи лінз. Пропоноване дослідження не потребує складного обладнання і ґрунтується на застосуванні методу графічної візуалізації лій [2] до циліндричних фрагментів лінз.

Ми згодні з А.І.Павленком, що у багатолінзових системах спостерігати графічні лінії стає важко. Незважаючи на це запропонований нами експериментальний метод визначення положення головних (кардинальних) точок і головних (кардинальних) площин системи лінз дозволяє дуже просто обчислити оптичну силу системи лінз незалежно від кількості лінз у системі. Крім того, оскільки тонка лінза є ідеалізованим об'єктом, а реально під час експерименту учням доводиться працювати з товстими лінзами, особливістю яких є наявність головних точок та головних площин, то школярі навіть при ретельному й досконалому ви-

конанні експерименту (вважаючи лінзи тонкими) одержують значні похибки.

Для виконання експериментального дослідження потрібне таке обладнання: циліндричні фрагменти сферичних лінз (двох збиральних двовипуклих та двох розсіювальних двовгнутих лінз), аркуш паперу (в клітинку або з міліметровою сіткою), тонко заструганій олівець, лінійка. В пропонуваній лабораторній роботі можна використовувати циліндричні фрагменти сферичних лінз від фабричного набору для оптичного диску (шайби Гаргля) або саморобні (такі фрагменти лінз можна виготовити з органічного скла в потрібній кількості наборів для робочих місць учнів у шкільній майстерні).

Для з'ясування декількох ключових моментів розглянемо детально процес виконання експерименту на прикладі одного з можливих видів оптичної системи. Складемо оптичну систему з двох збиральних двовипуклих лінз. Для цього на аркуші паперу тонко заструганим олівцем накреслимо довгу пряму лінію OO' і розмістимо на ній лінзи одна за одною так, щоб їхні головні оптичні осі співпадали (тобто, щоб відмічена лінія після проходження через лінзи не змінювала свого напрямку). Одержана спільна головна оптична вісь системи лінз OO' буде проходити через центри всіх поверхонь, що обмежують окремі лінзи.

Не зміщуючи лінз, накреслимо лінію-промінь паралельно до головної оптичної осі системи. Тут доречно звернути увагу на такі дві обставини: 1) положення головних площин залежить від товщини лінзи і змінюється при віддаленні від оптичної осі до краю лінзи (для двовипуклої лінзи головні площини наближаються одна до одної, для двовгнутої — віддаляються одна від одної); 2) при наближенні до краю лінзи збільшується сферична аберация. Тому в експерименті ліній-промені треба будувати в зоні параксіальності променів, яку можна вважати приблизно рівною половині діаметру лінзи. Тобто, під час виконання експерименту ліній-промені треба креслити на відстані від оптичної осі не більший чвертини діаметру найменшої лінзи.

Розміщуючи ребро лінійки з іншого боку системи так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням ліній-променя у системі, накреслимо тонко заструганим олівцем продовження ліній-променя. Після проходження системи лінз промінь перетне головну оптичну вісь системи у точці F' , яку називають *заднім фокусом системи*.

Оптичну силу системи двох лінз визначатимемо, скориставшись формулами: $D = \frac{1}{f}$ (1), де f – фокус-

на відстань системи лінз; $D = D_1 + D_2 - d \cdot D_1 \cdot D_2$ (2), де D_1 та D_2 – оптичні сили відповідно першої та другої лінзи, d – відстань між задньою головною точкою першої лінзи та передньою головною точкою другої лінзи.

Але тут природно постають питання: 1) як визначити *фокусну відстань* системи лінз, адже невідомо до якого місця потрібно її вимірювати від точки F_r , бо точки, аналогічної оптичному центру тонкої лінзи, в оптичній системі немає? 2) як визначити *відстань між задньою головною точкою першої лінзи та передньою головною точкою другої лінзи*?

На відміну від тонкої лінзи в товстій лінзі маємо дві головні площини HH' та $HrHr'$, котрі замінюють єдину головну площину тонкої лінзи (рис. 1). При цьому перехід від товстої до тонкої лінзи означає наближення двох головних площин до їх злиття так, що головні точки H і Hr сходяться та співпадають з оптичним центром лінзи (рис. 2). Таким чином, головні площини оптичної системи є ніби розщепленням головної площини тонкої лінзи.

Дослідження властивостей складних оптичних систем показує, що в них теж можна не розглядати дійсного ходу променів всередині системи, застосувати сукупність двох головних площин, перпендикулярних до оптичної осі системи, які перетинають її в двох так званих головних точках (H і Hr). Ця обставина відповідає основній властивості головних площин: промінь, що входить у систему, перетинає першу головну площину на тій самій висоті, на якій промінь, що виходить із системи, перетинає другу головну площину (рис. 2).

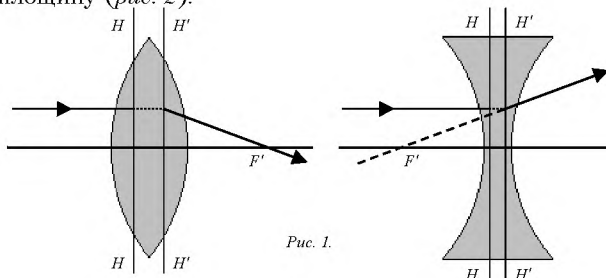


Рис. 1.

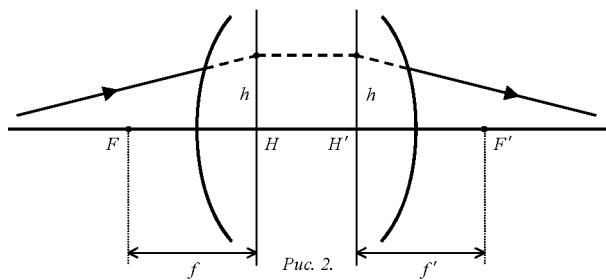


Рис. 2.

За допомогою головних площин вирішується питання про фокусні відстані системи. Фокусними відстанями оптичної системи називаються відстані від головних точок до відповідних їм фокусів. Отже, якщо позначимо F та H передній фокус та передню головну точку, F_r та Hr – задній фокус та задню головну точку, тоді $f = HF$ – передня фокусна відстань, $f_r = HrF_r$ – задня фокусна відстань (рис. 2). Якщо з обох боків системи знаходиться одне й те ж середовище (наприклад, повітря), тоді як і для тонкої лінзи $f = f_r$.

Але як визначити *положення головних площин та головних точок* оптичної системи? Для цього скористаємося основною властивістю головних площин: якщо падаючий на систему промінь перетинає передню головну площину на висоті h над оптичною віссю, тоді промінь, що виходить із системи, перетне задню головну площину теж на висоті h (рис. 2). Тобто, якщо на

систему лінз спрямувати два паралельні та рівновіддалені від головної оптичної осі промені: один – в додатньому напрямі зліва направо (прямий хід), а другий – в протилежному напрямі справа наліво (зворотний хід), то після добудови продовжень заломлених системою променів на перетині ліній вдасться визначити положення двох точок, що лежать на відповідних головних площинах.

Продовжимо виконання експерименту. Не зміщуючи лінзи, намалюємо з іншого боку системи (у просторі зображень) ще одну лінію-промінь паралельно до головної оптичної осі системи з того ж боку та на такій самій відстані h від головної оптичної осі системи. Розміщуючи ребро лінійки з іншого боку системи (цього разу у просторі предметів) так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням лінії-променя у системі, намалюємо тонко заструганим олівцем продовження лінії-променя. Після проходження системи лінз промінь перетне головну оптичну вісь системи у точці F , яку називають *переднім фокусом системи*.

Тонко заструганим олівцем окреслимо поверхні лінз, позначивши на папері їх контури. Знімемо лінзи з аркуша паперу і під лінійку докреслимо лінії так, як показано на рис. 3. Продовження ліній, що проходять через головні фокуси системи F і F_r , перетнуть паралельні до головної оптичної осі системи лінії-промені відповідно у точках H_3 і H_3r . Обидві точки H_3 і H_3r належать головним площинам і лежать на однаковій відстані від оптичної осі OOr . Якщо через точки H_3 і H_3r провести площини, перпендикулярні до головної оптичної осі системи, то це й будуть головні площини, а точки їхнього перетину з головною оптичною віссю – головні точки системи H і Hr .

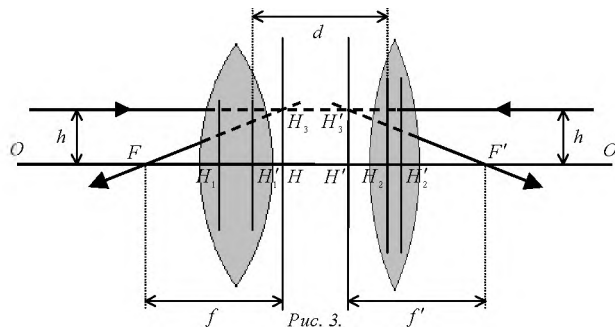


Рис. 3.

Відмітивши на головній оптичній осі OOr положення головних фокусів F і F_r та головних точок H і Hr , будемо мати повну характеристику оптичної системи (рис. 3). Залишилося лише безпосередньо виміряти фокусну відстань оптичної системи (відстань між експериментально визначеними головною точкою та відповідним їй головним фокусом) та обчислити за формулою (1) оптичну силу системи лінз.

Але як визначити *відстань між задньою головною точкою першої лінзи та передньою головною точкою другої лінзи*? Оскільки будь-яку лінзу можна розглядати як оптичну систему з двома заломлювальними поверхнями, в кожній лінзі можна знайти пару головних площин та пару головних точок. Визначити положення головних площин та головних точок кожної лінзи можна за описаним вище способом. Детально процес експериментального визначення положення головних (кардинальних) точок і головних (кардинальних) площин товстої лінзи описано нами у статті [3].

Відмітимо на головній оптичній осі OOr положення головних точок кожної лінзи. (Якщо в експерименті використовувати лінзи з незначною відстанню між головними точками – їх можна вважати тонкими, тоді відстань між задньою головною точкою першої лінзи та передньою головною точкою другої лінзи буде наближено дорівнювати відстані між оптичними центрами лінз.)

Знаючи оптичні сили лінз, з яких складено оптичну систему, та вимірювши відстань між задньою го-

ловною точкою першої лінзи та передньою головною точкою другої лінзи (або для тонких лінз — відстань між оптичними центрами лінз) можна за формулою (2) обчислити оптичну силу системи лінз.

В загальному випадку для оптичної системи, складеної з двох лінз технологічна послідовність виконання експерименту матиме такий вигляд:

1. Покладемо аркуш паперу (бажано в клітинку або з міліметровою сіткою) на стіл і тонко заструганим олівцем намалюємо на ньому довгу пряму лінію. Ця лінія позначатиме оптичну вісь OOr .
2. Розмістимо на цій лінії лінзи на деякій відстані одна за одною так, щоб їхні головні оптичні осі співпадали (тобто, щоб відмічена лінія OOr після проходження через лінзи не змінювала свого напрямку).
3. Не зміщуючи лінзи, намалюємо у просторі предметів лінію-промінь паралельно до головної оптичної осі системи.
4. Розміщуючи ребро лінійки з іншого боку системи (у просторі зображень) так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням лінії-променя у системі, намалюємо олівцем продовження лінії-променя.
5. Не зміщуючи лінзи, намалюємо з іншого боку системи (у просторі зображень) ще одну лінію-промінь паралельно до головної оптичної осі системи з того ж боку та на такій самій відстані h від головної оптичної осі системи.
6. Розміщуючи ребро лінійки з іншого боку системи (цього разу у просторі предметів) так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням лінії-променя у системі, намалюємо олівцем продовження лінії-променя.
7. Тонко заструганим олівцем окреслимо поверхні лінз, позначивши їх контури на папері. Знімемо лінзи з аркуша паперу і під лінійку докреслимо лінії до їх перетину з головною оптичною віссю системи та одна з одною. Позначимо точки перетину ліній з головною оптичною віссю системи як F і F' (головні фокуси системи), а точки перетину цих ліній з паралельною до головної оптичної осі системи лінією-променем відповідно H_3 і H_3' .
8. Опустимо з точок H_3 і H_3' перпендикуляри на головну оптичну вісь системи та позначимо точки їхнього перетину з головною оптичною віссю відповідно H і H' (головні точки системи). На рис. 3, 4, 5 показано положення головних площин та головних точок H і H' різних оптичних систем.
9. Виміряємо фокусну відстань оптичної системи f і відстань між задньою головною точкою першої лінзи та передньою головною точкою другої лінзи (або для тонких лінз — відстань між оптичними центрами лінз) d та занесемо значення у таблицю.
10. Запишемо в таблицю визначені попередньо значення оптичних сил D_1 і D_2 обох лінз, з яких збирали оптичну систему.

Використовуючи формули (1) і (2), обчислимо оптичну силу D системи лінз та занесемо результати до таблиці.

№ до-сліду	Вид опти-чної	Опти-чна сила	Опти-чна сила	Відстань між ближні-	Фоку-сна від-	Оптична сила D , Δnmp	
						$D = \frac{1}{f}$	$D = D_1 + D_2 - d \cdot D_1 \cdot D_2$

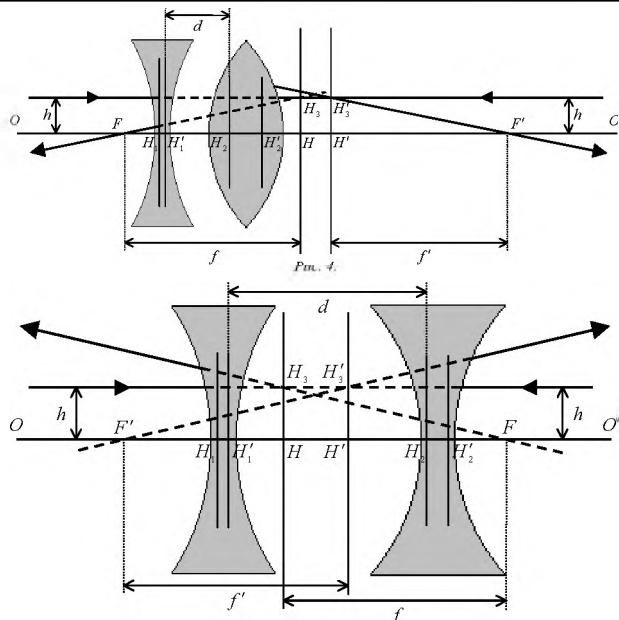


Рис. 5.

Як видно з рис. 3, 4, 5 головні площини та головні точки можуть лежати як всередині, так і ззовні оптичної системи, зовсім несиметрично відносно зовнішніх поверхонь системи, навіть з одного боку від неї.

Зробимо **висновки**: 1. Запропонована лабораторна робота обґрунтовує можливість експериментального дослідження оптичної системи, складеної з декількох лінз. 2. Експериментальний метод визначення головних (кардинальних) точок і головних (кардинальних) площин системи лінз не потребує складного обладнання і доступний для учнів.

Список використаних джерел

1. Павленко А. Експериментальне дослідження оптичної сили системи тонких лінз // Фізика та астрономія в школі. — 2002. — №6 — С. 41-42.
2. Павленко А., Жмурський С., Лисак В. Нові можливості фронтального фізичного експерименту з використанням оптичних лінз // Фізика та астрономія в школі. — 2002. — № 2 — С. 13-15.
3. Павленко А., Лисак В. Експериментальне визначення кардинальних точок і головних площин лінзи // Наукові записки. — Серія: Педагогічні науки. — Вип. 46. — Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка, 2002. — С. 213-216.