Міністерство освіти та науки України

Державний вищий навчальний заклад

«Приазовський державний технічний університет»

Кафедра фізики

Буланчук О. М.

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ

ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМИ ФРЕНЕЛЯ

Методичні вказівки щодо виконання

лабораторної роботи № 76

з курсу «Фізики»

для студентів усіх спеціальностей

та всіх форм навчання

Маріуполь

2016

УДК 53.077

Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля [Електронний ресурс] : методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи № 76 з курсу «Фізики» для студентів усіх спеціальностей та всіх форм навчання / уклад. О. М. Буланчук. − Маріуполь : ПДТУ, 2016. – 17 с . – Режим доступу: <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/10544>

Містить основні теоретичні положення з теорії інтерференції світла. Розглянуто метод одержання інтерференційної картини від некогерентних джерел світла за допомогою біпризми Френеля. Викладено методику вимірювань та розрахунків.

Укладач Буланчук О. М., канд. фіз.-мат. наук, доц.

Рецензент Цветкова О. В., канд. фіз.-мат. наук, доц.

Затверджено на засіданні

кафедри фізики

протокол № 10 від 23 травня 2016 р.

Затверджено

на засіданні методичної комісії

факультету інформаційних технологій

протокол № 7 від 30 травня 2016 р.

© ДВНЗ «ПДТУ», 2016

© О. М. Буланчук, 2016

ВСТУП

Явище інтерференції світла є одним із важливих доказів хвильової природи світла. Однією із груп методів спостереження інтерференції від природних джерел світла є група методів розділення світлового фронту. В даній роботі розглядається один із таких методів: метод з використанням біпризми Френеля (дві тонкі призми з малим кутом заломлення, що склеєні основами). Світлова хвиля розповсюджується від джерела, що знаходиться на продовженні основи призм, заломлюється в кожній із призм та приходить до точки спостереження різними шляхами. Це створює сталу різницю фаз в точці спостереження.

Для виконання експерименту необхідно мати мікроскоп, джерело світла, набір світлофільтрів, окуляр з лінійкою, біпризму Френеля, оптичну лаву.

Мета роботи

* Вивчення явища інтерференції.
* Ознайомлення з одним із методів одержання інтерференційної картини: методом біпризми Френеля (методом розділення світлового фронту).
* Визначення довжини хвилі оптичного випромінювання за допомогою вимірювання ширини інтерференційної картини за біпризмою Френеля.

1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Згідно з сучасними уявленнями світло є електромагнітною хвилею з частотами, що лежать в діапазоні від Гц до  Гц. При цьому, було встановлено, що фотохімічна, фізіологічна, фотоелектрична дія світла обумовлена дією вектора напруженості електричного поля  в електромагнітній хвилі.

Відомо, що прилади, за допомогою яких реєструють світло, мають певну інерційність, яка характеризується часом розділення . Для людського ока c. В даному випадку це означає, що часом розділення є проміжок часу, на протязі якого людина бачить світло навіть тоді, коли випромінювання вже перестало потрапляти на сітківку ока. Для фотоматеріалів с, в комірках Керра  c, для фотоелектронних приймачів c.

Зрозуміло, що для всіх приймачів світла час розділення значно більший ніж період коливань оптичного випромінювання (). Таким чином, прилади для реєстрації світла вимірюють не миттєве значення напруженості електромагнітного поля в світловій хвилі, а інтенсивність світла, яка дорівнює середньому значенню модуля вектора Умова-Пойтінга ():



де час осереднення .

Оскільки в електромагнітній хвилі магнітне та електричні поля пов'язані співвідношенням , то її інтенсивність прямо пропорційна інтегралу від квадрата напруженості електричного поля:

 .

**Інтерференція** (від лат. inter − взаємно, між собою і ferio − ударяю, вражаю) − явище накладання хвиль (будь-якої природи) від скінченного числа точкових джерел, при якому в певних областях простору спостерігається помітне підсилення інтенсивності хвиль (інтерференційні максимуми), а в інших послаблення (інтерференційні мінімуми).

Таким чином, для того щоб розрахувати інтерференційну картину необхідно визначити розподіл інтенсивності світла у просторі. В областях, де інтенсивність є максимальною, спостерігаються інтерференційні максимуми, там де вона буде мінімальною з'являться мінімуми. У найпростішому випадку накладання двох плоских монохроматичних хвиль амплітуда результуючого коливання буде мати вигляд:



де  − амплітуди хвиль,

 − частоти,

− хвильові числа,

 − відстань від джерела хвилі до точки спостереження,

 − початкові фази.

Виконавши тригонометричні перетворення із дістанемо





Із видно, якщо частоти хвиль різні , то в будь-якій точці простору результуючим коливанням є биття з максимальною амплітудою  (биття будуть також у випаду однакових частот, але при змінній у часі різниці початкових фаз ).

Якщо частоти однакові (), то результатом накладання хвиль будуть гармонічні коливання з амплітудою, що змінюється від нуля до . При цьому, величина амплітуди визначається значенням виразу . Звідси випливає, що результуюча амплітуда коливань залежить від відстаней  та різниці початкових фаз.

Підставивши в значення амплітуди і проінтегрувавши (вручну, або за допомогою пакету MathCad або функцією Integrate із Wolfram Mathematica) можна в аналітичному вигляді одержати вираз для інтенсивності світла, який немає сенсу наводити внаслідок громіздкості. Аналіз цього виразу показав, що помітні інтерференційні максимуми та мінімуми з'являються у випадку, коли період биття  () та характерний час зміни різниці початкових фаз виявляється більшим за роздільну здатність оптичного приладу.

Найбільш яскраво інтерференція проявляється для повністю **когерентних хвиль**: хвиль частоти яких є однаковими, а різниця початкових фаз не змінюється з часом. Інтерференційні картини для світла, як правило, мають вид системи переміжних темних та світлих смуг одного, або різних кольорів та бувають стаціонарними (для повністю когерентних хвиль) та нестаціонарними (для неповністю когерентних хвиль). З практичної точки зору найбільшу цікавість викликають стаціонарні інтерференційні картини.

Найбільш простого вигляду умови інтерференційних максимумів та мінімумів набувають у випадку нульової різниці початкових фаз:  (ця умова виконується у більшості експериментів по інтерференції природного світла). Тоді інтерференційний максимум буде у точках простору де амплітуда коливань максимальна:



Мінімум буде там, де амплітуда мінімальна:

.

Для оптичних хвиль хвильове число: , де  − показник заломлення,  − відносна діелектрична проникність,  − магнітна проникність. Добуток  називається оптичною довжиною шляху (якщо вздовж траєкторії променя  показник заломлення  змінюється, тоді  обчислюється за формулою ). Підставивши в значення хвильового числа дістанемо, що **максимум** інтерференції спостерігається, коли **оптична різниця ходу**  кратна цілому числу довжин хвиль:



Аналогічно, із дістанемо, що **мінімум** буде в точках, де  кратна непарному числу напівхвиль:



У випадку накладання хвиль різної амплітуди інтенсивність світла буде дорівнювати

,

де ,  − інтенсивність першого та другого джерела. Доданок  називають інтерференційним членом, якщо він не дорівнює нулю, то можна спостерігати інтерференцію.

Інтерференційний член не дорівнює нулю при виконанні наступних умов:

1) площини поляризації хвиль не є взаємно перпендикулярними;

2) частоти хвиль однакові (або близькі);

3) різниця початкових фаз не змінюється з часом (або якщо характерний період зміни різниці фаз більший за роздільну здатність приладу).

Насправді природне світло не є плоскою монохроматичною хвилею. Із результатів фізичних досліджень відомо, що ізольований збуджений атом випромінює електромагнітні хвилі при переході електрона із одного енергетичного рівня (з більшою енергією) на інший (з меншою енергією) за час с.

Порція електромагнітних хвиль, яка при цьому випромінюється, називається **цугом.** При спонтанному випромінюванні електрони в атомах здійснюють переходи з одного енергетичного рівня на інший незалежно один від одного, їх початкові фази випадково і невпорядковано змінюються від атома до атома. Сукупність таких випадково (спонтанно) випромінюючих атомів є **некогерентним джерелом світла**. При накладанні випромінювання від двох незалежних джерел різниця фаз цугів, а також їх поляризація змінюється швидко і хаотично. Таке випромінювання називається природним і неполяризованим (вектор  в кожній точці поля здійснює коливання, напрям яких хаотично змінюється в площині, перпендикулярній променю). Таким чином, на протязі часу розділення людського ока інтерференційна картина зміниться  раз. Зрозуміло, що око зафіксує лише рівномірну освітленість екрану. Слід відзначити, що нема принципової заборони на спостереження інтерференційної картини від двох незалежних джерел. Ця можливість визначається рівнем техніки генерації та прийому випромінювання.

Для характеристики когерентних хвиль вводиться поняття часу ккогерентності  та довжини когерентності . При цьому **час когерентності** визначається як час, на протязі якого випадкова зміна фази досягає значення . За час  коливання ніби "забуває" свою початкову фазу і стає некогерентним по відношенню саме до себе. Відстань , на яку переміщується фронт хвилі за час , називається **довжиною когерентності**, або довжиною цугу. Якщо оптична різниця ходу променів перевищує , то явище інтерференції не спостерігається.

Відомо, що збільшення розміру джерел світла (навіть строго монохроматичних) призводить до погіршення контрастності інтерференційних смуг, і навіть до їх повного зникнення. Це пов'язано з накладанням інтерференційних картин від різних частин джерела випромінювання. Таким чином, для одержання інтерференційних смуг від двох когерентних джерел світла недостатньо, щоб ці джерела були когерентними. Необхідно, щоб їх розміри не перевищували певної межі, яка залежить від їх взаємного розміщення та місця знаходження екрану. В зв'язку з вищезазначеним, вводиться поняття просторової когерентності. Якщо розміри і взаємне розміщення двох джерел дозволяє спостерігати інтерференційні смуги, то такі джерела називають **просторово когерентними**. Якщо ж навіть при ідеальній монохроматичності світла інтерференційних смуг отримати не вдається, то такі джерела називаються просторово некогерентними.

Довжиною просторової когерентності  для джерела спонтанного випромінювання називають відстань між двома точками на площині (перпендикулярній напрямку розповсюдження світла), в яких випадкова зміна різниці фаз коливань дорівнює .

Для спостереження інтерференції від природних джерел світла можна використовувати випромінювання одного і того ж джерела, розділивши промені, що випромінюються, так, щоб різні пучки світла досягали точки спостереження, проходячи різні шляхи.

Існує два методи штучного розділення світлового потоку:

1) метод розділення світлового фронту, який використовується для точкових джерел (метод Юнга, біпризма Френеля, дзеркало Френеля);

2) метод поділу амплітуди з використанням пластинок (або прошарків), що частково пропускають та відбивають світло (кільця Ньютона, інтерференція в плоско паралельних пластинах та тонких плівках).

1. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ВИВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ФОРМУЛИ

Біпризма Френеля складається із двох скляних призм з малими заломлюючими кутами, які складені одна до одної своїми основами (див. рис. 2.1).

Як правило, біпризма виготовляється з одного шматка скла. Джерелом світла є яскраво освітлена щілина , що встановлюється паралельно ребру біпризми. Після заломлення в біпризмі падаючий пучок світла поділяється на два когерентних пучки з вершинами в уявних зображеннях  та  щілини . В області  екрану  пучки перекриваються і дають систему паралельних інтерференційних смуг.

Можна показати, що при  і невеликих кутах падіння на грань призми всі промені відхилятимуться приблизно на однаковий кут . Така ситуація реалізується, коли джерело світла і екран знаходяться на великій відстані від біпризми (значно більшій за її розміри).

Таким чином, кожна половина біпризми відхиляє падаючі промені на кут:



де  − показник заломлення матеріалу біпризми,

 − заломлюючий кут біпризми.

Відстань  між уявними джерелами можна визначити за формулою:

.

Відстань  від джерел до екрану дорівнює:



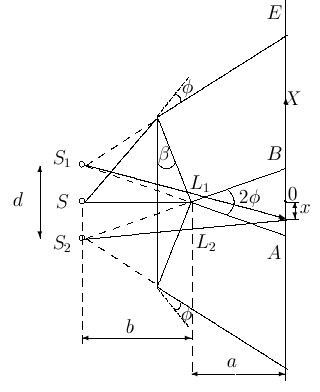


Рисунок 2.1 − Біпризма Френеля

Розглянемо два промені, що розповсюджуються від джерел  та  вздовж оптичних шляхів  та  і сходяться в точці . Із рис. 2.1 видно, що





Умова інтерференційних максимумів має вигляд



Використовуючи умову малості кутів падіння променів на приму , визначимо різницю 



Звідси маємо



Якщо прирівняти праві частини і , то дістанемо значення координати  для інтерференційних максимумів:



Якщо  та  координати двох сусідніх максимумів, тоді

.

− відстань між ними. Підставивши в , можна отримати вираз для ширини інтерференційної смуги:



Із видно, що відстань між інтерференційними смугами не залежить від порядку спектру .

Для хвиль різної довжини із маємо:



Поділивши  на  одержимо:



Якщо ширина всієї інтерференційної частини, що має чітке зображення, дорівнює , число видимих смуг , то ширина однієї смуги дорівнює:



Поділивши  на  із , та використовуючи дістанемо:



Таким чином, знаючи довжину хвилі , із можна визначити невідому :



Формула є **розрахунковою** для цієї лабораторної роботи.

## Вимірювання та обробка результатів вимірювань

1. Вважаємо, що в розрахунковій формулі довжина хвилі  є відомою (Å − довжина хвилі червоного світла[[1]](#footnote-1)). Розмістити на оптичній лаві джерело світла, щілину, біпризму та на відстані 15−20 см від біпризми мікроскоп для спостереження.

2. Поставити біпризму таким чином, щоб її заломлююче ребро стало паралельним щілині.

3. Переміщенням мікроскопа та біпризми вздовж лави добитися чіткого зображення інтерференційних смуг.

4. Вставити в гніздо освітлювача червоний світлофільтр, по окулярній шкалі мікроскопа визначити ширину  всього чіткого зображення інтерференційної картини та кількість  темних смуг.

5. Не порушуючи відносного розміщення частин установки, замінити червоний світлофільтр зеленим та визначити значення  та  () (окуляр не можна рухати).

6. Повторити дослід згідно пунктам 4−5 чотири рази при різних відстанях біпризми від джерела світла та заповнити таблицю:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Світло-фільтри | Червоний світлофільтр | | Зелений світлофільтр | |  | , |  |
| № |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  | 3 |  | 3 |  |  |  |
| 2 |  | 4 |  | 4 |  |  |  |
| 3 |  | 5 |  | 5 |  |  |  |
| 4 |  | 6 |  | 6 |  |  |  |

7. Використовуючи розрахункову формулу , знайти невідому довжину хвилі  для кожного вимірювання.

8. Обчислити середнє значення .

9. Визначити довірчий інтервал як результат прямих вимірювань . Записати кінцевий результат у стандартному вигляді:  Å, при . Знайти відносну похибку:

.

10. Зробити висновки.

2.2 Контрольні питання

1. Поясніть методику проведення експерименту і виведіть розрахункову формулу. Опишіть установку.

2. Дайте означення явища інтерференції і вкажіть умови, які необхідні для його спостереження.

3. Поясніть виникнення інтерференційної картини на прикладі біпризми Френеля. Як зміниться ширина інтерференційної картини при зміні таких величин: заломлюючого кута призми, показника заломлення матеріалу призми, відстані від джерела та екрану до біпризми, довжини хвилі?

4. Поясніть, що розуміють під просторовою та часовою когерентністю. Обґрунтуйте необхідні умови для спостереження явища інтерференції. Поясніть та виведіть формули для максимумів та мінімумів інтерференції.

# 3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Отримайте умову підсилення та ослаблення інтенсивності світла в дослідах Юнга.

2. Визначте, як зміняться координати світлих і темних смуг в досліді Юнга, якщо перед другою щілиною поставити пластинку товщини  з показником заломлення . Отримайте результат в загальному вигляді.

3. Обґрунтуйте справедливість .

# ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. − М. : Высшая школа, 2003. – 541 с. (170 − 173).

2. Детлаф А. А. Курс физики : учебное пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. − М. : Высшая школа, 2002. – 718 с. (31.1 − 31.4)

3. Савельев И. В. Курс общей физики, т. II / И. В. Савельев . − М. : Наука, 1978. – 480 с. (119 − 121)

4. Яворский Б. М. Курс физики, т. III / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф . − М. : Высшая школа, 1972. – 536 с. (5.1 − 5.3)

5. Сивухин Д. В. Ощий курс физики. Оптика / Д. В. Сивухин . − М. : Наука, 1980. – 752 с. (26 − 28)

1. різні кольори мають довжини хвиль, що лежать в діапазонах: червоний 7600-6300 Å; оранжевий 6300-5900 Å; жовтий 5900-5700 Å; зелений 5700-4950 Å; синій 4950-4350 Å; фіолетовий 4350-3800 Å). [↑](#footnote-ref-1)