**Лабораторна робота № 3-11**

**ВИВЧЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА**

(біпризма Френеля)

Мета роботи: вивчити двопроменеву інтерференцію світла за допомогою біпризми Френеля; визначити характеристики світлофільтра - довжину хвилі у максимумі пропускання та смугу пропускання**.**

**Короткі теоретичні відомості**

Інтерференцією називається таке накладання хвиль, за якого результуюча

інтенсивність не дорівнює сумі інтенсивностей хвиль, що приходять до точки накладання.

Інтерференція обумовлена принципом суперпозиції, відповідно до якого, у точці

накладання двох світлових хвиль додаються світлові вектори E1 і Е2 (напруженості

полів), а не енергії, тому за накладання хвиль з інтенсивностями I1, I2 результуюча

інтенсивність:



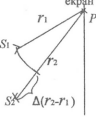
де <cos δ> – усереднене у часі значення косинуса різниці початкових фаз коливань, що збуджуються у точці накладання кожним джерелом. З цього співвідношення видно, що інтерференція можлива тільки за умови <cos δ> ≠ 0, тобто при накладанні когерентних (узгоджених) хвиль. Якщо інтенсивності *I*1= *І*2*=I*0*,* то результуюча інтенсивність така:



Величина δ залежить від взаємного розташування джерел *S1* і *S2* і точки накладання *Ρ* (рис. 1.1):

δ=(2π/λ)Δ, (1.3)

де λ - довжина світлової хвилі у вакуумі; Δ - оптична різниця ходу променів. Для вакууму або повітря Δ= r2 – r1 (рис. 1.1), тобто співпадає з геометричною різницею ходу.

За переміщення точки *Ρ* у заданому напрямку величини Δ і δ 

будуть монотонно, а інтенсивність *I* періодично змінюватись, тобто на екрані буде спостерігатись інтерференційна картина у вигляді світлих (максимуми) та темних (мінімуми) смуг, що чергуються. Загальні умови спостереження максимумів і мінімумів:

max Δ = λ*k*

m in Δ = (k + 1/2) λ , (1.4)

де *k* = 0, 1*,* 2, *...* – порядок інтерференційного максимуму

Рис. 1.1. Максимум, що відповідає *k* = 0, називається центральним.

**Опис досліду з біпризмою Френеля**

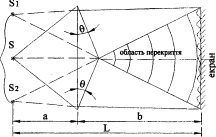
За своєю природою електромагнітне випромінювання (світло) незалежних природних джерел, а також різних ділянок одного джерела, некогерентне. Тому для отримання когерентних світлових пучків і спостереження інтерференції світла,

випромінювання, що йде від одного

джерела малих розмірів (точкове), у той чи інший спосіб розділяється на два пучки, що h перекриваються та поширюються у

близьких напрямках. У даній роботі таке розділення здійснюється за допомогою біпризми Френеля (рис.1.2), яка являє

собою дві скляні призми (склеєні малими основами) з малими кутами заломлення Θ. Світло від джерела *S* після заломлення у біпризмі поширюється у вигляді двох когерентних пучків, що розходяться, і таких, що, начебто, виходять із двох точок S1 і *S2 ,*

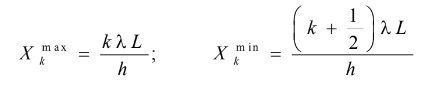
**Рис 1.2**

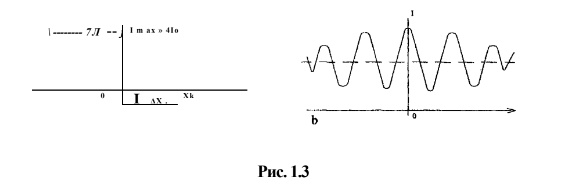
можна сказати, що біпризма замість одного некогерентного джерела *S* дає два уявних когерентних джерела *S1* і S2. При малих кутах θ відстань між джерелами *S1* і S2*:*

*h = 2a(n-l)θ ,*

**де** а - відстань від джерела *S* до біпризми; n - показник заломлення біпризми; для скла n = 1.5 *і h =*αθ. Для точкового та повністю монохроматичного джерела *S* на встановленому

на відстані L = *а- b* від нього екрані в області перекриття пучків (рис. 1.2) повинні спостерігатися інтерференційні смуги з однаковими інтенсивностями Іmax = 4І0 і Іmin =0 [див.(1.2) та рис. 1.3,а)]. Координати *Xk* максимумів і мінімумів залежать від порядку джерелами ***h:***





З умов (1.5) виходить, що ширина інтерференційної смуги 

не залежить від *к,* тобто смуги розміщуються еквідистантно на відстані

ΔX=λL/h. **(1.6)**

Наявність у реального джерела кінцевих лінійних розмірів призводить до загального пониження контрастності інтерференційної картини, тобто до зменшення інтенсивності усіх максимумів і підвищення інтенсивності в усіх мінімумах. Тому за збільшення лінійних розмірів джерела якість інтерференційної картини погіршується і при розмірах джерела

порядку ширини смуги Δ*Х* інтерференційні смуги взагалі зникають. Інша причина, що погіршує умови спостерігання інтерференції, полягає у відсутності у природі повністю монохроматичних джерел світла, випромінювання завжди містить певний інтервал довжин хвиль Δλ. Це призводить до того, що інтенсивність максимумів і контрастність картини різко зменшуються з віддаленням від центру, як показано на рис.1.3,6, внаслідок чого для реального джерела максимальний порядок k*max* смуг, що спостерігаються, не перевищує значення

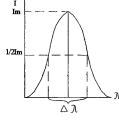
k*max = λ/Δλ,* (1.7)

а загальна кількість темних смуг, що можна бачити на екрані:

***N = 2k max* =2λ/Δλ, (1.8)**

У даній роботі біпризма Френеля освітлюється від лампи розжарювання крізь світлофільтри, тому величини, що входять до формул, треба розуміти так: λ - довжина хвилі, що відповідає максимуму смуги пропускання світлофільтра, Δλ - ширина смуги пропускання світлофільтра (рис. 1.4). Вимірявши в експерименті параметри інтерференційної картини можна на підставі формул (1.6) і (1.8) визначити характеристик

λ і Δλ для світлофільтра, що використовується:

***λ****=ΔXh/L,* 

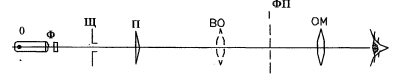
*Δλ= 2λ /Ν.*

**Рис. 1.4**

**Експериментальна установка**

На оптичній лаві (масивна рейка з направляючими) на рейтерах (спеціальні підставки) змонтовано усі необхідні елементи оптичної схеми (рис 1.5).

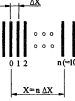
Пучок світла від освітлювача О проходить через змінний світлофільтр Φ та потрапляє на щілину **Щ,** яка грає роль вузького лінійного джерела. Світло, що виходить із щілини, направляється в центральну зону біпризми Френеля П. Інтерференція когерентних пучків світла, що утворюються після проходження біпризми, спостерігається за допомогою окулярного мікрометра ОМ, який грає роль екрану. Сюдижпроектується зображення

**Рис. 1.5**

візирної нитки і вимірювальної шкали, що дозволяє фіксувати положення інтерференційних смуг та вимірювати їх координати.

Для юстування (налагоджування) установки усі елементи схеми можуть переміщуватись як уздовжосі системи, так і впоперек (вертикально й горизонтально).

Оскільки відстань Δ*Х* надто мала, то для підвищення точності вимірювань діють таким чином. Установлюють візирну нитку окуляра на будь-яку темну смугу у лівій частині картини (рисі.6) і приписують їй номер 0. Потім вимірюють відстань між "нульовою" смугою і будь якою смугою з номером η (звичайно n=10). У такому випадку

*ΔХ=X/n.* (1.11)

**Рис.1.6**

Для визначення відстані між уявними джерелами *h* використовується допоміжний об'єктив ВО (збірна лінза з відомою фокусною відстанню *F*), який установлюється між біпризмою та окуляром (рис. 1.5). За допомогою об'єктива на передню фокальнуплощину окуляра фокусується дійсне зменшене зображення уявних джерел і (зображення

щілини *S* у біпризмі), як показано на рис 1.7. З рисунка видно, що

*h/h/=d/f* і d+f=L.

Крім того, відстані d, f i F пов'язані формулою тонкої лінзи:

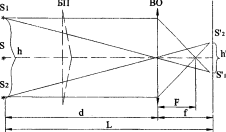
*1/d=1/f+1/F.*

Зі співвідношень (1.12) і (1.13) після елементарних перетворень маємо:



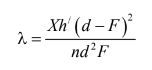
Тобто, визначивши за допомогою окулярного мікрометра величину *h!* і вимірявши відстані *L* і *d,* можна знайти h.

Підставивши вираз (1.14) для *h* і

раніше отриманий вираз дляΔΧ(1.11) у 

співвідношення (1.9), отримаємо ФП робочу формулу для визначення

довжини світлової хвилі:

 **Рис.1.7**

Ширина смуги світлопропускання Δλ світлофільтра визначається за формулою (1.10) через візуально визначене загальне число *N* темних інтерференційних смуг, що спостерігаються. Попередньо розрахуємо за формулою (1.15) значення λ.

**Порядок виконання роботи**

1. Отримати у лаборанта набір світлофільтрів.

2. Ознайомитися з установкою та у відповідності до інструкції на робочому місці

провести юстування (налагоджування) установки. Отримати максимально чітку інтерференційну картину. Продемонструвати зображення викладачеві.

3. Для кожного зі світлофільтрів виміряти відстань *Xі* між "нульовою" і *п-ю* темною смугою, як показано на рис. 1.3. Кожне вимірювання повторити тричі, значення *Xі* і n занести до таблиці 1.1.

4. Підрахувати загальне число *N* темних смуг, що спостерігаються у полі зору окуляра ізанести до таблиці 1.1.

5. Установити допоміжний об'єктив та отримати чітке зображення двох щілин, що світяться. Вимірювання повторити тричі, результати занести до табл.1.1

6. Виміряти відстані d між площинами щійини і допоміжного об'єктива та занести значення до таблиці 1.1.

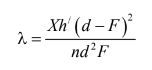
**Обробка результатів**

1. За формулою (1.15) розрахувати довжину хвилі λ у максимумі пропускання кожного і світлофільтрів ізанести результати до таблиці 1.1.

2. За формулою (1.10) оцінити ширину Δλ смуги пропускання для кожного фільтра і занести результати до табл. 1.1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Світлофільтр | Червоний | Зелений | Синій |
| *N* | *16* | *11* | *13* |
| *x i , мм* | *2.01* | *1.62* | *1.46* |
| *2.17* | *1.53* | *1.45* |
| *2.18* | *1.66* | *1.43* |
| *x=< x i > , мм* | *2.12* | *1.6* | *1.44* |
| /  *i h , мм* | *0.76* | *0.77* | *0.71* |
| *0.74* | *0.75* | *0.78* |
| *0.73* | *0.73* | *0.73* |
| / /  *i h* =<h > , *мм* | *0.743* | *0.75* | *0.74* |
| *F, мм* | *145.00* | *145.00* | *145.00* |
| *d, мм* | *691.47* | *691.47* | *691.47* |
| λ, *нм* | 678.488 | 516.891 | 458.999 |
| Δλ, *нм* | 84.811 | 93.980 | 70.615 |

n=10



λ1 = (*2.12 \* 0.743 (691.47 – 145)^2)/(10 \* 691.47 \* 691.47 \* 145) = 0.0006784887287921 мм =* **678.488 нм**

λ2 = (*1.6 \* 0.75 (691.47 – 145)^2)/(10 \* 691.47 \* 691.47 \* 145) = 0.000516891283774737 мм =* **516.891 нм**

λ3 = (*1.44 \* 0.74 (691.47 – 145)^2)/(10 \* 691.47 \* 691.47 \* 145) = 0.00045899945999196 мм =* **458.999 нм**



Δλ1 = 2\*678.488 / 16 = 84.811

Δλ2 = 2\*516.891 / 11 = 93.980

Δλ3 = 2\*458.999 / 13 = 70.615

**Похибка:**





*)*

*11 = 0.11 21 = 0.02 31 = 0.02*

*12 = 0.05 22 = 0.07 32 = 0.01*

*13 = 0.04 23 = 0.06 33 = 0.01*

*S1 = ((0.11^2 + 0.05^2 + 0.04^2)/6)^1/2 = 0.0519*

*S2 = ((0.02^2 + 0.07^2 + 0.06^2)/6)^1/2 = 0.0385*

*S3 = ((0.02^2 + 0.01^2 + 0.01^2)/6)^1/2 = 0.01*

*X1 = 2.12 2.92\*0.0519 = 2.12 0,1515*

*X2 = 1.6 2.92\*0.0385 = 1.6 0.1124*

*X3 = 1.44 2.92\*0.01 = 1.44 0.0292*

*11 = 0.017 21 = 0.02 31 = 0.03*

*12 = 0.003 22 = 0 32 = 0.04*

*13 = 0.013 23 = 0.02 33 = 0.01*

*S1 = ((0.017^2 + 0.003^2 + 0.013^2)/6)^1/2 = 0.0088*

*S2 = ((0.02^2 + 0 + 0.02^2)/6)^1/2 = 0.0115*

*S3 = ((0.03^2 + 0.04^2 + 0.01^2)/6)^1/2 = 0.0208*

*h1 = 0.743 2.92\*0.0088 = 0.743 0.025*

*h2 = 0.75 2.92\*0.0115 = 0.75 0.033*

*h3 = 0.74 2.92\*0.0208 = 0.74 0.06*



**Висновок:** Під час лабораторної роботи я дослідив двопроменеву інтерференцію світла за допомогою біпризми Френеля; еспериментально визначив характеристики світлофільтра - довжину хвилі у максимумі пропускання та смугу пропускання**.**

**Контрольні запитання**

1. Що називається інтерференцією світла? Виведіть формули (1.1) та **(**1.2).

Інтерференцією називається таке накладання хвиль, за якого результуюча

інтенсивність не дорівнює сумі інтенсивностей хвиль, що приходять до точки накладання.

Нехай є дві плоскі хвилі:



За принципом суперпозиції результуюче поле в області їх перетину визначатиметься сумою:



Інтенсивність задається відношенням:



Звідки, з урахуванням,



де <cos δ> – усереднене у часі значення косинуса різниці початкових фаз коливань, що

збуджуються у точці накладання кожним джерелом.

Якщо інтенсивності I1= І2=I0, то результуюча інтенсивність така: 

2. Які хвилі називаються когерентними? Чому світлові хвилі, що випромінюються незалежними джерелами, некогерентні?

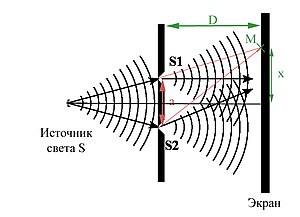
Когерентні хвилі – це хвилі однакової частоти, коливання в яких відрізняються постійною різницею фаз, яка має здатність не змінюватися в часі, достатньому для спостереження.

З повсякденного досліду відомо, що при накладанні світла від двох незалежних джерел не вдається спостерігати явища інтерференції. Таким чином, хвилі, які випромінюються незалежними джерелами світла, некогерентні. Цей результат є наслідком того, що жодне джерело не випромінює точно монохроматичного світла.

Випромінювання світла відбувається в процесі переходу атомів із збудженого стану в нормальний. Процес випромінювання скінченний і триває дуже короткий час . Через деякий час атом знову може збудитися і почати випромінювати світлові хвилі, але уже з іншою початковою фазою. Оскільки різниця фаз між випромінюванням двох таких незалежних атомів змінюється при кожному новому акті випромінювання, то хвилі, що спонтанно випромінюються атомами будь-якого джерела світла, некогерентні.

3. Поясніть принцип отримання когерентних світлових хвиль та наведіть конкретні приклади (окрім біпризми Френеля).

Отримати когерентні світлові хвилі і спостерігати інтерференцію можна, якщо поділити випромінювання від одного джерела на два промені і потім звести їх у просторі.  
 Метод Юнга:

  
 У схемі, запропонованій Юнгом джерелом світла служить яскраво освітлена щілина, Від якої світлова хвиля падає на дві вузькі рівновіддалені щілини, таким чином, щілини грають роль когерентних джерел. Інтерферійна картина у вигляді чергуються світлими і темними смугами, що спостерігаються на екрані, розташованому на деякій відстані паралельно

4. Чи обов'язково буде спостерігатись інтерференція під час накладання когерентних хвиль у випадку: а) звукових хвиль; б) світлових хвиль?

Інтерференція світла --- окремий випадок інтерференції хвиль.

Розрізняють стаціонарну інтерференцію хвиль, яка спостерігається при накладенні когерентних світлових хвиль, і нестаціонарну, при накладанні хвиль різної частоти.

Інтерференціювати можуть лише хвилі з однаковою частотою.

5. Що називається оптичною та геометричною різницею ходу променів (хвиль)?

Величина, що дорівнює різниці оптичних довжин шляхів, які проходяться хвилями, називається оптичною різницею ходу: (n2r2 - n1r1).

Величина (r2 - r1) називається геометричною різницею ходу.

**Література**

1. І.М.Кучерук, І.Т.Горбачук. Загальний курс фізики. У 3 τ. Т.З. Оптика. Квантова фізика. -К.:Техніка, 1999 р.

1. Савельев И .B. Курс общей физики. У 3 τ. Т.2. § 110,119,120,121,122. -М.: Наука,1978. 2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. § 26 - 28, ЗО, 33. - М.: Наука, 1980.