

Дифракция на светлината от процеп

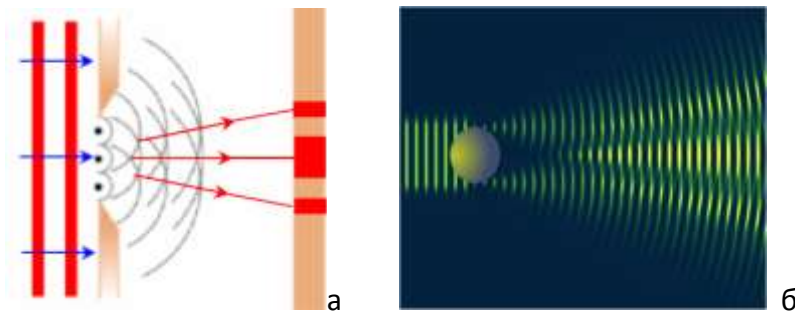
Цел на упражнението

Целта на настоящото упражнение е да се наблюдава дифракция на монохроматична светлина от тънък процеп, чрез което да се даде идея за практическото приложение на дифракцията.

Кратко теоретично въведение

Дифракцията и интерференцията на светлината са две явления, които показват, че светлината има вълнова природа. За тяхното обяснение не може да бъде приложен моделът на геометричната оптика описващ разпространението на светлината с помощта на лъчи, които са праволинейни и променят посоката си само при отражение или пречупване. Вълновата природа на светлината се проявява когато дължината на светлинната вълна е съизмерима с характерните размери на обектите, през които светлината преминава. Типични ситуации, при които се проявява явлението дифракция например са преминаването на монохроматична светлина през тесни отвори, покрай остри ръбове, покрай тънки нишки, през нееднородности и др. Същността на явлението дифракцията е отклонението на светлината от праволинейното разпространение като причина за това не е пречупване, отражение или разсейване. Ако са монохроматични дифрактиралите светлинни вълни интерферират, в резултат на което върху екран се наблюдава преразпределение на светлинния поток изразяващо се в характерна за дифракцията картина от редуващи се светли и тъмни ивици. Характеристиките на тази картина, като разстояние и форма на ивиците, носят информация за структурата на обекта предизвикал дифракция на светлината. Дифракцията на различни видове вълни като светлина, рентгенови лъчи, радио вълни, звукови вълни и т. н., има широко приложение. Дифракцията на рентгенови лъчи, например, се използва за изследването на кристалната структурата на различни материали. Дифракцията на светлина може да бъде прилагана за определянето на размерите на малки обекти с типични размери от няколкостотин *nm* до няколко *μm*. В индустрията, например, тя се използва за определянето на дебелината на тънки нишки.

Проникването на светлинната вълна в областта на геометрична сянка се обяснява с принципа на Хюйгенс-Френел. Според този принцип всяка точка от вълновия фронт става център на елементарна вторична сферична вълна, а обвивката им дава новият вълнов фронт. Вторичните вълни са кохерентни и интерферират в пространството, което позволява да се намери амплитудата на резултатната вълна във всяка точка от пространството, а от там и разпределението на интензитета фиг.1.



Фиг. 1.

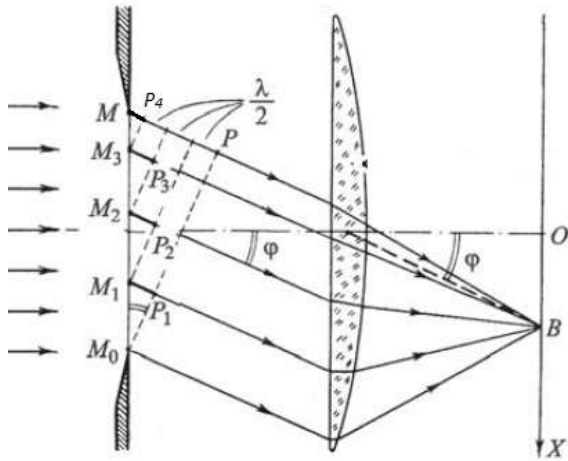
- а) Принцип на Хюйгенс-Френел. Дифракция от процеп
 б) Дифракция от прегради

Различават се два вида дифракция:

А) *Дифракция на Френел*: Ако източникът на светлина и точката на наблюдение не са разположени твърде далече от препятствието (преграда, отвор и т.н.), се наблюдава дифракция на сферични вълни.

В) *Дифракция на Фраунхофер*: Ако източникът на светлина и точката на наблюдение са разположени от препятствието толкова далече, че лъчите образуват успореден сноп, се наблюдава дифракция на плоски вълни.

Зони на Френел: За да обясним получаването на интерференчна картина върху екрана, според принципа на Хюйгенс-Френел, приемаме, че пространството между двете стени на процепа съдържа безкрайно много вторични, точкови, светлинни източници, които излъчват вълни с еднаква честота и фаза (т.е. източниците са кохерентни). Вълните излъчени от тях интерферират. Определянето на положенията на дифракционните максимуми и минимуми може да стане чрез разделяне на повърхността на процепа на т.нар. зони на Френел. Разделянето се осъществява по следния начин: от края процепа пускаме перпендикуляр (M_0P) към отиващия към точката на наблюдение (B) лъч от другия край на процепа (MB). Пускаме успоредни на M_0P перпендикуляри към лъча MB така, че отсечките M_1P_1 , M_2P_2 , M_3P_3 да са точно по половинка дължина на вълната. Така построените прави M_1P_1 , M_2P_2 , M_3P_3 , пресичайки процепа го разделят на т.нар. зони на Френел M_0M_1 , M_0M_2 , M_0M_3 , M_0M . По този начин правата MP съдържа цяло число половинки дължини на вълната. Освен това M_0B и P_1B , M_1B и P_2B , M_2B и P_3B , M_3B и P_1B и т.н. са по двойки равни. Следователно разликите в оптичните пътища се формират от отрязъците M_1P_1 , M_2P_2 , M_3P_3 и MP_4 всеки с дължина $\lambda/2$. Знаем, че при интерференция, когато в пространството се срещнат максимум от едната вълна и минимум от другата (разлика в оптичните пътища $\lambda/2$) при еднаква честота те се гасят. При четен брой зони на Френел разликата в оптичните пътища на лъчите в краищата на процепа (MP) е четен брой $\lambda/2$. Тогава лъчите от съседните зони на Френел взаимно се гасят и в т. В наблюдаваме минимум (тъмна ивица). Ако в процепа има нечетен брой зони на Френел и съответно MP е нечетен брой $\lambda/2$ то наблюдаваме максимум (светла ивица). Условието за получаване на минимум или съответно максимум на екрана се изпълняват при определени стойности на ъгъла φ , под който светлинните лъчи дифрактират .



Фиг. 2.

Зони на Френел и определяне положенята на дифракционните минимума и максимуми. φ -ъгъл на дифракция.

Определяне на ширината на процеп

При Фрауенхоферова дифракция на монохроматична светлина през тесен процеп се наблюдава следната характерната дифракционна картина (виж фиг. 3). Точно срещу процепа се намира ярък централен максимум. От двете му страни симетрично са разположени редуващи се светли и тъмни ивици, които могат да бъдат номерирани. От тях светлите ивици се наричат вторични максимуми, а тъмните, съответно, минимума. С нарастване на поредния номер интензитета на вторичните максимуми намалява значително, поради което обикновено могат да бъдат наблюдавани само първите няколко вторични максимума. Положението на минимумите (и също и на максимумите) зависи от дължината на светлинната вълната и от ширината на процепа. Тъй като дължината на вълната за използвания от нас източник на светлина ни е известна, ако намерим положението на минимумите и разстоянието между тях, ние можем да пресметнем и ширината на процепа. За целта трябва да използваме формулата описваща положението на минимумите върху екрана:

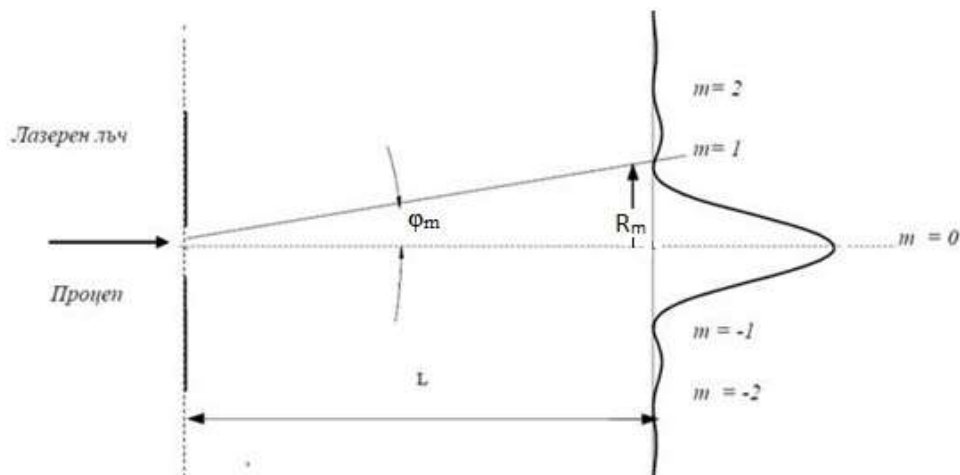
$$MP = b \sin \varphi_m = 2m \frac{\lambda}{2}. \quad (1)$$

В горната формула m е цяло число (порядък на дифракционния минимум), b – ширината на процепа, φ_m е ъгълът на дифракция т. е. ъгълът между първоначалното направление на лъча (определено от централния максимум) и направлението на минимума с пореден номер m , λ е дължината на вълната, която за използвания лазерен диод е 650 nm . От правоъгълния триъгълник (Фиг. 3) получаваме следното съотношение

$$\sin \alpha_m = \frac{R_m}{\sqrt{R_m^2 + L^2}} \approx \frac{R_m}{L}. \quad (2)$$

Във формула (2) сме направили приближение като сме отчели, че $L \gg R_m$. От формули (1) и (2) за ширината на процепа получаваме формула за ширината на процепа:

$$b = m\lambda \frac{L}{R_m} \quad (3)$$



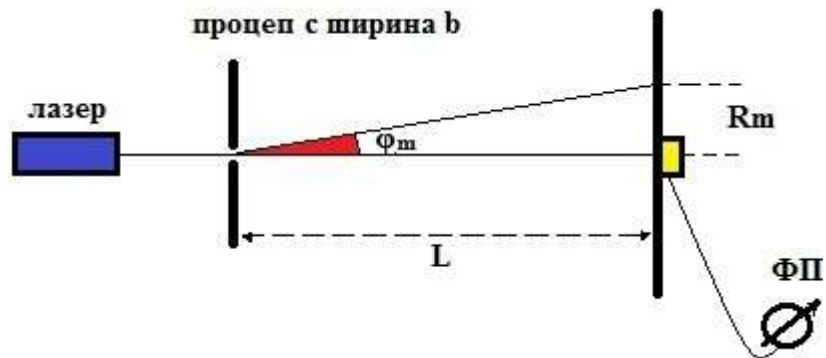
Фиг. 3. Дифракционна картина от тесен процеп.

Задачи:

1. Определяне на ширината процеп.
- 2*. Изследване на разпределението на интензитета на светлината в дифракционната картина от процеп при дифракция на Фраунхофер.

Описание на експерименталната постановка

Опитната постановка е показана на фиг. 4. Тя се състои от: полупроводников лазер служещ за източник на монохроматична светлина; процеп; анализираща система състояща се от фотоприемник и поставен пред него екран с тесен процеп; микрометричен винт регулиращ хоризонталната позиция на анализиращия процеп. Положението на анализиращия процеп се отчита по линейна скала с точност $10^{-5}m$. Елементите на експерименталната постановка са монтирани на релса като разстоянието между процепа и екрана може да се променя. Анализиращия процеп позволява тесен участък от светлинния сноп да попадне във фотоприемника. Фотоприемника отчита интензитета на попадналата в него светлина в относителни единици. Чувствителността на фотоприемника ни позволява на практика да намерим положението само на първите няколко минимума.



Фиг. 4

Описание на измерителната процедура

При изпълнение на задача 1. следваме следната процедура. С микрометричния винт меним положението на анализиращия процеп като визуално наблюдаваме преминаването му през дифракционната картина и следим показанията на фотоприемника. Намираме x_m и x_{-m} позициите на двата минимума от порядък m разположени симетрично спрямо централния максимум. Пресмятаме разстоянието R_m между централния максимум и минимума с пореден номер m , от следната формула

$$R_m = \left| \frac{x_m - x_{-m}}{2} \right|.$$

Ширината на процепа пресмятаме по формула (3), а грешката определяме по следните формули:

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta R_m}{R_m}.$$

С нарастване на поредния номер m , относителната грешка при определяне на b намалява тъй като R_m нараства.

При изпълнение на задача 2. следваме следната процедура. С помощта на регулиращия винт поставяме анализиращия процеп от едната страна на централния максимум, приблизително при третия вторичен максимум. Придвижваме анализиращия процеп в посока на централния максимум като правим малки стъпки от порядъка на 0,1 mm. На всяка стъпка отчитаме показанието на фотоприемника. Интензитет на светлината измерваме в относителни единици. За да получим резултата за интензитета на светлината в абсолютни единици трябва да намерим връзката между фототока и интензитета на светлината, т. е. калибрираме уреда. Това обаче за нас не е необходимо, понеже ще се интересуваме само от отношението на интензитетите на светлината в максимумите, а не от абсолютната им стойност. Данните от измерването записваме в Таблица 2. и построяваме графика.

<i>x, mm</i>	<i>I, a.u.</i>

Таблица 1.

От графиката определяме интензитета на светлината в максимумите и проверяваме дали са изпълнени следните съотношения:

$$I_0 : I_1 : I_2 = 1 : 0.045 : 0.016$$

Изисквания към протокола

I. Цел на упражнението

II. Теоретично въведение и постановка на задачата

- описание на явлениято дифракция
- принципа на Хюйгенс-Френел
- видове дифракция
- описание на начина за определяне на положенията на дифракционните минимума и максимуми при дифракция от процеп чрез зоните на Френел придружено от схема
- формула за положение на минимумите върху екран
- формулировка на поставените задачи

III. Схема на опитната постановка и методика на експеримента

- схема (от ръководството) и описание на експерименталната постановка
- формулата за ширината на процепа
- описание на процедурата за намиране на позициите на минимумите x_m и x_{-m} (за задача 1.)
- описание на процедурата за измерване на разпределението на интензитета на светлина върху екрана (за задача 2.)

IV. Данни и резултати от измерванията

Посочват се:

- разстоянието между процепа и екрана
- дължината на вълната на лазера
- позициите на минимумите x_m и x_{-m}
- разстоянието R_m между централния максимум и минимума с пореден номер m

V. Краен резултат и преценка на точността

- За задача 1. се записва се крайния резултат за ширината на процепа заедно с грешката пресметната по формулата представена в ръководството.
- За задача 2. данните описващи разпределението на интензитета на светлина върху екрана се нанасят в таблица 1. и се построява графика.

Възможни допълнителни задачи

- Определяне на отношението на интензитетите.
- Определяне на дебелината на нишка.
- Определяне на дължината на вълната на лазерното излъчване, ако е известна ширината на процепа.
- Изследване на дифракционна решетка.