

УДК 681.785

В.П. Налбандова, студентка гр. ПО-42, д.т.н., проф. В.Г. Колобродов
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФРАКЦІЇ ФРАУНГОФЕРА НА БАЗІ КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

Анотація. У даній статті розглянуто дифракцію Фраунгофера на щілині, принципи побудови приладів для дослідження оптичних систем обробки інформації, де використовується когерентне випромінювання. Створено лабораторний стенд для дослідження дифракції Фраунгофера, проведені експериментальні дослідження.

Ключові слова: когерентний оптичний спектроаналізатор, оптична обробка інформації, дифракція Фраунгофера, дифракція на щілині.

ВСТУП

В наш час досить актуальним для таких галузей техніки, які мають безпосереднє відношення до передачі, обробки та отримання інформації, є питання збільшення швидкості цих процесів. Для вирішення цієї задачі було обрано використання двовимірного сигналу, що забезпечує більшу сміст, в порівнянні з одновимірним. Це досягається оптичною обробкою інформації, оскільки саме параметри світлового поля змінюються в часі і просторі.

Сучасні системи обробки інформації можна розділити на дві групи: аналогові (оптичні) і цифрові. Між собою вони відрізняються способом обробки інформації. В аналогових системах обробки зображень використовуються когерентні та некогерентні обчислювальні пристрої. Цифрова ж обробка зображень передбачає використання електронних обчислювальних машин (ЕОМ). В наш час все частіше зустрічаються так звані гібридні системи, які використовують ЕОМ і оптичні процесори.

Оптичні системи обробки зображень отримали широке розповсюдження після винайдення джерел когерентного випромінювання – лазерів. Обробка зображень в системах з когерентними джерелами випромінювання заснована на можливості реалізації математичних перетворень і операцій над зображеннями, такими, як перетворення Фур'є, що більш детально висвітлено в роботах [1-3]. Основою оптичної системи обробки інформації є когерентний оптичний аналізатор, який призначений для отримання спектрів просторових оптичних сигналів (дифракційних картин Фраунгофера).

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

Як відомо [4], явище відхилення світлових хвиль від прямолінійного поширення при проходженні отворів і поблизу країв екранів називається дифракцією. Залежно від відстані, з якого спостерігається хвиля за предметом, на якому відбувається дифракція, розрізняють дифракцію Фраунгофера або Френеля. Їх різниця в наступному: якщо дифракційна картина спостерігається на кінцевій відстані від предмета, що викликає дифракцію і треба враховувати кривизну хвильового фронту, то говорять про дифракцію Френеля, а якщо ж хвильові fronti плоскі (промені паралельні) і дифракційна картина спостерігається на нескінченно великій відстані (для цього використовують лінзи) - дифракцію Фраунгофера.

Розглянемо дифракцію Фраунгофера від нескінченно довгої вузької щілини. Нехай плоска хвиля падає нормально на екран, в якому є щілина (рис. 1). Виберемо хвильову поверхню, що збігається з площиною щілини. Відкрита ділянка цієї поверхні виступає джерелом вторинних хвиль. Дифракційну картину спостерігатимемо в фокальній площині збиральної лінзи.

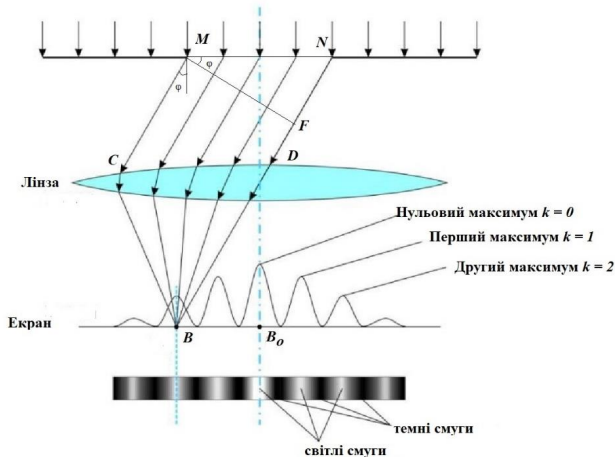


Рисунок 1. Принцип дифракції на одній щілині

Оптична різниця ходу між крайніми променями MC і ND, що йдуть від щілини в напрямку кута φ , дорівнює

$$\Delta = a \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

їй відповідає різниця фаз $\delta = 2\pi\Delta / \lambda = 2\pi \cdot a \cdot \sin(\varphi) / \lambda$.

Розіб'ємо щілину MN на зони Френеля, що мають вигляд смуг, паралельних краям щілини. Ширина зон обирається таким чином, щоб різниця ходу від країв цих зон дорівнювала $\lambda/2$. Тоді на ширині щілини вміститься $2\Delta/\lambda$ зон. Відповідно до (1) це число залежить від кута φ .

Всі точки в площині щілини здійснюють коливання з однаковою фазою. Амплітуди вторинних хвиль в площині щілини також рівні, оскільки зони Френеля мають однакові площі і однаково нахилені до напрямку спостереження. При інтерференції світла від кожної пари сусідніх зон Френеля, результуюча амплітуда рівна нулю, оскільки коливання від них приходять в точку B в протифазі і гасять один одного.

Відповідно, якщо число зон Френеля парне

$$a \cdot \sin \varphi = \pm 2m(\lambda/2), \quad (2)$$

то в точці екрану B буде спостерігатися дифракційний мінімум. Якщо ж число зон Френеля непарне, то

$$a \cdot \sin \varphi = \pm(2m+1) \cdot (\lambda/2), \quad (3)$$

тобто в точці екрана В буде спостерігатися дифракційний максимум, що відповідає дії однієї не скомпенсованої зони Френеля.

Оптична система когерентного спектроаналізатора може бути виконана за двома наступними схемами [4]:

- Вхідний транспарант розміщений перед об'єктивом;
- Вхідний транспарант розміщений за об'єктивом.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ході роботи було створено лабораторний стенд, взявши за основу когерентний оптичний спектроаналізатор, вхідний транспарант якого (щілина) розміщений перед об'єктивом. Схема установки показана на (рис. 2).

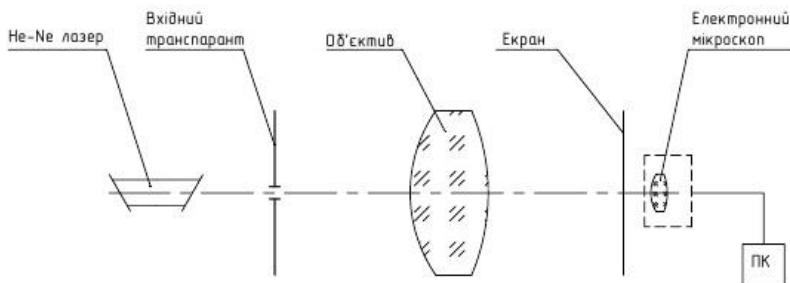


Рисунок 2. Схема лабораторної установки

Пучок когерентного випромінювання з He-Ne лазера нормально падає на вхідний транспарант. Після дифракції світла на щілині формуються паралельні пучки, які відхиляються на кут φ , який визначається рівнянням (3). Об'єктив формувє в своїй задній фокальній площині (відстань, де знаходиться екран) дифракційні максимуми. За екраном знаходиться електронний мікроскоп, що містить ПЗЗ-матрицю, яка реєструє і передає зображення на ПК. Вигляд лабораторної установки показано на (рис. 3).



Рисунок 3. Загальний вигляд лабораторної установки для спостереження дифракції

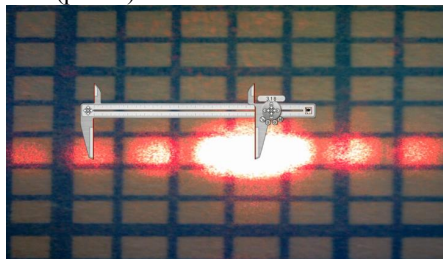


Рисунок 4. Зображення дифракційної картини на екрані комп'ютера

За допомогою відкаліброваного електронного штанген-циркулю можна отримати досить точні результати вимірювання відстаней між максимумами, які необхідні для визначення ширини щілини (рис. 4).

В ході вимірювань було визначено, що при звуженні щілини центральний максимум розпливається, а його яскравість зменшується. Те ж саме відноситься й до інших максимумів. І, навпаки, чим щілина ширше, тим картина яскравіша, але дифракційні смуги вужчі, а число самих смуг більше. Коли ширина щілини набагато більша довжини хвилі He-Ne лазера, то в центрі екрану отримується різке зображення джерела випромінювання.

ВИСНОВКИ

Ширина і число дифракційних смуг будуть залежати від відношення довжини хвилі λ до ширини щілини a .

Якщо щілина дуже вузька ($a \ll \lambda$), то вся поверхня щілини є лише невеликою частиною зони Френеля, і коливання від усіх її точок будуть з будь-якого напрямку поширюватися майже в однаковій фазі. В результаті у всіх точках екран буде дуже слабо рівномірно освітлений. Можна сказати, що світло через щілину практично не проходить.

Якщо щілина дуже широка ($a \gg \lambda$), то вже перший мінімум буде відповідати дуже малому відхиленню від прямолінійного поширення під кутом. Тому на екрані отримаємо геометричне зображення щілини, оточене по краях тонкими темними і світлими смужками, що чергуються.

Чіткі дифракційні максимуми і мінімуми будуть спостерігатися тільки в проміжному випадку, коли на ширині щілини a вкладається кілька зон Френеля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Joseph W. Goodman. Operations Achievable with Coherent Optical Information Processing Systems. Proceedings of the IEEE, vol. 65, No. 1, January 1977. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1454698/> (дата звернення: 19.02.2018).
2. Yuhua Duan, Liao Chen, Haidong Zhou, Xi Zhou, Chi Zhank, Xinliang Zhang. Ultrafast electrical spectrum analyzer based on all-optical Fourier transform and temporal magnification. Optics express. Vol. 25, No. 7. 3 Apr 2017 | OPTICS EXPRESS 7520. URL: <https://doi.org/10.1364/OE.25.007520> (дата звернення: 19.02.2018)
3. В.В. Богатырева, А. Л. Дмитриев. Оптические методы обработки информации: учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2009. – 74 с.
4. В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик. Прикладна дифракційна оптика: підручник – К.: НТУУ „КПІ”, 2015. – С. 271