

Тема 15. Поняття про голографію

Питання лекції:

1. Суть голографії. Утворення голографічного зображення.
2. Товстошарові голограми (метод Ю.Н. Денисюка).
3. Застосування голографії.

1. Суть голографії. Утворення голографічного зображення

Голографія – по-грецькому "повний запис". Мова йде про запис зображення предмета. Ми добре знайомі з плоским зображенням – фотографією. При фотографуванні зображення тривимірного предмета проектується на площину і на фотопластинці відбувається реєстрація тільки квадрата напруженості електричного вектора світлової хвилі, тобто інтенсивності. Але одержане таким способом зображення практично не містить інформації про те, на яких відстанях знаходяться окремі точки предмета. Звичайно, частково ця інформація у фотографії існує, однак вона не пряма. Про об'ємність предметів на фотографії ми судимо на основі законів перспективи: предмети близькі мають більші розміри, а далекі – менші. Також зменшується з відстанню їх чіткість, яскравість. Крім того, ми завжди бачимо на фотографії зображення предметів з одної точки зору, не можемо розглянути предмет зі сторони. Ця обмеженість інформації про предмет обумовлена тим, що для створення зображення використовується тільки один параметр – інтенсивність. Підвищити ж інформативність зображення можна, якщо використати й інші параметри – довжину хвилі світла, фазові співвідношення.

Ідеї, які лежать в основі голографії, були висловлені в 1947 р. англійським фізиком Д. Табором. Однак Табору не вдалось одержати якісного зображення внаслідок цілого ряду технічних труднощів, головна з яких полягала у відсутності потужних когерентних джерел світла. І тільки після появи лазерів у 1962 році американські дослідники



рис. 1





Е. Лейт і Ю. Упатніекс одержали перші якісні голограми тривимірних об'єктів.

Отже, в голографії використовується не тільки інтенсивність хвилі, але також фазові співвідношення. Голографія ґрунтується на явищах інтерференції і дифракції. Для спостереження інтерференційної картини необхідно мати дві когерентні хвилі.

Нехай це будуть

$$s_1 = A_1 \cos(\omega t - kx_1),$$

$$s_2 = A_2 \cos(\omega t - kx_2).$$

Результуюча амплітуда при складанні двох хвиль у деякій точці простору залежить від амплітуд A_1 та A_2 і від різниці фаз хвиль:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\psi_2 - \psi_1)},$$

де $\psi_2 - \psi_1 = (\omega t - kx_2) - (\omega t - kx_1) = k(x_1 - x_2)$ – різниця фаз, а $x_1 - x_2$ – різниця ходу.

Голографія теж здійснюється за допомогою **двох когерентних хвиль**: одна хвиля йде від предмета і несе інформацію про предмет (амплітуда, фаза) – це **предметна хвиля**. Друга хвиля є **опорною** і призначена вона для створення інтерференційної картини. Предметна і опорна хвилі утворюються з однієї хвилі шляхом розділення на дві частини. Джерелом когерентного випромінювання служить лазер.

Для того, щоб зрозуміти, як одержується голографічне зображення, розглянемо голографування сферичної хвилі. Нехай від точкового джерела Б сферична хвиля (в даному випадку – предметна хвиля) направляється через напівпрозоре дзеркало Д, на фотопластинку Ф. Іншим шляхом за допомогою лінзи Л і системи дзеркал Д₂, Д₃ на фотопластинку направляється також плоска хвиля (опорна). Очевидно, що інтерференційна картина буде являти собою систему концентричних кіл максимумів і мінімумів (рис. 15.1).

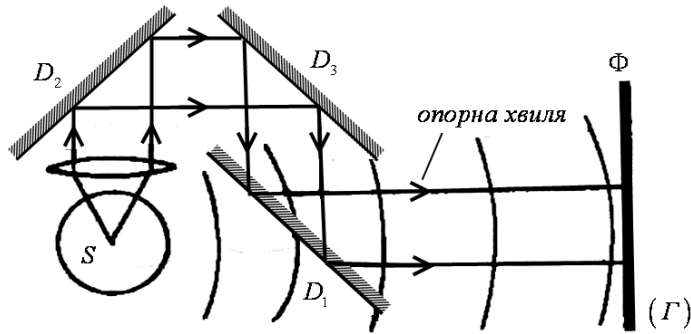


Рис. 15.1

Проявлена і зафіксована фотопластинка є голограмою записаної на ній хвильової поверхні і являє собою по суті складну дифракційну решітку. І якщо тепер цю голограму Γ помістити на місце фотопластинки освітити опорною, тобто в даному випадку плоскою хвилею, то відбудеться дифракція променів з центральним ($m=0$) і бічними ($m=+1$, $m=-1$) максимумами. Перетин дифрагованих променів, які відповідають $m=+1$ і $m=-1$, дасть зображення джерела S (рис. 15.2). Причому, таких зображень буде два – дійсне S' і уявне S'' .

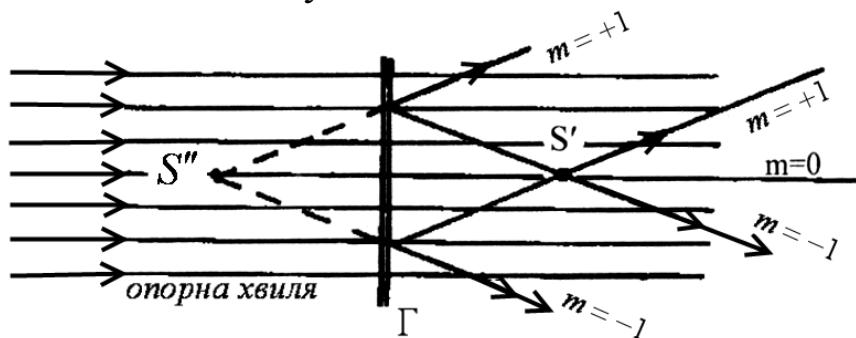


Рис. 15.2

Уявне зображення S'' співпадає з предметом і є подібним до нього (промені розходяться). Дійсне ж зображення (S') – псевдоскопічне, оскільки промені в точці S' збігаються.

Ми розглянули найпростіший випадок голографування сферичної хвильової поверхні. Якщо ж замість джерела S взяти об'ємний предмет і освітити його, то хвильова поверхня, яка поширюватиметься від нього – предметна хвиля – буде мати складну форму (багато точкових джерел). Інтерферуючи з опорною хвилею, вона створить у просторі складну систему максимумів і

мінімумів, які можуть бути зафіксовані на фотопластинці Φ і міститимуть інформацію про предмет.

На рис. 15.3 зображена схема, яка дає можливість створити предметну і опорну хвилі.

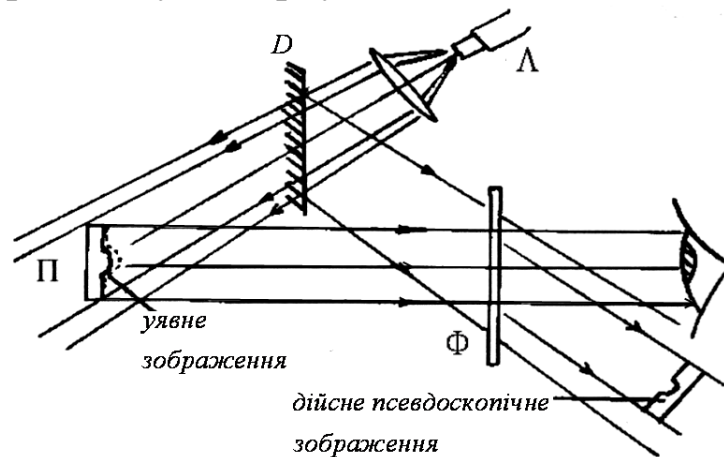


Рис. 15.3

Промінь від лазера L розширюється за допомогою лінз і через напівпрозоре дзеркало D освітлює предмет P . Від предмета поширюється хвиля предметна хвиля, яка несе про нього інформацію, маючи в різних напрямках різну амплітуду і фазу. Ця предметна хвиля складається з опорною хвилею, що відбивається від дзеркала, і в просторі виникає їх інтерференція.

Інтерференційна картина фіксується на фотопластинці Φ і являє собою складну систему максимумів і мінімумів. Тобто, проявлена фотопластинка є своєрідною дифракційною ґраткою і називається вона **голограмою**. В даному випадку це тонкошарова голограма.

Голограма містить у собі запис хвильового поля предмета, яке можна відновити. Для цього треба поставити голограму на місце фотопластинки і освітити її опорним пучком. Тоді в результаті дифракції виникають дійсне і уявне зображення. Дійсне зображення псевдоскопічне, а уявне співпадає з положенням предмета і відповідає йому, тобто воно є об'ємним. На нього можна дивитись з різних положень і можна побачити його збоку. Це пояснюється тим, що змістившись в сторону, ми сприймаємо зображення, відновлене від периферійної частини голограми, на яку при експонуванні теж падали

промені, відбиті від прихованих частин предмета. Якщо ж дивитись на велику голограму двома очима, то виникає стереоскопічний ефект, оскільки кожне око бачить предмет із дещо іншого боку.

Важливою особливістю голограм є та обставина, що кожна мала ділянка голограми містить інформацію про весь предмет. Якщо голограму розколоти на декілька кусків, то кожен із них дає таку ж картину, що й уся голограма, хоча з меншою чіткістю.

2. Товстошарові голограми (метод Денисюка)

Ми розглянули спосіб одержання об'ємного зображення за допомогою тонкошарових голограм. Однак є ще один спосіб, запропонований у 1962 р. Ю.Н. Денисюком.

Якщо товщина світлочутливого шару істотно більша від ширини інтерференційної смуги (або від довжини хвилі), то можна утворити об'ємну дифракційну ґратку. Це робиться за допомогою когерентних предметної і опорної хвиль, які поширюються назустріч одна одній. Інтерференційна картина в цьому випадку являє собою систему площин із вузлів і пучностей ("стоячі хвилі"), які знаходяться на відстані $\lambda/2$ у товщі емульсії (рис. 15.4), і містить інформацію про предмет. Здійснити запис товстошарової голограми можна, наприклад, за схемою, зображеною на рис. 15.5, помістивши фотопластинку Φ в область "стоячих" хвиль.

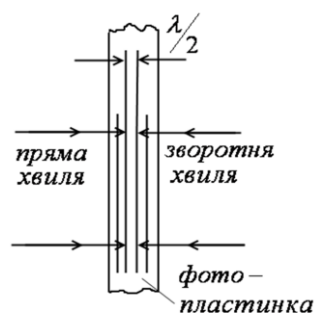


Рис.15.4

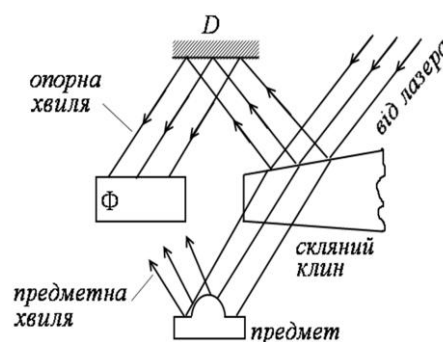


Рис.15.5

Промінь від лазера за допомогою скляного клина

розділяється на два когерентні промені, один з яких освітлює предмет (предметна хвиля), а інший є опорною хвилею. Ці дві хвилі з різних боків потрапляють на фотопластинку, утворюючи в ній "стоячі хвилі" – систему максимумів і мінімумів (вузлів і пучностей).

Проявлена фотопластинка – голограма – являє собою тривимірну дифракційну ґратку з напівпрозорими шарами металічного срібла. Якщо потім таку голограму освітити опорною хвилею, то відбиті від шарів срібла когерентні світлові хвилі взаємно підсилюються і дають зображення об'єкта. Причому, відновлення хвильового фронту відбудеться тільки в тому випадку, якщо воно здійснюється при тій же довжині хвилі, при якій робився запис на фотопластинку. Ця обставина дає можливість для відтворення зображення використовувати джерела із суцільним спектром довжин хвиль. Голограма сама "вибирає" із спектра саме ту довжину хвилі, при якій відбувався запис зображення. Тобто, голограма діє як інтерференційний фільтр, що дає можливість створити кольорову голографію.

Кольоровий зір пов'язаний з існуванням у сітківці ока трьох типів приймачів світла, які реагують на червоне, зелене і синє світло. Зображення предмета на сітківці ока являє собою ніби три суміщених зображення, які розглядаються в червоному, зеленому і синьому світлі при певних інтенсивностях. Такий принцип суміщення зображень застосовується у кольоровій фотографії, кольоровому телебаченні. Аналогічні міркування лежать в основі кольорової голографії.

Для здійснення кольорового зображення за методом Денисюка голограма одержується при освітленні об'єкта світлом, яке має у своєму спектрі три лінії – червону, зелену і синю. Тоді в товстому шарі емульсії утворюються три системи напівпрозорих шарів із металічного срібла, кожна з яких дасть зображення відповідного кольору, якщо освітити таку голограму білим світлом. Суміщення цих трьох зображень – червоного, зеленого, синього – і дає кольорове зображення предмета.

3. Застосування голографії

Голографія знайшла дуже широке застосування – у науці, техніці, культурі, військовій справі і в інших сферах життя і діяльності людини. Голографія застосовується для реєстрації і відтворення унікальних речей – історичних реліквій, творів мистецтва, голограмних портретів, голографічного кіно, голографічного телебачення.

В науці і техніці голографія застосовується для інтерферометрії. Особливість голографічної інтерферометрії полягає в тому, що хвильовий фронт, який досліджується, фіксується на голограмі. Допустимо, що зроблена голограма тіла. Після того, як з тілом відбулись деякі зміни (старіння, нагрівання, механічні дії тощо), воно ставиться на своє місце і порівнюється з голограмою. Якщо тіло (предмет) змінить свій стан, то хвильові фронти від предмета і його зображення, одержаного за допомогою голограми, будуть різними. Оскільки вони когерентні, то буде інтерференція, за характером якої можна зробити висновок про зміни в об'єкті.

Голографічні методи підходять для будь-яких хвильових полів, у тому числі й акустичних. Існує так звана акустична голографія, яка дає можливість одержати об'ємне зображення предмета за допомогою акустичних хвиль. Наприклад, якщо від джерела D_1 на об'єкт O направити ультразвукову хвилю, то відбита хвиля (предметна), складаючись з опорною, яка йде від іншого когерентного джерела (D_2), дасть інтерференцію, картину якої можна спостерігати на поверхні рідини (рис. 15.6). Цю картину можна відтворити у видимому діапазоні, якщо освітити поверхню за допомогою лазера.

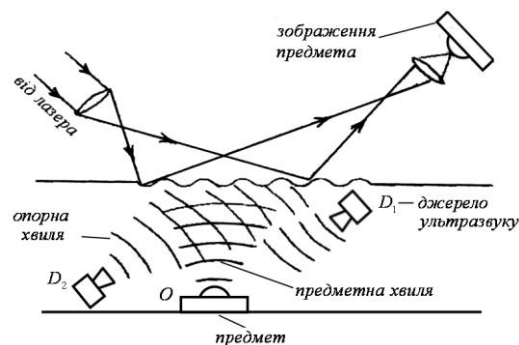


Рис. 15.6



У радіодіапазоні також застосовуються методи, аналогічні оптичній голографії. Радіоголографія використовується у мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль (мм, см) для одержання зображень об'єктів. На рис. 15.7 зображена схема установки для радіоголографії.

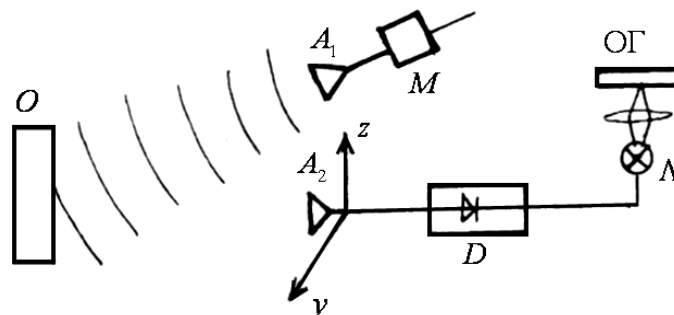


Рис. 15.7

Антенна A_1 опромінює об'єкт O . Антенна A_2 , скануючи в площині yz , приймає відбиті від об'єкта хвилі (предметні хвилі), а також сигнал опорної хвилі від антени A_1 . Результуючі коливання через скануючий освітлювач L записуються на оптичній голограмі.

Питання для контролю

1. Як здійснюється запис хвильової поверхні ?
2. Як утворюється голографічне зображення за допомогою тонкошарової голограми ?
3. Як утворюється голографічне зображення за допомогою товстошарових голограм (метод Денисюка) ?
4. Як утворюється кольорове голографічне зображення ?
5. Де застосовується голографія ?
6. Що таке акустична голографія ?
7. Що таке радіоголографія ?

Допоміжна література

1. Г.С. Ландсберг. Оптика. – М.: Наука, 1976. – С. 235.

