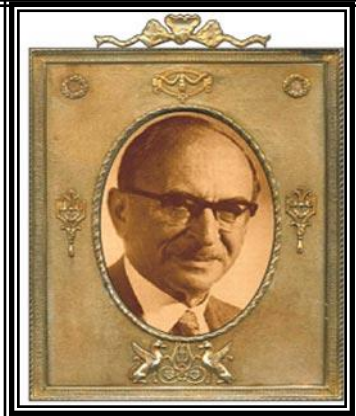


ХОЛОГРАФИЯ

1. Физическо въведение

Денис Габор
Баща на холографията



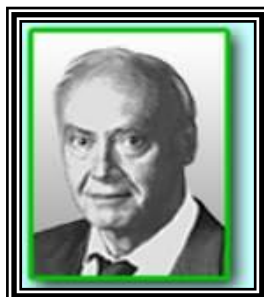
Холографията е изобретена от английския физик **Денис Габор – 1947г.**, при провеждане на експерименти за подобряване на разделителната способност на електронен микроскоп.

Той не получава добри холограми, поради липса на източник с голяма степен на кохерентност (пространствена и временна). При него $l_{\text{кох}} = 2 \div 3 \text{ m}$.

При съвременните лазери $l_{\text{кох}} \sim (0.5 - 1000) \text{ m}$.

Нобелов лауреат е от 1971г.

Лейт и Упатниекс – американски физици, които усъвършенстват схемата и през 1963г. получават първата лазерна холограма на преминаване на 3-D обект.



Е. Лейт



Ю. Упатниек

Тяхната първа холограма е играчка влакче и птица.



Денисюк – руски учен, който по същото време (1962г.) предлага оригинален метод за фиксиране на **холограмата върху дебелослойна емулсия**.

В отличие от тънкослойните холограми, дебелослойните в бяла светлина дават цветно изображение на предметите.

Създава първата холограма на отражение.



Обикновената фотография получава изображение на обекта, като регистрира върху фотопластина (фотолента) различния интензитет на светлината, разсеян от различните малки повърхостни елементи (dS) на обекта. Полученият негатив и проявената позитивна фотография дава само приближен двумерен образ на тримерния обект.



Две от първите холограми възстановени в бяла светлина от Денисюк.

Принципно нов метод за получаване на обемно изображение изказва Габор.

На фотопластина се регистрира не само амплитудата (или нейният квадрат, т.е. интензитетът, както при обикновена фотография), но и фазата на разсеяната от обекта светлинна вълна, използвайки явленията интерференция.

Този метод е наречен холография.

Холографията е метод за записване и възстановяване на пълното обемно изображение, основан на явленията интерференция и дифракция.



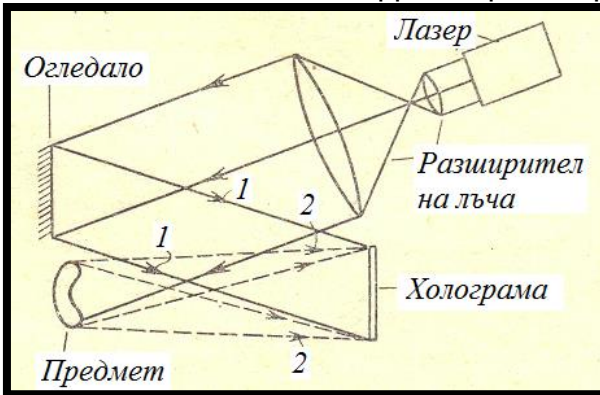
Холография:
пълен (цялостен) запис.

Holos - гръцки произход – пълен, цял;

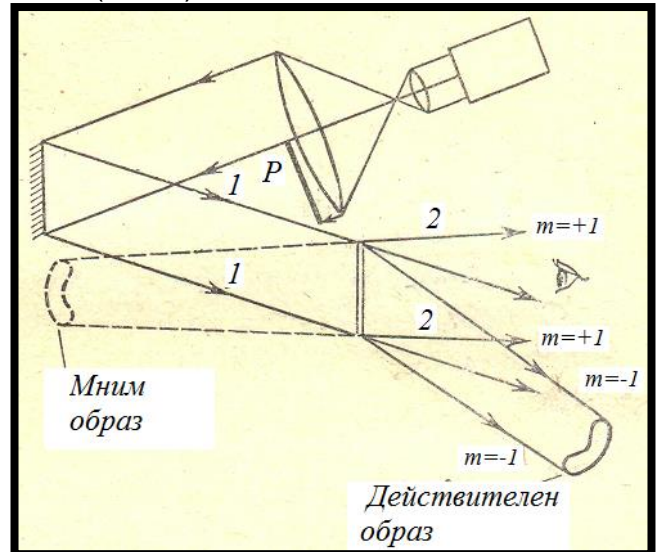
grapho – гръцки произход –
пиша, рисувам

2. Записване и възстановяване на вълновия фронт.

Ще разгледаме елементарния метод за получаване на холография върху тънка фотоемулсия. Холограмата се получава чрез интерференция (Фиг.1), а се възстановява вълновия фронт чрез дифракция (Фиг.2).



Фиг.1



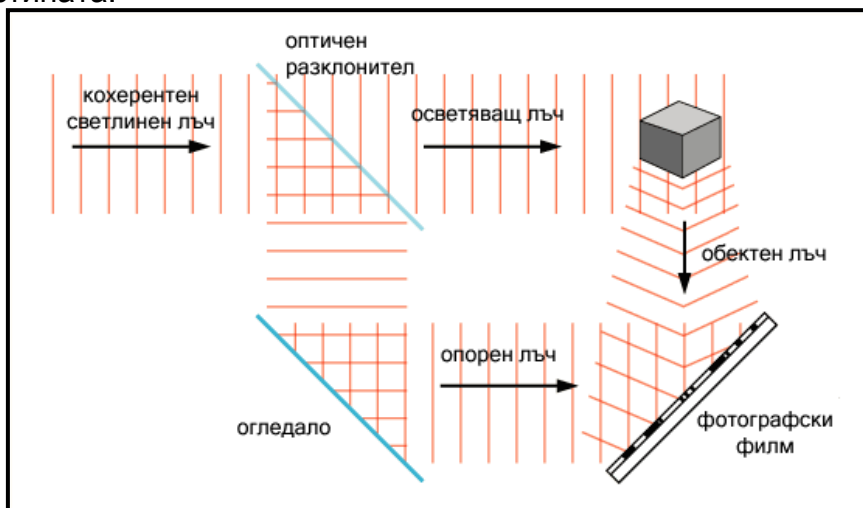
Фиг.2

Разглеждаме получаване на холограма фиг.1 – **запис на холограма.**

Светлинният поток, излъчен от лазера се разширява с лещи и се дели на два снопа:

11 – опорна вълна – идваща от лазера и отразена от огледалото към фотопластината.

22 – предметна вълна – идваща от лазера и отразена от предмета към фотопластината.



Двете вълни са кохерентни, т.к. лазера излъчва вълни с висока степен на пространствена кохерентност (светлинните вълни са кохерентни по цялото напречно сечение на лазерния снопа). Двете вълни интерферират и картината се фиксира върху фотопластината.

Експонирана така и проявена фотопластината се нарича холограма.

Интензитетът на линиите от интерференчната картина се изменя по закона:

$$I = I_0 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

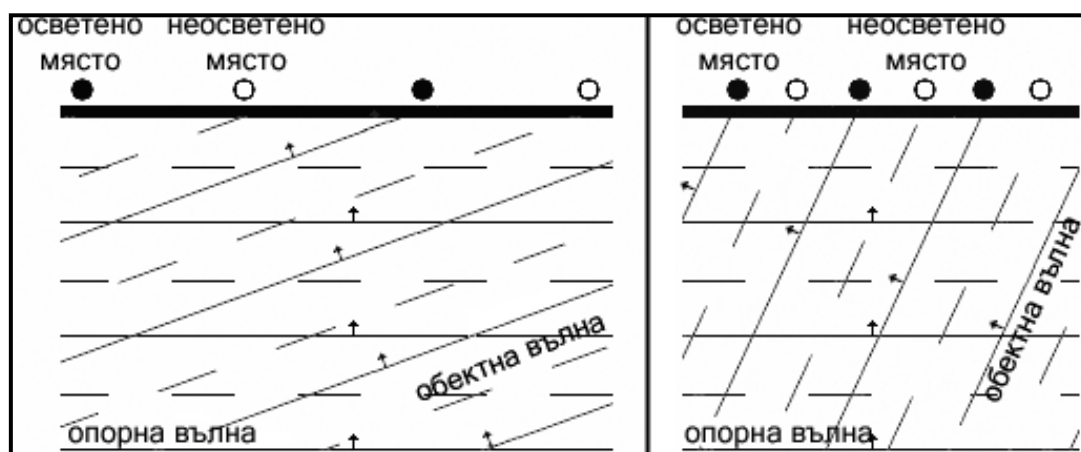
За да се запише и възпроизведе вълновият фронт от предмета е необходим източник със силен интензитет, т.к. на 1mm се записват 10^3 линии и слабо отместване на 10^{-3} mm размазва картината.

Необходимо е фотоплаката да има определени изисквания за коеф. на пропускане, за да може преминалата светлина по интензитет да следва закона:

$$I = I_0 \cos\Delta\varphi \quad (1)$$

Следователно, холограмата е нерегулярна, неперриодична дифракционна решетка.

Гъстотата на интерференчните ивици зависи от дължината на вълните и от ъгъла, под който се срещат опорната и обектната вълна. Колкото по-косо се срещат фронтите на двете вълни, толкова по-гъсти са получените интерференчни ивици и обратното.



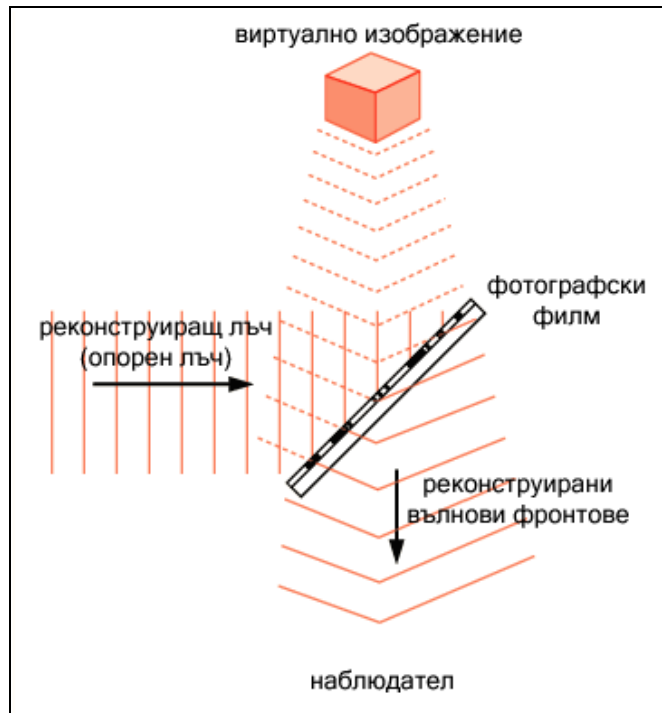
Разглеждаме възстановяване на изображението от проявената фотопластина – холограмата. Фиг.2

Холограмата се поставя на същото място където е била при фотографирането, а предметът се премахва. Холограмата се осветява с опорната вълна (частта от лазерния сноп, който осветяваше предмета се прикрива с преграда P).

Опорният лъч дифрактира от холограмата и дава три вълнови фронта, т.е. ние сме възстановили същите вълни 11 (за $m = 0$) и 22 (за $m = +1$) както на фиг. 1, плюс трета вълна (за $m = -1$). Така възникналата вълна 22 има същата структура, както и отразената от предмета вълна 22. Следователно, ако вълната 22 носи някаква информация за обекта, тази информация може да бъде записана.

Вълната за $m = +1$ дава мним, (точен) образ на предмета. Образът е ортоскопичен – точен. Получава се от продължението на лъчите. Появява се на същото място, където е бил обектът. Възприема се от око.

Вълната за $m = -1$ дава действителен образ на предмета, т.к се пресичат реалните лъчи. Образът е псевдоскопичен, т.е. изпъкналите места изглеждат вдлъбнати и обратно – има обърнат релеф, защото фазите са обърнати.

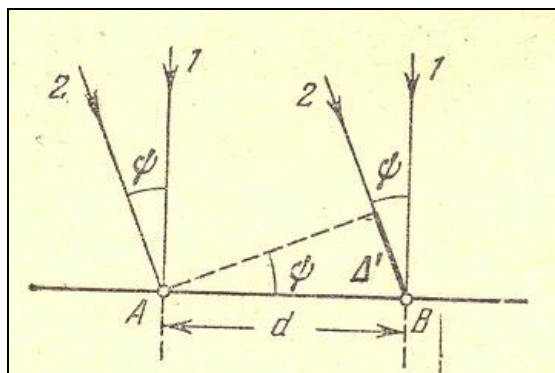


Нека предметът е точка, безкрайно отдалечена.

1) Върху фотопластината падат два кохерентни лъча под ъгъл ψ един спрямо друг:

11 – опорен лъч → Допускаме, че 11 е перпендикулярен на Холограмата (X). Другите случаи са аналогични.

22 – предметен лъч → Плоска вълна, т.к предметът е безкрайно отдалечена точка.

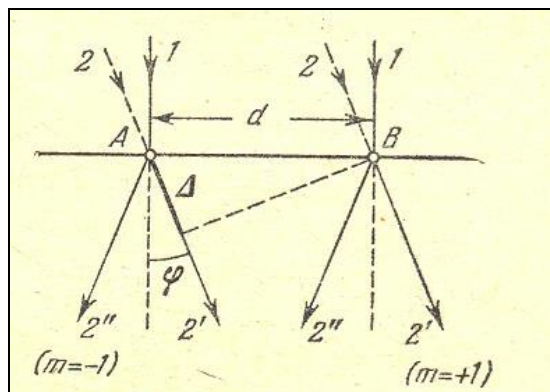


Вълните 11 и 22 интерферират и образуват max и min. Нека А и В са среди на съседни максимуми. Тогава разликата в оптичните пътища на вълните в т. А и т. В - Δ е равна на дължината на вълната:

$$\Delta' = d \sin \psi = \lambda \quad (2)$$

Зафиксираме върху фотопластината (чрез експониране и проявяване) интерференчната картина, т.е. получаваме холограма.

- 2) Насочваме опорния лъч 11 към X. X се явява дифракционна решетка с период d , определен от горната формула (2). В тези точки пропускането на X е най-голямо. За разлика от обикновената дифракционна решетка (регулярни процепи: тъмно – светло), пропускателната способност на X се изменя в направление перпендикулярно на „преградите” по косинусов закон – формула (1). Тази особеност е причина всички дифракционни максимуми с порядък над 1 да са нули.



При осветяване на X с опорната вълна 11, възниква дифракционна картина, максимумите, на която образуват с нормалата ъгъл φ , определен от условието:

$$d \sin \varphi = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1) \quad (3)$$

Сравняваме формула (2) и (3) $\Rightarrow \angle \psi = \angle \varphi$.

Мах ($m = 0$) лежи на продължението на опорния лъч.

Мах ($m = +1$) има направление на предметния лъч 22 (преди експонирането).

Мах ($m = -1$) възниква допълнителен максимум.

Разглеждаме обемен предмет, който не е в безкрайност.

Може да се покаже, че получените резултати за точков предмет в безкрайност са валидни и при този случай, когато предметните лъчи 22 не са успореден сноп, а образуват разходящ сноп. При това,

Мах ($m = +1$) – образува разходящ сноп лъчи 2' и дава мнимо изображение на предмета, от който са излъчени лъчите 22 при експонирането.

Мах ($m = -1$) – Сходящи лъчи 2'', които дават действителен образ на предмета.

Анализ:

- При получаване на холограмата, фотопластината се осветява от опорния сноп 11 и множеството разходящи снопове 22, отразени от различните точки на предмета.
- Върху фотопластината възниква сложна интерференчна картина, образувана в резултат на наслагването на интерференчни картини дадени от всеки сноп 22 (поотделно).
- При осветяването на X с опорния сноп 11, се възстановяват всички снопове 22, т.е. получава се пълна светлинна вълна, отразена от предмета (за нея отговаря направление $m = +1$). Освен нея възникват още две вълни (за $m = 0$ и $m = -1$), но те се разпространяват в други направления и не пречат на възприемането на вълната, даваща мнимо изображение на предмета. (фиг. 2).
- Изображението на предмета, давано от X е обемно. Може да се разглежда от различни положения. Ако при снимането близки предмети са закривали по-отдалечените, то отмествайки се встрани при наблюдението можем да погледнем зад близкия предмет (т.е. зад неговото изображение). Това е така, т.к. тогава ние възприемаме изображението, възстановено от периферната част на X, върху която при експониране са попаднали и лъчи, отразени от скритите предмети.
- Интерференчната картина се образува, като във всяка точка на X попада разсеяна светлина от всички точки на обекта, т.е. във всяка точка от X се съдържа информация за целия обект.
- Следователно, ако разрежем X на малки части, пак ще получим същия образ, но с по-малка яснота. Това е така, защото X е дифракционна рашетка и с намаляване на броя на процепите N (при намаляване размера на X), ще намалее разрешителната й способност:

$$R = m.N; m = |1|$$

$$R \approx N$$

3. Приложение на холографията

- Холографско кино и телевизия.
- Холографски микроскоп.
- Контрол на качеството при изработка на изделия.
- Съхранение на обемна информация - на една фотопластина могат последователно да се запишат няколко различни холограми, изменяйки всеки път, например, ъгъла на падане на опорната вълна.
- Холографска интерферометрия.
- Холографски оптични (дифракционни) елементи.
- Музейни холографски копия.