كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : بصريات موجية

المحاضرة : الخامسة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية ، تكنولوجيا المعلومات والاتصالات

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

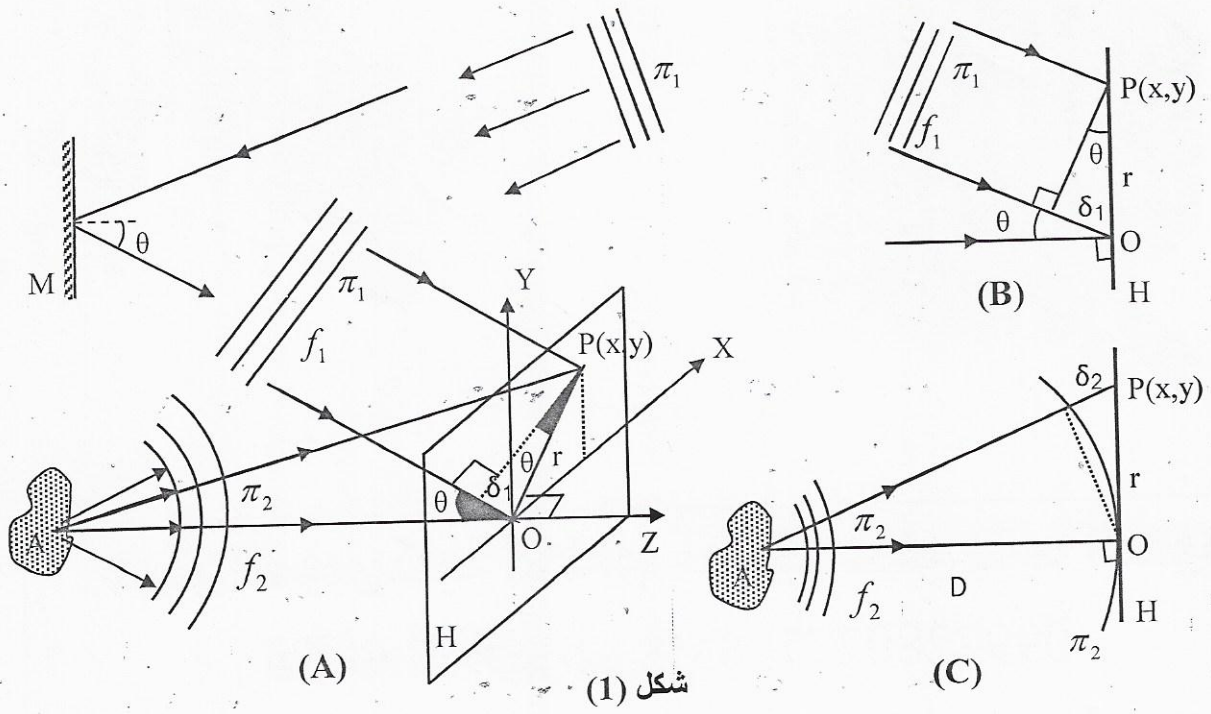
التصوير ثلاثي الأبعاد
(الهولوغرافيا)

مقدمة : اكتشف الدكتور غابور (Gabor) عام 1948 م طريقة جديدة تسمح بإعادة بناء خيال مجسم ، وذلك باستخدام أهداب الانعراج المتشكلة على الفيلم السلبي ، الذي ندعوه الهولوغرام (H) .
تتجلى هذه الطريقة باستخدام منبع ضوئي وحيد اللون ، أمواجه مستوية ، ومترابطة زمانياً ومكانياً ، ومسافة ترابطها طويلة . غير أن عدم توفر المنابع وحيدة اللون والمترابطة في زمن غابور حال دون الحصول على الهولوغراف . وفي عام 1962 م قام فيزيائيوا جامعة ميتشيكان في الولايات المتحدة الأمريكية بتحقيق اكتشاف غابور نظراً لتوفر المنابع وحيدة اللون ذات الترابط طويل المدى (الليزر) .
ندرس فيما يلي هذه الطريقة على مرحلتين ، التسجيل (التصوير) ، والمشاهدة .

١- التسجيل (التصوير) (بناء الهولوغرام) :

تُسلط حزمة متوازية من الأمواج المستوية وحيدة اللون والمترابطة زمكانياً بحيث تسقط بوقت واحد (بشكل متزامن) على الجسم المراد تصويره (الهدف) A ، وعلى مرآة M مستوية السطح العاكس . كما بالشكل (1) تنعكس الأمواج المستوية الساقطة على المرآة على هيئة أمواج مستوية (مباشرة) ، لتسقط على الفيلم (الهولوغرام H) بزاوية محددة θ مع الناظم عليه (حالة ورود مائل) ، مُشكلةً عليه البعد الثالث (الخلفية) .
أما الجسم فيمكننا اعتباره بمثابة شبكة انعراج بالانعكاس ، وبالتالي فالأمواج المستوية الساقطة عليه ستنعرج عنه على هيئة أمواج كروية حاملةً معها التفاصيل الدقيقة لكل نقطة من نقاط الجسم (الهدف) .
تتداخل الأمواج المستوية المنعكسة عن المرآة (الأمواج المباشرة) مع الأمواج الكروية المنعرجة عن الهدف ، تتداخل على لوح التصوير (H) مشكلةً عليه أهداب التداخل .
تُعالَج الصورة (النيغاتيف) باستخدام محاليل خاصة (عملية الإظهار المعروفة في الأفلام العادية) ، فلا تبدو عليه معالم الهدف (الجسم الذي جرى تصويره) كما هو الحال في الأفلام العادية ، وكل مايمكن مشاهدته عبارة عن مناطق مُضيئة وأخرى مظلمة تدعى أهداب التداخل ، وهنا يتضح الفرق بين النيغاتيف (مُسودة الفيلم العادي) ، والهولوغرام (H) مُسودة الصورة ثلاثية البعد .

- نوجد فيما يلي شدة الإضاءة المحصلة (التي تم تسجيلها على H) والناتجة عن تداخل الموجتين المباشرة والمنعرجة التي تتلقاها نقطة ما p(x,y) من الهولوغرام H الواقع في المستوي (X,Y) . شكل (1,A) .
لذا نحسب السعة المحصلة في النقطة p(x,y) ، كما يلي :



شكل (1)

نفرض أن معادلة الموجة المستوية المباشرة π_1 المنعكسة عن المرآة المستوية M والواردة على الهولوغرام H وروداً مائلاً في (O) - مبدأ قياس الأطوار- (بزاوية θ مع المحور OZ الناظم على H) تُعطى بالعلاقة :

$$f_{1o} = a_o\, e^{-i\omega t}$$

حيث a_o سعة الموجة و ω تواترها الزاوي . والتابع الأسي المتناقص للدلالة على تلاشي الموجة الواردة .

وكما هو ملاحظ من الشكل (1,B) ، الموجة π_1 الواردة في النقطة p(x,y) من H بنفس زاوية الورود θ ، تتقدم على f_{1o} بفارق في الطور قدره φ_1 ، لذا نعبر عنها بالعلاقة :

$$f_{1p} = a_o\, e^{-i(\omega t+\varphi_1)} = \underbrace{a_o\, e^{-i\varphi_1}}_{a_p}\, e^{-i\omega t} = a_p\, e^{-i\omega t}$$

$$a_p = a_o\, e^{-i\,\varphi_1}$$

نوجد من الشكل (1,B) السعة a_p للموجة المباشرة الواردة في p(x,y) بدلالة $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ القيمة العددية لمتجهة الانتشار الموجية ، العمودية على صدر الموجة ، وزاوية الورود θ المقدرة بالراديان والتي نفرضها صغيرة ، وبدلالة r موضع النقطة p في H ، حيث $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ، وذلك باستخدام العلاقة بين فرق الطور φ_1 وفرق المسار الهندسي δ_1 التالية .

$$\varphi_1 = \frac{2\pi\,\delta_1}{\lambda} = k\,\delta_1 = k\,r\,Sin\theta \approx k\,r\,\theta$$

حيث ألبسنا الزاوية بجيبها (باعتبار θ صغيرة) . بالتعويض نجد

$$a_p = a_o\, e^{-i\,k\,r\theta} \qquad (1)$$

نوجد باتباع نفس الأسلوب سعة الموجة المنعرجة عن الجسم الواردة في p(x,y) من H .

لذا نفرض أن معادلة الموجة الكروية π_2 المنعرجة عن الجسم والواردة وروداً ناظمياً في (O) - مبدأ قياس الأطوار- من الهولوغرام H مُعطاة بالعلاقة :

$$f_{2o} = b_o\, e^{-i\omega t}$$

حيث b_o سعة الموجة . وتواترها الزاوي ω يساوي التواتر الزاوي للموجة المباشرة (لأنهما في الأصل صادرتان عن منبع واحد – مترابطتان . والتابع الأسي المتناقص للدلالة على تلاشي الموجة المنعرجة .

وكما هو ملاحظ من الشكل (1,C) ، الموجة π_2 الواردة في النقطة p(x,y) من H تتأخر عن f_{2o} بفارق في الطور قدره φ_2 ، لذا نعبر عنها بالعلاقة :

$$f_{2p} = b_o\, e^{-i(\omega t-\varphi_2)} = b_o\, e^{i\,\varphi_2}\, e^{-i\omega t} = b_p\, e^{-i\omega t}$$

$$b_p = b_o\, e^{i\,\varphi_2}$$

نوجد من الشكل (1,C) السعة b_p للموجة المنعرجة الواردة في p(x,y) بدلالة k و r وبُعد الجسم D عن H ، وذلك باستخدام العلاقة بين فرق الطور φ_2 وفرق المسار الهندسي δ_2 .

$$\varphi_2 = \frac{2\pi\,\delta_2}{\lambda} = k\,\delta_2$$

نستنتج قيمة δ_2 من هندسة الشكل (1,C) . نجد بتطبيق فيثاغورث على المثلث القائم AOP

$$(AP)^2 = (AO)^2 + (OP)^2$$

$$(D+\delta_2)^2 = D^2 + r^2 \quad \Rightarrow \quad \underbrace{\delta_2^2}_{0} + 2D\,\delta_2 = r^2 \quad \Rightarrow \quad \delta_2 \approx \frac{r^2}{2D}$$

نعوض هذه القيمة في عبارة φ_2 والناتج في عبارة السعة b_p فنجد :

$$b_p = b_o e^{i k \frac{r^2}{2D}} \qquad (2)$$

فتكون السعة المحصلة C_p للموجتين الواردتين في p هي مجموع السعتين الواردتين (1) و (2) :

$$C_p = a_p + b_p$$

وبما أن المطلوب هو حساب شدة الإضاءة المحصلة (التي تم تسجيلها على H) في p .

نعلم أن الشدة I هي مربع السعة C_p^2 . وحيث أن السعة معطاة بصيغة عقدية ، فإن مربع القيمة العقدية يساوي جداء العدد العقدي بمرافقه .

$$I = C_p^2 = C_p C_p^* = (a_p + b_p)(a_p + b_p)^* = (a_p + b_p)(a_p^* + b_p^*)$$

$$I = (a_o e^{-i k r\theta} + b_o e^{i k \frac{r^2}{2D}})(a_o e^{i k r\theta} + b_o e^{-i k \frac{r^2}{2D}})$$

$$I = a_o^2 + b_o^2 + a_o b_o e^{ikr(\theta + \frac{r}{2D})} + a_o b_o e^{-ikr(\theta + \frac{r}{2D})} \qquad (3)$$

$$I = a_o^2 + b_o^2 + a_o b_o (e^{ikr\gamma} + e^{-ikr\gamma}) \quad ; \gamma = \theta + \frac{r}{2D}$$

وبالاستفادة من النسب المثلثية

$$e^{ikr\gamma} + e^{-ikr\gamma} = 2Cos\, kr\gamma = 2(2Cos^2 \frac{kr\gamma}{2} - 1)$$ وبالتعويض نجد :

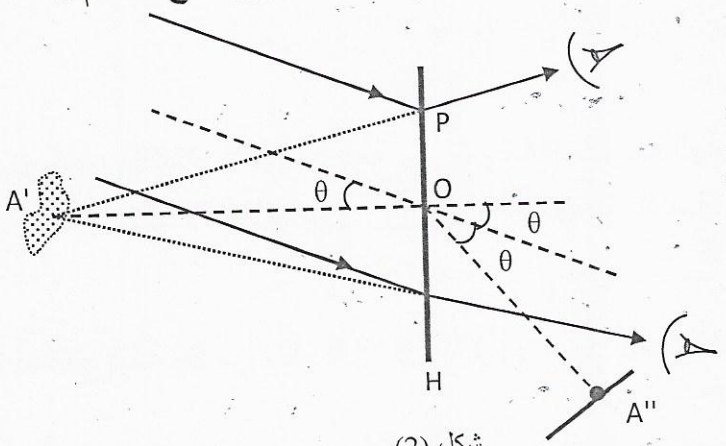
$$I = a_o^2 + b_o^2 + 4a_o b_o Cos^2 \frac{kr\gamma}{2} - 2a_o b_o$$

$$I = (a_o - b_o)^2 + 4a_o b_o Cos^2 \frac{kr\gamma}{2} \qquad (4)$$

بما أن تباين الأهداب (زيادة وضوحها) مرتبط بالشدة المنخفضة ، في حين يُرافق الشدة العالية عدم وضوح للأهداب ، فإن وضوح الأهداب يكون عالياً من أجل I_{min} الموافق لـ $a_o = b_o$. فتصبح (4) بالشكل التالي :

$$I_{min} = 4a_o^2 Cos^2 \frac{kr\gamma}{2} \qquad (5)$$

٢- مُشاهدة الهولوغراف : لمشاهدة الهولوغراف . تُسلط على الهولوغرام H بعد إظهاره (تحميضه) ، حزمة متوازية من الأمواج المستوية المترابطة وحيدة اللون (مكافئة للحزمة المباشرة) ، بزاوية ورود مع الناظم θ وبتردد ω يوافقان حالة التسجيل ، كما في الشكل (2) . فنشاهد مباشرةً من الجهة الأخرى من H صورة حقيقية للجسم "A ناتجة عن انعراج الأمواج النافذة عبر H بزاوية 2θ يمكن تلقيها على حاجز . كما يمكن (باستخدام نظارات خاصة) مشاهدة مجسم وهمي 'A للجسم يُدعى الهولوغراف ، وهو ناتج عن التقاء ممددات الأشعة المنعرجة عن H . بما أن سعة موجة التسجيل المباشرة في p المستنتجة وفق (١) متناسبة مع التابع الأسي $e^{-i k r\theta}$ فإن شدة الإضاءة المحصلة التي تتلقاها النقطة p من H (بعد تحميضه) الواردة في العبارة (3) ستكون متناسبة مع سعة موجة المشاهدة المسلطة بالشكل التالي :



شكل (2)

$$Ie^{-ikr\theta} = (a_o^2 + b_o^2)e^{-ikr\theta} + a_o b_o e^{ikr(\theta+\frac{r}{2D}-\theta)} + a_o b_o e^{-ikr(\theta+\frac{r}{2D}+\theta)}$$

$$Ie^{-ikr\theta} = \underbrace{(a_o^2 + b_o^2)e^{-ikr\theta}}_{1} + \underbrace{a_o b_o e^{ik\frac{r^2}{2D}}}_{2} + \underbrace{a_o b_o e^{-ikr(2\theta+\frac{r}{2D})}}_{3}$$

الحد 1 : يُمثل شدة الموجة المباشرة المسلطة على H المسؤولة عن تشكيل البعد الثالث (الخلفية) .
الحد 2 : يُمثل شدة الموجة الكروية المنعرجة عن الجسم والمتمثل هنا بالخيال المجسم المطابق للجسم 'A .
الحد 3 : يُمثل شدة الموجة المنعرجة عن H المشكلة للصورة "A .

مبدأ الأفلام ثلاثية البعد الملونة : يُسجل الهولوغرام H باستخدام ثلاثة ألوان أساسية هي الأحمر والأخضر والأزرق . وبعد تحميضه ، يُسلط عليه ضوء أبيض بزاوية موافقة لزاوية التسجيل . وباستخدام نظارات عدساتها مرشحات لونية ، يمكن رؤية الهولوغراف (المجسم الوهمي ثلاثي البعد) من خلال الأمواج المنعرجة عن H بألوانه الحقيقية ، وذلك لأن تداخل الألوان الثلاثة يعطينا ألوان الطيف السبعة المعروفة .

الفرق بين الفوتوغراف والهولوغراف :

الفوتوغراف : من المعلوم أن الحصول على صورة فوتوغرافية عادية يتم باستخدام كاميرا عادية تحوي على الفيلم المعالج بمادة من هاليد الفضة الحساسة للضوء . وعند فتح الحظار لبرهة من الزمن تُجمع العدسة الأشعة المنعكسة عن كل نقطة من نقاط الجسم (الهدف) في نقطة محددة على لوح التصوير ، فنحصل على صورة سلبية (بالأبيض والأسود) تدعى بعد تحميضه (إظهاره) في غرفة عاتمة (النيغاتيف - السالبة) ، فيما بعد وباستخدام محاليل الإظهار والتثبيت الخاصة تطبع الصورة الفوتوغرافية على ورقة كرتونية (الكرت) .

الهولوغراف : تستخدم هنا ذات الكاميرا ، ويتقفى الفيلم H (لوح التصوير) من مادة البوليمير المتمتع بجودة ونقاوة عالية ، ويُعد ليكون شبكة انعراج بالنفاذ وذلك عن طريق معالجته بحبيبات دقيقة جداً من هاليد الفضة المعلق في طبقة جيلاتين نافذة قدرة تحليلها ١٥٠٠ – ٢٠٠٠ حز / mm ، ويمكن الحصول على ألواح من الزجاج المعالج بالبوليميرات العضوية بقدرة تحليل أعلى تصل حتى ٣٠٠٠ حز / mm أو أكثر .
وعند فتح حظار الكاميرا لبرهة من الزمن تُجمع العدسة الأشعة المتداخلة على لوح التصوير H (المباشرة – المنعكسة عن المرآة والمشكلة للبعد الثالث ، مع المنعرجة عن الجسم) فتتشكل على اللوح أهداب التداخل ، حيث يتم تسجيل أهداب التداخل الناتجة عن كل نقطة من نقاط الجسم على كامل مساحة اللوح (الهولوغرام H بعد تحميضه – إظهاره) . وهذا مايفسر إمكانية إعادة إنشاء (بناء) كامل الصورة من جزء من أجزاء الهولوغرام المحطم (المكسور) . وهو الفرق الجوهري بين الفوتوغراف و الهولوغرام .

تسجيل الهولوغرام (تخزين البيانات) : بما أن شعاع الخلفية يسقط بزاوية محددة θ مع الناظم على الهولوغرام H ، ويتداخل مع الشعاع المنعرج عن الهدف عند هذه الزاوية مُشكلاً هولوغراف الهدف . فإذا استبدلنا الهدف بهدف آخر ، وسلطنا شعاع خلفية آخر بزاوية 'θ على نفس الهولوغرام H فنحصل على هولوغراف للهدف الجديد . تجدر الإشارة هنا إلى أنه يمكن تسجيل الموسوعة البريطانية – المكونة من عدة مجلدات - على هولوغرام واحد أبعاده 10 cm x 10 cm ، (تُسجل كل صفحة من الموسوعة بزاوية خلفية تختلف عن زاوية تسجيل الصفحة السابقة) .
يمكن مشاهدة صفحات الموسوعة بتسليط ذات ضوء الخلفية على الهولوغرام وبزوايا موافقة لزوايا التسجيل

المتطلبات الفنية لتسجيل الهولوغراف :

- شرط التداخل : يجب أن يحدث تداخل بين الموجتين المباشرة والمنعرجة لتسجيل أهداب التداخل على H وهذا لايتحقق إلا إذا كان الضوء المستخدم مترابط زمانياً ومكانياً (كما هو الحال في أشعة الليزر) . عموماً يكون الترابط محقق عندما يكون فرق المسار الضوئي L بين شعاعي الهدف والخلفية محققاً للعلاقة $L << c\tau$. حيث c سرعة الضوء في الفراغ و τ زمن الترابط الذي يجب أن يكون طويلاً .
- شرط الحساسية العالية للوح التصوير : يجب أن يتمتع اللوح بقدرة تحليل عالية (باعتباره شبكة انعراج) .

مكتبة A to Z