

HOLOGRAFİ

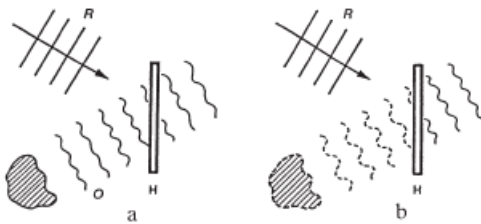
Amaç

Bu deneyde, bir nesnenin holografik görüntüsü oluşturularak holografinin çalışma prensibi tanıtılacaktır.

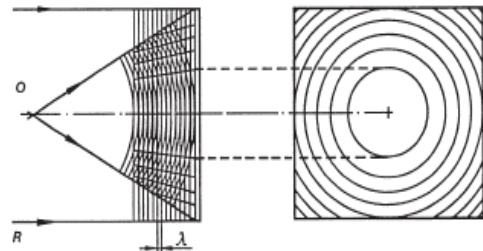
Deneye Hazırlık Bilgileri

Günlük hayatta hologramlarla (holografik fotoğraflarla) birçok defa karşılaşmışınızdır. Cüzdanınızda bulunan kredi kartlarının veya bazı kimlik kartlarının üzerinde hologramlara rastlamak mümkündür. Güvenlik amaçlı bu tür holografik görüntüler çok etkileyici olmamakla birlikte yavaşça hareket ettirildiklerinde renklerde veya desende değişimler görmek mümkündür. Çok daha etkileyici olan üç boyutlu holografik görüntüler ise hologramların karanlık bir odada lazerle aydınlatılmasıyla oluşturulur. Eğer bir holograma farklı açılardan bakarsanız, üç boyutlu görüntüyü gerçek nesneye bakıyormuşunuz gibi farklı açılardan görürsünüz. Bu da nesnenin üç boyutlu görüntü bilgisinin hologramın her noktasına işlendiği anlamına gelmektedir. Eğer bir hologramı küçük parçalara bölerseniz her bir parça görüntünün tamamını içerecektir. Bu parçalara farklı açılardan bakarak görüntünün tamamını görmek mümkündür. Halbuki bir fotoğrafın mesela yarısını keserseniz sadece yarısı görünecektir. Ayrıca fotoğrafçılıkta üç boyutlu nesnelerin sadece iki boyutlu görüntüleri elde edilir. Holografi yöntemiyle ise nesnelerin gerçek üç boyutlu görüntüsü oluşturulabilir.

Şimdi de holografi yönteminin nasıl çalıştığına bakalım: Lazer gibi tek dalgaboylu (monokromatik) ışık kaynağından çıkan ışık demeti nesnenin tamamının aydınlatılabilmesi için ıraksak mercek kullanılarak dağıtılır. Işık demeti demet bölücü kullanılarak ikiye bölünür. Demetlerden biri hologramın (görüntünün kaydedileceği ortamın) üzerine tutulur. Buna referans demeti denir. İkinci demet ise görüntüsü kaydedilecek nesnenin üzerine tutulur. Buna da nesne demeti denir. Nesneden yansıyan üç boyutlu ışık dalgaları holograma ulaşarak burada referans demeti ile bir girişim deseni oluşturur. Girişim deseni holograma optik yoğunluk (genlik hologramı) veya kırılma indisindeki değişim (faz hologramı) olarak kaydedilir. Banyo edildikten sonra hologramın üzerine referans demeti gönderildiğinde hologramın arkasında cismin orjinal yerinde sanal ve üç boyutlu; hologramın önünde de gerçek, ters ve büyük üç boyutlu bir görüntü oluşur. Görüntülerin oluşması nitel olarak şöyle açıklanabilir: Nesnenin üzerindeki bir noktadan yansıyarak holograma gelen küresel ışık dalgaları burada en basit halde düz kabul edebileceğimiz referans demetindeki ışık dalgaları ile girişim yapar (Bakınız Şekil 1 ve 2). Kaydedilen girişim deseni eşmerkezli dairesel halkalardan (Fresnel Bölgeleri) oluşmaktadır. Girişim deseninin üzerine aynı referans ışığı tutulduğunda, düz dalgalar (0. mertebeden kırınım) yanında ıraksak küresel dalgalar (1. mertebeden kırınım) ve yakınsak küresel dalgalar (-1. mertebeden kırınım) yayımlanır. Küresel dalgalar da sanal ve gerçek iki görüntü oluşturur.



Şekil 1 a) Holografik görüntünün kaydedilmesi
b) Holografik görüntünün oluşması



Şekil 2 Küresel ve düz dalgaların girişimi

Holografik görüntünün oluşumu nicel olarak şöyle anlatılabilir: Işık kaynağı,

$$E(x, y, z, t) = E_0(x, y, z)e^{i\varphi(x, y, z, t)} \quad (1)$$

fonksiyonuyla ifade edilir. Bu fonksiyonun gerçel kısmı ışık dalgalarının elektrik vektörünü verir. Işık şiddeti de

$$I = c \langle E \cdot E^* \rangle \quad (2)$$

denklemlerle verilir, burada c bir sabit ve $\langle \dots \rangle$ zaman ortalamasını ifade etmektedir. Hesaplamayı kolaylaştırmak ve daha önemli olan sonuçları vurgulamak aşağıdaki yaklaşımlar kullanılmıştır:

- Zamana bağlı $e^{i\omega t}$ çarpanı tüm dalgalar için aynıdır dolayısıyla hesaplamalarda ihmal edilmiştir.
- Holografik filmin kalınlığı ihmal edilmiştir (hologramın kalınlığı \ll dalga boyu). Filmin $z=0$ düzleminde olduğu kabul edilmiştir. Kalınlığın da dahil edildiği hesaplamalar aynı sonuca varmaktadır.

Görüntünün Kaydedilmesi

Nesne dalgası O ve referans dalgası R filmin düzleminde üst üste gelerek konuma bağlı I şiddetinde bir girişim deseni oluştururlar.

$$O = O_0(x, y)e^{i\psi(x, y)} \quad (3)$$

$$R = R_0(x, y)e^{i\varphi(x, y)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} I &= (O + R) \cdot (O + R)^* \\ &= OO^* + RR^* + OR^* + RO^* \\ &= I_0 + I_R + O_0R_0e^{i(\psi-\varphi)} + O_0R_0e^{-i(\psi-\varphi)} \end{aligned} \quad (5)$$

Girişim deseni de filmin üzerinde konuma bağlı bir optik geçirgenliğin oluşmasına yol açar:

$$\tau(x, y) = T(x, y)e^{i\varphi(x, y)} \quad (6)$$

Genlik hologramlarında $\varphi(x, y)$ fazı, faz hologramlarında ise $T(x, y)$ genliği sabit kalır.

Geçirgenlik, ışık şiddeti I ile ışınlanma süresinin (filmin lazer ışığına maruz kaldığı süre) çarpımı olan enerji yoğunluğu W 'ye bağlıdır. Işınlanma süresi ile nesne ve referans dalgalarının şiddetlerinin oranı geçirgenliğin çizgisel bir şekilde değiştiği bölgede seçilmelidir. Şekil 3'te görüldüğü gibi enerji yoğunlukları W_1 ile W_2 veya W_3 ile W_4 arasında olmalıdır. Nesne dalgası şiddetinin çok küçük olduğu varsayılarak ($I_0 \ll I_R$), genlik hologramları ($\varphi = \text{sabit}$) için

$$\begin{aligned} \tau(x, y) &= aT_0 + bI(x, y) \\ a, b &= \text{sabit} \end{aligned} \quad (7)$$

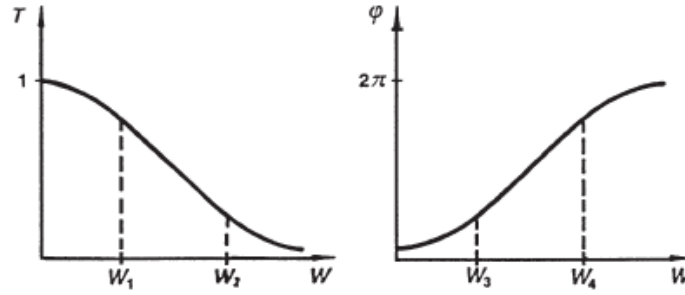
ve faz hologramları ($T = \text{sabit}$) için de

$$\begin{aligned}\tau(x, y) &= \alpha \cdot e^{i\varphi(x, y)} \\ &\approx \alpha(1 + i\varphi_0 + i\beta I(x, y)) \\ \alpha, \beta &= \text{sabit}\end{aligned}\quad (8)$$

denklemini elde edilir. $e^{i\varphi}$ serisi

$$e^{i\varphi} = \sum_n \frac{i^n}{n!} \varphi^n$$

($I_0 \ll I_R$) için birinci mertebeden terimden sonraki katkılar ihmal edilmiştir.



Şekil 3 Genlik ve faz hologramlarında genlik ve faz geçirgenliğinin enerji yoğunluğuna göre grafikleri

Görüntünün Oluşturulması

Görüntünün oluşturulması için hologram referans demeti R ile aydınlatılır. Böylece hologramdan geçen ışıkta

$$\begin{aligned}H &= \tau \cdot R \\ &= (aT_0 + bI_0 + bI_R) \cdot R \quad \text{referans dalgası} \\ &\quad + bI_R \cdot O \quad \text{nesne dalgası (sanal görüntü)} \\ &\quad + bR^2 \cdot O^* \quad \text{eşlenik nesne dalgası (gerçek görüntü)}\end{aligned}\quad (9)$$

terimleri mevcuttur. Birinci terim referans dalgasını oluşturur. İkinci terim nesne dalgasını oluşturur. Bu dalgaların oluşturduğu sanal görüntü kayıt esnasında nesnenin orijinal yerinde görünür. Üçüncü terim de eşlenik görüntü olarak bilinen gerçek görüntüyü oluşturur. Bu durumda da ıraksak olan referans dalgası hologramdan geçtikten sonra yakınsak hale gelir.

Gerçek Görüntü

Gerçek görüntünün konumu aşağıdaki örnekle daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Referans dalgası Şekil 4'te görüldüğü gibi β açısıyla holograma gelen düz bir dalga olsun. Nesne de kayıt (ışınlanma) sırasında α açısıyla konumlanmış olduğunu düşünelim. Küçük α ve β açıları ($\alpha, \beta \ll 90^\circ$) için sanal görüntü hologramın diğer tarafında referans dalgası doğrultusuna dik olan noktalı-çizgili doğrunun ayna simetrisinde oluşur. Bu sayede hologram düzleminde ($z = 0$), referans ve nesne dalgaları için sırasıyla

$$R = R_0 e^{ik \cdot x \sin \beta} \quad (10)$$

ve

$$O = O' e^{ikx \sin \alpha} \quad (11)$$

elde edilir. O' , $\alpha = 0$ 'daki nesne dalgasıdır. Eşlenik görüntü için

$$R^2 \cdot O^* = R_0^2 \cdot O'^* \cdot e^{ikx(2\sin \beta - \sin \alpha)} \quad (12)$$

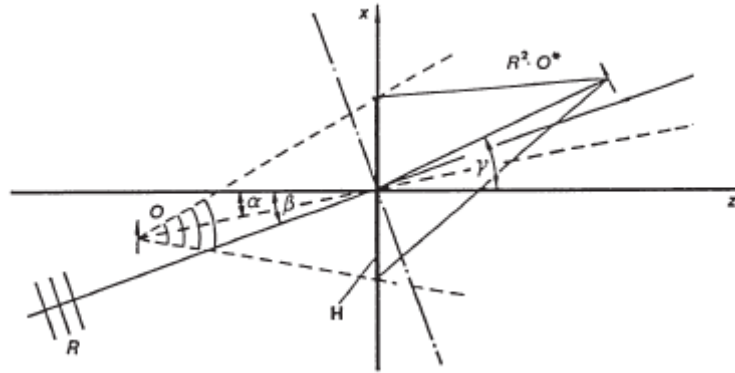
denklemini buluruz. Bu görüntü γ açısında oluşur:

$$\sin \gamma = 2\sin \beta - \sin \alpha \quad (13)$$

Bazı özel α ve β açılarında gerçek görüntü oluşmaz. Eğer

$$2\sin \beta - \sin \alpha > 1 \quad (14)$$

şartı sağlanıyorsa γ için bir çözüm yoktur (mesela $\alpha = 0$ ve $\beta > 30^\circ$ için).



Şekil 4 Görüntü konumları

R^* ile Görüntünün Oluşturulması

Bu durumda hologram plakası karşı taraftan referans dalgasıyla aydınlatılır (R^*) başka bir deyişle hologram 180° döndürülür. Böylece (9) denklemini yerine

$$\begin{aligned} H &= \tau R^* \\ &= (aT_0 + bI_0 + bI_R) R^* \\ &\quad + bR^2 O \\ &\quad + bI_R O^* \end{aligned} \quad (15)$$

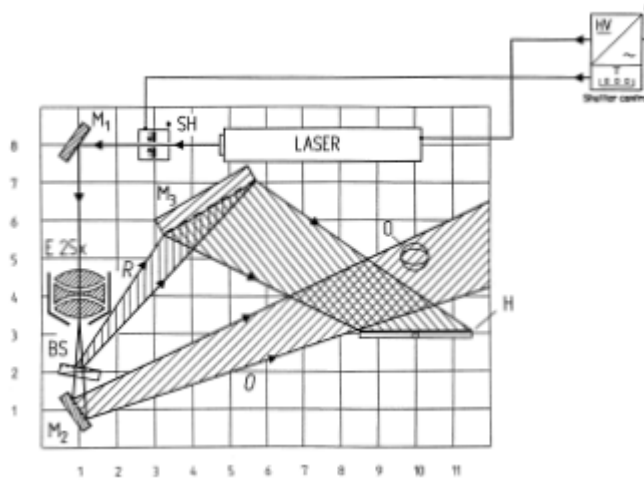
denklemini elde ederiz. Bu durumda görüntü hologramın önünde olur.

Deneyde Kullanılacak Araçlar

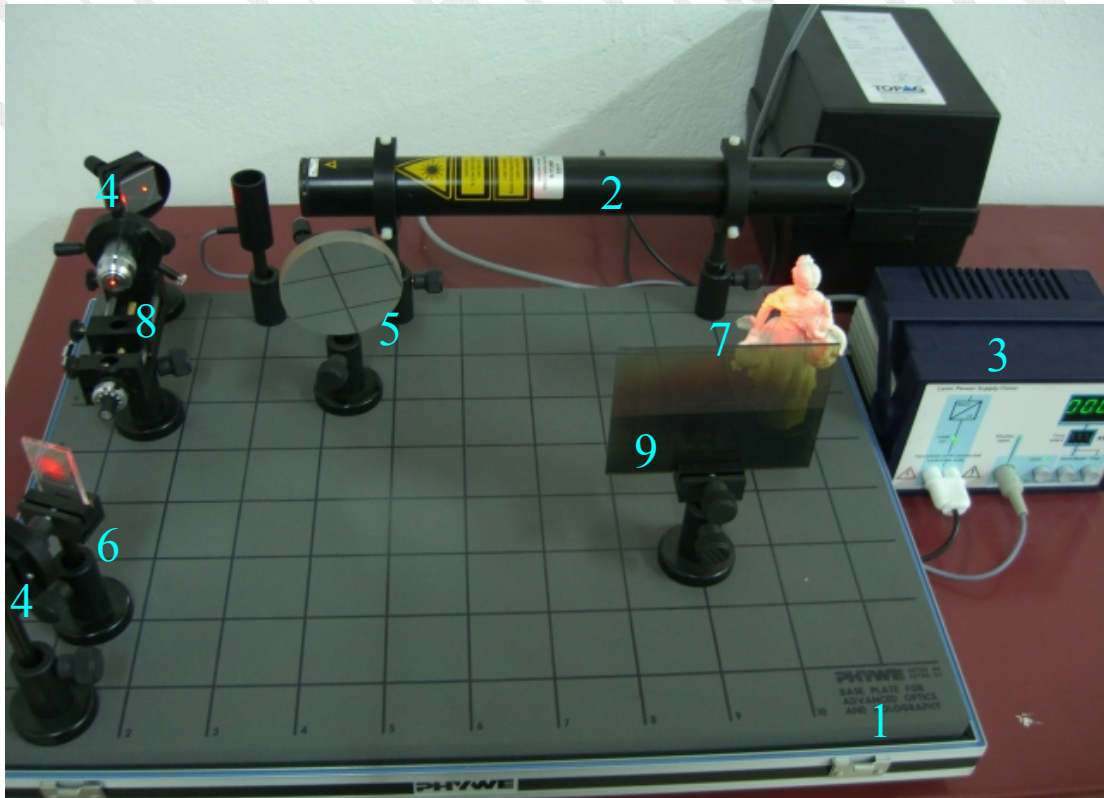
Bu deneyde, 1 adet optik taban (1), 1 adet He/Ne lazer (2), 1 adet güç kaynağı (3), 6 adet magnetik ayak, 2 adet tutucu, 2 adet ayarlanabilir destek (35x35mm), 2 adet yüzey aynası (30x30 mm) (4), 1 adet büyük yüzey aynası (d=80mm) (5), bir demet ayırıcı (6), 1 adet nesne (7), mercek seti (8), holografik film (9), kullanılacaktır (Bakınız Şekil 6).

Karanlık odada ise, 3 adet plastik kap, deney eldiveni (10), termometre (11), merdane, film maşası (12), huni, karanlık oda lambası (yeşil ışık veren), 3 adet plastik şişe, 1 adet büyük (13) ve bir adet küçük ölçü kabı, banyo kimyasalları: banyo çözeltileri (A ve B), banyo sonlandırıcı (stop-bath) çözeltisi (14) ve damıtılmış su, kullanılacaktır (Bakınız Şekil 7).

Not: Holografik filmler fotorafçılıkta kullanılan filmlere çok benzemektedirler temel farkları holografik filmlerin pozlama süresinin daha uzun olması ve kırmızı ışığa daha duyarlı yapılmalarıdır.



Şekil 5 Deney Şeması



Şekil 6 Deney Düzenegi



Şekil 7 Film Banyosu Malzemeleri

Deney İçin Ön Hazırlık ve Deneyin Yapılışı

UYARI: Lazer ışığının doğrudan gözle temas etmesi gözde kalıcı hasara neden olduğundan, lazere doğrudan bakmayınız. Kullanılan optik elemanların cam yüzeylerine temas etmeyiniz.

Deney düzeneğini Şekil 3'de verilmiştir.

1. Dalga boyundaki dalgalanmaları azaltmak amacıyla lazeri deneye başlamadan önce yaklaşık bir saat ısıtınız.
2. Önce lazer demetinin yüksekliği 13cm olmak üzere, mercek sistemi (E20x) olmadan, M1 ve M2 aynaları ile nesne üzerine düşecek şekilde ayarlayınız. M1 ve M2 aynalarının arkasındaki düğmelerden üst sol köşedeki demeti sağa sola, sağ alt köşedeki ise aşağı yukarı hareket ettirir. Daha sonra, lazer demetini referans (R) ve nesne (O) demeti olarak ikiye ayıran demet ayırıcıyı (BS) Şekil 3'deki gibi yerleştiriniz. Böylece, gelen demetin yarısı demet ayırıcıdan geçerek önce M1 aynasına oradan da nesne üzerine ve diğer yarısı büyük aynaya (M3) düşürülmüş olur. Büyük aynayı arkasındaki ayar düğmeleri yardımıyla demet ayar camının (H) ortasına düşecek şekilde ayarlayınız.
5. Şimdi, mercek sistemini (E20x) M1 aynası ve demet ayırıcı (BS) arasına Şekil 3'de gösterildiği gibi yerleştiriniz. Demeti, girişim deseni oluşturmayacak şekilde mercek sistemi üzerindeki düğmeler yardımıyla ayarlayınız. Toz nedeniyle de girişim deseni oluşabileceğinden, merceği kullanmadan önce aseton ile temizleyiniz.
6. Güç kaynağından pozlama zamanını 10 saniyeye ayarlayınız ve 'Count' düğmesine (soldan birinci düğme) basarak lazeri kesiniz.
7. Holografik film banyosu için kullanılacak olan çözeltileri aşağıdaki adımları izleyerek hazırlayınız:

UYARI: Banyo sırasında çözeltilerle temas etmemek için eldiven kullanınız.

i) Banyo (developer)

Birinci kaba (siyah renkli) 400 ml damıtılmış su (büyük ölçü kabı yardımıyla) ile dört ölçü (küçük ölçü kabı ile) A maddesinden ekleyin ve eriyene kadar plastik bir çubuk yardımıyla karıştırın. Suyun sıcaklığına göre erime süreleri aşağıdaki gibidir. Eğer sıcak su kullanılacak ise suyun sıcaklığı termometre yardımı ile ölçülmelidir.

Ardından 1 ölçü (küçük ölçü kabı ile) B maddesinden ekleyiniz ve iyice karıştırınız.

ii) Banyo sonlandırma (stop-bath)

12 ml banyo sonlandırma çözeltisi (stop-bath solution) ile 470 ml damıtılmış suyu ikinci kaptaki (kırmızı renkli) karıştırınız.

iii) Durulama

Üçüncü plastik kaba (beyaz renkli) 1000ml damıtılmış su koyunuz.

8. Çözeltiler hazırlandıktan sonra, hologram yüzeyi olarak kullandığımız ayar camını kaldırınız ve ışığı kapatınız.

NOT: Işığı kapatmadan önce holografik cam banyosu sırasında kullanacağınız kronometrenizi hazırlayınız. (Örneğin cep telefonu kronometresi). Ayrıca deneyin bundan sonraki bölümünü karanlıkta yapacağınızdan, kullanacağınız her şeyin yerini ışık açıkken tekrar gözden geçiriniz.

9. Işık kapatıldıktan sonra, hologramı kaydedeceğimiz holografik filmi kutusundan çıkarınız ve ışığa duyarlı yüzeyi (pürüzlü yüzeyi) nesneye doğru bakacak şekilde yerleştiriniz. Holografik filmi yerleştirildikten hemen sonra kutunun kapağı kapatınız.

10. Güç kaynağının 'start' düğmesine (ortadaki düğme) basarak pozlama işlemini başlatınız. Daha önceden pozlama süresi 10 saniye olarak ayarlandığından, lazer bu süre sonunda otomatik olarak kapanacaktır ve böylece pozlama işlemi tamamlanacaktır.

11. Şimdi holografik filmi tutucudan çıkararak banyo işlemine başlayabilirsiniz. Holografik filmi, 2 dakika 1. kaptaki (developer), 30 sn 2. kaptaki (stop-bath) ve 4 dakika da 3. kaptaki (durulama) tutunuz. Bu işlemlerden sonra holografik filmi kurutunuz.

12. Son olarak, banyo edilmiş ve kurutulmuş olan holografik filmi tutucuya yerleştiriniz ve güç kaynağının 'Count' düğmesine basarak lazeri açınız. Nesneyi, yavaşça bulunduğu yerden yana doğru uzaklaştırınız (*Bu işlemi nesneyi optik taban üzerinde yavaşça kaydırarak yapınız*). Nesnenin ilk bulunduğu konumda (pozlama işlemi yapıldığındaki konumda) hologramı görebilirsiniz. Holografik filmi 4 farklı şekilde tutucuya yerleştirerek, gözlemlerinizi not ediniz.

13. Deney bittikten sonra ışığı açınız. Film banyosu için hazırlamış olduğunuz çözeltileri, plastik şişelere huni yardımıyla koyunuz ve kaplarınızı su ile temizleyiniz. Tüm bu işlemler sırasında eldiven kullanınız.

Sorular

1. Hologramın bir kısmını kapatarak farklı açılardan bakıp nesneye bakınız. Gözlemlerinizi teorik sonuçlarla uyuyor mu yorumlayınız.

2. Hologramı elinize alıp kendi eksenini etrafında sağa sola çevirerek görüntüde nasıl bir değişim olur açıklayınız.